

Das Gleiche anders sehen (Teil 2)

Vielfältige Möglichkeiten zur Betrachtung von Tropfbildern

Im Teil 1 dieser Darstellung wurden verschiedene Sichtweisen auf Tropfbilder gezeigt. Es waren vor allem Phänomene der Wasseroberfläche, die durch unterschiedliche Beleuchtungen entstanden sind und keine Anfärbungen mit Farbstoffen und ähnlichem nötig hatten. Außerdem wurden Strömungsbewegungen durch Partikel (Lycopodiumsporen) sichtbar gemacht, die auf der Wasseroberfläche schwammen, Abbildung 1. Durch verlängerte Belichtungszeiten beim Fotografieren entstanden Lichtspuren der Partikel, welche die Bewegungsrichtungen zeigen.

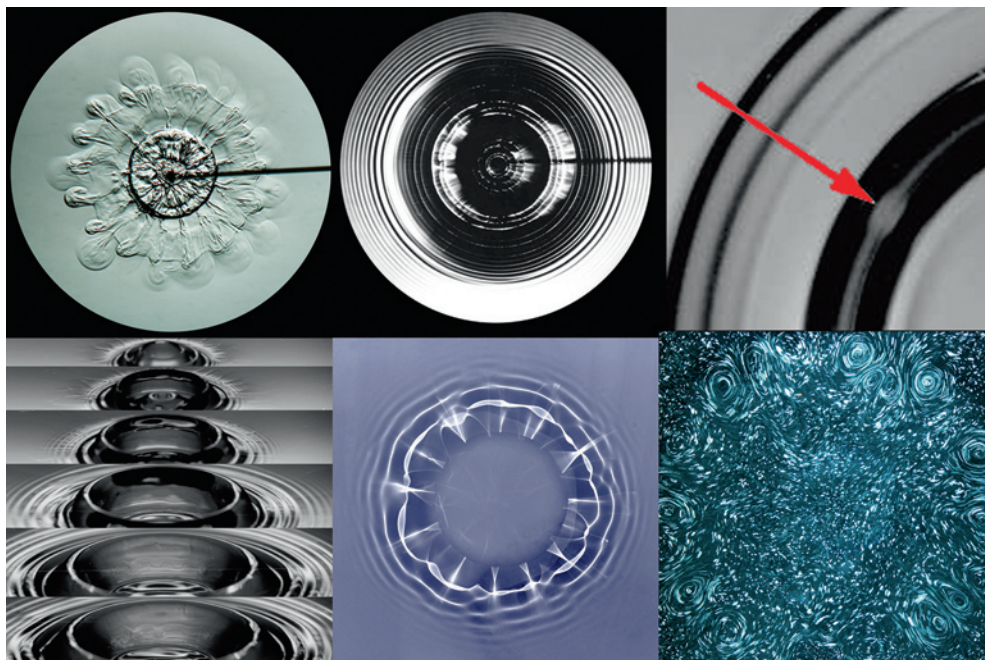


Abb. 1: Von oben links nach unten rechts:

1. Tropfbild-Schlierendarstellung
2. Wellen der Wasseroberfläche
3. Von unten kommender Wirbel verformt die Wasseroberfläche
4. Eintauchen des Tropfens von schräg oben gesehen
5. Die Form der Wasseroberfläche wirft Schatten und Lichter auf den Schalenboden
6. Partikelspuren zeigen ihre Bewegungen.

Phänomene, um die es im Folgenden geht

Im Folgenden soll es um Phänomene im Wasserkörper und auf dem Schalenboden gehen. Dabei wird zur Anfärbung vor allem Tinte, Milch und Kreidestaub verwendet.

Zusätzlich zu den Anfärbungen kommen bestimmte Beleuchtungsverfahren mit denen man das Strömungsgeschehen im Volumen sichtbar machen kann. Eine weitere Beobachtungsmöglichkeit erhält man durch Filmaufnahmen mit langsamen und schnellen Bildfolgezeiten.

