

## Wasserstromliniengerät 1006784 / U8404248

### Bedienungsanleitung

02/12 ELWE/ALF



- 1 Velourspapierbögen
- 2 Tupfer für Farbstoff
- 3 Fläschchen mit Farbstoff
- 4 Acrylglaswanne, flach
- 5 Acrylglaswanne, hoch
- 6 Maske

### 1. Beschreibung

Das Wasserstromliniengerät dient zur Demonstration und Untersuchung laminarer Strömungen im Wasser. Experimente zu folgenden Schwerpunkten sind möglich:

- Entstehung einer Strömung in Wasser
- Stromlinienverlauf bei einer geradlinigen laminaren Wasserströmung
- Stromlinienverlauf beim Umströmen verschieden geformter Körper
- Stromlinienverlauf um eine Tragfläche bei unterschiedlichem Anstellwinkel
- Stromlinienverlauf an einer Einengung

Das Wasserstromliniengerät besteht aus zwei quaderförmigen Acrylglaswannen. Die hohe Wanne ist mit einem Zwischenboden versehen, so dass ihr oberer Teil mit Wasser gefüllt werden kann. Die untere Wanne dient als Untersatz, der das herabfließende Wasser auffängt. Die Strömung des Wassers vollzieht sich in rechteckigen Stücken aus Velourspapier, deren oberes Ende in die hohe Wanne hineinragt. Die Velourspapierbögen enthalten Aussparungen, die es ermöglichen, verschiedene Strömungsverläufe zu erzeugen. Auf das Velourspapier wird eine Maske gesteckt. Sie besitzt Aussparungen, die der gleichmäßigen Markierung der Strömung mit Farbstoff dienen.

## 2. Lieferumfang

2 Acrylglaswannen  
1 Maske  
20 Blätter Velourspapier mit Aussparungen  
1 Fläschchen mit Farbstoff  
Tupfer für Farbstoff  
Gummihandschuhe

## 3. Technische Daten

Abmessungen: ca. 220 x 140 x 240 mm<sup>3</sup>  
Masse: ca. 1 kg

## 4. Funktionsprinzip

Infolge der Kapillarität und der Gewichtskraft des Wassers wird dieses aus der oberen Wanne herausgesaugt und strömt mit geringer und konstanter Geschwindigkeit in dem Velourspapier nach unten. Dort tropft es ab und sammelt sich in der flachen Wanne. Um den Stromlinienverlauf beobachten und aufzeichnen zu können, wird die Wasserströmung mit Farbstoff markiert. Das erfolgt in der Nähe der oberen Kante der mit Wasser gefüllten Wanne in konstantem Abstand voneinander. Durch ggf. wiederholtes Einfärben der Strömung an diesen Stellen wird der Strömungsverlauf durch die entstehenden farbigen Linien markiert. An den Aussparungen im Velourspapier verändert sich der Verlauf der Strömung. Durch den Farbstoff werden die jeweiligen Wege des strömenden Wassers sichtbar. Nach dem Hindernis stellt sich allmählich der ursprüngliche Strömungsverlauf wieder ein.

Infolge der geringen Dicken der Wasserschicht und des Strömungswiderstandes der Fasern im Velourspapier wird die Strömungsgeschwindigkeit auf etwa 2 mm/s begrenzt. Dadurch kann man das Entstehen des Stromlinienbildes der laminaren Strömung gut beobachten. Ein besonderer Vorteil des Wasserstromliniengeräts besteht darin, dass die entstandenen Stromlinienbilder durch Trocknen der Velourspapierblätter für die spätere Nutzung erhalten werden können.

## 5. Bedienung

- Den oberen Teil der hohen Wanne bis wenige Millimeter unter den Rand mit Wasser füllen.
- Dann das gewünschte Velourspapierstück auswählen.
- Zunächst das Papier mit Wasser tränken. Dazu kann man Wasser über das Papier fließen lassen oder dieses in ein flaches Gefäß mit Wasser vollständig eintauchen.

- Den oberen Rand des Velourspapiers nach hinten abknicken, wobei die Veloursseite dem Betrachter zugewandt ist.
- Den abgeknickten Teil so über den Rand der Acrylglaswand legen, dass er gut ins Wasser reicht.
- Auf der Vorderseite von oben nach unten mit der Hand über das Velourspapier streichen, um mögliche Luftblasen zwischen Acrylglaswand und Papier zu beseitigen.
- Dann die Maske über den Velourspapierbogen auf die obere Wanne stecken (siehe Fig. 1).



Fig. 1

- Mit dem Tupfer Farbstofflösung an die Aussparungen der Maske bringen. Sollte der Farbstoff nicht ausreichen, so kann dieser Vorgang wiederholt werden.
- Bei Benutzung von gefärbtem Wasser darauf achten, dass z.B. Kleidung nicht bespritzt wird.

Auf dem Velourspapier entwickelt sich schrittweise das jeweilige Stromlinienbild.

- Danach die Maske entfernen, das Velourspapier herausnehmen und trocknen (z.B. über einem horizontal aufgespannten Bindfaden gehängt).

**Hinweis:** Die Aussparungen können leicht selbst in entsprechende Velourspapierstücke geschnitten werden. Dabei sind beliebige Formen und Lagen der umströmten Körper möglich. Das Velourspapier sollte eine möglichst helle Farbe besitzen.

## 6. Versuchsbeispiele

### 6.1. Stromlinienverlauf bei einer geradlinigen laminaren Strömung

- Das Velourspapierblatt ohne Aussparungen verwenden.

Die farbigen Linien verlaufen in konstantem Abstand voneinander vertikal nach unten (siehe Fig. 2).

Ergebnis: In einer geradlinigen laminaren Strömung verlaufen alle Stromlinien parallel. Richtung und Geschwindigkeit der Strömung sind an allen Stellen gleich.

## 6.2 Stromlinienverlauf um verschieden geformte Körper

- Nacheinander die Velourspapierbögen mit einer kreisrunden, einer halbkreisförmigen und einer rechteckigen Aussparung benutzen.

Vor dem Körper teilt sich jeweils die Strömung. Die Stromlinien verlaufen seitlich an dem Körper vorbei. Dabei verringert sich ihr gegenseitiger Abstand. Nach dem Körper vereinigt sich die Strömung wieder. Zwischen den einzelnen Stromlinien tritt wieder etwa der gleiche Abstand wie vor der Umströmung des Hindernisses auf (siehe Fig. 3 a, b, c).

