

Die Entwicklung unterschiedlicher Wirbelformen im Tropfbildversuch (Teil 1)

Der Tropfbildversuch

Im Tropfbildversuch werden Strömungen erzeugt, sichtbar gemacht, beobachtet und fotografiert, in denen sich etwas von der Beschaffenheit des Wassers zeigt. Die Versuchsbedingungen in Kürze: Im Tropfbildversuch fallen 40 etwa 3 mm große Tropfen destillierten Wassers im Abstand von 5 s aus 10,15 cm Höhe in eine 1,1 mm flache Wasserprobenschicht, die zur Sichtbarmachung in einer Schlierenapparatur mit 13 % Glycerin vermischt ist. Die Schale hat einen Innendurchmesser von 14 cm. Der sichtbare Bildausschnitt hat einen Durchmesser von 53 mm (Abb. 4b). Drei Zonen werden im Tropfbild unterschieden (Abb. 1): im Zentrum die Kernzone, darum herum die Wirbelzone, um die es hier gehen wird, und außen die Dendritenzone, bestehend aus überwiegend radial ausgerichteten Linienstrukturen.

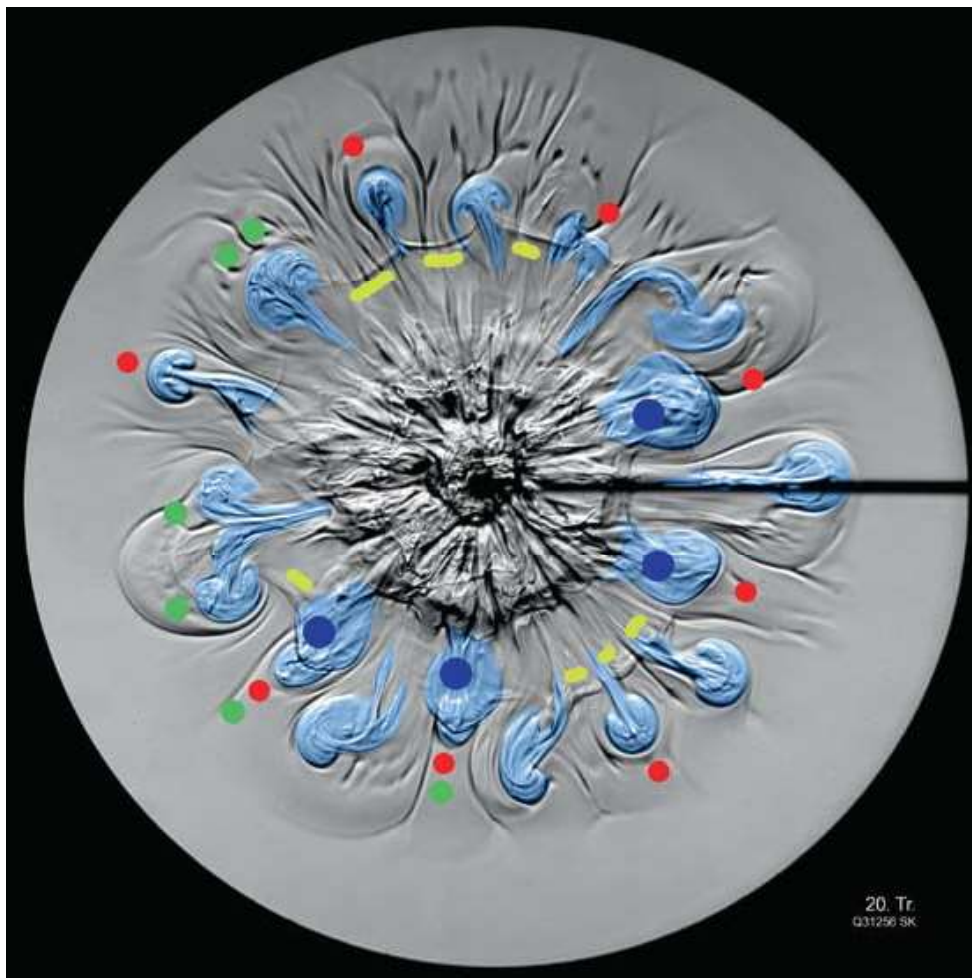


Abb. 1: 20. Tropfbild eines Tropfbildversuches mit destilliertem Wasser. Wirbel hellblau hervorgehoben.

Die Tropfbildwirbel

In Abbildung 1 sind die Tropfbildwirbel hellblau hervorgehoben, um zu verdeutlichen, worum es hier geht. Sie können sehr unterschiedliche Formen haben, die als Ausdruck der Beschaffenheit der Wasserproben gewertet werden und Grundlage für eine Beurteilung bilden. So ist es interessant, mehr über ihr Zustandekommen zu erfahren.

Sichtbarmachung

Die Strömungsformen im Tropfbild werden normalerweise mit einer Schlierenapparatur sichtbar gemacht. Für das Studium der Wirbelentstehung ist sie nicht geeignet, weil die Wellen, die sich beim Aufprall des Tropfens bilden, die Strömungsformen der Entstehung der Tropfbildwirbel verdecken (Abb. 2). Deshalb wurde bei den folgenden Untersuchungen meistens Tinte zur Anfärbung verwendet. Tinte hat allerdings den Nachteil, dass man nur wenige Tropfen in die Probe fallen lassen kann, sonst wird sie zu dunkel. Auf Abbildung 3 sind Tintenanfärbung und Schlierensichtbarmachung zum Vergleich einander gegenübergestellt. In Details von kleinen Strukturen unterscheiden sich die Methoden, aber im Großen zeigen sie das gleiche.

