

Das Gleiche anders sehen (Teil 1)

Vielfältige Möglichkeiten zur Betrachtung von Tropfbildern

Einleitung

Wenn man sich ein Bild von etwas machen will, so ist es oft ratsam, die Sache von mehreren Seiten zu betrachten.

Der Tropfbildversuch zeigt im Wesentlichen nur einen Aspekt des Eintauchvorganges eines Tropfens ins Wasser. Weitere Erscheinungsebenen sollen hier betrachtet werden.

Im Standard-Tropfbildversuch fallen Tropfen destillierten Wassers in eine dünne, mit Glycerin gemischte Wasserschicht, wodurch Strömungen und Schlieren entstehen, die von einer Schlierenoptik von unten durchleuchtet und sichtbar gemacht werden.

In der Regel werden 40 Tropfen im 5-Sekunden-Takt, in die Wasser- Glycerinschicht fallen gelassen. Dabei entstehen mit zunehmender Tropfenzahl zunehmend kompliziertere Muster.

Die Tropfen haben einen Durchmesser von ca. 3 mm und fallen aus 10,15 cm Höhe in die Wasserglycerinschicht, die eine Dicke von 1,1 mm hat. Die runde Glas- küvette hat einen Innendurchmesser von 14 cm und einen planparallelen Boden. Der Bildausschnitt beträgt 53 mm (Abb. 17).

Bedenkt man, dass der Eintropfvorgang bei jedem Tropfen immer gleich ist, so ist es zunächst erstaunlich, dass mit zunehmender Tropfenzahl die Strömungs- formen sich deutlich verwandeln (Abb.1).

Der wichtigste, beeinflussende Faktor im Tropfbildversuch ist die Beschaffenheit der Wasserprobe. Wenn alle anderen Bedingungen konstant gehalten werden, so ergeben sich Unterschiede, die nur von ihr herrühren.

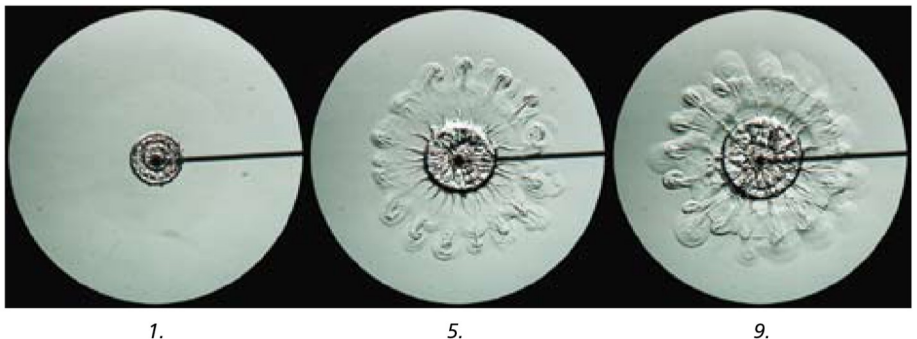


Abb. 1: Tropfbilder verschiedener Tropfenzahlen aus einem Versuch mit Aqua dest.

Erscheinungsebenen in Tropfbildern ohne Anfärbung

Die Wasseroberfläche – die Welt der Wellen

Wenn ein Tropfen ins Wasser fällt, sieht man ohne Anfärbung nur wellenartige Bewegungen auf der Wasseroberfläche, Abbildungen 2, 3 und 4. Zuerst entsteht eine Vertiefung im Einschlagszentrum des Tropfens, auch Krater genannt, Abbildung 4 oben. Dann entsteht eine Schar von konzentrischen Wellen und wenn sich das Kraterloch wieder schließt, entsteht eine Aufwölbung der Wasseroberfläche im Zentrum. Es ist der Beginn eines aufsteigenden Wasserspritzers, Jet genannt, der sich aber im Tropfbildversuch nicht entwickelt. Die Bewegungen auf der Wasseroberfläche sind so schnell, dass man sie mit bloßem Auge kaum wahrnimmt. In einer Schlierenoptik nimmt man nur eine kurze blitzartige Dunkelheit wahr, Abbildung 2.

Die Wasseroberfläche verrät aber auch etwas davon, was in ihr geschieht, so kann ein Wirbel in der dünnen Wasserschicht die Wasseroberfläche berühren oder aufwölben und in Bewegung bringen, Abbildung 3.

Abbildung 5 zeigt Lichtspiegelungen und Schatten von Wellen beim Eintauchen eines Wassertropfens in eine dünne Wasserschicht. Der Versuchsaufbau ist wie bei den Versuchen zuvor, jedoch ohne Anfärbung. Die Helligkeitsunterschiede rühren alleine von Wellen und Bewegungen an der Wasseroberfläche her, die von einem Blitz aus größerer Höhe (ca. 1,6 m) auf einen Film belichtet wurden, der auf dem Schalenboden unter der Wasserschicht lag.