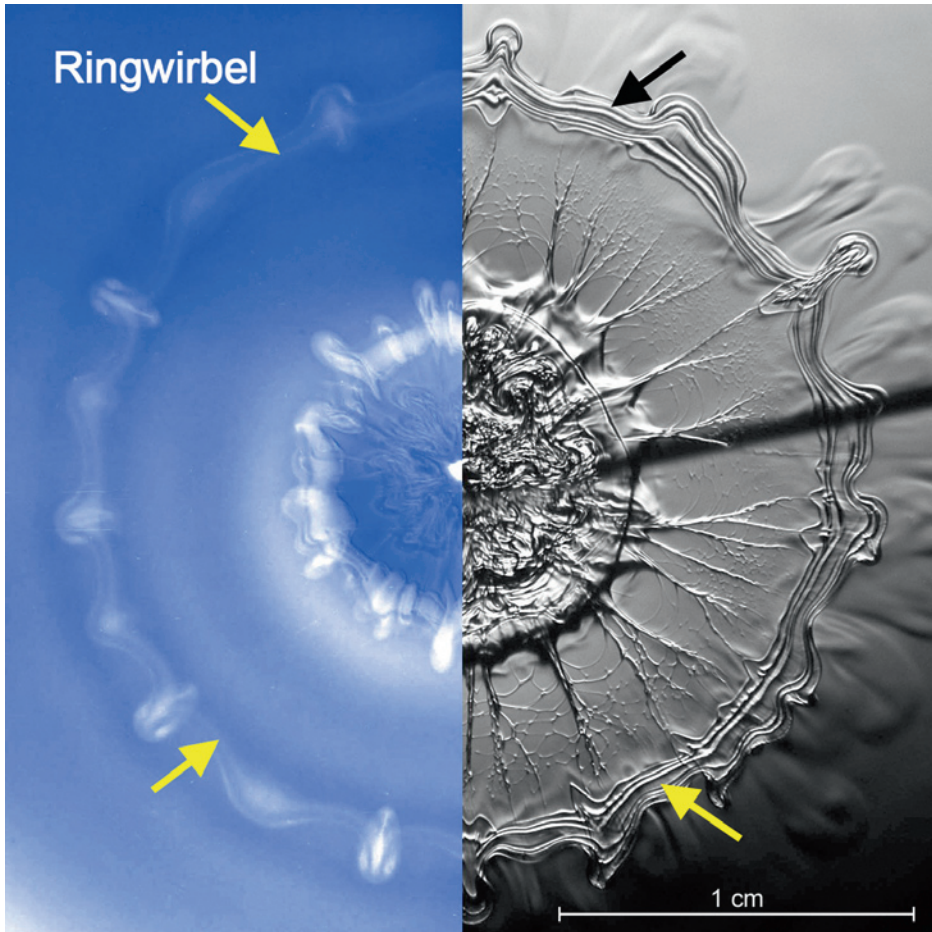


Abb. 2, links: Anfärbung der Wasserschicht mit Tinte.

Rechts: Standard-Versuch, aufgenommen mit Blitz in einem frühen Moment bei maximaler Ausbreitung der Wirbel

Die Abbildung 2 zeigt einen Vergleich von zwei unterschiedlichen Sichtbarmachungen von Tropfbildern. Im linken Bild wurde die Wasserschicht mit Tinte gefärbt. Die Tropfen waren ungefärbtes Aqua dest. Das Bild entstand dadurch, dass die blaue Wasserschicht von den Tropfen verdrängt wurde, so dass die Wirbel als helle Strukturen erscheinen.