Tropfbildwirbel entstehen so schnell, dass man nur Reste der abklingenden Bewegung mit bloßem Auge wahrnimmt, man benötigt also eine Filmkamera, die hier mit 50 Bildern pro Sekunde aufgenommen hat.

Der Girlandenringwirbel

Ausgangspunkt für die Entstehung der Tropfbildwirbel sind Ringwirbel. Im WASSERZEICHEN Nr. 30 habe ich die Entstehung dieser Ringwirbel genauer beschrieben. (Bitte wenden Sie sich an uns, wenn Ihnen der Artikel fehlt und Sie ihn gerne haben möchten.)

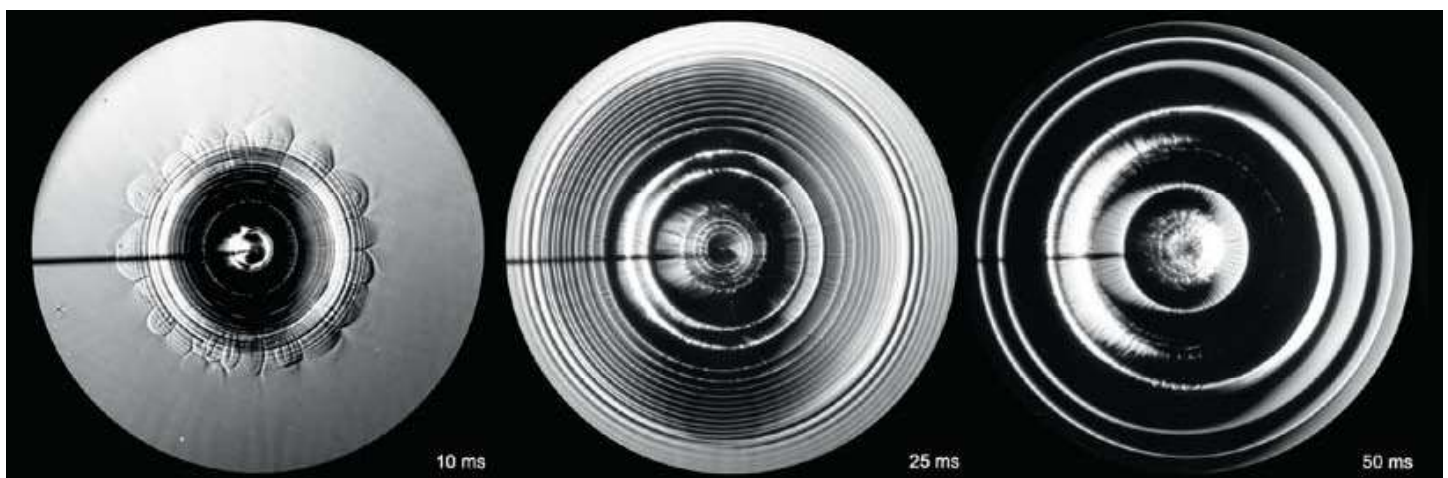


Abb. 2: Tropfbildwellen: 10, 25 und 50 ms nach Aufprall des Tropfens auf die Wasserprobe

Wirbelformen im Tropfbild

Seit ein paar Jahren habe ich die Möglichkeit, Tropfbildversuche zu filmen und dadurch die Entwicklung der Tropfbildwirbel zu verfolgen. Auf Abbildung 1 sind verschiedene Wirbel farblich markiert: Die gelb markierten Linien sind Reste des oben erwähnten Ringwirbels. Die rot markierten Wirbel zeigen eine von zwei verschiedenen, sich abwechselnden Wirbelarten, mal deutlicher, mal schwerer zu erkennen. Die blau markierten Wirbel werden Zwischenwirbel genannt, weil sie meist zwischen zwei langgestielten Wirbeln erscheinen. Die grün markierten Wirbel bestehen aus jeweils zwei unterschiedlich miteinander verbundenen Wirbeln. Es gibt noch zahlreiche weitere Wirbelformen und Variationen, von denen hier nur die häufigsten und die grundlegendsten besprochen werden sollen.

Versuchsaufbauten

Beim Versuchsaufbau für Tintenanfärbung auf Abbildung 4a wird von unten gefilmt, damit die Wellen die Strömungsformen nicht verzerren. Ganz dicht über der Wasserprobe in der Schale ist eine Opalglasscheibe aufgehängt, die einen gleichmäßig hellen Bildhintergrund ermöglicht. In der Mitte hat sie ein Loch, durch das die Wassertropfen und Tintentropfen fallen. Das Tropfloch wurde zeitweise mit einer computer-

