

## Tropfbildwirbel und Kronenspritzer

### *Eine Verwandtschaft*

**Tropfbildwirbel** entstehen unter Wasser, wenn ein Tropfen in flaches Wasser fällt, ein Kraterloch erzeugt, umgeben von einem steilen Wellenring (Abb. 1). In diesem Wellenring entsteht unter Wasser ein gegliederter Ringwirbel (in Abbildung 1 noch in einem frühen Stadium).

**Kronenspritzer** entstehen, wenn ein Wassertropfen genügend groß und schnell ins Wasser fällt und so eine kronenförmige Wasserlamelle aufsteigen lässt, die sich gliedert und oben in Spritzer und Tröpfchen zerfällt (Abb. 2).

Die Tropfbildwirbel sind eine Gliederung unter Wasser, horizontal in alle Richtungen. Es ist die Bewegungsform eines Ringwirbels, der sich in kleine Tropfbildwirbel gliedert, hervorgerufen mit relativ geringem Bewegungsimpuls (kleine Tropfen, geringe Fallhöhe).



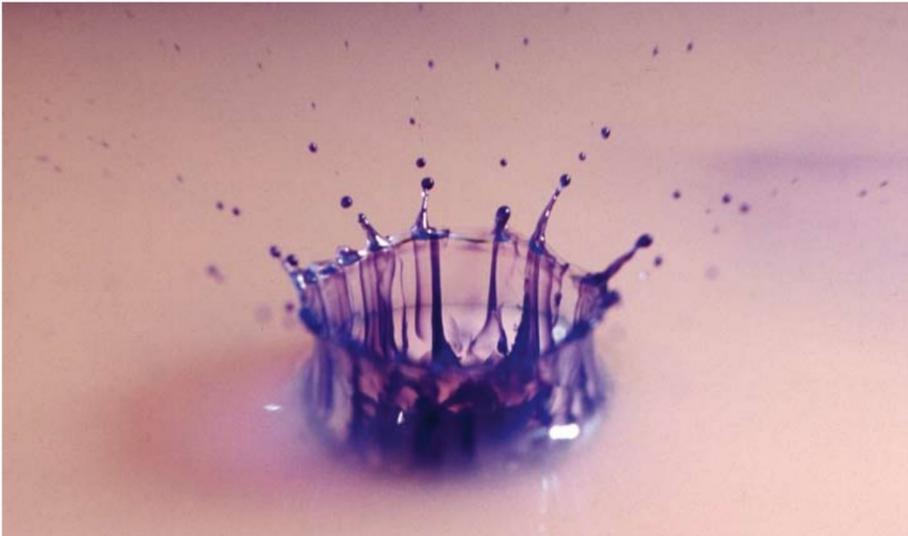
*Abb. 1: Ein Tintentropfen ist in leicht getrübbtes flaches Wasser gefallen. Über Wasser ist ein Wellenring entstanden, in dem ein blauer, gegliederter Wirbelring zu sehen ist.*

Kronenspritzer sind eine Gliederung der Wasseroberfläche nach oben in die Luft, hervorgebracht durch viel Bewegungsimpuls (große Tropfen und große Fallhöhe). Die Gliederung geht in zwei Richtungen, einmal durch ringförmige Wellen, die von unten nach oben laufen (Abb. 9), und durch senkrechte Verdickungen, die

in Spritzer münden und die Krone im Kreis gliedern (Abb. 2). Die Verdickungen führen dann nach oben zu den Wasserkronenspritzern.

Zwischen diesen beiden Grundtendenzen der Gliederung gibt es alle Übergänge. Allen gemeinsam ist: Je heftiger der Tropfen aufprallt, umso stärker differenziert sich das Eintauchereignis. Die Tropfbildwirbel werden größer und auch die Kronen werden größer. Ebenso gemeinsam ist die Entstehung eines Kraterloches, das sehr klein, aber auch sehr groß sein kann. Es entsteht, weil der aufprallende Tropfen die Flüssigkeit verdrängt (Abb. 9). Schließlich gemein ist die Bildung einer Schar von konzentrisch vorweglaufenden Wellen (Abb. 5, 6 und 10).

Sehr unterschiedlich entwickeln sich die Bereiche, in denen die Gliederungen entstehen. Die Differenzierung dieser Phänomene hängt ganz von der Größe der Tropfen und von deren Geschwindigkeit beim Aufprall, also von seinem Bewegungsimpuls, ab. Bei kleinem Impuls erscheinen nur Wellen auf der Wasseroberfläche (Abb. 3 Mitte und unten), und erst durch Anfärbung kann man die Bewegungsformen unter der Wasseroberfläche sichtbar machen. In Abbildung 3 oben