13.

17.

21. Tropfen

Fortsetzung von linker Seite

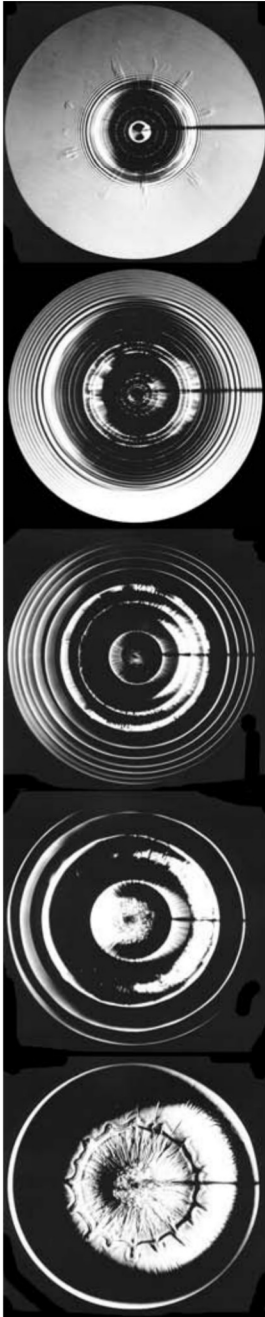


Abb. 2: Aufeinanderfolgende Momente beim Eintauchen eines Wassertropfens mit Wellenbildungen. Zeitliche Folge von oben nach unten. Aufnahme in Schlierenoptik mit Blitz senkrecht von oben gesehen und Glycerin in der Wasserprobe. Ohne Glycerin wären die Tropfbildwirbel (kreisförmige dunkle Struktur) im untersten Bild nicht zu sehen.

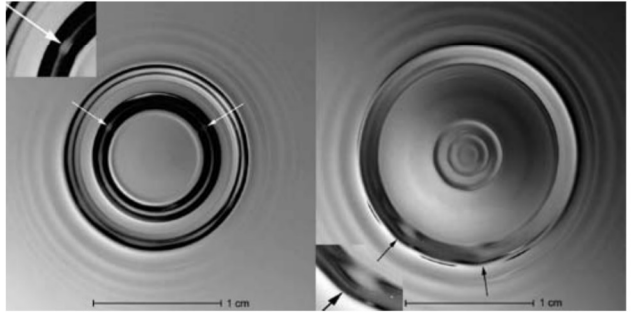


Abb. 3: Strömungsbewegungen in der Wasserschicht können auch die Wasseroberfläche verformen. Siehe Pfeile. Beleuchtet wurden die Wellen mit Licht von schräg rechts oben, damit die Strukturen an der Oberfläche Schatten werfen und so sichtbar werden. Die konzentrischen Kreise sind Schatten von Wellen, die kleinen mit Pfeilen markierten Verdickungen kommen von Wirbeln unter der Wasseroberfläche.

Die Wasserschicht – die Welt der Wirbel

In der dünnen Wasserschicht im Tropfbildversuch finden differenzierte Strömungen statt: Ringwirbel, die sich gliedern, Tropfbildwirbel, die daraus hervorgehen und dendritenartige Strömungen. Von all dem ist ohne Anfärbung nicht das geringste zu sehen. Das Wasser scheint still zu sein, obwohl es in Bewegung ist. Z. B. das Wasser in einem offenen Glas, mit offener Wasseroberfläche, beginnt sofort zu verdunsten, dadurch abzukühlen, abzusinken und das untere wärmere Wasser beginnt aufzusteigen.

Diese Vorgänge kann man durch verschiedene Anfärbungen sichtbar machen und dabei treten ganz neue Phänomene auf.