Ergebnis: Der Strömungskörper bewirkt in seiner unmittelbaren Nähe eine Richtungsänderung der Strömung. Dabei nimmt die Geschwindigkeit der Strömung zu und die Stromlinien rücken enger aneinander. Nach der Umströmung nimmt die Strömungsgeschwindigkeit wieder ab. Der Abstand zwischen den Stromlinien wird größer. Schließlich laufen sie wieder parallel zueinander.

## 6.3. Umströmung eines Tragflächenprofils

- Experiment mit den Velourspapierbögen mit der Aussparung in Form eines Tragflächenprofils durchführen.

Oberhalb der Tragfläche tritt eine starke Richtungsänderung und Verdichtung der Stromlinien auf. Daraus folgt eine große Strömungsgeschwindigkeit. Unterhalb der Tragfläche nimmt die Strömungsgeschwindigkeit nicht so stark zu. Das Experiment wird

mit dem Velourspapierbogen wiederholt, in dem der Neigungswinkel größer als Null ist. Die Richtungsänderung der Stromlinien ist in dem oberen Bereich besonders stark ausgeprägt. Unterhalb des Tragflächenprofils verlaufen die Stromlinien zunächst auf dieses zu, um dann nach unten abgedrängt zu werden (siehe Fig. 4 a, b).

Ergebnis: Das Stromlinienbild eines Tragflächenprofils lässt oberhalb des Profils die starke Geschwindigkeitszunahme infolge der eng verlaufenden Stromlinien erkennen. Unterhalb der Tragfläche bewegt sich die strömende Flüssigkeit bei positivem Anstellwinkel zunächst auf die Tragfläche zu, um dann nach unten abgelenkt zu werden.

## 6.4. Stromlinienverlauf an einer Verengung

- Das Velourspapierblatt verwenden, bei dem sich Aussparungen zu beiden Seiten befinden.

Bei Annäherung an die Verengung erhöht sich die Strömungsgeschwindigkeit. Die Stromlinien rücken enger aneinander. Bei Verlassen der Verengung streben die Stromlinien wieder auseinander, so dass der ursprüngliche Stromlinienverlauf auftritt (siehe Fig. 5).

Ergebnis: An einer Verengung verringert sich der Abstand der Stromlinien. Die Strömungsgeschwindigkeit nimmt stark zu. Hinter der Verengung vergrößert sich der Abstand der Stromlinien wieder. Die Strömungsgeschwindigkeit sinkt.

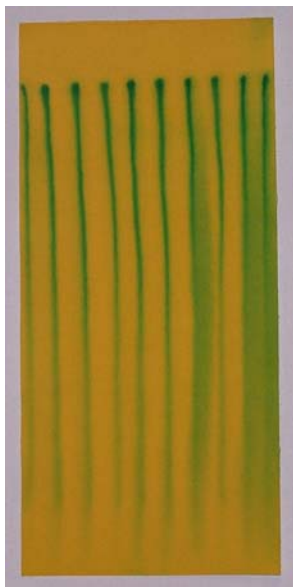


Fig. 2



Fig. 3 a, b, c



Fig. 4 a, b



Fig. 5

## Laminar Flow Apparatus

1006784 / U8404248

### Instruction Sheet

02/12 ELWE/ALF



- 1 Sheets of velour paper
- 2 Swab for the dye
- 3 Flask with dye
- 4 Acrylic glass basin, bottom
- 5 Acrylic glass basin, top
- 6 Mask

### 1. Description

The laminar flow apparatus can be used to demonstrate and examine the laminar flow in water.

It enables experiments which focus on the following subjects:

- Development of flow in water
- Streamline curve of a linear laminar water flow
- Streamline curve around objects with various shapes
- Streamline curve around a wing of an aeroplane with different angles of attack
- Streamline curve at a narrow point

The laminar flow apparatus consists of two cuboid acrylic glass containers. The large container has a separate floor, so that its top part can be filled with water. The bottom container collects the overflowing water. The water flows along rectangular sheets of velour paper, whose top ends point into the large container. The velour paper sheets have cut-outs, which allow you to generate various flow curves. A mask is put onto the velour paper. It contains cut-outs which allow you to evenly mark the flow with colour.

## 2. Equipment supplied

2 Acrylic glass basins  
1 Mask  
20 Sheets of velour paper with cut-outs  
1 Mini-flask with dye  
Swab for dye  
Rubber gloves

## 3. Technical data

Dimensions: approx. 220x140x240 mm<sup>3</sup>  
Weight: approx. 1 kg

## 4. Operating principle

Due to the capillary effect and the weight of the water, it is sucked out of the top container, slowly and constantly flowing down the velour paper. At the bottom end of the paper it drops down and is collected in the flat bottom container. In order to be able to observe and record the streamline curve, the water flow is marked with colour at regular intervals near the top edge of the container filled with water. When the flow is frequently coloured at these points, the streamline curves are marked by the developing colour lines. At the cut-outs in the velour paper, the streamlines change. Due to the colour, the respective paths of the flowing water are made visible. The streamlines have their initial shape behind the blocking object. Due to the thin water layer and the flow resistance of the fibres in the velour paper, the flow velocity is limited to approx. 2 mm/s. It is therefore possible to easily observe how the streamline images of the laminar flow develop. The equipment is distinguished by its simple testing method, its easy handling and a safe testing performance. It has the special advantage that the developing streamline images can be made permanent by drying the velour paper sheets for later use.

## 5. Operation

- Fill the top part of the large glass container with water up to a few millimetres below the top edge.
- Then select the required velour paper sheet.
- Soak it with water by either letting water flow over the paper or by completely dipping it into a flat container filled with water.
- Bend back the top part of the velour paper, with the velour side facing the observer.

- Suspend the folded part of the paper over the edge of the wall of the acrylic glass vessel such that it reaches well down into the water.
- Smooth out the front of the velour paper with your hand to remove possible air bubbles between the wall and the paper.
- Then put the mask over the velour paper sheet onto the top container (refer to fig. 1).



Fig. 1

- Insert the swab into the bottle with the colour solution. Then subsequently apply the colour to the cut-outs on the mask. If there is not enough colour, repeat this procedure.
- When using dyes be careful not to splash them on clothing, for example.

Step by step, the respective streamline image develops on the velour paper.

- Then remove the mask, take the velour paper out of the container and dry it, for example, by hanging it on a horizontal cord.

**Note:** You may easily cut shapes yourself into the respective pieces of velour paper. Any shape and position for the object is possible. The velour paper should be of a light colour.

## 6. Sample experiments

### 6.1. Streamline curve of a linear laminar flow

- Use the velour paper sheet without cut-outs.

The colour lines run vertically at regular intervals (refer to fig. 2).

Result: In a linear laminar flow, all the streamlines are parallel to each other. The direction and the velocity of the flow are constant at any point.