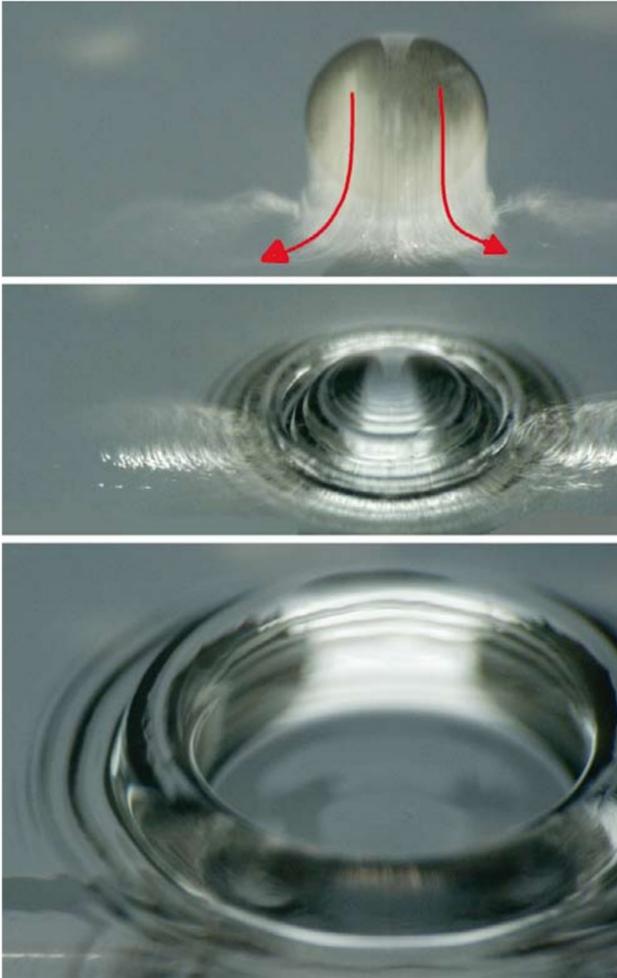


*Abb. 2: Ein Tintentropfen ist aus 70 cm Höhe in tiefes, leicht getrübbtes Wasser gefallen und hat ein Kraterloch sowie eine kronenförmige Wasserlamelle entstehen lassen; letztere gliedert sich am oberen Rand und löst sich in Spritzer auf.*

schwimmen im Tropfenwasser Lycopodiumsporen, die mit einem Lichtschnitt beleuchtet wurden, sodass man die Strömungsbewegung sehen kann, siehe rote Pfeile. Die Bewegung geht zunächst in Fallrichtung nach unten und dann im 90-Grad-Winkel in alle Richtungen zur Seite. Dadurch wird das Wasser der Schicht in

alle Richtungen verdrängt und bildet die erste Hauptwelle. Vor dieser Hauptwelle sieht man weitere Wellen, die der Hauptwelle voran eilen.

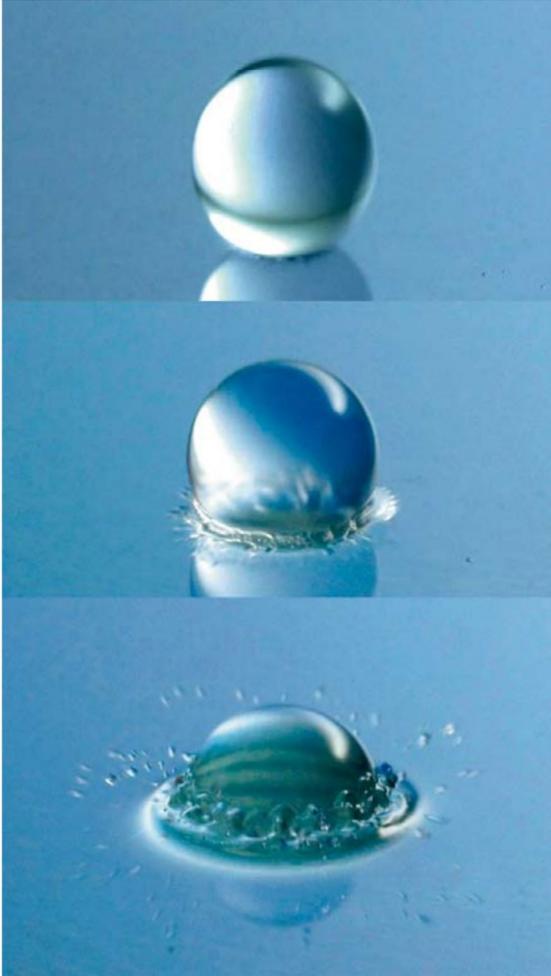
Das geschieht in zwei Richtungen, einmal den halb eingetauchten Tropfen hinauf und vom Zentrum in die Peripherie.



**Abb. 3:** Ein mit Lycopodiumsporen angefarbter Tropfen, beleuchtet mit einem Lichtschnitt, fällt aus geringer Höhe in flaches Wasser. Oben: Strömungsbewegung im eintauchenden Tropfen rot markiert. Mitte: Kapillarwellen breiten sich den Tropfen hinauf und in die Peripherie aus. Unten: Das Maximum von steilem Wellenring und Kraterloch.

### Wenn der Bewegungsimpuls zunimmt

Bei zunehmendem Impuls fängt die Hauptwelle an, sich zu gliedern (Abb. 5), und die Tropfbildwirbel werden größer (Abb. 10). Schließlich entsteht aus der Welle eine aufsteigende Wasserlamelle, die sich bei zunehmender Heftigkeit des



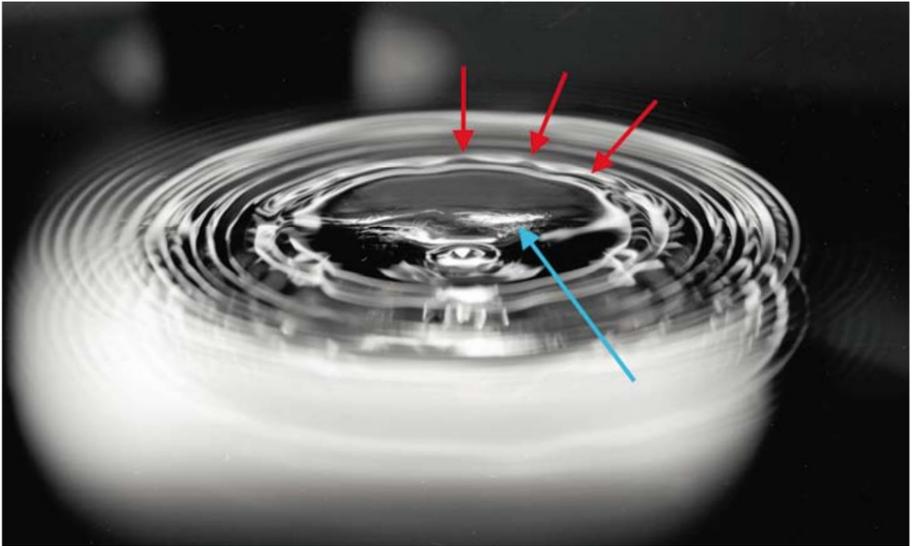
**Abb. 4:** Ein Tropfen fällt aus größerer Höhe in tiefes Wasser. Bei genauer Betrachtung erkennt man, wie schon im obersten Bild an der Berührungsstelle des Tropfens mit der Wasseroberfläche etwas entsteht. Deutlicher wird das im zweiten Bild, und im dritten Bild sieht man klar, dass es Tröpfchen sind.