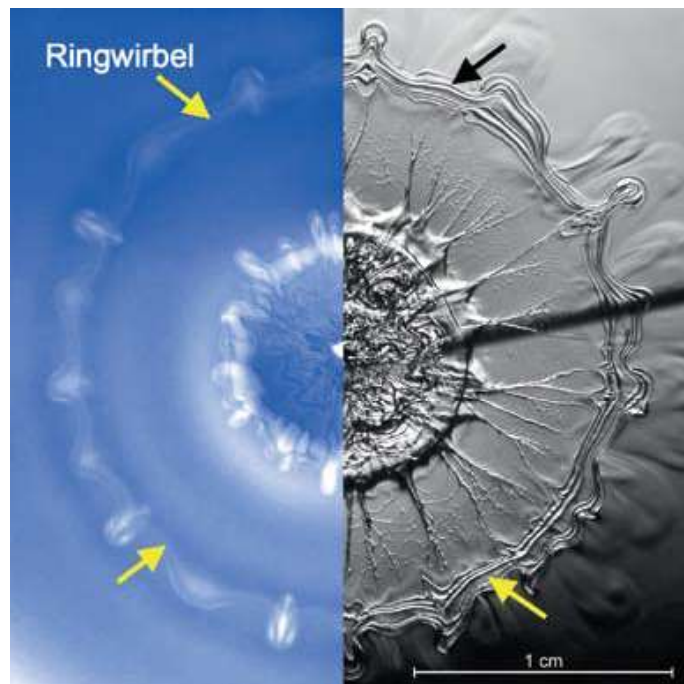


Abb. 3: Tropfbilder vom 9. Tropfen, 0,1 Sekunden nach Tropfenaufprall. Links Anfärbung mit Tinte in der Probe, rechts Sichtbarmachung durch Schlieren (Glycerin-Beimischung in der Probe).

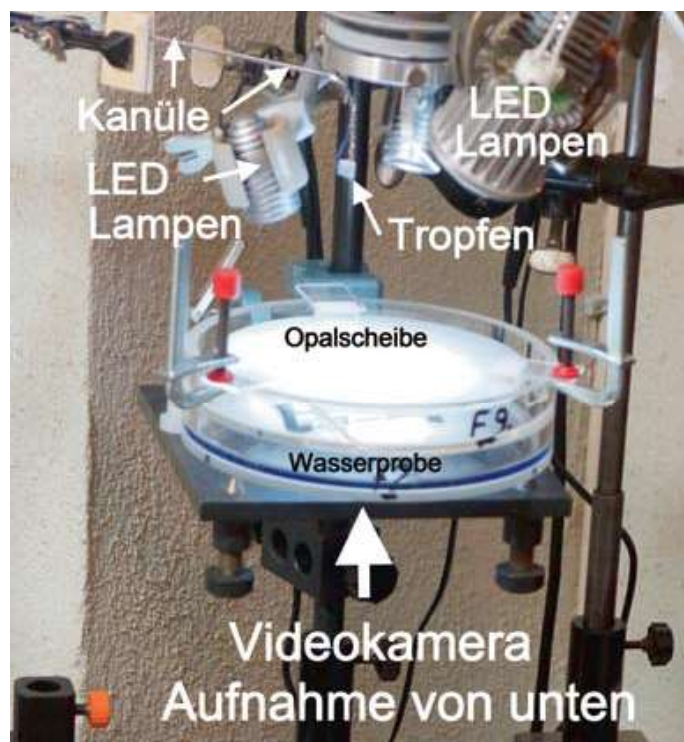


Abb. 4a: Versuchsanordnung für Anfärbung mit Tintentropfen. Das Licht kommt von oben durch eine Opalglasscheibe, fotografiert wurde von unten.

gesteuerten weißen Abdeckung geschlossen, sobald der Tropfen durchgefallen war. Starke LED-Lampen beleuchteten die Opalglasscheibe von oben, sodass der Bildhintergrund sehr hell war.

Das schnelle Umschalten von Wassertropfen zu Tintentropfen und umgekehrt wurde durch eine Kanüle mit zwei Zuläufen möglich. Das senkrechte, wasser-gefüllte Kanülenrohr hat kurz vor der Mündung seitlich ein Loch, in das der mit Tinte gefüllte Schlauch mündet (Abb. 5).

Über zwei gegensinnig gekoppelte Dreiwegehähne kann die Kanüle abwechselnd mit Tinte oder Wasser versorgt werden (Abb. 6).

Auf Abbildung 4b ist der Standardversuchsaufbau zu sehen. Paralleles Licht durchleuchtet die Probe in der Schlierenapparatur von unten. Wenn Tropfen de-