### 6.2 Streamline curve around objects with various shapes

- Use sheets of velour paper with cut-outs in the form of a circle, semi-circle and a rectangle one after the other.

In front of the object, the flow splits. The streamlines move around the sides of the object. The intervals between them reduce. The flow reassembles behind the object. The individual streamlines run at regular

intervals, as in front of the object (refer to fig. 3 a, b, c).

Result: The flow object causes the flow to change its direction in its close proximity. The velocity of the flow increases and the streamlines move closer to each other. Behind the object, the velocity of the flow reduces. The interval between the streamlines increases. Finally, the lines are parallel.

### 6.3. Streamline curve around a wing profile of an aeroplane

- Carry out the experiment using a sheet of velour paper with a wing-shaped cut-out.

Above the wing, the streamlines change their directions greatly and are compressed. Therefore, the flow velocity is high. Below the wing, the flow velocity only increases slowly. Repeat the experiment with the velour paper sheet, on which the angle of attack is larger than zero. In the top area, the directions of the streamlines change greatly. Below the wing pro-

file, the streamlines initially run in its direction and are then drift down (refer to fig. 4 a, b).

Result: The streamline image of a wing profile shows a great increase of velocity above the profile due to the narrow streamlines. Below the wing, the fluid flows in the direction of the wing when the angle of attack is positive and then drifts down.

### 6.4. Streamline curve at a narrow point

- Use the velour paper sheet with the cut-outs on both sides.

When the flow reaches the narrow point, its velocity increases. The streamlines move together. After passing the narrow point, the streamlines move apart, so that the flow shows its initial streamline curve (refer to fig. 5).

Result: At a narrow point, the interval between the streamlines reduces. The flow velocity increases greatly. After the narrow point, the intervals between the streamlines increase. The flow velocity reduces.

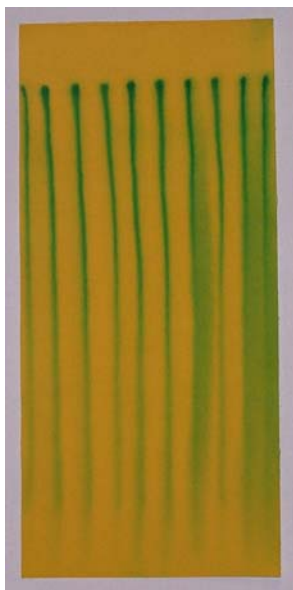


Fig. 2



Fig. 3 a, b c



Fig. 4 a, b

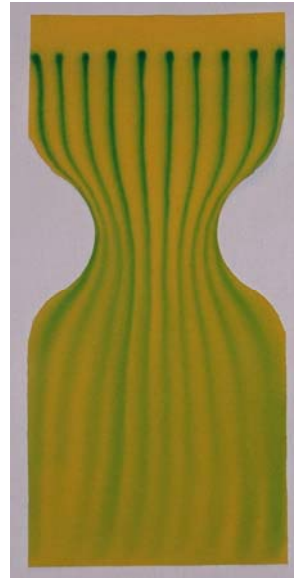


Fig. 5

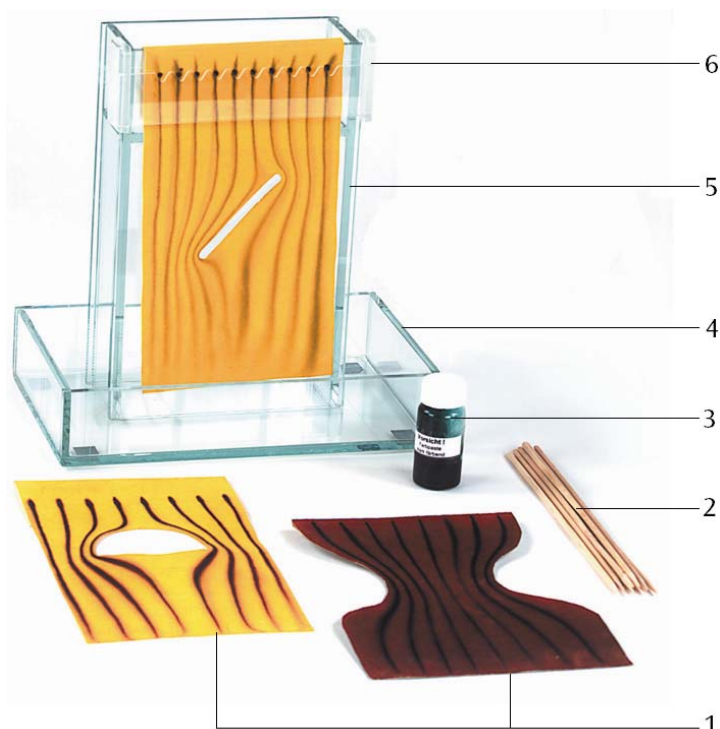


## Appareil d'étude des lignes de courant d'eau

1006784 / U8404248

### Instructions d'utilisation

02/12 ELWE/ALF



- 1 Feuilles de papier velouté
- 2 Bâtonnets pour colorant
- 3 Flacon de colorant
- 4 Cuve en verre acrylique plate
- 5 Cuve en verre acrylique verticale
- 6 Masque

### 1. Description

Cet appareil d'étude permet de démontrer et d'étudier les flux laminaires dans l'eau. Les expériences portent sur les thèmes principaux suivants :

- Formation d'un courant dans l'eau
- Allure des lignes de flux dans un courant laminaire rectiligne
- Allure des lignes de flux autour de corps de formes différentes
- Allure des lignes de flux autour d'une surface portante avec différents angles d'incidence
- Allure des lignes de flux dans un engorgement

L'appareil d'étude des lignes de courant d'eau est constitué de deux cuves en verre acrylique parallélépipèdes. La cuve verticale est pourvue d'un double fond. Sa partie supérieure peut être remplie d'eau. La cuve inférieure sert à la récupération de l'eau qui s'écoule. Le flux d'eau passe par des morceaux rectangulaires de papier velouté dont l'extrémité supérieure dépasse dans la cuve verticale. Les feuilles de papier velouté présentent des rainures qui permettent de générer différents cours d'eau. Sur le papier velouté se trouve un masque qui présente des rainures servant à marquer le flux à l'aide d'un colorant.