Aufpralls der fallenden Tropfen in Spritzer und Tröpfchen gliedert und zunächst teilweise und dann bei steigender Heftigkeit des Aufpralls ganz zerfällt (Abb. 2). Wenn die Krone erscheint, entstehen gleichzeitig keine Tropfbildwirbel mehr unter Wasser (Abb. 14).

Bei sehr heftigem Aufprall entstehen Spritzer schon ab der ersten Berührung des Tropfens mit der Wasseroberfläche (Abb. 4). Von der glatten, ungegliederten Hauptwelle gibt es alle Übergänge bis zur spritzenden Krone. Zunächst sind die Gliederungen im Wasser verborgen, erscheinen dann in der Hauptwelle und schließlich in der Krone.

Im Folgenden sollen anhand von Fotos verschiedene Ausgestaltungen gezeigt werden.

Die Tropfengröße ist, wenn nicht anders angegeben, bei allen hier gezeigten Experimenten 15,5 mg, das sind ca. 3 mm Durchmesser.

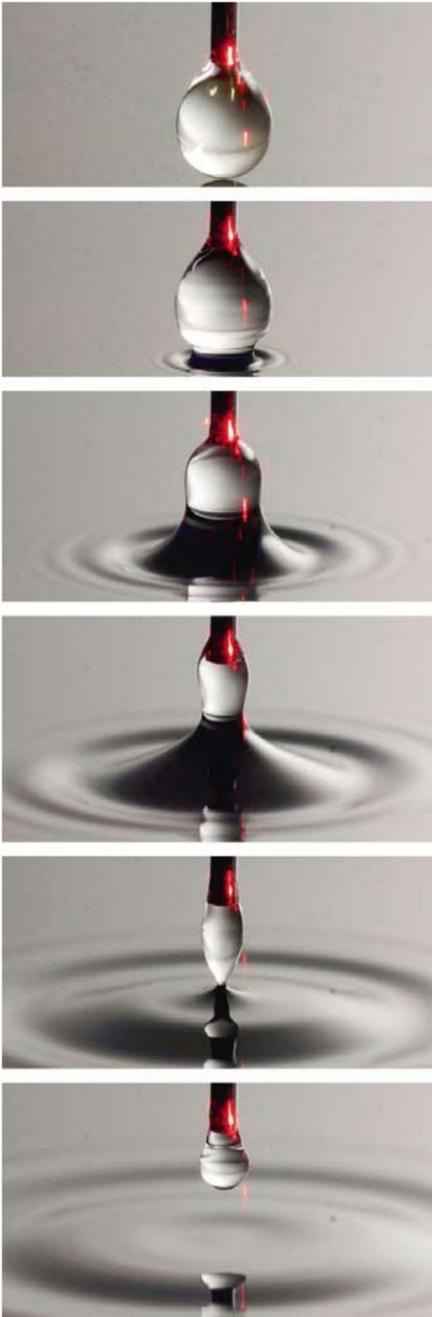


**Abb. 5:** Aus einem Standard-Tropfbildversuch, schräg von oben gesehen, kurz nach dem Aufprall des Wassertropfens (Fallhöhe 10 cm) auf die Wasserprobe, die mit Glycerin vermischt ist. In der Mitte sieht man einen Rest vom Kraterloch, umgeben von einer Schar von Wellen. Die Hauptwelle ist etwas gegliedert, siehe rote Pfeile. Der blaue Pfeil markiert Schlieren unter der Wasseroberfläche.

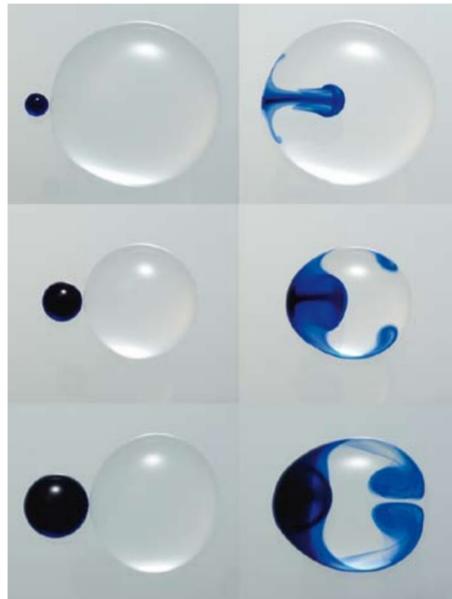
### Fallhöhe 0 cm

Schon bei der ersten Berührung des Tropfens mit der Wasseroberfläche entstehen Wellen (Abb. 6). Der Tropfen wird von der Wasserschicht wie aufgesogen. Im ersten Moment der Berührung entsteht ein spitzer Winkel zwischen Wasseroberfläche und Tropfenoberfläche, der nicht bestehen kann. Die Oberflächenspannung zieht diese Spitze so heftig glatt (Abb. 6, drittes Bild von oben), dass dabei Wirbel entstehen (Abb. 7). In Abbildung 6, Bild 4 von oben, verbindet der Tropfenrest die Kanüle und die Wasseroberfläche wie mit einem Wasserschlauch. Da mit zunehmender Krümmung der Wasseroberfläche der Druck im Wasser zunimmt, wird der Wasserschlauch wie leergedrückt, je enger der Schlauch, desto heftiger schrumpft er. Die unter Wasser entstehenden gegliederten Strömungsformen sind dabei nicht zu sehen.

Abbildung 5 zeigt eine Aufnahme von einem Standard-Tropfbildversuch schräg von oben. Es ist eine erste Gliederung der Hauptwelle zu erkennen, siehe rote Pfeile, es ist also schon etwas mehr Bewegungsanregung dagewesen als bei Abbildung 6.