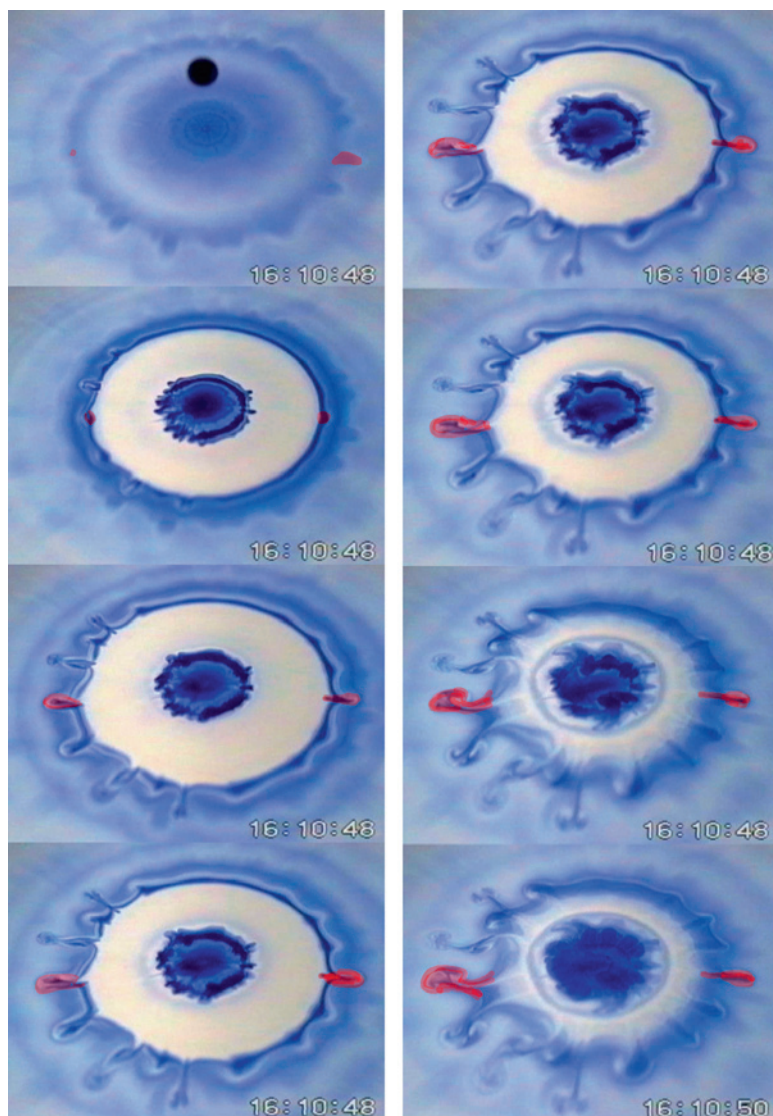
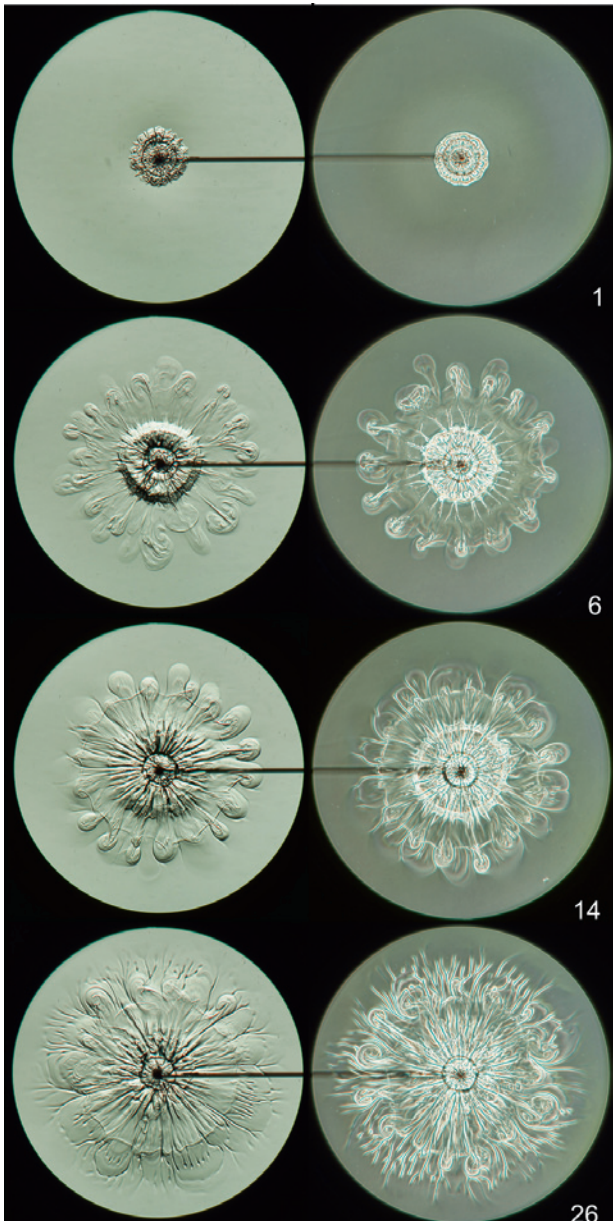


