

## Das Gleiche anders sehen (Teil 3)

### *Vielfältige Möglichkeiten zur Betrachtung von Tropfbildern*

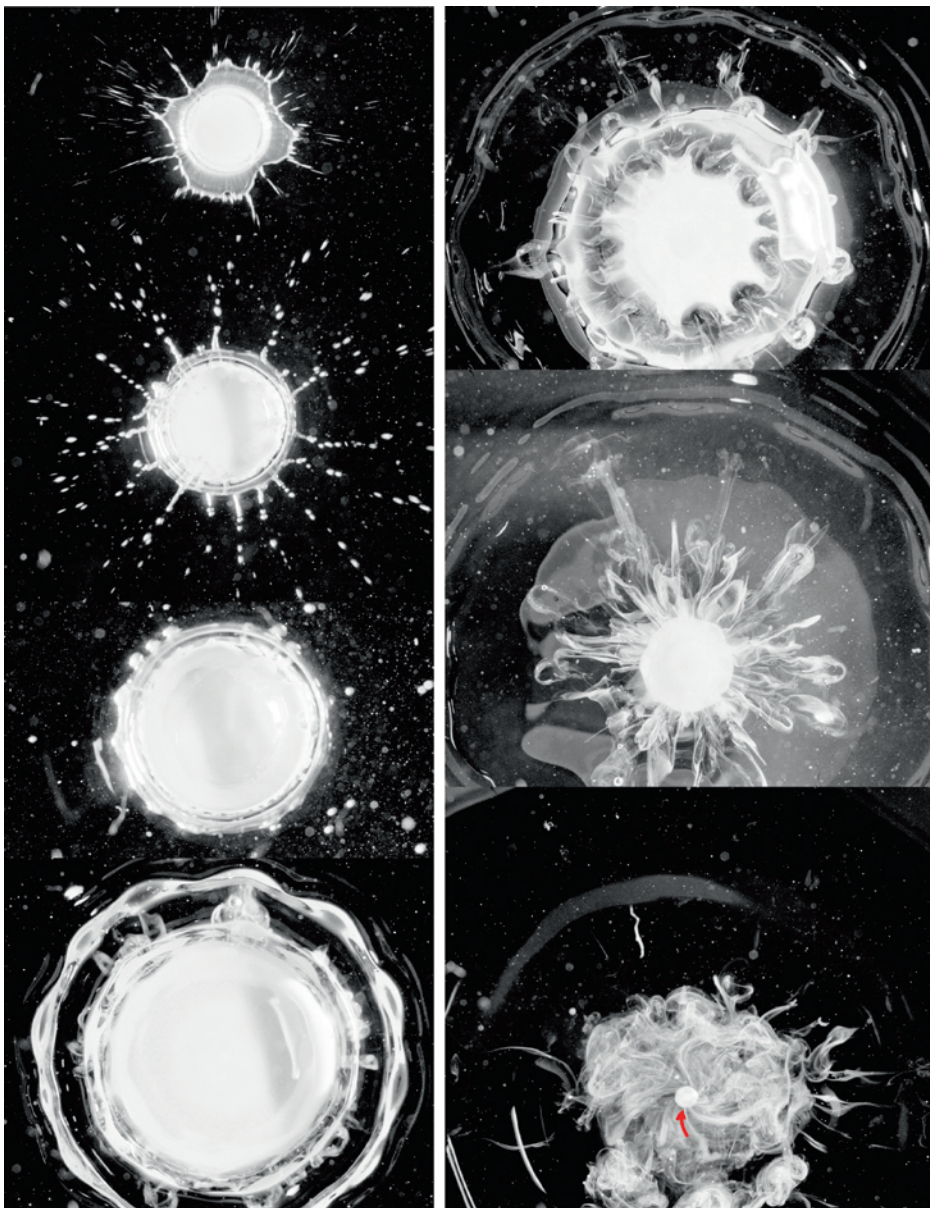
In Teil 1 und 2 dieser Darstellungen wurden verschiedene Sichtweisen auf Tropfbilder gezeigt. Obwohl von den Standard-Tropfbild-Bedingungen ausgegangen wurde, zeigen die Bilder oft sehr unterschiedliche Merkmale.

In diesem Artikel liegt der Schwerpunkt auf der Lichtschnitt-Beleuchtung. Der vorangegangene Teil 2 endete mit einem 5 cm großen aufsteigenden Ringwirbel in einer Lichtschnitt-Beleuchtung, aber nicht unter Tropfbildbedingungen. Dieser dritte Beitrag beginnt mit einem Experiment, das nicht unter Standard-Tropfbild-Bedingungen zustande kam. In den weiteren Versuchen geht es unter anderem um sehr kleine Ringwirbel in der Tropfbild-Wasserschicht und deren schwierige Sichtbarmachung, weil sie von Wellen verdeckt werden.