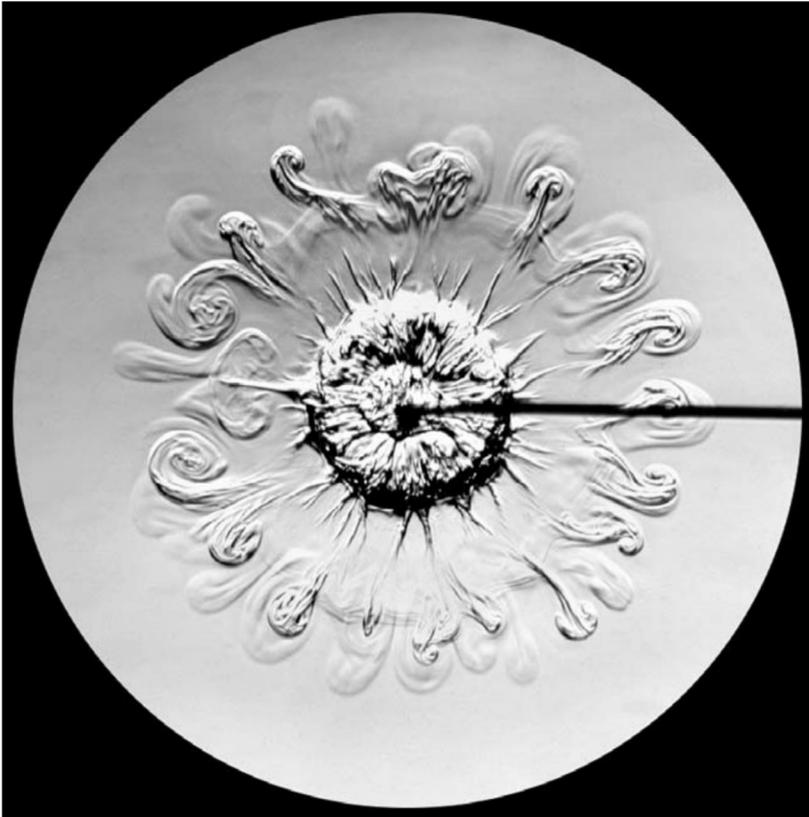


**Abb. 6:** Ein Tropfen vereinigt sich mit der minimalen Fallhöhe von 0 mm mit der Wasserschicht.  
Das Rot kommt von der Lichtschranke.



**Abb. 7:** Unterschiedlich große Tropfen vor und nach der Vereinigung.  
Bei der Verschmelzung der Tropfen sind Wirbel entstanden.

Auf den Abbildungen 10, 11 und 12 erkennt man die gegliederten Strömungsformen unter Wasser, wie sie auch im Tropfbild erscheinen (Abb. 8).



*Abb. 8: Tropfbild vom 5. Tropfen mit zahlreichen Tropfbildwirbeln in der Wirbelzone. Versuch unter Standard-Bedingungen.*

### *Spritzer und Tropfbildwirbel*

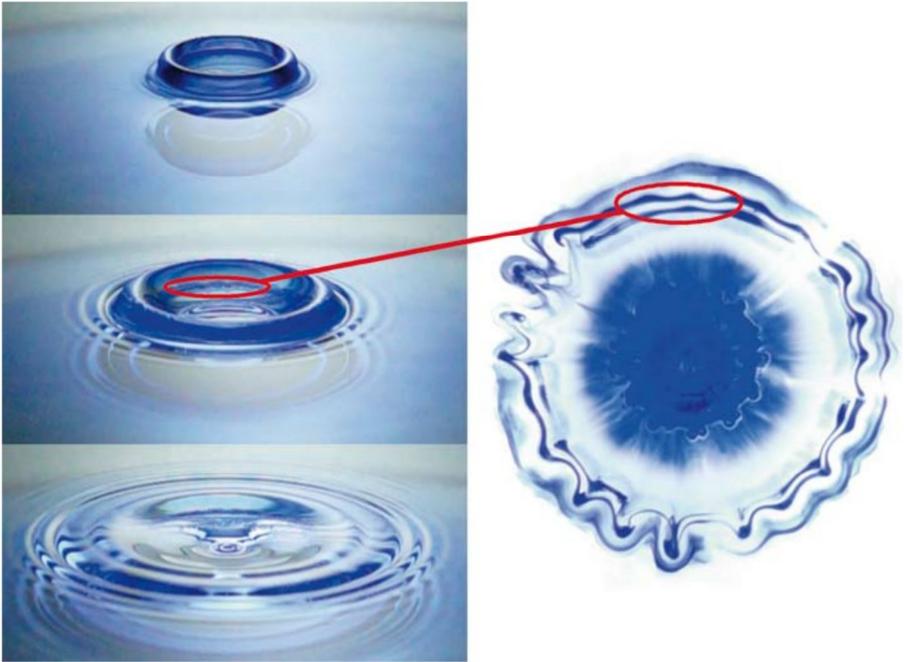
Wenn man Fallhöhe oder Tropfen vergrößert (letzteres kommt in den hier gezeigten Versuchen nur einmal vor, Abb. 13), dann entstehen ab einer bestimmten Fallhöhe schon in den ersten Momenten des Tropfenaufpralls feinste Spritzer, bevor der Tropfen ganz eingetaucht ist (Abb. 4).

Bei stärkerem Bewegungsimpuls nimmt auch der Krater zu und was bei geringerer Fallhöhe Welle war, entwickelt sich immer mehr zu einer spritzenden Krone.



**Abb. 9:** Ein Tropfen ist ins Wasser gefallen. Über Wasser ist eine Krone entstanden, eine dünne Wasserlamelle mit Wellen und Spritzern. Unter Wasser ist ein kraterförmiges Loch entstanden.