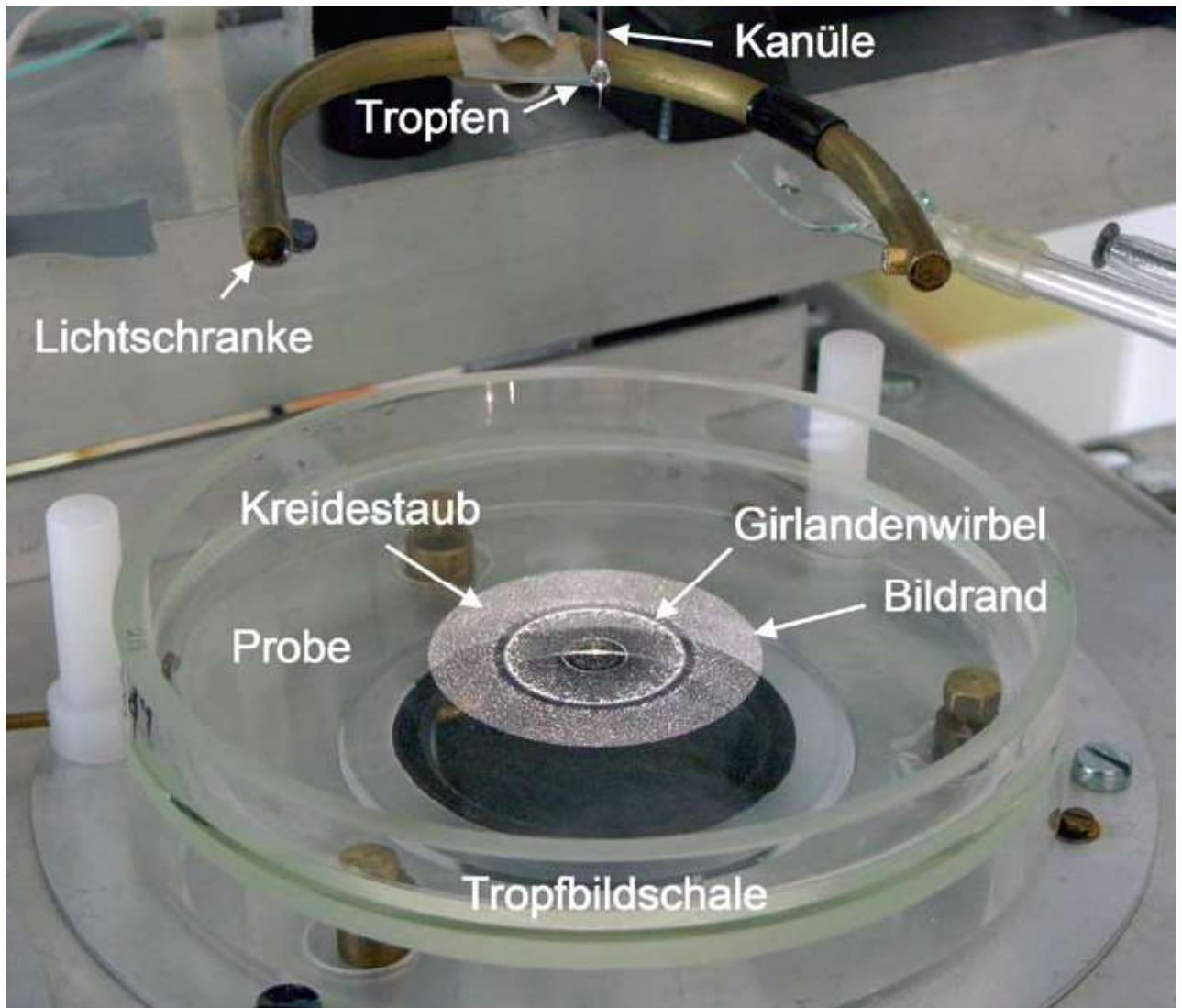


Abb. 4b: Versuchsaufbau in Schlierenapparatur: Der in Bildmitte von unten angeleuchtete Kreidestaub markiert den Bereich, der im Tropfbildfoto erscheint. Er hat einen Durchmesser von 53 mm.

stillierten Wassers in die mit Glycerin vermischte Probe fallen, entstehen an den Übergängen von Tropfwasser zu der dichteren Probenflüssigkeit optische Schlieren, wie auf Abbildung 3 rechts zu sehen.

Dieser Versuchsaufbau wurde auch mit Kreidestaub oder Lycopodiumsporen verwendet, um in der Probe den so genannten Girlandenringwirbel sichtbar zu machen (Abb. 1, Abb. 4b).

Versuchsdurchführung mit Tintentropfen

Fällt ein Tintentropfen in die Probenflüssigkeit, sieht man außer der dann blauen Kernzone fast nichts (Abb. 8). Erst nach dem zweiten Tropfen sieht man Wirbel.

Der zweite Tropfen kann Wasser oder Tinte sein. Im Prinzip ist es wie auf Abbildung 7. Erst der zweite Tropfen trifft auf die Substanz des Ersten, die er hinausschleudern kann. Es müssen also immer ein färbender und ein schleudernder Tropfen aufeinander folgen. Auf Abbildung 8 oben sieht man das Loch in der Opalscheibe, durch das die Tropfen fallen. Auf dem mittleren Bild sieht man die blaue Kernzone, das Ergebnis des ersten Tropfens und auf dem unteren Bild die Folge des zweiten Eintropfens: Der Girlandenringwirbel hat verschiedene Tropfbildwirbel gebildet. Sie sind noch in einem frühen Stadium.