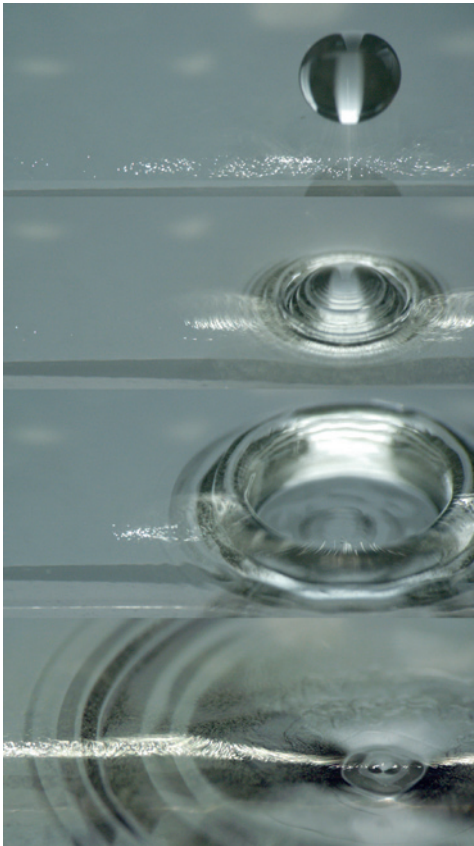
### *Milchtropfen fällt ins Wasser*

Ein Milchtropfen fällt aus ca. 60 cm Höhe in tiefes Wasser. Der Vorgang wird von unten fotografiert, damit die Wellen weniger stören. Abbildung 1, Bild 1 links oben: Durch den Tropfenaufprall schießt eine Wasserlamelle in alle Richtungen zur Seite. Zweites Bild darunter: die Lamelle hat sich in Spritzer zergliedert. Im vierten Bild, linke Seite, hat sich eine Ringwelle gelöst und wandert nach außen, es entstanden konvexe Formen. Auf dem Bild rechts oben strömt die Milch ins Kraterloch zurück, dabei entstehen konkave Formen, die Milch sammelt sich im Zentrum und steigt als Jet nach oben. Im letzten Bild ist der Jet nur noch mit einem Punkt verbunden. Bei genauerer Betrachtung kann man einen leichten Drehimpuls erkennen. Dieser kann entstehen, wenn die Milch von allen Seiten auf einen Punkt zusammenströmt, aber nicht genau aufeinandertrifft (siehe Pfeil).

Bei diesem Experiment entstehen ähnliche Phänomene wie unter Tropfbildbedingungen, allerdings in verwandelter Form. So werden die Milchspritzer in der Luft zu Tropfbildwirbeln unter Wasser. Das Kraterloch ist begrenzt vom Tropfbild-Schalenboden und statt eines Jets entsteht nur eine leichte Aufwölbung des Wassers im Zentrum.



**Abb. 1:** Ein Milchtropfen fällt aus 60 cm Höhe in tiefes Wasser. Von unten fotografiert. Auf dem letzten Bild markiert ein roter Pfeil den Drehimpuls.



**Abb. 2:** Phasen vom Eintauchen eines Tropfens im Lichtschnitt

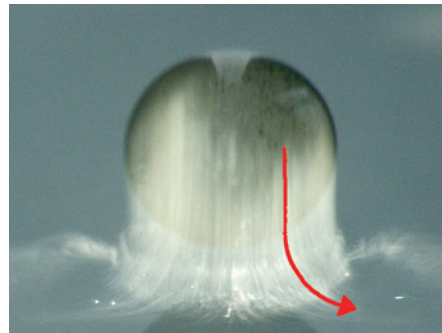
*Ein Tropfen taucht ins Wasser*

Abbildung 2 zeigt Phasen des Eintauchens eines Tropfens in eine dünne Wasserschicht in der Lycopodium-Sporen schwimmen. Im Bereich des Lichtschnittes sind die Partikel hell beleuchtet. Gut zu sehen auf dem obersten und untersten Bild.

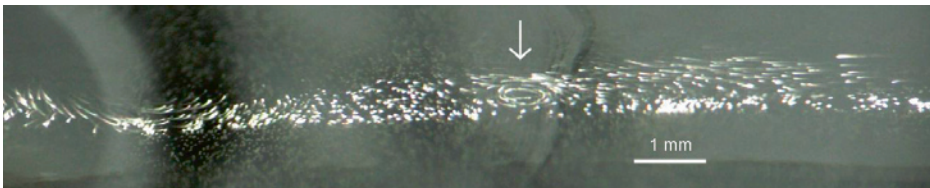
Von oben nach unten:

– fallender Tropfen – halb eingetauchter Tropfen mit Kapillarwellen – Ringwelle mit Kraterloch – Schar von Wellen und Zufließen von Kraterloch.

Schräg von oben fotografiert.



**Abb. 3:** Tropfenaufprall mit Sporen im Lichtschnitt



**Abb. 4:** Lichtschnitt, senkrecht in der Wasserschicht mit Lycopodium im Tropfbild. Tropfbildzentrum links. Pfeil markiert Girlandenringwirbel. Foto schräg von oben.