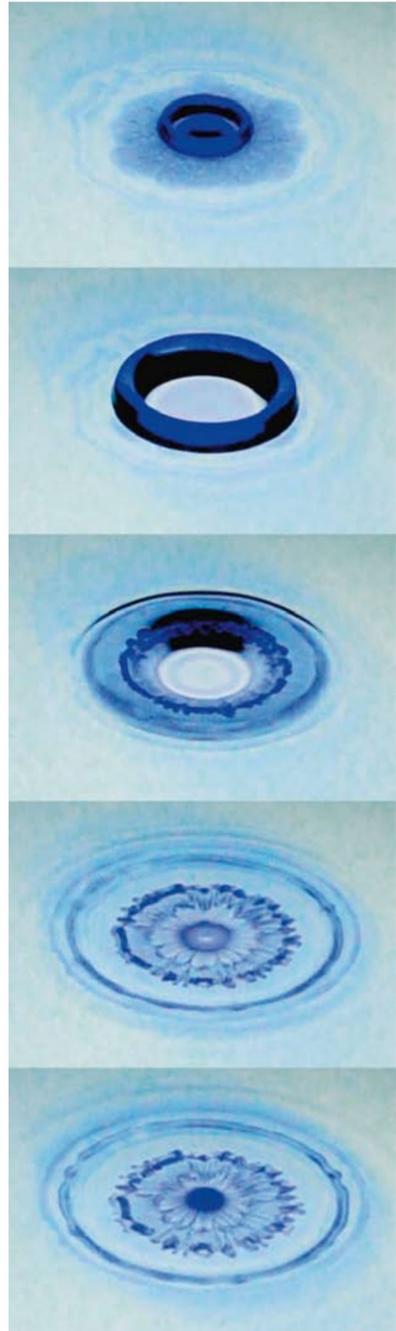
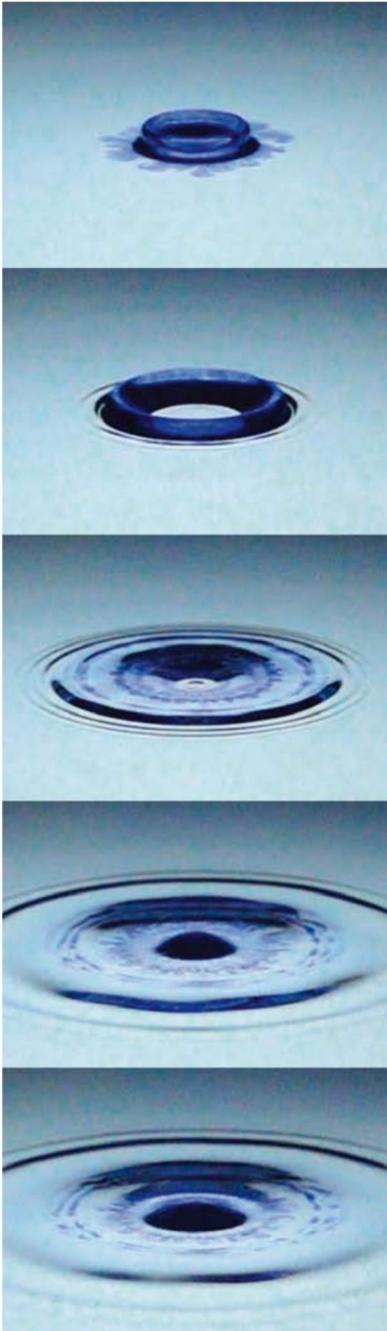
Die meisten folgenden Tropfbilder mit Tintenfärbung sind so entstanden, dass zunächst ein paar ungefärbte Tropfen in die Wasserschicht fielen. Darauf folgte ein Tintentropfen, dessen Farbe überwiegend im Zentrum der Wasserschicht verblieb, und zum Schluss fiel ein ungefärbter oder ein blau gefärbter Tropfen auf die in der vom Vortropfen verbliebene Tinte und schleuderte diese nach außen. Durch den zweiten Tropfen, der die Tinte nach außen schleuderte, wurden die Tropfbildwirbel sichtbar.

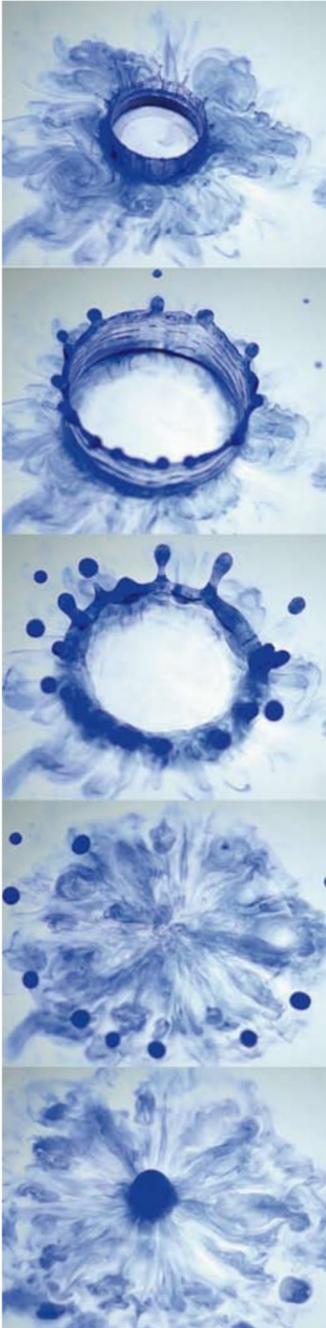


**Abb. 10.:** Ein Tintentropfen ist aus 10 cm Höhe in eine dünne Wasserschicht gefallen. Oberes Bild: man sieht das Kraterloch, umgeben von der ringförmigen, steilen Hauptwelle. Unterstes Bild: Das Kraterloch hat sich fast wieder geschlossen und eine Schar von Wellen breitet sich aus. Auf dem mittleren Bild links blickt man in die Welle hinein und sieht Strukturen von Strömungen in der Welle (rote Markierung), die wie im Bild rechts durch Anfärbung sichtbar gemacht sind. – Aus Videoaufnahme, schräg von oben gefilmt.

**Abb. 11 rechts:** Wie auf Abbildung 10, die Bilder 3 bis 5 wurden etwas später aufgenommen, dadurch gaben die Wellen die Sicht dafür frei, die Bewegungsformen unter Wasser zu sehen. – Bilder aus Videoaufnahme schräg von oben.

**Abb. 12 ganz rechts:** Wie auf Abbildung 11, aber mehr von oben aufgenommen. Auf den Bildern 3 bis 5 von oben sind die Wellen schon weggelaufen, sodass die Wirbelbewegungen im Wasser sichtbar sind. – Aus Videoaufnahme.