Abb. 3: Entstehung eines Tropfbildes durch Tintentropfen. Bildsequenz aus Videoaufnahme.



Das rechte Bild (S. 35) entstand unter Standardbedingungen, einziger Unterschied war die kurze Belichtungszeit, wodurch feine Schlieren sichtbar wurden. Die Gegenüberstellung zeigt, dass die Hauptstrukturen sich entsprechen. Die Pfeile markieren den sogenannten Girlanden-Ringwirbel, aus dem die kleinen Wirbel hervorgehen.

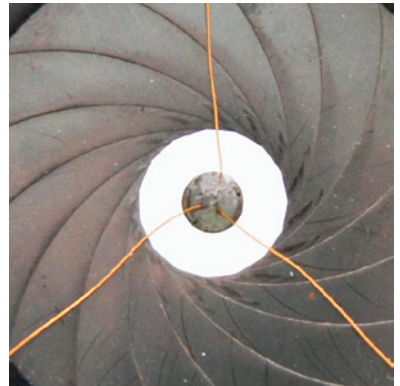


Abb. 4, links: Bilder aus Standard-Tropfbildversuch. Die Schlierenbeleuchtung ist asymmetrisch, dadurch machen die Bilder einen reliefartigen Eindruck.

Mitte: Strömungsphysikalisch sind die Tropfbilder denen links genau gleich. Einziger Unterschied ist die Beleuchtung mit einer ringförmigen Schlierenblende. Die Zahlen am rechten Rand geben die Anzahl der gefallen Tropfen wieder. **Ganz rechts:** ringförmige Blende.

Entstehung eines Tropfbildes

Abbildung 3 zeigt die Entstehung eines Tropfbildes anhand einer Sequenz von Bildern aus einem Video. Reihenfolge der Bilder von oben links bis unten rechts. Erstes Bild: Fallen des Tropfens; zweites Bild: Der Tropfen hat die Tinte der vorangegangenen Tropfen nach außen geschleudert, so dass im weißen Bereich keine Flüssigkeit mehr ist. Der Girlandenringwirbel erscheint als dunkler Ring an der Grenze vom weißen zum blauen Bereich. Kleine Verdickungen sind der Beginn von Tropfbildwirbeln; drittes Bild: die Verdickungen werden mehr und größer; viertes Bild: einige Wirbel werden noch größer, länger und differenzierter. Beim dritten Bild erreicht der wasserfreie Bereich sein Maximum, um dann wieder zuzulaufen, Abbildung 3.

Zwei Tropfbildwirbel sind rot markiert.

Standard-Schlierenbild und Ring-Schlierenbild

Die strömungsphysikalischen Bedingungen der Tropfbilder auf Abbildung 4 links und Mitte sind genau gleich. Der einzige Unterschied besteht in der Beleuchtung mit einer ringförmigen Schlierenblende, bei der in alle Richtungen abgelenktes Licht gleichberechtigt ist. Außerdem gibt es keine Schatten wie auf den Bildern links.