*Lichtschnitt-Beleuchtung*

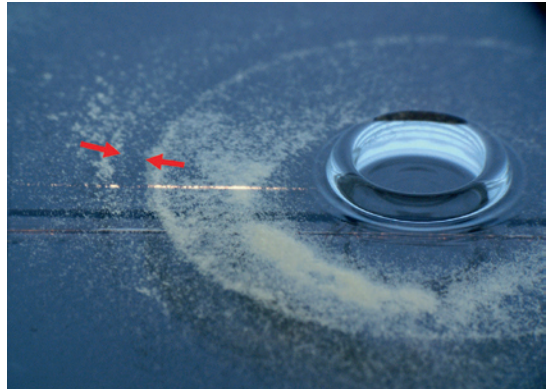
Abbildung 3 zeigt einen Tropfen beim Eintauchen in eine dünne Wasserschicht. Im Tropfwasser befinden sich viele Lycopodium-Sporen, erhellt durch den Lichtschnitt. Man kann sehr schön sehen, wie die Strömung im Tropfen verläuft (siehe Pfeil).

Im letzten Moment des Fallens bewegen sich die Sporen mit dem Tropfwasser senkrecht nach unten. Dann wird das Tropfwasser gezwungen, in alle Richtungen über dem Glasboden auszuweichen. Die senkrechte Bewegung geht über in eine waagerechte.

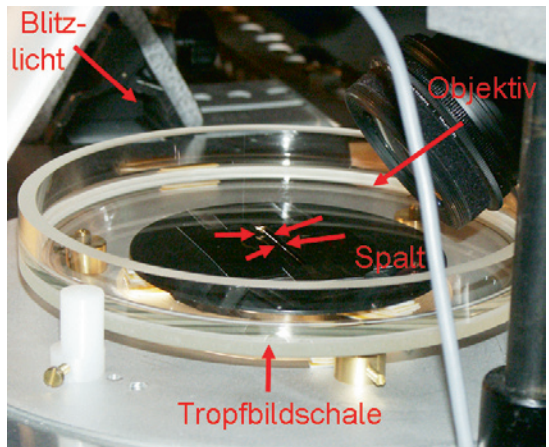
Auf Abbildung 4 ist der Lichtschnitt durch die darin beleuchteten Lycopodiumsporen sehr schön zu sehen. Der Lichtschnitt ist ein heller, 0,1 mm dünner und 1 mm hoher, senkrechter Bereich im Wasser, der vom Zentrum bis über den Girlanden-Ringwirbel reicht. Durch die Aufnahmerichtung von 45° schräg von oben (Abb. 6) ist das Bild verzerrt.

Durch unterschiedliche Wassertiefen verzerrt das Bild zusätzlich. Auf Abbildung 5 haben sich die Sporen abgesetzt und leuchten hell im Bereich des Lichtschnittes.