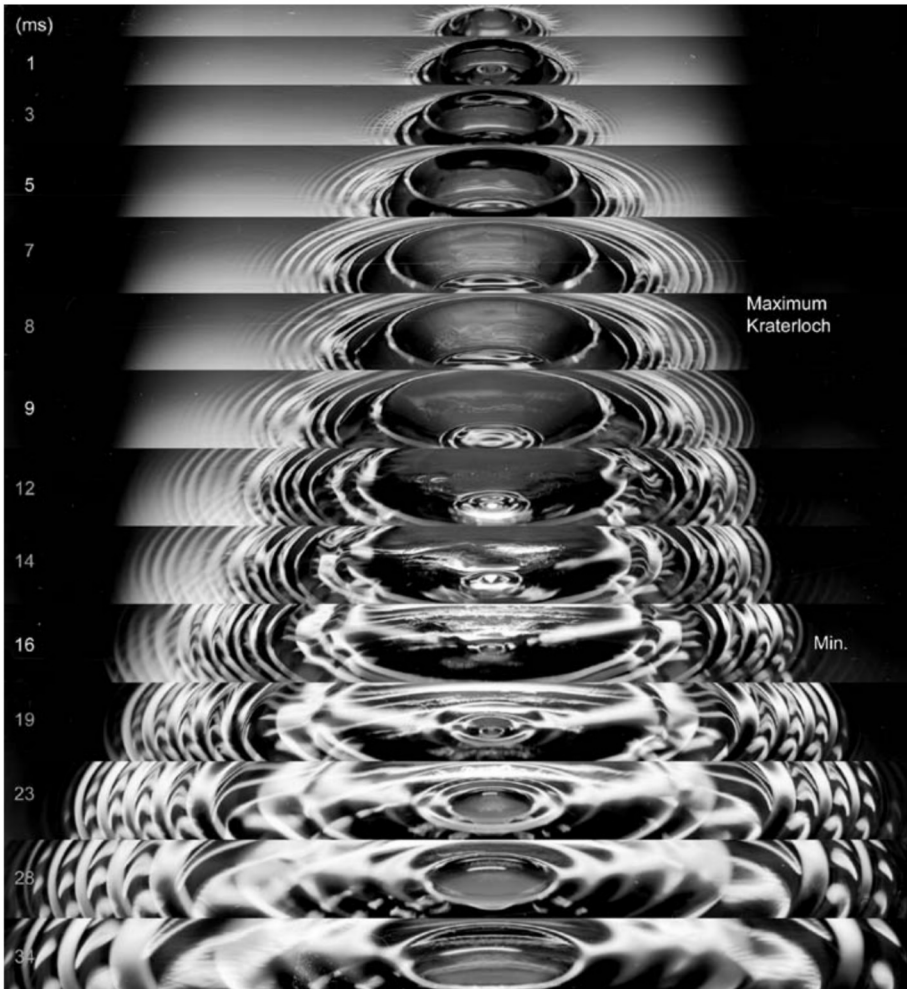


Abb. 4: Wie Abbildung 2, aber schräg von oben gesehen. Am linken Bildrand befindet sich eine Zeitskala in Millisekunden. Auf dem obersten Foto sieht man noch den halb eingetauchten Tropfen. In den Fotos darunter sieht man, wie das Kraterloch wächst, umgeben von einem steilen Wellenring. Außerhalb von diesem entstehen konzentrisch angeordnete Kapillaren, die der großen Welle vorauslaufen. Bei 8 ms erreicht das Kraterloch sein Maximum und beginnt sich zu füllen. Bei 16 ms ist das Loch gefüllt und es entsteht eine kleine Aufwölbung. Die zeitlichen Abstände zwischen den Fotos sind unterschiedlich.