Die ringförmige Schlierenblende erzeugt einen ganz anderen Bildeindruck.

Sie besteht aus einem Loch, in das zentrisch eine kleine runde Platte befestigt ist, sodass ein lichtdurchlässiger Ring entsteht, Abbildung 4 rechts.

Farbige Schlierenblende

Statt der normalen Blende wurde ein zweifarbiger Filter eingesetzt, so dass eine Hälfte des durchgehenden Lichtes durch die blaue Filterseite ging und der andere Teil durch die rote Filterseite.

Beleuchtung mit der Sonne

Eine Tropfbildschale steht mit ca. 3 mm dicken Abstandshaltern auf einem weißen Untergrund. In der Schale befindet sich Wasser mit Glycerin und das ganze wird von der Sonne beschienen. Beim Eintauchen der Tropfen entstehen Schlieren, die das Licht ablenken und dadurch auf dem weißen Untergrund Schatten machen. Der Abstand zum Untergrund bestimmt die Schärfe des Schattenbildes, Abbildung 6.

Sichtbarmachung mit Kreidestaub

Kreidestaub ist sehr fein und setzt sich schnell ab. Dadurch ist er geeignet, Vor-

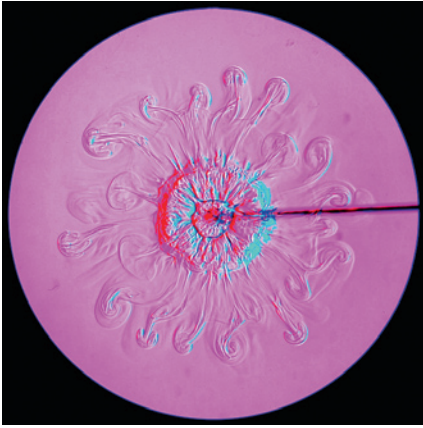


Abb. 5: Standard-Tropfbild mit farbiger Schlierenblende

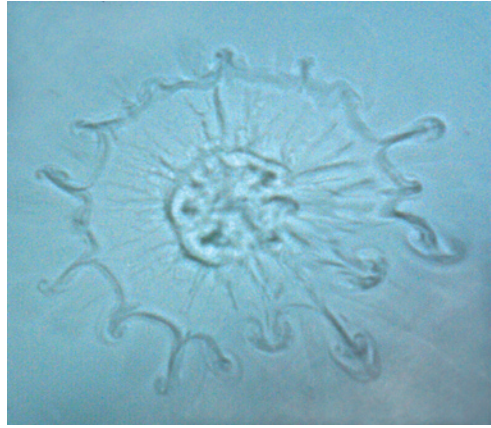


Abb. 6: Standard-Tropfbild, aber beleuchtet mit Sonnenlicht

gänge am Schalenboden sichtbar zu machen. In Abbildung 7 hat sich die Kreide am Boden der Schale abgesetzt und wird von der Tropfbild-Schlierenapparatur durchleuchtet, aufgehellter Bereich in Schalenmitte. Im Zentrum sind ein paar Tropfen hereingefallen und haben im Bereich des schwarzen Ringes den Kreidestaub durch einen Girlandenringwirbel weggespült. Der weggespülte Kreidestaub hat sich weiter innen wieder abgesetzt, heller Ring.

Die Lichtschranke auf Abbildung 7 ermöglicht es im Zusammenhang mit einem Computer frei zu bestimmen, welcher Moment des Geschehens fotografiert oder gefilmt werden soll. Siehe auch Abbildung 8.

Einfachblättrige Tropfbilder

Wenn die Wasserprobe etwas verschmutzt ist oder wenn man organische Flüssigkeiten untersucht, kann es sein, dass die Tropfbilder sich nach einer Zahl von Tropfen, die in die Probe gefallen sind, deutlich verändern: Der Durchmesser vom Girlandenringwirbel wird kleiner und die Tropfbildwirbel werden kürzer und einfacher, sie gliedern sich nicht mehr in Wirbel und Stiel.