**Abb. 13 links:**

Aus 70 cm Höhe sind Tropfen in eine flache Wasserschicht gefallen. Siehe Textbox auf Seite 9. Bilder aus einem Hochgeschwindigkeits-Video mit 1000 Bildern pro Sekunde aufgenommen. Die Zahlen auf den Fotos geben in Millisekunden die Zeiten nach Tropfenaufprall an.

Von oben:

*Bild 1: Schnell entstehendes Kraterloch bis zum Grund und hochschießende Kronenlamelle.*

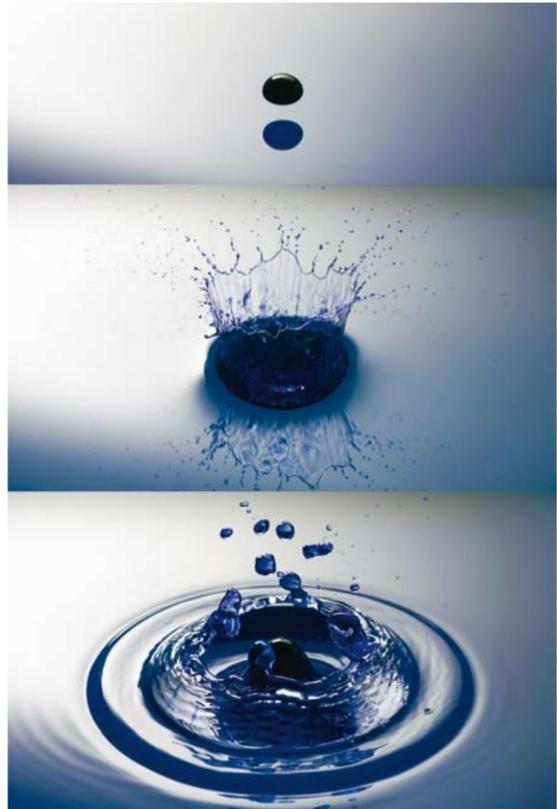
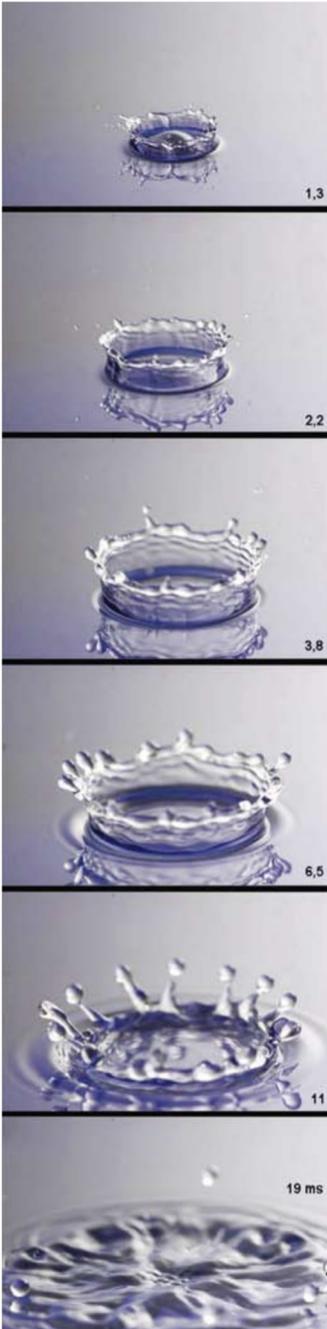
*Bild 2: Krater und Krone wachsen schnell an. Am Kronenrand entstehen Verdickungen.*

*Bild 3: Die Verdickungen werden zu Spritzern, von denen sich einige Tröpfchen abschnüren.*

*Bild 4: Krone und Spritzer haben sich zurückgezogen, die abgeschnürten Tröpfchen schweben noch in der Luft.*



**Abb. 14:** Wenn ein Tropfen in tiefes Wasser fällt, entstehen zunächst keine Wirbel unter Wasser, wie in den Abbildungen 2, 9 und 15. Die Wirbel auf dieser Abbildung entstanden erst durch den zweiten Impuls: das Zurücksinken von Krater, Krone und Jet (Jet wird beschrieben im Buch „Wasser bewegt“).