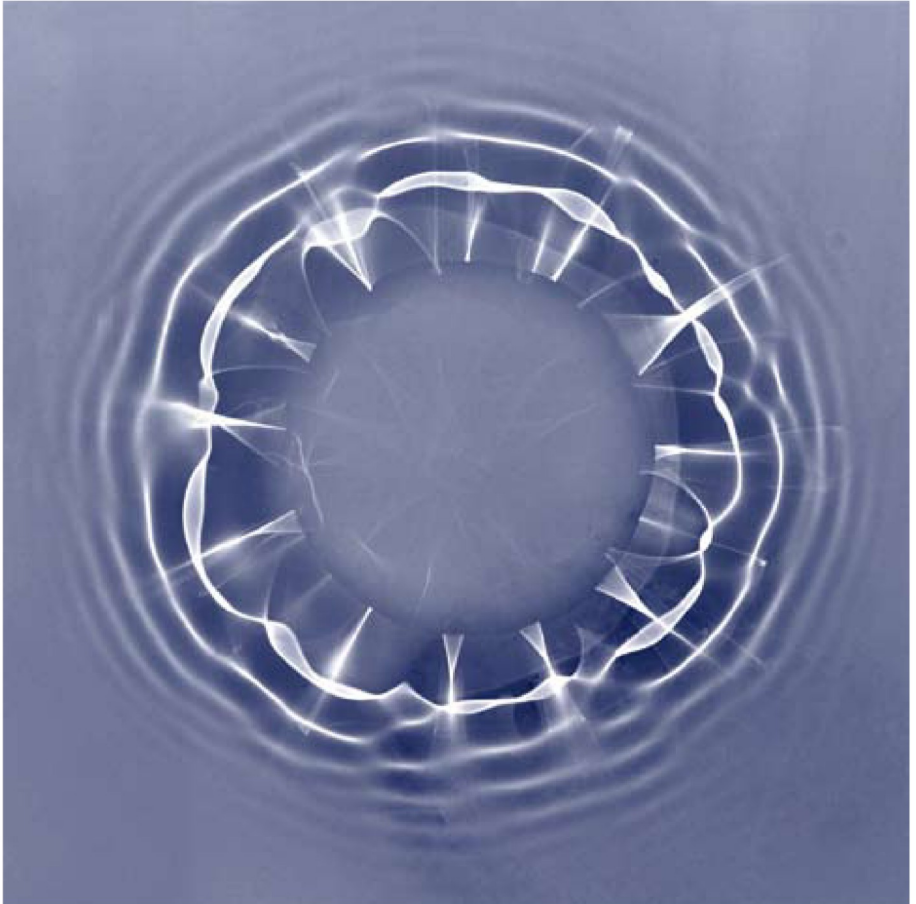


Abb. 5: Die bewegte Wasseroberfläche wirft Schatten und Lichter auf den Boden der Schale. Dort befindet sich ein Film, der durch einen Blitz aus großem Abstand belichtet wird.

Das Gefäß – die festen Grenzen

Je mehr die Strömungen den festen Grenzen der Schale näherkommen, umso mehr werden sie gebremst, verwandelt und differenziert. Man nennt diesen bremsenden Bereich Grenzschicht. Für diese Strömungen gilt das gleiche, wie im vorigen Absatz, die Bewegungen im Wasser sind unsichtbar und müssen angefärbt werden, um sie sichtbar zu machen.

Sichtbarmachung von Strömungen auf und im Wasser

Wieder sind die Bewegungen im Wasser unsichtbar und müssen angefärbt werden. Wellenbewegungen der Wasseroberfläche können durch die Art der Beleuchtung sichtbar gemacht werden: so in einer Schlierenapparatur Abbildung 10, oder durch Beleuchtung schräg von der Seite, wodurch man Schatten erzeugt, Abbildung 3 u. 4, und durch Brechung des Lichtes an konvexen und konkaven lichtbrechenden Wellenformen, Abbildung 5.

Strömungsbewegungen auf der Wasseroberfläche können durch Partikel sichtbar gemacht werden, die auf ihr schwimmen und die die Strömung mitnimmt. Die Partikel auf den Abbildungen 6 und 7 sind Lycopodiumsporen. Abbildung 6 entstand kurz nach dem Tropfenaufprall unter Tropfbildbedingungen, aber ohne Glycerin. Die Sporen wurden von den Tropfbildwirbeln mitgenommen, die im Kreis um das Zentrum angeordnet zu sehen sind. Das Foto wurde mit verlängerter Belichtungszeit aufgenommen, so dass die Partikel Lichtspuren auf dem Film erzeugten und dadurch die Bewegungen der Sporen sichtbar machten (Abb. 6 roter Pfeil). Etwas erstaunlich ähnliches geschieht, wenn ein Ringwirbel im Wasser aufsteigt und beim Erreichen der Wasseroberfläche sich in Wirbel gliedert, die im Kreis um das Zentrum herum angeordnet erscheinen, wie beim Tropfbild auf Abbildung 6. In beiden Fällen entwickeln sich die kleinen Wirbel aus einem Ringwirbel. Beim Tropfbild entsteht dieser nach dem Tropfenaufprall in der Welle, die das Kraterloch umschließt (Abb. 4), dann gliedert er sich in kleine Wirbel. Beim aufsteigenden Ringwirbel entspricht die Wasseroberfläche der Grenze, die beim Tropfbild der Glasboden ist. Auch dieser Ringwirbel gliedert sich in kleine Wirbel, die im Kreis angeordnet erscheinen. Abbildung 8 rechts zeigt Sporen, die vom sich schnell ausbreitenden Wellenring mitgenommen werden und durch eine verlängerte Belichtungszeit helle Linien zeichnen.

Eine weitere Strömung auf der Wasseroberfläche entsteht, wenn ein Tropfen mit verdünntem Spülmittel ins Wasser fällt. Dann breitet sich das Spülmittel auf der Wasserschicht aus und verdrängt die Sporen, Abb. 9.