## 2. Matériel fourni

2 cuves en verre acrylique  
1 masque  
20 feuilles de papier velours avec encoches  
1 flacon de colorant  
Bâtonnets pour colorant  
Gants en caoutchouc

## 3. Caractéristiques techniques

Dimensions: env. 220x140x240 mm<sup>3</sup>  
Masse : env. 1 kg

## 4. Principe du fonctionnement

Par la capillarité et le poids de l'eau, celle-ci est aspirée de la cuve supérieure et s'écoule à faible vitesse constante dans le papier velouté. Puis, elle s'égoutte dans la cuve plate. Pour observer et relever l'allure des lignes du flux, le cours d'eau est marqué avec un colorant à intervalles réguliers à proximité du bord supérieur de la cuve remplie d'eau. Par cette coloration (répétée éventuellement plusieurs fois à ces endroits), les lignes de couleur qui se forment ainsi dessinent le chemin suivi par l'eau. Les rainures du papier velouté modifient le cours du flux. Le colorant met en évidence le parcours de l'eau. Après avoir franchi l'obstacle, l'eau reprend tout doucement son cours d'origine.

La faible épaisseur de la couche d'eau et la résistance de flux des fibres dans le papier velouté limitent la vitesse du courant à environ 2 mm/s. Il est donc aisé d'observer comment se forme le flux laminaire. L'un des avantages particuliers de cet appareil d'étude est que le séchage des feuilles de papier velouté permet de conserver les lignes de flux pour un usage ultérieur.

## 5. Manipulation

- Remplissez d'eau la partie supérieure de la cuve verticale jusqu'à quelques millimètres au-dessous du bord.
- Puis, prenez le papier velouté de votre choix.
- Imbibez-le d'abord d'eau. Pour cela, vous pouvez faire couler de l'eau sur le papier ou le plonger entièrement dans un récipient plat rempli d'eau.
- La partie supérieure du papier velouté est pliée en arrière, le côté velouté étant tourné vers l'observateur.

- Posez la partie pliée sur le bord de la paroi en verre acrylique de façon à ce qu'elle soit bien plongée dans l'eau.
- Passez la main de haut en bas sur la face avant du papier velouté pour éliminer d'éventuelles bulles d'air entre la paroi en verre acrylique et le papier.
- Puis, introduisez le masque sur la cuve supérieure au-dessus des feuilles de papier velouté (voir fig. 1).



Fig. 1

- Avec le bâtonnet, appliquez le colorant dans les rainures du masque. Si le colorant ne suffit pas, répétez l'opération.
- Lorsque vous employez de l'eau colorée, veillez à ne pas asperger par ex. les vêtements.

Les lignes de flux se dessinent progressivement sur le papier velouté.

- Ensuite, retirez le masque, enlevez le papier velouté et laissez-le sécher (par ex. en l'accrochant à un fil de liage tendu horizontalement).

**Remarque** : vous pouvez couper vous-même les rainures dans le papier velouté. Les corps recouverts par l'eau peuvent avoir des formes et des positions quelconques. Dans la mesure du possible, le papier velouté doit présenter une couleur claire.

## 6. Exemples d'expériences

### 6.1. Allure des lignes de flux dans un courant laminaire rectiligne

- Utilisez la feuille de papier velouté sans rainures.

Les lignes de couleur s'écoulent verticalement dans un écart constant (voir fig. 2).

Résultat : dans un flux laminaire rectiligne, toutes les lignes du flux sont parallèles. La direction et la vitesse du flux sont identiques à tous les endroits.

## 6.2 Allure des lignes autour de corps de formes différentes

- Utilisez successivement les feuilles de papier velouté avec un évidement circulaire, semi-circulaire et rectangulaire.

Devant le corps, le flux se divise. Les lignes passent sur les côtés du corps et leur écart respectif se réduit. En aval du corps, le flux se réunit à nouveau. L'écart entre les lignes est de nouveau celui qui se présentait avant l'obstacle (voir fig. 3 a, b, c).

Résultat : dans sa proximité immédiate, le corps provoque un changement de direction du flux. La vitesse du flux augmente et les lignes se rapprochent. L'obstacle passé, le flux ralentit à nouveau. L'écart entre les lignes augmente. Puis les lignes sont de nouveau parallèles.

## 6.3 Allure des lignes autour d'une surface portante

- Réalisez l'expérience avec la feuille de papier velouté, avec l'évidement en forme de profilé de surface portante.

Au-dessus de la surface portante, on observe un important changement de direction et une densification des lignes, ce qui augmente considérablement la vitesse du flux. Au-dessous de la surface portante, la vitesse du flux n'augmente pas si fortement. Répé-

tez l'expérience avec la feuille de papier velouté dans un angle d'inclinaison supérieur à zéro. Le changement de direction des lignes du flux est particulièrement important dans la partie supérieure. Au-dessous de la surface portante, les lignes s'orientent d'abord vers celle-ci, puis s'écoulent en s'écartant d'elle (voir fig. 4 a, b).

Résultat : on observe au-dessus de la surface portante une forte augmentation de la vitesse due à la densification des lignes. Au-dessous du profil, si l'angle d'incidence est positif, le liquide s'oriente d'abord vers la surface, pour s'en dévier par la suite.

## 6.4 Allure des lignes de flux dans un engorgement

- Utilisez la feuille de papier velouté présentant des rainures des deux côtés.

Lorsqu'il s'approche d'un engorgement, le flux devient plus rapide. Les lignes se rapprochent. Lorsqu'elles s'éloignent de l'engorgement, les lignes s'écartent à nouveau pour reprendre leur cours initial (voir fig. 5).

Résultat : l'écart entre les lignes de flux se réduit dans un engorgement. La vitesse du flux augmente sensiblement. L'engorgement passé, l'écart entre les lignes de flux augmente à nouveau. La vitesse du flux diminue.

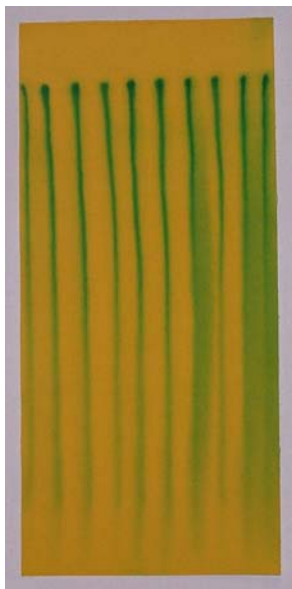


Fig. 2



Fig. 3 a, b, c



Fig. 4 a, b



Fig. 5

## Apparecchio per la linea di corrente dell'acqua

1006784 / U8404248

### Istruzioni per l'uso

02/12 ELWE/ALF



- 1 Fogli di carta vellutata
- 2 Tamponi per colorante
- 3 Bottiglietta di colorante
- 4 Vasca in vetro acrilico, orizzontale
- 5 Vasca in vetro acrilico, verticale
- 6 Maschera

### 1. Descrizione

L'apparecchio per la linea di corrente dell'acqua serve per dimostrare ed esaminare le correnti laminari nell'acqua. Sono possibili esperimenti sui seguenti punti fondamentali:

- origine di una corrente nell'acqua
- andamento della linea di corrente con una corrente laminare rettilinea
- andamento della linea di corrente con corpi di forma diversa per la circolazione dell'acqua
- andamento della linea di corrente attorno ad una superficie portante con angolo di incidenza diverso
- andamento della linea di corrente in presenza di un restringimento

L'apparecchio per la linea di corrente dell'acqua è composto da due vasche in vetro acrilico parallelepipedo. La vasca verticale è dotata di un doppio fondo che consente di riempirne la parte superiore con acqua. La vasca inferiore funge da base per la raccolta dell'acqua in fuoriuscita. Il flusso dell'acqua si verifica nei pezzi rettangolari di carta vellutata, la cui estremità superiore si estende nella vasca verticale. I fogli di carta vellutata sono dotati di intagli che consentono di generare andamenti di corrente diversi. Sulla carta vellutata viene inserita una maschera. Tale maschera possiede incavi che servono per marcare il flusso in modo uniforme con il colorante.

## 2. Fornitura

2 vasche in vetro acrilico  
1 maschera  
20 fogli di carta vellutata con intagli  
1 bottiglietta di colorante  
Tamponi per colorante  
Guanti di gomma

## 3. Dati tecnici

Dimensioni: ca. 220x140x240 mm<sup>3</sup>  
Peso: ca. 1 kg

## 4. Principio di funzionamento

Grazie alla sua capillarità e alla forza peso, l'acqua viene assorbita dalla vasca superiore e defluisce nella carta vellutata a velocità ridotta e costante. Da qui scende nella vasca orizzontale sotto forma di gocce. Per consentire l'osservazione e la registrazione dell'andamento della linea di corrente, il flusso d'acqua viene marcato con colorante. Ciò avviene ad intervalli regolari in prossimità del bordo superiore della cuvetta riempita con acqua. Con un'eventuale ripetizione della colorazione del flusso in questi punti, l'andamento della corrente viene marcato dalle linee colorate formatesi. L'andamento della corrente cambia in corrispondenza degli intagli sulla carta vellutata. Il colorante rende visibili i rispettivi percorsi del flusso d'acqua. Una volta superato l'ostacolo, l'andamento originario della corrente viene gradualmente ripristinato.

A causa dello spessore ridotto dello strato d'acqua e della resistenza al flusso delle fibre della carta vellutata, la velocità della corrente è limitata a circa 2 mm/s. Ciò consente di osservare bene l'origine della figura delle linee di corrente generata dalla corrente laminare. Un particolare vantaggio dell'apparecchio per la linea di corrente dell'acqua consiste nella possibilità di conservare le figure di linee di corrente formatesi per un successivo utilizzo asciugando i fogli di carta vellutata.

## 5. Utilizzo

- Riempire con acqua la parte superiore della vasca verticale fino a pochi millimetri dal bordo.
- Scegliere quindi il pezzo di carta vellutata desiderato.
- Per prima cosa esso deve essere imbevuto con acqua. A tale scopo, è possibile far scorrere

dell'acqua sulla carta oppure immergerla completamente in un recipiente piano con acqua.

- Piegare verso l'interno la parte superiore della carta vellutata in modo tale che il lato vellutato sia rivolto verso l'osservatore.
- Sistemare la parte piegata sul bordo della parete di vetro acrilico in modo che risulti ben immersa nell'acqua.
- Sul lato anteriore passare la mano sulla carta vellutata procedendo dall'alto verso il basso. Ciò consente di eliminare eventuali bolle d'aria tra la parete di vetro acrilico e la carta.
- Inserire quindi la maschera sul foglio di carta vellutata sulla vasca superiore (ved. fig. 1).



Fig. 1

- Applicare la soluzione di colorante sugli intagli della maschera utilizzando il tampone. Se il colorante non è sufficiente, è possibile ripetere questa procedura.
- In caso di utilizzo di acqua colorata prestare attenzione, ad esempio, a non schizzare gli indumenti.

Sulla carta vellutata si forma gradualmente la figura della linea di corrente.

- Rimuovere quindi la maschera, estrarre la carta vellutata e asciugarla (ad es. appendendola ad un filo teso in senso orizzontale).

**Nota:** Gli intagli possono essere incisi con facilità su pezzi di carta vellutata adeguati. In questo modo è possibile scegliere qualsiasi forma e posizione per i corpi esposti a flusso circolare. La carta vellutata deve avere un colore quanto più chiaro possibile.

## 6. Esempi di esperimenti

### 6.1. Andamento della linea di corrente con una corrente laminare rettilinea

- Viene utilizzato il foglio di carta vellutata senza intagli.

Le linee colorate corrono verso il basso in senso verticale a distanza regolare l'una dall'altra (ved. Fig. 2).

Risultato: In una corrente laminare rettilinea tutte le linee di corrente corrono parallele. La direzione e la velocità della corrente sono uguali in tutti i punti.

## 6.2 Andamento della linea di corrente attorno a corpi di forma diversa

- Utilizzare uno dopo l'altro i fogli di carta vellutata con un intaglio circolare, un intaglio semicircolare e un intaglio rettangolare.

La corrente si divide davanti al corpo. Le linee di corrente corrono lateralmente al corpo. In questo modo la distanza reciproca tra le linee si riduce. Una volta superato il corpo, la corrente si riunisce. Tra le singole linee di corrente si ristabilisce all'incirca la stessa distanza presente prima del flusso circolare dell'ostacolo (ved. Fig. 3 a, b, c).

Risultato: Il corpo causa nelle sue immediate vicinanze una deviazione della direzione della corrente. In questo modo la velocità della corrente aumenta e le linee di corrente si avvicinano ulteriormente l'una all'altra. Al termine del flusso circolare, la velocità di corrente diminuisce di nuovo. La distanza tra le linee di corrente aumenta. Alla fine le linee corrono di nuovo in parallelo tra loro.

## 6.3. Flusso circolare di un profilo di superficie portante

- Eseguire l'esperimento con i fogli di carta vellutata con intaglio a forma di un profilo di superficie portante.

Sopra la superficie portante si verifica una notevole deviazione di direzione e compressione delle linee di corrente. Ciò determina una velocità di corrente elevata. Sotto la superficie portante la velocità di corrente non aumenta in misura così notevole. L'esperimento viene ripetuto con il foglio di carta

vellutata con angolo di inclinazione superiore a zero. La deviazione di direzione delle linee di corrente nella zona superiore è particolarmente marcata. Sotto il profilo di superficie portante le linee di corrente corrono prima verso il profilo per poi essere deviate verso il basso (ved. Fig. 4 a, b).