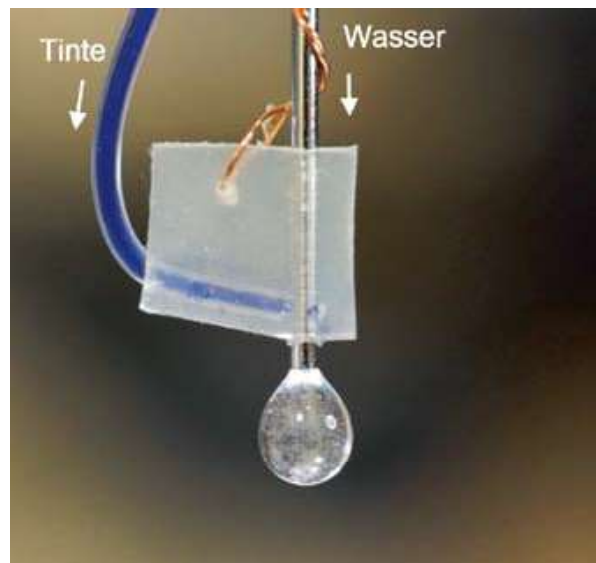


Abb. 5: Kanüle mit Wasser und Tintenzufluss

Die Tropfbildschalen wurden standardmäßig vorbereitet. Näheres dazu in [1]. Die Wasserproben waren destilliertes Wasser mit und ohne Glycerinzusatz und mit und ohne Partikel. Die Tropfen waren destilliertes Wasser oder etwas verdünnte Tinte. Das Tropfintervall wurde für beide Tropfen, Wasser und Tinte, auf 5 s eingestellt. Es wurden erst mehrere Wassertropfen abgefangen und dann ein paar in die Probe fallen gelassen. Nach Start der Videoaufnahme wur-

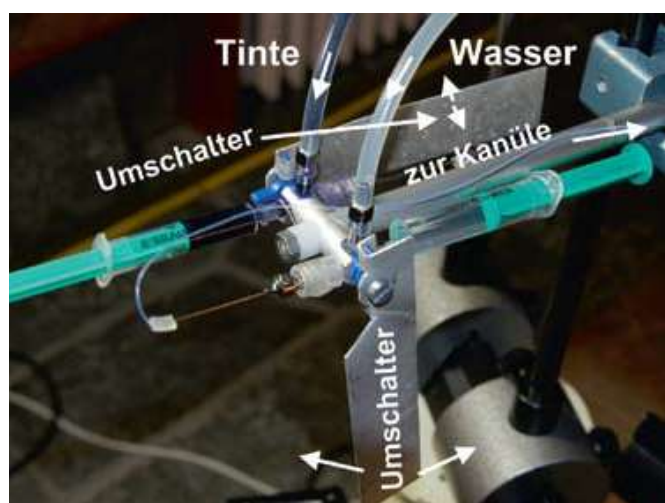


Abb. 6: Zwei verbundene Dreiweghähne, wenn der eine schließt, öffnet der andere. Tinte und Wasser wechseln ab.

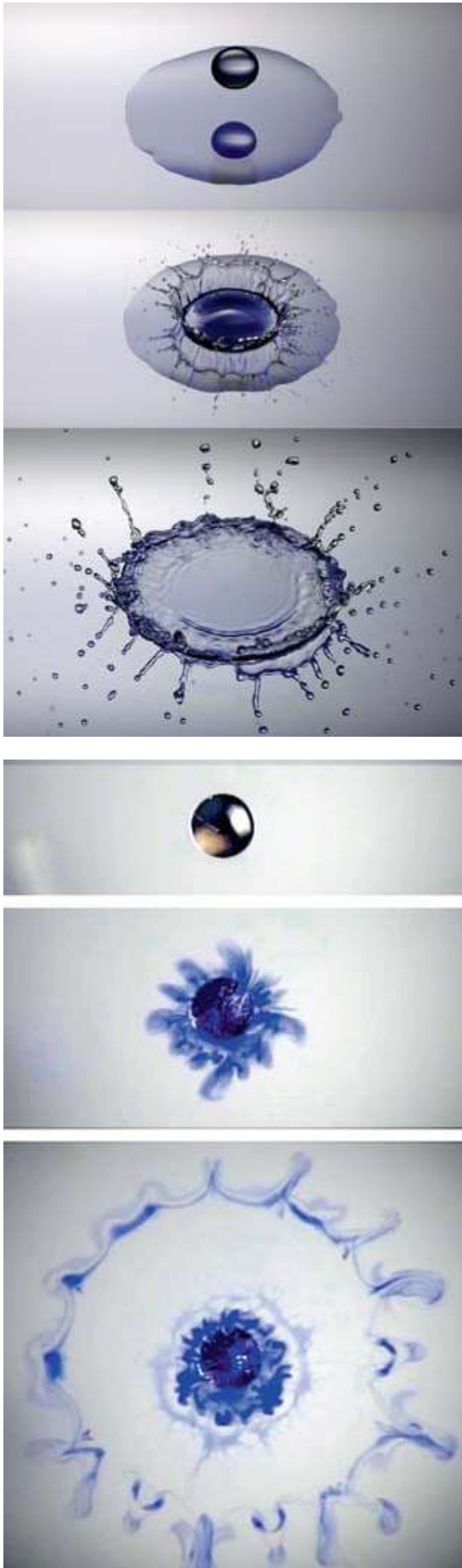


Abb. 7: Erst der zweite Tropfen spritzt! Momente kurz hintereinander. Ein Tropfen ist auf eine Glasscheibe gefallen und auf den Liegenden ein zweiter Tropfen.

de auf Tintentropfen umschaltet (Abb. 5 und 6) und einer bis mehrere Tintentropfen durften in die Probe fallen. Dann wurde wieder auf Wasser umgestellt, vor allem zum Durchspülen der Kanüle. Der zweite Tropfen kann ein Tinten- oder Wassertropfen sein, beides zeigt ein ähnliches Phänomen.