**Abb. 15 oben:** Ein großer Tropfen, Durchmesser 8 mm, fällt aus 4 cm Höhe in klares, tiefes Wasser.

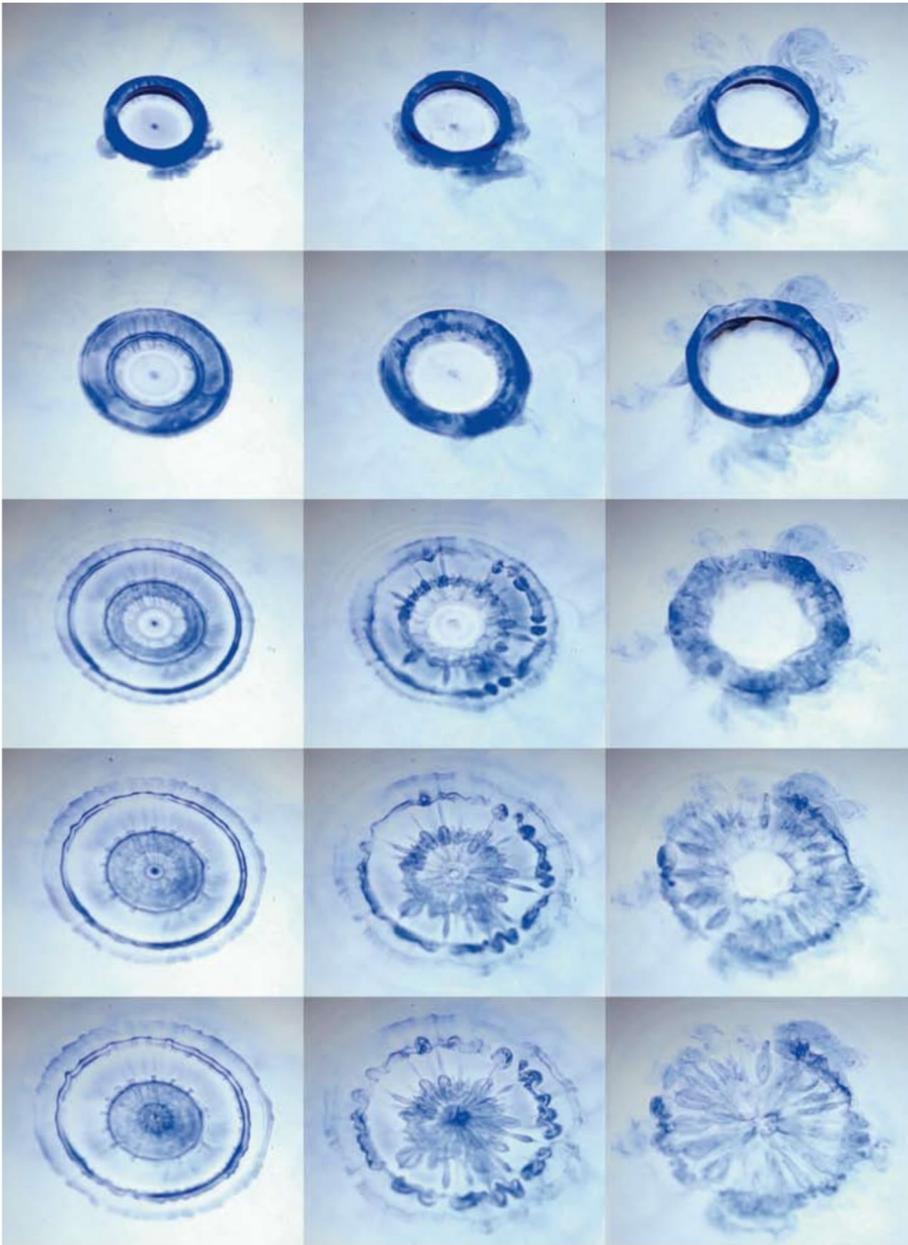
Oberes Bild: der fallende Tropfen ist vom Luftwiderstand abgeflacht.

Mittleres Bild: Eine hauchdünne Krone schießt nach oben und zersprüht in zahllose Spritzer.

Unten: die Krone beginnt sich zu einer Blase zu schließen.

**Abb. 16 links:** In eine Wassertiefe von 1 mm ist ein Tropfen aus 30 cm Höhe gefallen. Es steigt eine Krone mit stark gegliedertem Rand auf. Auf dem vorletzten Bild haben alle Spritzer Tröpfchen abgeschnürt.

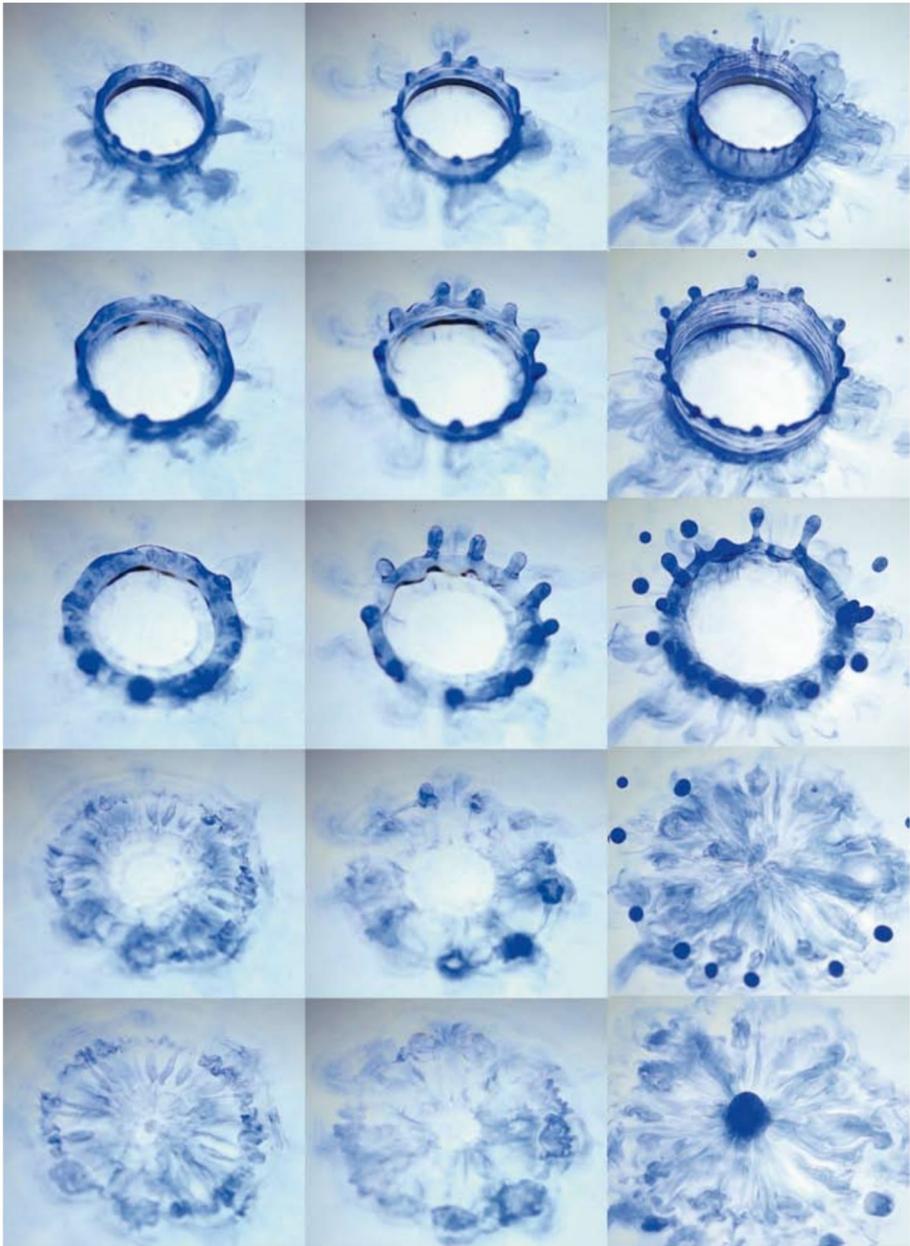
Im letzten Bild sind die Tröpfchen ins Wasser gefallen.