Im Bereich des Girlanden-Ringwirbel, im folgenden G-Wirbel

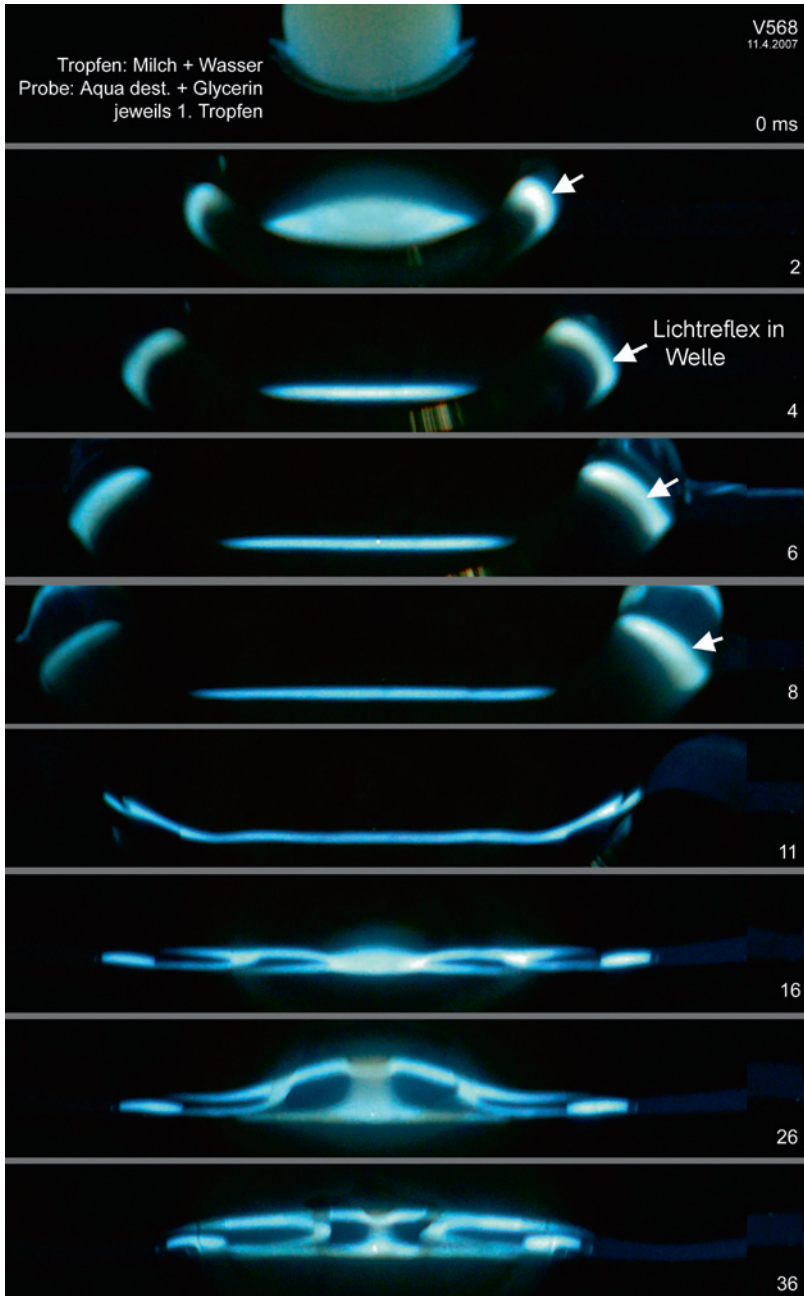


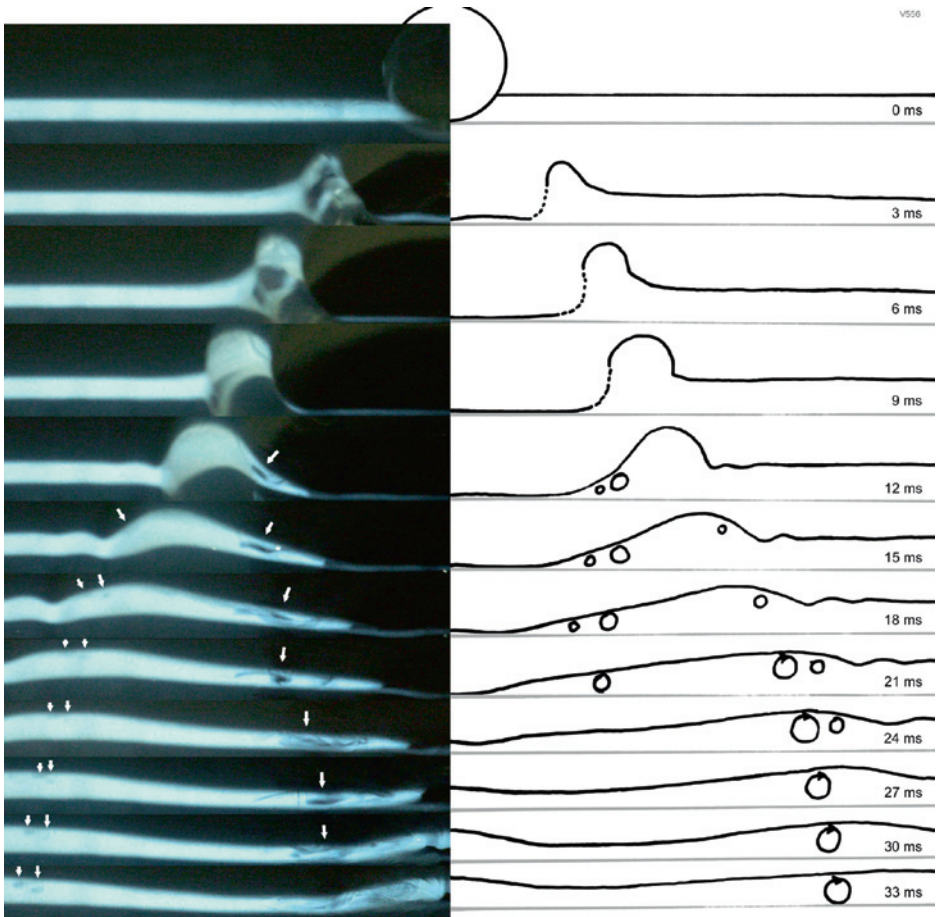
**Abb. 5:** Nach Tropfenaufprall sind ein Kraterloch und eine Ringwelle entstanden. Im Lichtschnitt leuchten Lycopodium-Sporen hell auf. Auch der Bereich des Girlanden-Ringwirbels ist zu erkennen (Pfeile).



**Abb. 6:** Versuchsaufbau: Im Zentrum der Tropfbildschale befindet sich die schmale Lichtschnitt-Blende, die von unten mit Blitzlicht beleuchtet wird. Die Kamera ist 45° schräg von oben und von der Seite auf den Lichtschnitt ausgerichtet. Ein zweiter Blitz links oben beleuchtet gleichzeitig die Wasseroberfläche. Die Abbildungen 2, 3, 4 und 5 sind so entstanden.