Risultato: La figura delle linee di corrente di un profilo di superficie portante consente di individuare il notevole aumento di velocità sopra il profilo per la ridotta distanza tra le linee di corrente. In caso di angolo di incidenza positivo, sotto la superficie portante il liquido circolante si sposta prima verso la superficie portante per poi essere deviato verso il basso.

## 6.4. Andamento della linea di corrente in presenza di un restringimento

- Viene utilizzato il foglio di carta vellutata con intagli su entrambi i lati.

Avvicinandosi al restringimento, la velocità di corrente aumenta. Le linee di corrente si avvicinano ulteriormente l'una all'altra. Uscendo dal restringimento, le linee tendono a separarsi fino a che viene raggiunto di nuovo l'andamento originario delle linee di corrente (ved. Fig. 5).

Risultato: In presenza di un restringimento, la distanza tra le linee di corrente diminuisce. La velocità di corrente aumenta in misura notevole. Una volta superato il restringimento, la distanza tra le linee di corrente aumenta di nuovo. La velocità di corrente diminuisce.

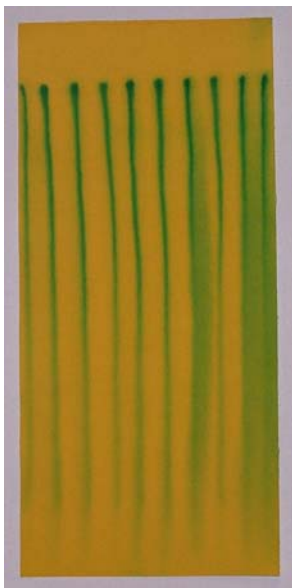


Fig. 2



Fig. 3 a, b c



Fig. 4 a, b

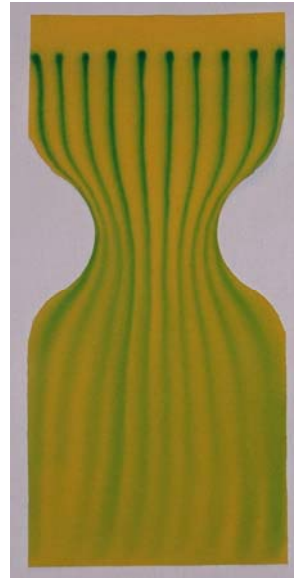


Fig. 5



## Aparato de líneas de corriente de agua 1006784 / U8404248

### Instrucciones de uso

02/12 ELWE/ALF



- 1 Hojas de papel aterciopelado
- 2 Tampón para colorante
- 3 Frasco con colorante
- 4 Cubeta de vidrio acrílico, plana
- 5 Cubeta de vidrio acrílico, alta
- 6 Máscara

### 1. Descripción

El aparato de líneas de corriente de agua sirve para la demostración y el estudio de corrientes laminares en el agua. Se pueden realizar experimentos sobre los siguientes temas:

- Generación de una corriente en el agua
- Curso de las líneas de corriente de agua en una corriente laminar rectilínea
- Curso de las líneas de corriente alrededor de cuerpos de diferentes formas
- Curso de las líneas de corriente alrededor de un ala de sustentación con diferentes ángulos de ataque
- Curso de las líneas de corriente en un estrechamiento

El aparato de líneas de corriente de agua se compone de dos cubetas de vidrio acrílico de forma rectangular. La cubeta alta está provista de un entresuelo, así que la parte superior se puede llenar de agua. La cubeta inferior sirve como base y recipiente, y recibe el agua que fluye de la cubeta superior. La corriente de agua tiene lugar dentro de una lámina cuadrada de papel aterciopelado, cuyo extremo superior entra en la cubeta alta. La lámina de papel aterciopelado lleva escotaduras, que hacen posible generar diferentes cursos de corriente. Sobre el papel aterciopelado, se encaja una máscara. Esta máscara lleva escotaduras a distancias iguales que hacen posible marcar con un colorante el curso de la corriente.

## 2. Volumen de entrega

2 Cuba de vidrio acrílico  
1 Máscara  
20 Hojas de papel aterciopelado con escotaduras  
1 Frasco con colorante  
Tampón para colorante  
Guantes de goma

## 3. Datos técnicos

Dimensiones: aprox. 220x140x240 mm<sup>3</sup>  
Masa: aprox. 1 kg

## 4. Principio funcional

Debido a la capilaridad y al peso del agua, ésta se absorbe de la cubeta superior y fluye hacia abajo en el papel de terciopelo con una velocidad constante baja, en el extremo inferior gotea y se recoge en la cubeta plana inferior. Para poder observar y trazar el curso de las líneas de corriente, la corriente de agua se marca con una sustancia colorante. Este procedimiento se hace a distancias iguales en la cercanía del borde de la cubeta llena de agua. En caso dado, coloreando repetidas veces la corriente en un punto, se puede marcar la línea de corriente que se genera. En las escotaduras del papel aterciopelado cambia el curso de la corriente. Debido al colorante se hacen visibles los diferentes caminos del agua que fluye. Después del obstáculo se retorna lentamente al curso original de la corriente.

Debido al reducido espesor de la capa de agua y de la resistencia a la corriente de los hilos en el papel aterciopelado la velocidad de la corriente de se limita a 2 mm/s. En esta forma se puede observar bien la generación de una distribución de líneas de corriente de la corriente laminar. Una ventaja especial del aparato de líneas de corriente de agua consiste en que las distribuciones que se originan se pueden mantener para un uso ulterior secando la hoja de papel aterciopelado.

## 5. Manejo

- Se llena de agua, hasta unos milímetros debajo del borde, la parte superior de la cubeta.
- Se selecciona la lámina de papel aterciopelado deseada.
- Primero se embebe de agua la lámina de papel. Para ello se puede mantener en un chorro de

agua corriente o sumergirla totalmente en un recipiente plano con agua.

- La parte superior del papel aterciopelado se dobla hacia atrás, la parte aterciopelada debe estar dirigida hacia el observador.
- Se coloca la parte algo doblada sobre el borde de la pantalla de vidrio acrílico de tal forma que que se sumerja bien en el agua.
- Se pasa la mano sobre la parte delantera del papel aterciopelado para evitar que se hagan burbujas entre el papel y la pared de vidrio acrílico externa de la cubeta alta.
- Luego se inserta la máscara sobre la cubeta superior, por encima de la lámina de papel aterciopelado (ver Fig. 1).



Fig. 1

- Con el tampón se lleva solución de colorante a las escotaduras de la máscara. Si el colorante no es suficiente, se repite el proceso.
- Al utilizar agua coloreada tenga cuidado de no salpicar las vestimentas.