Abbildung 9 und 10 zeigen diesen Effekt in einer Gegenüberstellung.

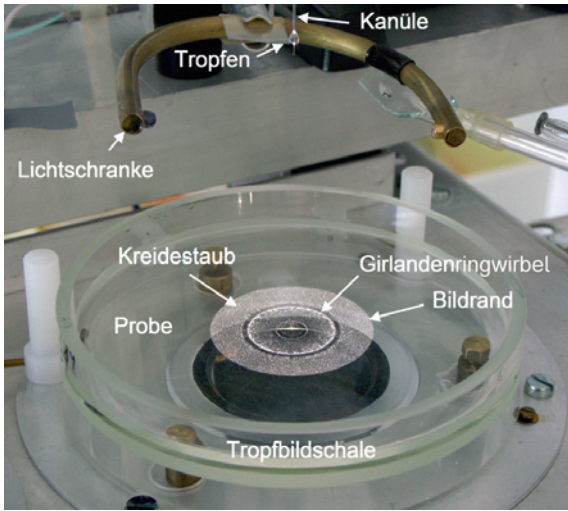


Abb. 7:

Tropfbild Versuchsaufbau

Die Tropfbildschale hat einen Innendurchmesser von 14 cm. Der durchleuchtete, mittlere Teil, der das Tropfbild liefert, hat einen Durchmesser von 5,3 cm.

In der Tropfbildschale befindet sich eine Wasserprobe mit Kreidestaub. Die Kreide hat sich am Boden der Schale abgesetzt und wird von der Tropfbild-Schlierenapparatur durchleuchtet, aufgehellter Bereich in Schalenmitte.

In der Mitte sind ein paar Tropfen hereingefallen und haben im Bereich des schwarzen Ringes den Kreidestaub durch einen Girlandenringwirbel weggespült.

Der weggespülte Kreidestaub hat sich weiter innen wieder abgesetzt, heller Ring. Statt Kreidestaub kann man auch Lycopodium-Sporen verwenden, wenn man sie vorher in Wasser geschüttelt hat, damit sie ins Wasser eintauchen.

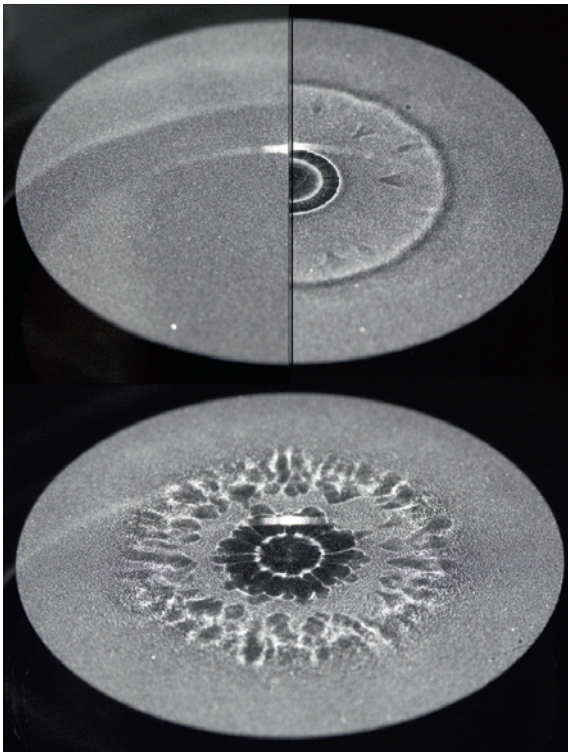


Abb. 8, oben links:

Eine Kreideschicht hat sich auf dem Boden der Schale abgesetzt und wird von unten durchleuchtet. Auf dem oberen Bild **rechte Hälfte**, wurde an dunklen Stellen Kreide von den Wirbeln weggespült und an hellen Stellen wieder abgelagert. Der große dunkle Kreis entsteht durch einen Ringwirbel in der Flüssigkeitsschicht (auch Girlandenringwirbel genannt), aus dem die kleinen Wirbel hervorgehen, zu sehen auf Abb. 3.