10 cm

15 cm

25 cm



30 cm

35 cm

70 cm

**Abb. 17:** Die Bilder auf den vorangegangenen beiden Seiten sind in sechs Spalten und fünf Zeilen angeordnet. Jede Spalte besteht aus einer Auswahl von Bildern aus einem Video mit der unten angegebenen Fallhöhe in cm.

Tropfbildwirbel	Gegenüberstellung	Kronenspritzer
klein	Tropfen Fallhöhe	groß
klein	Bewegungsimpuls	groß
flach	Wasserschicht	flach bis tief
Wellenring	Wasseroberfläche	Wasserlamelle
flach, eben	Krater	flach bis tief, sphärisch
Ringwirbel	Bewegungsform	Krone
gliedernder Ringwirbel	Gliedern	gliedernde Krone
unter Wasser	Gliederung	in der Luft

**Tabelle 1:** Gegenüberstellung der Eigenschaften von Tropfbildwirbel und Kronenspritzer

**Versuche mit unterschiedlichen Fallhöhen**

Auf Abbildung 17 ist eine Auswahl von 6 Versuche mit den Fallhöhen 10, 15, 25, 30, 35 und 70 cm dargestellt. Es ist eine Auswahl von Bildern aus einem Hochgeschwindigkeits-Video, aufgenommen mit 1000 Bildern pro Sekunde. Für jeden Versuch wurde ein Zeitausschnitt von ca. 20 ms dargestellt. Der Zeitabstand zwischen den einzelnen Bildern ist, ausgehend von oben, sehr kurz und wird dann nach unten immer länger: 1, 4, 9, 16 und 21 Millisekunden nach Tropfenaufrall.

*Entwicklung der Strömungsformen*

Im Folgenden wird die Entwicklung der Strömungsformen vom Tropfbildwirbel bis zum Kronenspritzer dargestellt.

– Fallhöhe 10 cm.

Der Tropfen fällt aus 10 cm Höhe in die dünne Wasserschicht. Das Wasser wird verdrängt, ein Kraterloch entsteht bis auf den Grund. Das verdrängte Wasser steigt in einer Ringwelle mit steilen Seiten auf. Vor dieser Hauptwelle bildet sich eine Schar von Kapillarwellen. Wenn die Hauptwelle flach geworden ist und keine Wellen mehr die Sicht in das Wasser stören, kann man bei geeigneter Anfärbung einen Ringwirbel erkennen, der wenig gegliedert ist.

– Fallhöhe 15 cm:

Das Kraterloch und die Hauptwelle werden etwas größer und die Welle wird unregelmäßiger. Der Ringwirbel ist deutlich in Wirbelansätze gegliedert.

– *Fallhöhe 25 cm:*

Die Hauptwelle ist schon beim ersten Bild unregelmäßig. Krater und Hauptwelle sind im zweiten Bild noch etwas größer geworden. Auf dem dritten Bild ist die Hauptwelle flacher und etwas gegliedert. Es entstehen Teile eines gegliederten Ringwirbels.

– *Fallhöhe 30 cm:*

Das erste Bild zeigt nicht mehr eine Welle wie zuvor, sondern den Beginn einer Wasserlamelle mit Verdickungen am Lamellenrand. Es ist der Übergang von der Welle zur Krone. Der heftigere Bewegungsimpuls des fallenden Tropfens durch die größere Fallhöhe lässt Krater und Krone noch größer werden als beim vorherigen Versuch. Beim dritten Bild ist der Lamellenrand mit deutlichen Verdickungen rundherum gegliedert. Im vierten Bild hat sich der Krater noch nicht wieder ganz geschlossen. Die Wirbelbildungen im Wasser sind relativ chaotisch.

– *Fallhöhe 35 cm:*

Das Kraterloch ist nochmals etwas gewachsen. Die Wasserlamelle ist schon beim ersten Bild am oberen Rand regelmäßig mit kleinen Verdickungen gegliedert. Im dritten Bild werden die Verdickungen größer und länglich. Im vierten und fünften Bild sind die Reste der zurückgesunkenen Lamelle mit den Verdickungen zu sehen.

– *Fallhöhe 70 cm:*

Im ersten und zweiten Bild ist die Wasserlamelle deutlich angestiegen und dünner geworden, auch die Verdickungen, die den Lamellenrand gliedern, sind kleiner geworden. Im dritten Bild werden die Verdickungen zu Spritzern, die Tröpfchen abschnüren. Auf Bild 4 sind die Tröpfchen noch ein Stück weit geflogen, bevor sie ins Wasser eingetaucht sind, und das Kraterloch hat sich wieder geschlossen. Vom Zusammenfließen des Kraterloches ist in Bildmitte eine kleine Aufwölbung der Wasseroberfläche zu sehen, es ist der Beginn der Entstehung einer aufsteigenden Wassersäule, auch Jet genannt. Bei 70 cm Fallhöhe ist der Impuls des Tropfens sehr groß, sodass das Kraterloch sehr schnell entsteht und sehr schnell wieder zufließt. Dabei strömt das Wasser von allen Seiten auf das Zentrum zu und muss nach oben ausweichen, der Jet entsteht.

Es gibt noch weitere Verwandtschaften zwischen Krone und Tropfbild, so das „Zergliedern und Verschmelzen von Strömungsformen“. Sie sind im gleichnamigen Artikel im *WASSERZEICHEN* 59/2023 wiedergegeben.

*Andreas Wilkens*

**Fotos:** Andreas Wilkens

**Literatur:** Wilkens, Andreas et. al. (2022): *Wasser bewegt*. Herrischried (Institut für Strömungswissenschaften)