Sobre el papel aterciopelado se desarrolla lentamente el correspondiente cuadro de líneas de corriente.

- Luego se retira la máscara, el papel aterciopelado se retira de la pared externa de la cubeta y se deja secar (p. ej: se puede colgar de hilo tendidos horizontalmente).

**Indicación:** Las propias escotaduras pueden ser cortadas correspondientemente en las láminas de papel aterciopelado. En este caso son posibles diferentes formas y posiciones de los cuerpos que son rodeados por la corriente. El papel aterciopelado debe ser en lo posible de un color claro.

## 6. Ejemplos de experimentos

### 6.1. Curso de las líneas de corriente en una corriente laminar rectilínea

- Se utiliza la hoja de papel aterciopelado sin escotaduras.

Las líneas de colores se mueven de arriba hacia abajo verticalmente a una distancia constante la una de la otra (ver Fig. 2).

Resultado: En una corriente laminar rectilínea las líneas de corriente se desarrollan paralelamente entre sí. La dirección y la velocidad de la corriente son iguales en todos los puntos.

### 6.2 Curso de las líneas de corriente alrededor de cuerpos de formas diferentes

- Utilice secuencialmente las hojas de papel aterciopelado con las escotaduras en forma de disco, semicírculo y rectangular.

Antes del cuerpo se establece cada vez una corriente. Las líneas de corriente se desarrollan paralelas alrededor del cuerpo. Durante esta fase del flujo la distancia entre las líneas se reduce. Después de pasar alrededor del cuerpo se restablece la corriente original. Entre las líneas de corriente se tiene ahora la misma distancia que se tenía antes de fluir alrededor del obstáculo (ver Fig. 3 a, b, c)

Resultado: El cuerpo en la corriente provoca en su cercanía un cambio de la dirección de la corriente. En esta caso la velocidad de la corriente aumenta y las líneas de corriente se acercan unas a las otras. Después de pasar alrededor del cuerpo la velocidad de la corriente vuelve a disminuir. La distancia entre las líneas de corriente vuelve a aumentar y luego fluyen paralelas entre sí.

### 6.3. Corriente alrededor de un ala de sustentación

- Realice el experimento con las hojas de papel aterciopelado que llevan una escotadura en forma de del perfil de una ala de sustentación.

En la parte superior del ala de sustentación se observa un fuerte cambio de la dirección de flujo y una compresión de las líneas de corriente. Como

consecuencia se tiene una velocidad de corriente mayor. En la parte inferior del ala de sustentación la velocidad de la corriente no aumenta tan fuertemente. Se repite el experimento con el papel aterciopelado haciendo el ángulo de inclinación mayor que cero. El cambio de la dirección de las líneas de corriente es especialmente más marcado. Por debajo del perfil las líneas de corriente se dirigen hacia éste para luego abrirse fuertemente (ver Fig. 4 a, b).

Resultado: El cuadro de las líneas de corriente de un ala de sustentación deja reconocer un fuerte aumento de la velocidad por encima del ala debido al curso comprimido de las líneas de corriente. En la parte inferior del ala teniendo un ángulo de ataque positivo, el líquido que fluye se mueve hacia el ala para luego ser rechazado.

### 6.4. Curso de las líneas de corriente en un estrechamiento

- Se utiliza una lámina de papel aterciopelado que lleva escotaduras a ambos lados de la corriente.

Al acercarse al estrechamiento aumenta la velocidad de la corriente. Las líneas de corriente se acercan entre sí. Al abandonar el estrechamiento vuelven a dispersarse las líneas llegando al curso original que se tenía antes del estrechamiento (ver Fig. 5).

Resultado: En un estrechamiento se reduce la distancia entre las líneas de corriente. La velocidad de la corriente aumenta fuertemente. Después del estrechamiento vuelve a aumentar la distancia entre las líneas de corriente. La velocidad de la corriente se reduce.

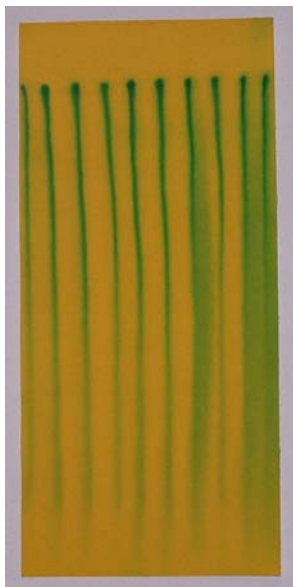


Fig. 2



Fig. 3 a, b c



Fig. 4 a, b

Fig. 5

## Instrumento laminar do fluxo 1006784 / U8404248

### Instruções de operação

02/12 ELWE/ALF



- 1 Folha de papel veludo
- 2 Aplicadores para o colorante
- 3 Garrafinha com colorante
- 4 Bacia de vidro acrílico, baixa
- 5 Bacia de vidro acrílico, alta
- 6 Máscara

### 1. Descrição

O instrumento laminar do fluxo serve para a demonstração e a pesquisa de correntes laminares na água. As experiências relativas aos seguintes itens podem ser realizadas:

- Formação de uma corrente na água
- Percurso de linhas de corrente numa corrente laminar retilínea na água
- Percurso de linhas de corrente ao contornar corpos de formas diferentes
- Percurso das linhas de corrente envolta de um perfil de asa em diversos ângulos de posicionamento
- Percurso de linhas de corrente num estreitamento

O instrumento laminar do fluxo consiste em duas bacias de vidro acrílico em forma de paralelepípedo. A bacia alta é equipada de um fundo intermediário, de modo que a sua parte superior pode ser preenchida com água. A bacia inferior serve de pires para a retenção da água que desce. A corrente da água ocorre em pedaços quadrados de papel veludo, cuja ponta superior penetra na bacia alta. As folhas de papel veludo possuem áreas vazadas que permitem a criação de diferentes percursos de corrente. Uma máscara é aplicada sobre o papel veludo. Esta possui áreas vazadas que servem para a marcação homogênea das correntes com colorantes.

## 2. Fornecimento

2 recipientes de vidro acrílico  
1 máscara  
20 folhas de papel veludo com ressalvas  
1 garrafinha com corante  
Tampão para o corante  
Luvas de borracha

## 3. Dados técnicos

Dimensões:                   aprox. 220x140x240 mm<sup>3</sup>  
Massa:                         aprox. 1 kg

## 4. Princípio de funcionamento

Em consequência da capilaridade e da força do peso da água, esta é absorvida da bacia superior e flui com baixa e constante velocidade através do papel veludo para baixo. Lá, ela pinga e se acumula na bacia baixa. Para se poder observar e registrar o percurso das linhas de corrente, a corrente de água é marcada com corante. Isto ocorre perto da beira superior da cubeta cheia de água, a distâncias constantes. Através da coloração repetida da corrente neste ponto, o percurso da corrente é marcado pelas linhas coloridas que então surgem. Nas áreas vazadas do papel veludo, o percurso da corrente é alterado. Graças ao corante cada percurso da corrente de água torna-se visível. Após o obstáculo, o percurso original da corrente se reestabelece.