Im Einschlagzentrum der Tropfen wurde der Kreidestaub fast vollständig weggespült.

Im unteren Bild sind viele dunkle Stellen entstanden. Dort hat es viele große Einzelwirbel gegeben, die die Kreide weggespült haben. Die Bilder zeigen die Dynamik des Wirbelgeschehens am Schalenboden.

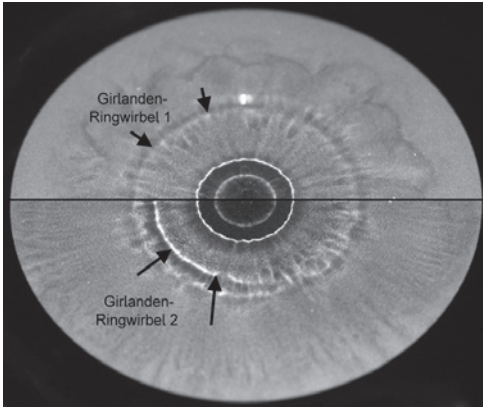


Abb. 9: Einfachblättrigkeit bei Kreidestaub.

Der obere Bildteil zeigt den Girlanden-Ringwirbel vor dem Entstehen der Einfachblättrigkeit. Der untere zeigt die Schrumpfung des Girlanden-Ringwirbels im fortgeschrittenen Versuch.

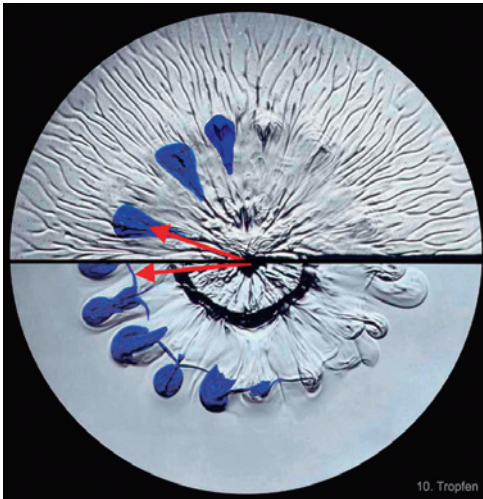


Abb. 10: Einfachblättrigkeit beim Standard-Tropfbildversuch.

Die untere Bildhälfte zeigt einen Girlanden-Ringwirbel mit relativ großem Durchmesser (unterer roter Pfeil) wie er am Versuchsbeginn auftritt. Die obere Bildhälfte (oberer roter Pfeil) zeigt einfachblättrige Wirbel und einen geschrumpften Girlanden-Ringwirbel.

Auf dem Kreidebild, Abbildung 9 oben, sieht man deutlich den großen Kreis vom Girlanden-Ringwirbel (Pfeile 1,) wie er beim Versuchsanfang entsteht. Im unteren Bild sieht man, wie plötzlich im fortgeschrittenen Versuch der Durchmesser des Girlanden-Ringwirbels kleiner wird (Pfeile 2). Die Tropfenzahl beim Übergang vom oberen zum unteren Bild wird Umschlagspunkt genannt. Die Tropfbild-Wirbel können in der dünnen Wasserschicht vom Schalenboden bis zur Wasseroberfläche reichen und starke Wirbel können die Kreide am Boden wegspülen. Es ist ein konservativer Prozess: Da, wo Kreidestaub wiederholt weggespült wird, entstehen dunkle, partikelfreie, Stellen und wo sich die Kreide wieder ablagert entstehen helle Bereiche. Es zeigt sich, dass der Girlanden-Ringwirbel ein relativ starker Wirbel ist.