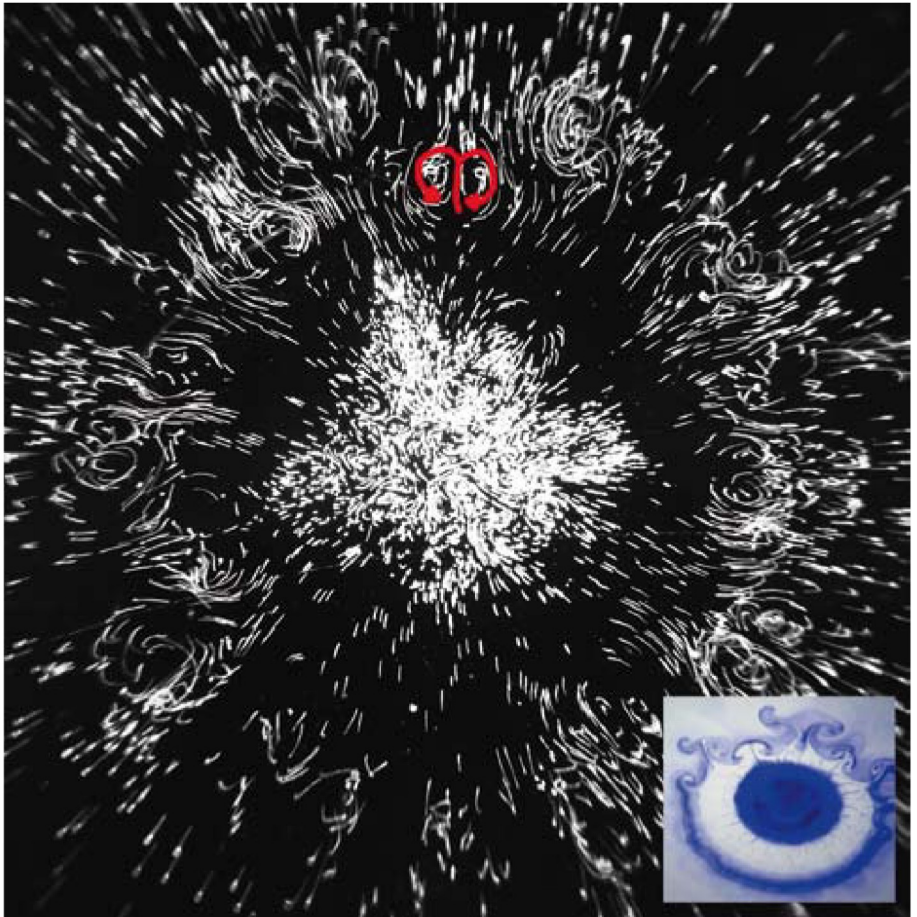


Abb. 6: Tropfbild ohne Glycerin in der Wasserprobe mit *Lycopodium*sporen auf der Wasseroberfläche, welche die Bewegungsrichtungen zeigen

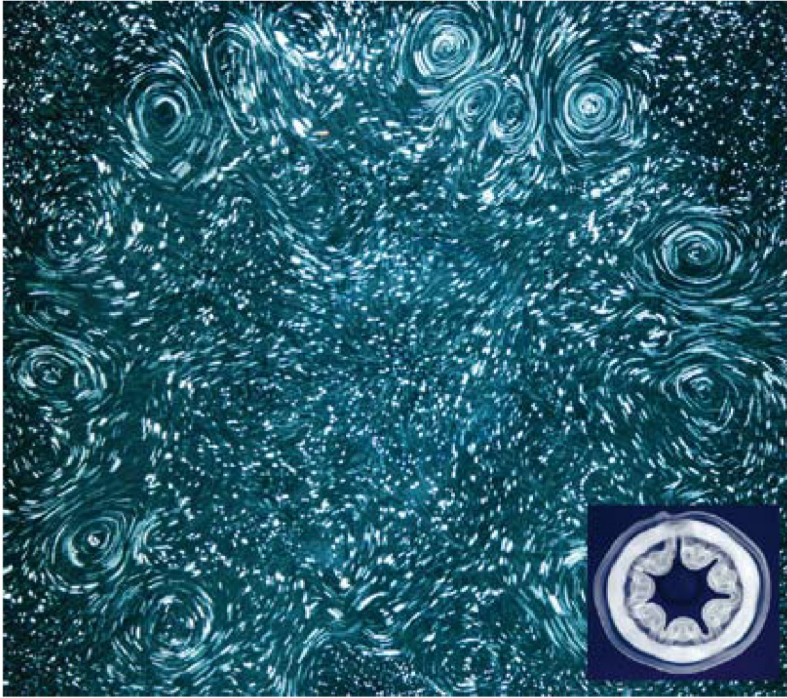


Abb. 7: Ringwirbelverwandlung unter der Wasseroberfläche, sichtbar gemacht mit *Lycopodium*sporen. Es entstehen in einem Kreis angeordnete kleinere Wirbel, ganz ähnlich wie im Tropfbild von Abbildung 6 links.