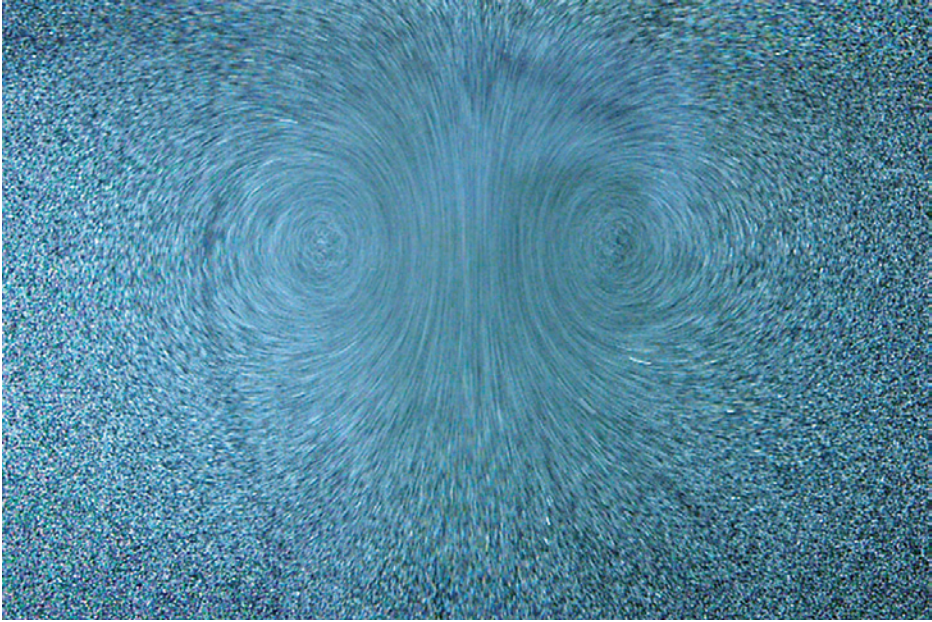
**Abb. 7, rechte Seite:** Phasen beim Eintauchen eines Milchtropfens in eine dünne Wasserschicht. Die hellen Stellen sind Tropfenwasser, beleuchtet im Lichtschnitt. Die Bilder 2 bis 8 ms zeigen außen rechts und links einen Lichtreflex, der nicht zur Welle gehört.





**Abb. 8:** In eine mit Milch gefärbte Wasserschicht, oberstes Bild, fällt ein Tropfen klaren Wassers, linke Bildhälfte. Da die Kamera schräg von oben und seitlich aufnimmt, sind die Bilder elliptisch verformt. Die Zeichnung rechts zeigt eine Korrektur der Verformung. Die Pfeile und Kreise in Richtung Zentrum markieren die Kern-Ringwirbel, die Pfeile und Kreise nach außen markieren den Girlanden-Ringwirbel.

genannt, wurden die Sporen weggespült und es bleibt dort dunkel (siehe Pfeile). Ein Tropfen ist gerade eingetaucht und hat einen steilen Wellenring erzeugt. Abbildung 6 zeigt den Versuchsaufbau für einen Lichtschnitt in der Wasserschicht der Tropfbildschale.



**Abb. 9:** Aufsteigender Ringwirbel in Lichtschnitt-Beleuchtung mit Lycopodium-Sporen

### *Anfärbung mit Milch im Lichtschnitt*

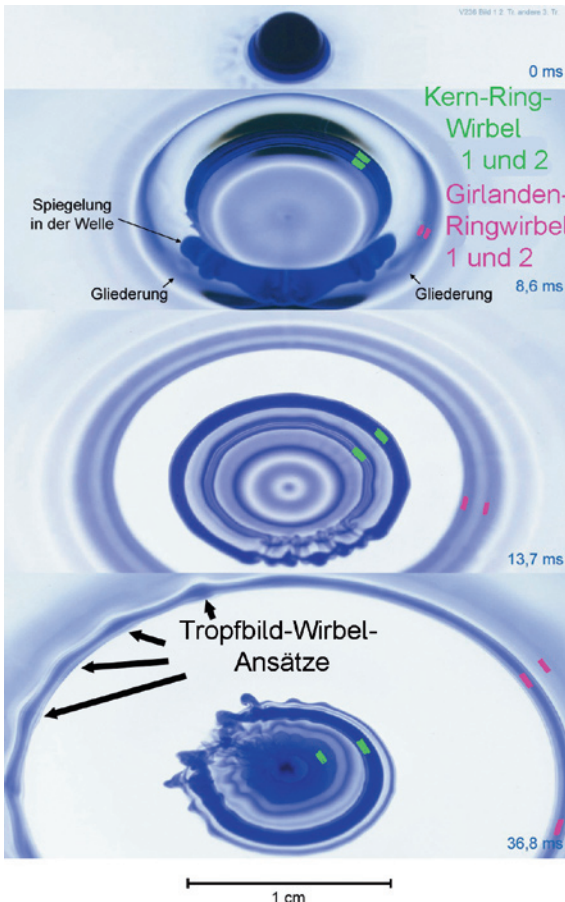
Abbildung 7 zeigt das Eintauchen eines ersten Tropfens. Das heißt, es ist vorher noch kein Tropfen gefallen. Dadurch ist der Hintergrund schwarz und es leuchten im Lichtschnitt nur Milchbestandteile vom Tropfen. Auf dem obersten Bild ist der Tropfen noch fast ganz. Beim Eintauchen wird er bis zur achten Millisekunde immer flacher und breiter. Ab der 11. Millisekunde sammelt sich das Tropfwasser wieder im Zentrum und wölbt sich etwas nach oben (26 ms). Es handelt sich um den Bereich der Kernzone, in der zwei Ringwirbel entstehen, Abb. 10).

Abbildung 10 zeigt das Ganze aus einer anderen Perspektive, was hier blau ist, ist in Abbildung 7 weiß. Oberstes Bild: der Tintentropfen taucht gerade ein. Zweites Bild, im Wellenring ist die Entstehung von vier Ringwirbeln zu erkennen (grüne und magentafarbene Markierungen). Viertes Bild: die Kernringwirbel schrumpfen und die Girlandenringwirbel nehmen zu. Auf Bild 4 ist nur noch ein Girlanden-Ringwirbel vorhanden, der anfängt sich zu gliedern (siehe schwarze Pfeile). Der Versuch von Abbildung 10 wurde in einer Tropfbildschale über einer von unten beleuchteten Opal-Glasscheibe durchgeführt.