Die Versuche wurden mit Videokameras bei einer Bildrate von 50 Bilder pro Sekunde gefilmt. Es wurden meistens mehrere Wassertropfen in die Probe fallen gelassen, gefolgt von ein bis zwei Tintentropfen und dann wieder Wassertropfen (Abb. 5).

Der Ringwirbel

Der auf die dünne Wasserschicht aufprallende Tropfen verdrängt diese nach allen Seiten bis zum Schalenboden. Das verdrängte Wasser wölbt sich rundherum zu einer großen, steilen, kreisförmigen Welle auf. Die Oberfläche der Wellenfront bildet mit der angrenzenden Probenoberfläche kurzzeitig fast einen rechten Winkel (Abb. 10 blauer Pfeil). Das ist ein Zustand, den das Wasser durch seine Oberflächenspannung schnell überwindet, mit der Folge, dass dadurch ein Drehimpuls generiert wird, der zum Girlandenringwirbel wird. Der Name kommt daher, dass er wie eine Girlande aussieht, wenn keine Tropfbildwirbel entstanden sind (Abb. 9).

Auf Abbildung 11 ist die Drehrichtung des Girlanden-Ringwirbels zu sehen. Er erscheint nicht

Abb. 8: oben: Tropfloch;
Mitte: nach erstem Tintentropfen;
unten nach zweitem Tintentropfen

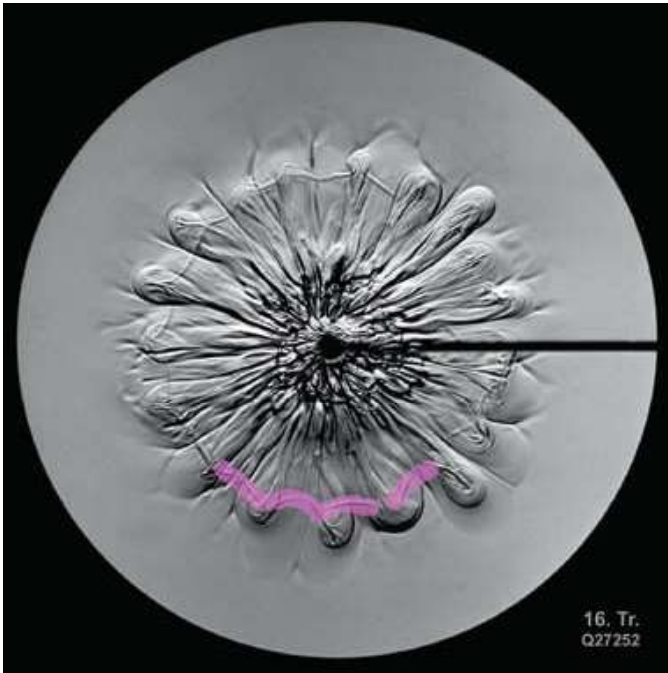


Abb. 9: Statt der Tropfbildwirbel hat man eine girlandenförmig geschwungene Linie, ein Rest vom Ringwirbel

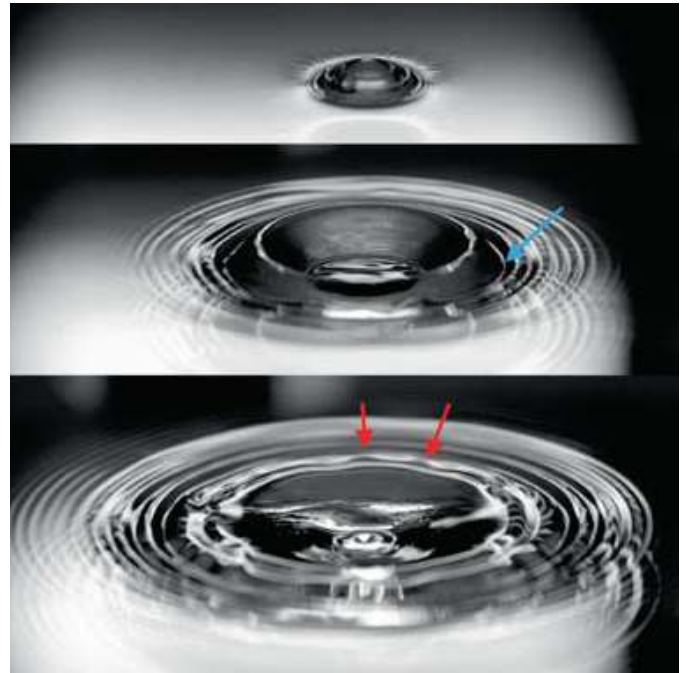


Abb. 10: Ein blauer Pfeil im mittleren Bild markiert die steile Wellenfront. Die roten Pfeile im unteren Bild markieren Verdickungen im Ringwirbel.

rund, weil der senkrechte Lichtschnitt schräg von oben fotografiert wurde. Abbildung 13 zeigt die Bewegungen im Ringwirbel schematisch. In Abbildung 12 sind schöne Bewegungen in Achsrichtung zu sehen (rote Pfeile).



Abb. 11: Die Drehrichtung des Ringwirbels zeigt diese Aufnahme, siehe Pfeil. Es wurden Partikel in einem Lichtschnitt beleuchtet. Die Blitzbeleuchtung begann hell und klang nach einer 1/1000 Sekunde ab. Daraus ergibt sich im Foto eine Drehung im Uhrzeigersinn. Das Bildzentrum ist rechts.