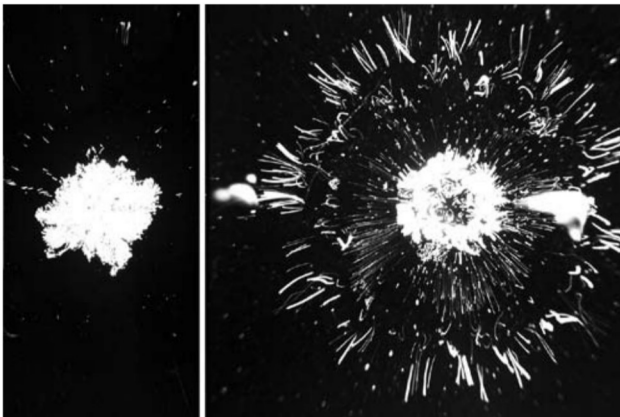


Abb. 8

Linkes Bild: Ein Tropfen, angefärbt mit *Lycopodium*sporen, ist in die Wasserschicht gefallen. Die Sporen blieben im Zentrum liegen.

Rechtes Bild: Ein zweiter Tropfen schleuderte die Sporen mit der Hauptwelle nach außen. Die Linien zeigen die Bewegungen der Sporen und der sich ausbreitenden Welle.

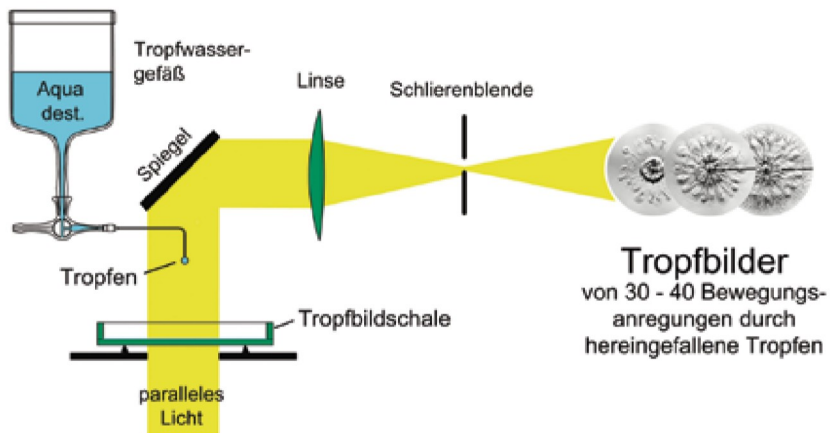


Abb. 9: Auf einer Wasserschicht befinden sich *Lycopodium*sporen. Mit einer Kanüle wird ein Tropfen tensidhaltiges Wasser auf die Wasserschicht gebracht. Das Tensid breitet sich schlagartig auf der Wasseroberfläche aus und verdrängt die Sporen.

Sichtbarmachung der Bewegungen im Wasserkörper

Die Standard-Anfärbung im Tropfbildversuch ist ein Zusatz von ca. 13 % Glycerin in der Wasserprobe. Durch den Glycerinzusatz ist die Wasserprobe dichter als der Tropfen von Aqua dest. Es entstehen Dichteunterschiede und optische Dichteunterschiede in der Flüssigkeitsschicht. Sie werden mit einer Schlierenoptik sichtbar gemacht, Abbildung 10.

Tropfbildversuch alle 5 s fällt ein Tropfen



TROPFBILD-SCHLIEREN-APPARATUR

Abb. 10: Schematische Darstellung eines Tropfbildversuches und einer Schlierenapparatur

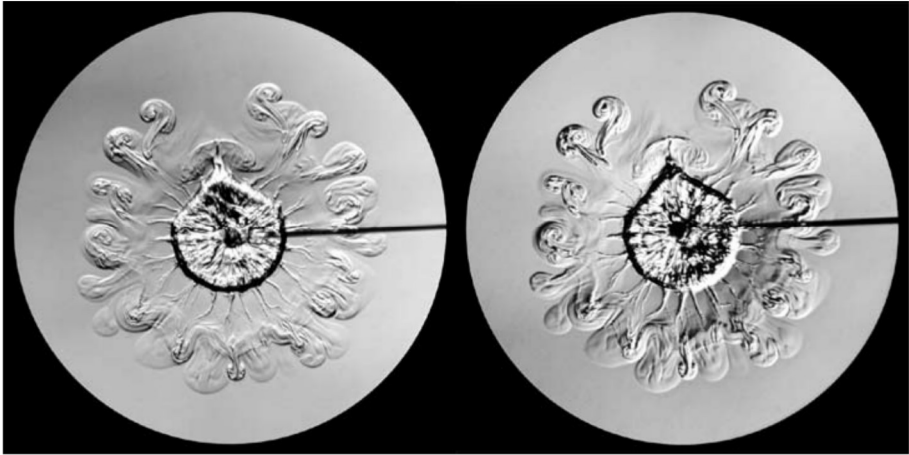


Abb. 11, links: Das Blendenloch wurde so eingestellt, dass der Lichtstrahlengang oberhalb der optischen Achse verläuft und auf → Abb. 12 links nach oben abgelenkte Lichtstrahlen in das runde Blendenloch fielen. Bei dieser Standard-Einstellung erscheint das Bild von oben relief-artig beleuchtet.
Beim **rechten** Bild ist es gerade umgekehrt, das Tropfbild erscheint wie ein Relief von unten beleuchtet, → Abbildung 12 Mitte.