Spiegelungen in der Welle entsprechen den Lichtreflexen auf dem zweiten bis fünften Bild von Abbildung 7. Die Abbildungen 7 und 8 sind verzerrt, weil man schräg von oben ins Wasser sieht.

Abbildung 9 zeigt eine Lichtschnitt-Beleuchtung mit Hilfe von Diaprojektoren durch einen Ringwirbel. Durch eine lange Belichtungszeit sieht man die Bewegungsspuren der Partikel im Wasser. Sie steigen von unten in der Mitte auf, breiten sich oben in alle Richtungen aus und gehen außen wieder nach unten. Es ist eine kreisende Bewegung, von der nur eine senkrechte dünne Schicht sichtbar wird. Fast der ganze Flüssigkeitsraum ist von der Bewegung erfasst. Durchmesser des Ringwirbels ca. 5 cm.

Die Projektoren waren mit einem Dia mit schmalen Schlitz bestückt.



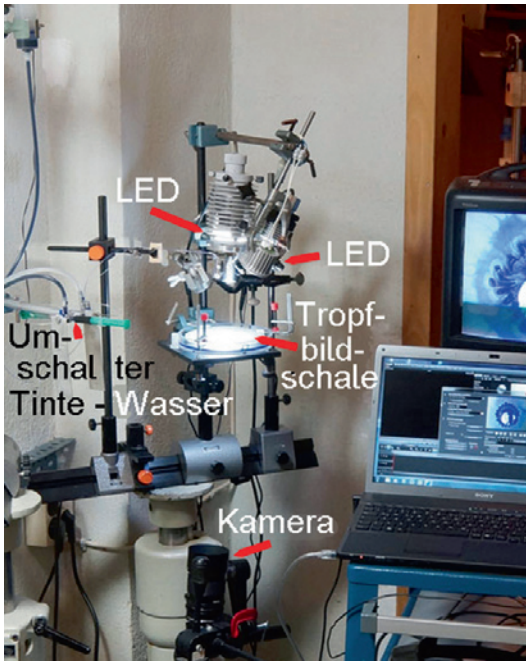
**Abb. 10:** Ein Tintentropfen fällt in eine dünne Wasserschicht. Es entstehen vier Ringwirbel.

**Rechte Seite:**

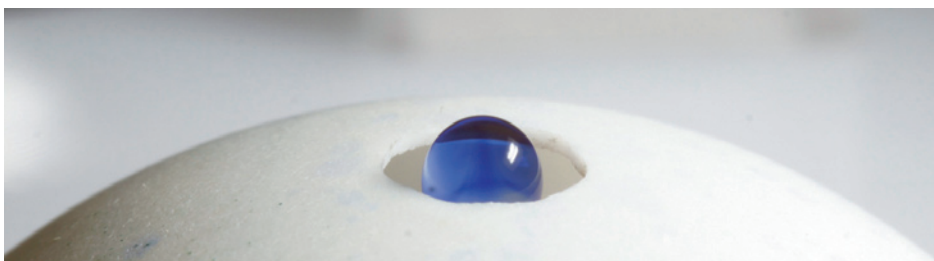
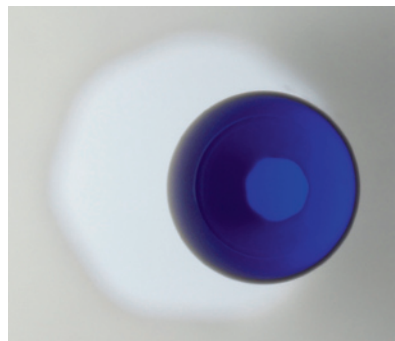
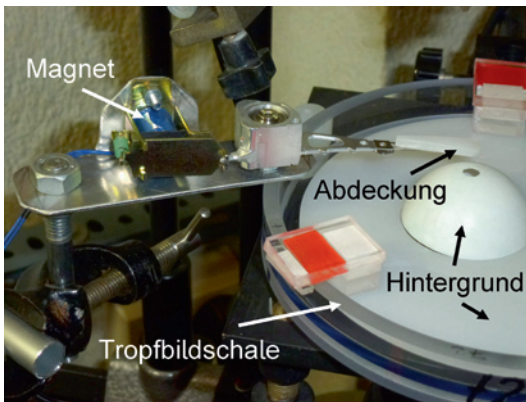
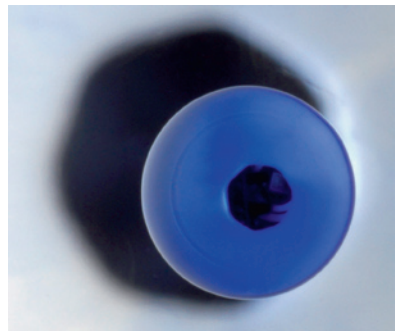
**Abb. 11** (links oben): Versuchsaufbau zu den Abbildungen 12 bis 15 zur Reduktion der Wellenerscheinungen im Tropfbild. Fotografiert wurde von unten. Bildhintergrund ist eine Opalglasscheibe, die über der Wasseroberfläche aufgehängt ist. Der Tropfen fällt durch ein Loch.