Abbildung 14 zeigt aufeinanderfolgende Momente der Entwicklung eines Tropfbildes. Im zweiten Bild von oben sieht man ein Kraterloch, umgeben von einem Wellenring. Im Fuß des Wellenringes innen sind mit grünen Punkten blaue Ringe markiert. Aus diesen Ringen entstehen zwei Ringwirbel, die sich nach innen in die Kernzone zurückziehen. Auf der Außenseite der Welle, im Übergang zur Pro-

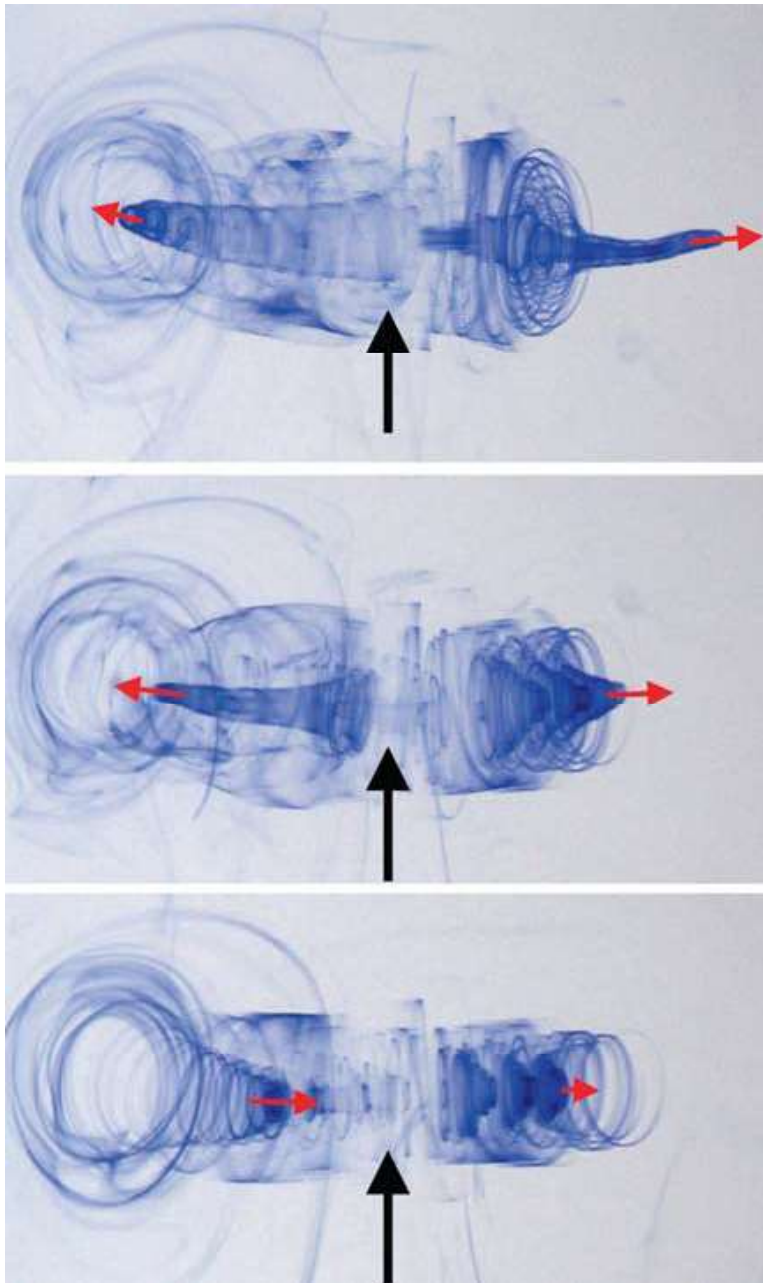


Abb. 12: aufsteigender Ringwirbel von der Seite gesehen. Rote Pfeile, axiale Strömung im Ringwirbel. Bildfolge von unten nach oben.

be entstehen auch zwei Ringwirbel, die mit magentafarbigem Punkten markiert sind. 36,8 ms nach Tropfen-aufprall ist nur noch der innere Gir-landenringwirbel vorhanden (Bild 3). In Folge axialer Strömungen sind einige Verdickungen entstanden (schwarze Pfeile), aus denen Tropf-bildwirbel werden können (Abb. 8 unten). Die Strömungsbewegungen im Tropfbildversuch kommen nach 1,5 s zu ihrem Höhepunkt und Ende.

Bis hierhin ging es um die Ringwir-bel im Tropfbildversuch. In einem zweiten Teil sollen die aus ihnen entstehenden Tropfbildwirbel in diesen unterschiedlichen Formen gezeigt werden (Abb. 15).