Abb. 12: Schlierenblenden asymmetrisch angeordnet. **Links:** oben.
Mitte: unten und **rechts:** konzentrisch. Siehe auch Abb. 13

Die Wasserschicht wird von unten mit parallelem Licht durchleuchtet. Schlieren in der Wasserprobe lenken das Licht ab. Durch eine Schlierenblende wird verschieden abgelenktes Licht und das nicht abgelenkte Licht unterschiedlich durchgelassen, so dass ein Schlierenbild entsteht, Abbildung 11.

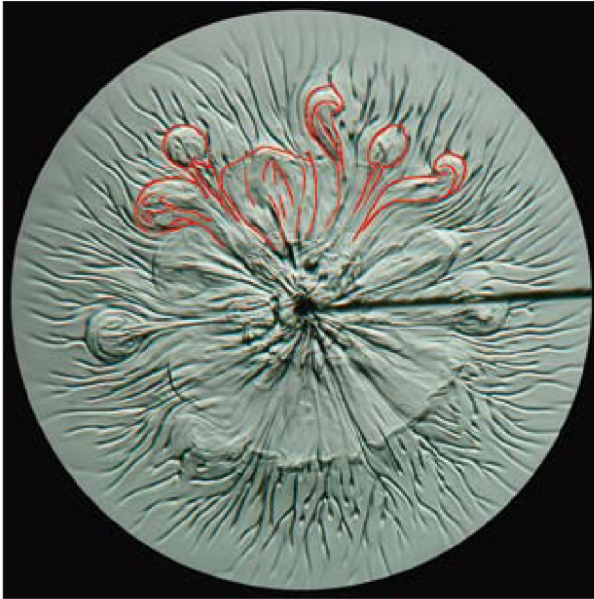


Abb. 13:
zeigt von den Strömungen
her gesehen einen Standard-
Tropfbildversuch mit destil-
liertem Wasser als Probe.

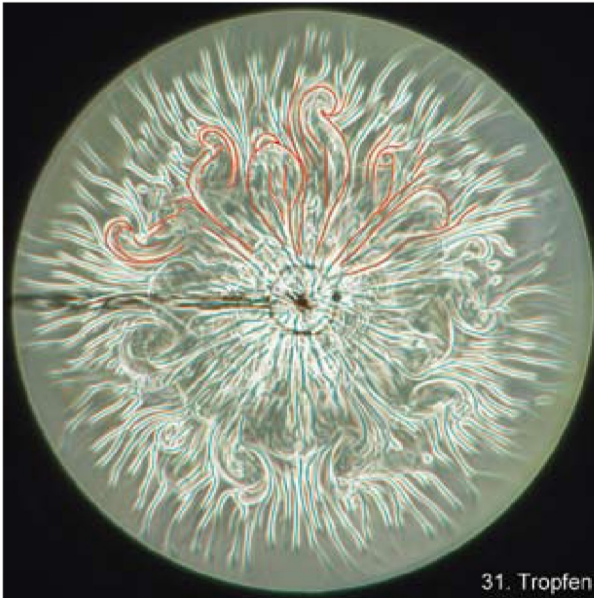
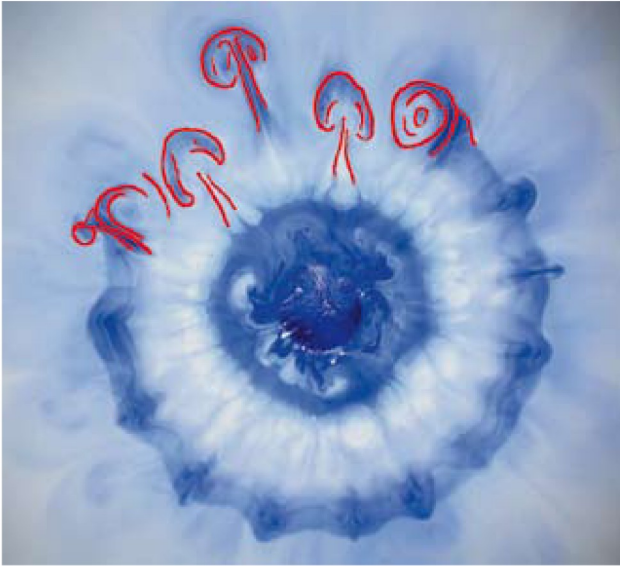
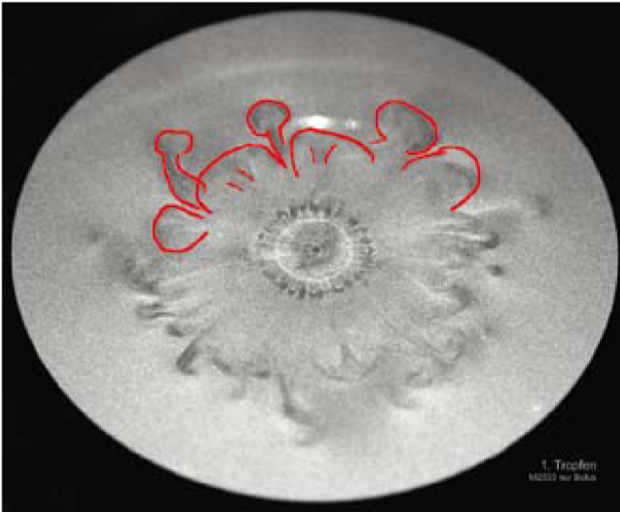