**Abb. 12** (links Mitte): Versuchsaufbau im Detail. Man sieht den Hintergrund, bestehend aus Opalglasscheibe und Tennisball mit Loch. Das Loch kann computergesteuert abgedeckt werden, damit es im Foto nicht zu sehen ist.

**Abb. 13** (unten): Der Tropfen fällt und passiert gerade das Loch im Tennisball



**Abb. 14 (unten):**  
Tropfenfall durch Loch.  
Oben: ohne Abdeckung vom Loch,  
darunter: mit Abdeckung vom Loch.





**Abb. 15:** Frühes Stadium vom Tropfbild mit Abdeckung von Loch. Geblitzt

Dadurch erscheint der Lichtschnitt auf dem Schalenboden verbogen, auf der Zeichnung aber gerade. Die dunklen Unterbrechungen im weißen Lichtschnitt, Abbildung 8, kommen von der Ansammlung von klarem Tropfwasser in den Ringwirbeln zustande.

*Die Wellenerscheinungen im Tropfbild durchsichtig machen*

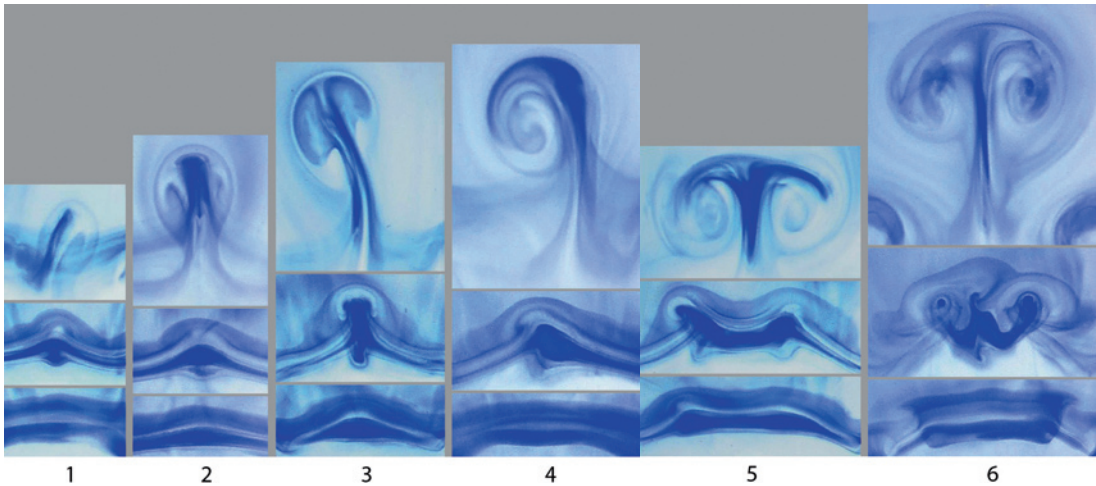
Abbildung 11 zeigt den ganzen Versuchsaufbau, der von einem Computer gesteuert wird. Abbildung 12: Die Kamera fotografiert und filmt von unten. Dicht über der Wasserschicht befindet sich eine Opalglasscheibe mit einem Loch, das etwas kleiner ist als ein Tischtennisball. Ein halber Tischtennisball deckt das Loch in der Opalglasscheibe ab. Er hat selber noch ein kleines Loch, durch das der Tropfen fallen kann (Abb. 13). Die Opalglasscheibe wird von oben mit mehreren kleinen, hellen LED-Scheinwerfern oder mit einem Blitz beleuchtet. Abbildung 14 zeigt den Unterschied mit und ohne Lochabdeckung.

Will man die Strömungen ganz am Beginn des Eintauchvorganges studieren, muss man durch die Wellen hindurchsehen. Die Wellen spiegeln den Hintergrund mit seinen hellen und dunklen Bereichen, aber ein Teil des Hintergrundes ist oft so dunkel, dass man nicht sehen kann, was dahinter ist. So entstand die Idee, die Dunkelheit zu minimieren. Auf Abbildung 12 und 15 ist dies zu sehen: Die Opalglasscheibe befindet sich so dicht wie möglich über der Wasserschicht. Ein halber Tischtennisball als Bildhintergrund und das Verschließen des Lochs im Tischtennisball, sofort nachdem der Tropfen das Loch passiert hat, minimiert die schwarzen Bereiche.

Abbildung 15 ist ein mit Blitz belichtetes Tropfbild. Von den Wellenschatten ist kaum noch etwas zu sehen. Das Loch im Zentrum ist hell, zwei blaue darum