Der Durchmesser des Girlanden-Ringwirbels ist ein sehr reproduzierbares Merkmal, das mit verschiedenen Parametern korreliert. Man sieht z.B., ob der Versuch wirbelarm war oder die Wirkung der Fallhöhe, der Wasserschichtdicke, u.a. Mit Hilfe der Kreide kann man einiges von den Strömungen in der Wasserschicht lernen.

Lichtschnitt Beleuchtungsverfahren

Hat man ein Gefäß mit Flüssigkeit, in dem Partikel schwimmen (Lycopodium) und beleuchtet diese, verdecken die vorderen Partikel die weiter hinten befindlichen. Das macht die Beobachtung schwierig. Beleuchtet man nur einen schmalen Bereich, bleiben die restlichen Partikel dunkel und stören nicht. Man benötigt eine Lichtquelle, die nur einen dünnen Spalt beleuchtet. So können die Bewegungen der Partikel sichtbar werden, wie sie in den beleuchteten Bereich herein und heraus wandern oder im Lichtschnitt sich bewegen. Die Schnittbeleuchtung im Tropfbildversuch bestand aus einem 0,1 mm breiten Spalt, der unter der Tropfbildchale befestigt war. Er war mit schwarzem Samt beklebt, um Streulicht zu eliminieren. Paralleles Licht wurde senkrecht von unten auf den Spalt projiziert. In einem dritten Teil werden noch weitere Beispiele von Sichtbarmachungen beschrieben werden.

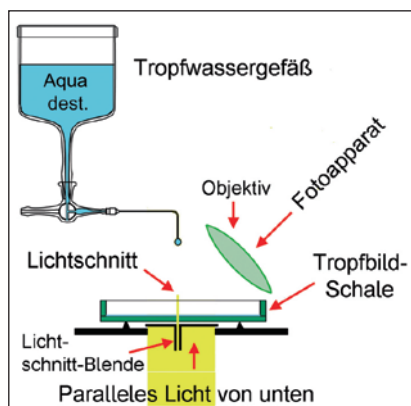


Abb. 11: Versuchsaufbau von Lichtschnitt-Beleuchtung

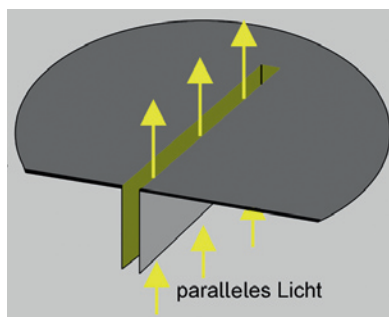


Abb. 12: Lichtschnitt, schematisch
Paralleles Licht kommt von unten, geht durch den Spalt und bildet eine dünne Lichtschicht. Alles, was in die Schicht gerät, leuchtet hell auf.

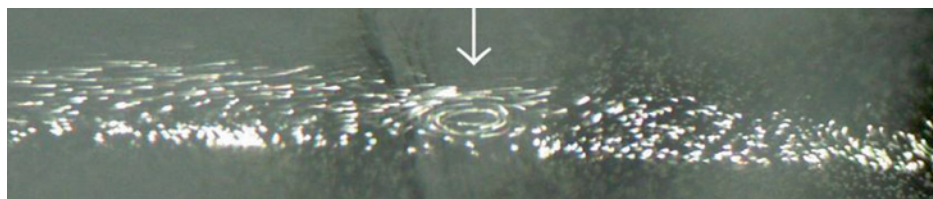


Abb. 13: Im Lichtschnitt in der ca. 1 mm dünnen Wasserschicht aufleuchtende Sporen. In Bildmitte (Pfeil) sieht man einen Schnitt durch den Girlanden-Ringwirbel. Da der Lichtschnitt 45 Grad schräg von oben fotografiert wurde, erscheint er elliptisch.

Andreas Wilkens

Fotos: Andreas Wilkens