Andreas Wilkens

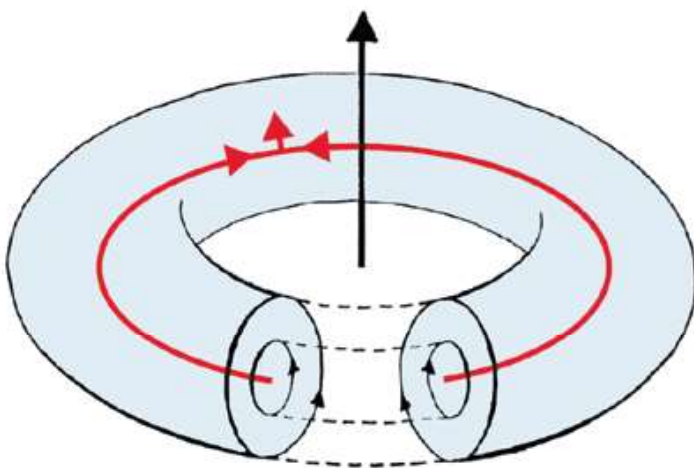


Abb. 13: Aufsteigender Ringwirbel schräg von oben, schematisch. Die Wirbel-achse ist rot gezeichnet. Die roten Pfeile zeigen axiale, aufeinander gerichtete Staustömungen, die zu Verdickungen des Ringes führen, aus denen dann nach außen ein Tropfbildwirbel entsteht.

Abb. 14: Entstehung eines Tropfbildes mit Tintentropfen schräg von oben gesehen.

Bilder: 0 ms, 8,6 ms, 13,7 ms, und 36,8 ms nach Tropfen-aufprall

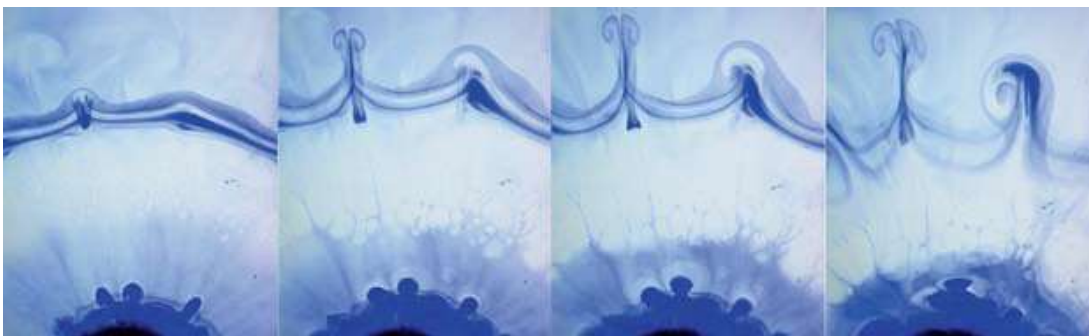
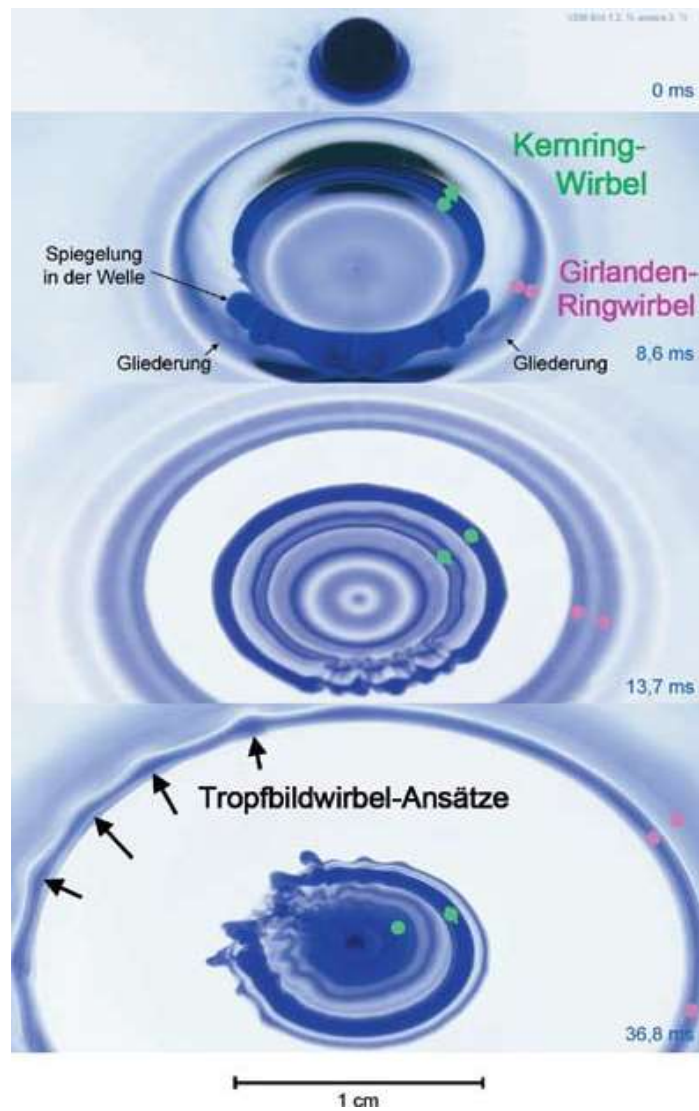


Abb. 15: Entstehung von zwei benachbarten Tropfbildwirbeln eines Tropfbildes vom 7. Tropfen (von links nach rechts). Unten im Bild der Rand der Kernzone

Alle Abbildungen Andreas Wilkens

[1] WILKENS, Andreas, Michael JACOBI & Wolfram SCHWENK:
Die Versuchstechnik der Tropfbildmethode, Dokumentation und Anleitung
Sensibles Wasser 5, 400 Seiten, Herrischried 2000, ISBN 3-931719-04-9