Abb. 14:
wie Abb. 13, aber mit
geänderter Schlierenblen-
de, → Abb. 12 rechts. Sie
lässt das Licht nur in einem
schmalen, ringförmigen gelb
markierten Bereich durch.
Alle Schlierenstrukturen
sind dadurch in gleicher
Weise erhellt, es gibt keine
Schatten. Das erzeugt einen
ganz anderen Bildeindruck,
obwohl die Bedingungen alle
gleich sind.

Die bis hier gezeigten Anfärbungen der Tropfbildströmungen hatten wenig Einfluss auf die Art der Strömungen in der Wasserschicht.

**Abb. 15:**

Es sind in die ungefärbte Wasserprobe mehrere Tropfen verdünnte Tinte gefallen. Dadurch hat sich im Außenbereich Tinte angesammelt. Der aktuelle Tropfen hat die Tinte nach außen geschleudert und in der Ausbreitungsfront entstehen viele kleine Wirbel.

**Abb. 16:**

Kreidestaub in der Probe hat sich auf dem Schalenboden abgesetzt. Hereinfallende Tropfen haben den Staub aufgewirbelt und verlagert. So entstanden dunkle Flecken, wo der Staub weggespült wurde, und helle Bereiche, wo er sich wieder abgesetzt hat.

Anfärbung mit Kreidestaub – Strömungen am Boden

Kreidestaub ist sehr fein und etwas schwerer als Wasser. Darum setzt er sich relativ schnell auf dem Schalenboden ab. Abbildung 17 zeigt den Versuchsaufbau mit Kreide am Boden. Wirbelt man die Kreide durch Bewegung wieder auf und

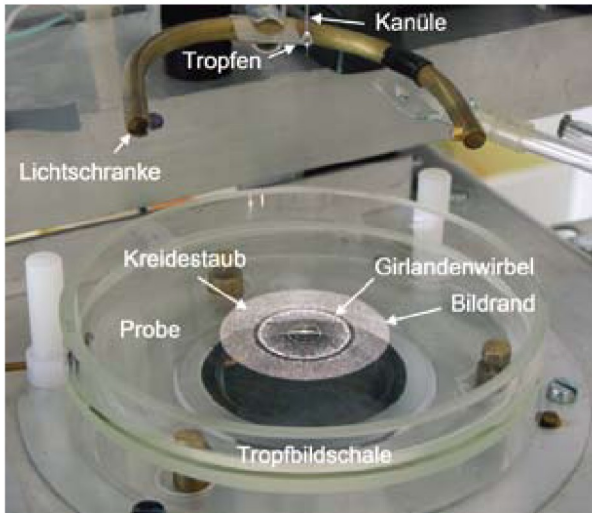


Abb.17:
Tropfbild Versuchsaufbau.
Der Kreidestaub in Bildmitte
wird von unten durchleuchtet.

lässt einen Tropfen hereinfallen, entstehen die typischen Strömungen im Tropfbild, siehe Abb. 16. Das besondere am Kreidestaub ist, dass er auch vom hereinfallenden Tropfen aufgewirbelt wird und neue Muster am Schalenboden entstehen. Der Kreidestaub macht Strömungen am Schalenboden sichtbar. Abbildung 16 schräg von oben.

Weiteren Sichtbarmachungen von Strömungen in der Wasserschicht im Tropfbild soll ein folgender Beitrag gewidmet sein.

Andreas Wilkens

Fotos:

Andreas Wilkens

Literatur:

- Wilkens, Andreas et al. (2000): Sensibles Wasser 5. Die Versuchstechnik der Tropfbildmethode. Herrischried (Institut für Strömungswissenschaften).
- Wilkens, Andreas et al. (2022): Wasser bewegt. Herrischried (Institut für Strömungswissenschaften).