Por causa da pouca espessura da camada de água e da resistência à corrente das fibras do papel veludo a velocidade da corrente é limitada a uns 2 mm/s. Assim podese observar bem o surgimento da corrente laminar. Uma vantagem particular do aparelho de linhas de corrente consiste no fato que as imagens de linhas de corrente formadas podem ser guardadas para utilização posterior ao secarem as folhas de papel veludo.

## 5. Operação

- Encher com água a parte de cima da bacia alta até poucos milímetros abaixo da beira.
- Logo, escolher o pedaço de papel veludo desejado.
- Primeiro este é embebido com água. Para tal, podese deixar fluir água sobre o papel ou submergi-lo completamente num recipiente cheio de água.
- A parte superior do papel veludo deve ser dobrado para trás de modo que a parte aveludada se encontre de frente para o observador.

- Colocar a parte dobrada de tal maneira sobre a borda da parede acrílica, para que alcance bem a água.
- Na parte frontal passa-se a mão de cima para baixo sobre o papel veludo. Desse modo são eliminadas eventuais bolhas de ar que se encontrassem entre o vidro acrílico e o papel.
- Logo, colocar a máscara por cima da folha de papel veludo sobre a bacia (ver fig. 1).



Fig. 1

- Com o aplicador, colocar corante nas áreas vazadas da máscara. Caso o corante não seja suficiente podese repetir a operação.
- Ao utilizar água tingida, tomar cuidado para não respingar, por exemplo, nas roupas.

Desenvolve-se progressivamente sobre o papel veludo as diferentes imagens das linhas de corrente.

- Logo a máscara é retirada, o papel veludo extraído e secado (por exemplo, pendurado numa linha esticada horizontalmente).

**Observação:** as áreas vazadas podem ser facilmente cortadas em pedaços de papel veludo apropriados, sendo que qualquer forma e posição dos corpos contornados pela corrente são possíveis. O papel veludo deve ter a cor mais clara possível.

## 6. Exemplos de experiência

### 6.1. Percurso de linhas de corrente em correntes laminares retilíneas

- O papel veludo sem vazados é útil neste caso.
- As linhas coloridas fluem a distâncias constantes umas das outras verticalmente para baixo (ver fig. 2).  
Resultado: numa corrente laminar retilínea, todas as linhas de corrente têm um percurso paralelo. A direção e a velocidade das correntes são iguais em todos os pontos.

### 6.2. Percurso das linhas de corrente envolta de corpos de diversas formas

- Utilizar as lâminas de veludo um após da outra com um entalhe circular, um em forma semicircular e um retangular.

Antes de cada objeto a corrente se divide. As linhas de corrente seguem um percurso envolta do corpo do objeto, sendo que a distância entre elas se reduz.

Depois de ter passado pelo objeto a corrente volta a se unificar. Entre cada linha de corrente reestabelece-se aproximadamente a mesma distância encontrada antes de passar pelo obstáculo (ver fig. 3 a, b, c).

Resultado: o corpo na corrente provoca uma alteração da direção da corrente na sua proximidade imediata. Ao acontecer isto, a velocidade da corrente aumenta e as linhas se aproximam umas das outras. Após a passagem pelo obstáculo, a velocidade da corrente volta a reduzir-se e a distância entre as linhas volta a crescer. Finalmente, elas voltam a seguir percursos paralelos.

### 6.3. Desvio da corrente entorno a uma forma de asa

- Executar a experiência com as lâminas de veludo com um entalhe em forma de perfil de superfície de suporte (asa).

Acima da asa ocorre uma mudança forte de direção e as linhas ficam mais próximas umas das outras. Daí resulta uma alta velocidade de corrente. Por baixo da asa a velocidade não aumenta tanto. A experiência é repetida com a folha de papel veludo posicionada num ângulo de inclinação maior que zero. A mudança de direção das linhas de corrente é particularmente forte na parte superior. Por baixo do perfil de asa as linhas de corrente dirigem-se em

direção à asa, para logo serem empurradas para baixo (ver fig. 4 a, b).

Resultado: a imagem das linhas de corrente de um perfil de asa apresenta um forte aumento da velocidade acima do perfil em consequência do percurso estreito das linhas de corrente. Por baixo da asa, no caso de um ângulo de posição positivo, o fluxo do líquido dirige-se primeiro em direção à asa para logo ser desviado para baixo.

### 6.4. Percurso das linhas de corrente num estreitamento

- Utiliza-se neste caso a folha de papel veludo com vazamentos em ambos lados.

Ao aproximar-se do estreitamento, a velocidade da corrente aumenta. As linhas de corrente aproximam-se umas das outras. Ao passar o estreitamento, as linhas voltam a distanciar-se umas das outras, de modo que o percurso inicial é reestabelecido (ver fig.5).

Resultado: num estreitamento, a distância entre as linhas diminui e a velocidade da corrente aumenta fortemente. Após o estreitamento a distância entre as linhas volta a aumentar. A velocidade da corrente diminui.

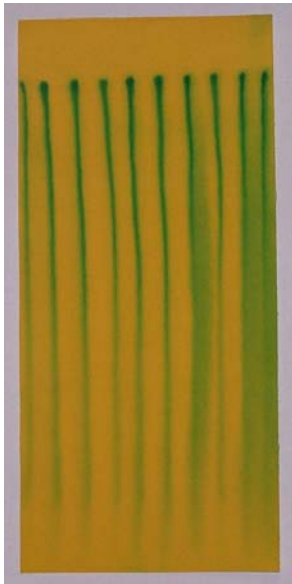


Fig. 2



Fig. 3 a, b c



Fig. 4 a, b

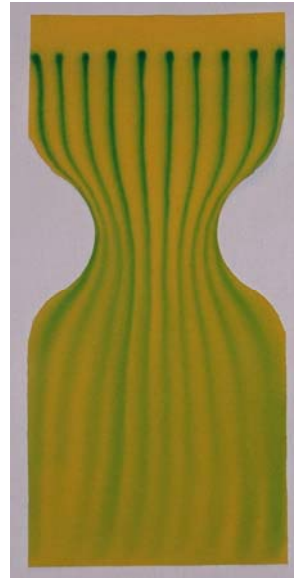


Fig. 5