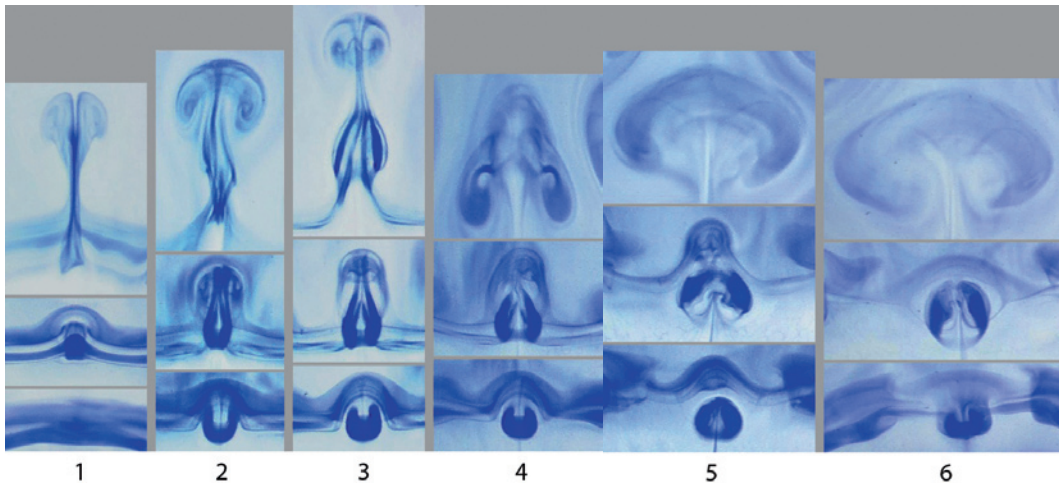
herum befindliche Kernringwirbel erscheinen detailreich mit nur einem schmalen schwarzen Kreis, der die Sicht behindert.

Außen sieht man die Hauptwelle mit beginnenden Gliederungen zu Tropfbildwirbeln. Auch hier verhindert ein schmaler weißer Kreis die Sicht.



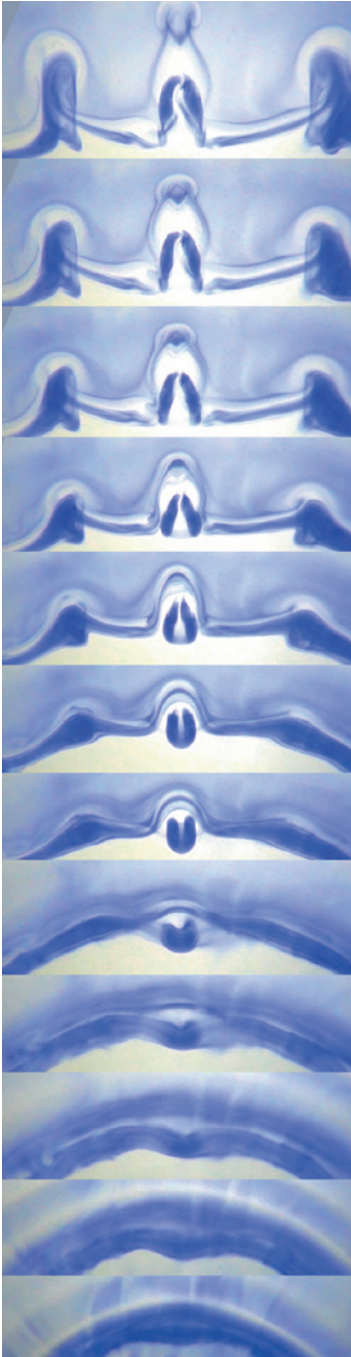
**Abb. 16:** Wirbel-Entwicklungen, *Primär-Wirbel*

1. Wirbel bleibt in der Girlande – 2. Wirbel auf Girlande – 3. Wirbel langgestielt – 4. Wirbel einseitig neben Zwischenwirbeln – 5. zwei Wirbel werden einer, zwischen zwei Zwischenwirbeln – 6. wie 5., aber langgestielt



**Abb. 17:** Wirbel-Entwicklungen, *Zwischen-Wirbel*

1. klein, gestielt – 2. größer, gestielt – 3. gestielt mit dicker Basis – 4. breit mit Ansatz von Doppelkopf – 5. klassischer Zwischenwirbel – 6. klassischer Zwischenwirbel



### *Tropfbildwirbel-Entstehung*

Auf den Abbildungen 16, 17 und 18 sind Beispiele von ganz unterschiedlichen Tropfbildwirbeln und ihre Entstehung gezeigt.

Es gibt zwei verschiedene Arten der Entstehung. Beide Arten gehen aus dem G-Wirbel hervor, was auf Abbildung 19 gut zu sehen ist.

Bei der Bildung der Zwischenwirbel kommt es zu einer Verdickung des G-Wirbels durch axiale Strömungen. Dann schnürt sich ein Teil vom G-Wirbel ab und schließt sich fast zu einem Kreis, siehe Abbildung 18.

Die Primärwirbel entwickeln ebenso eine Verdickung im G-Wirbel, die sich aber nicht vom G-Wirbel trennt. Der axiale Strom zur Verdickung von beiden Seiten auf einen Punkt bewirkt einen Bewegungsimpuls in die Peripherie, was bis zu sehr langen Tropfbildwirbeln führen kann, Abbildung 16, Wirbel 3.

Die Abbildungen 16, 17 und 18 zeigen eine kleine Auswahl von Bildern aus Videofilmaufnahmen, die mit 50 Bildern pro Sekunde aufgenommen wurden.

Zahlreiche Tropfbildversuche wurden so aufgenommen, dass fast alles von Beginn an sichtbar geworden ist.

**Abb. 18:** Wirbelentwicklung im Tropfbildversuch

*Reihenfolge von unten nach oben:*

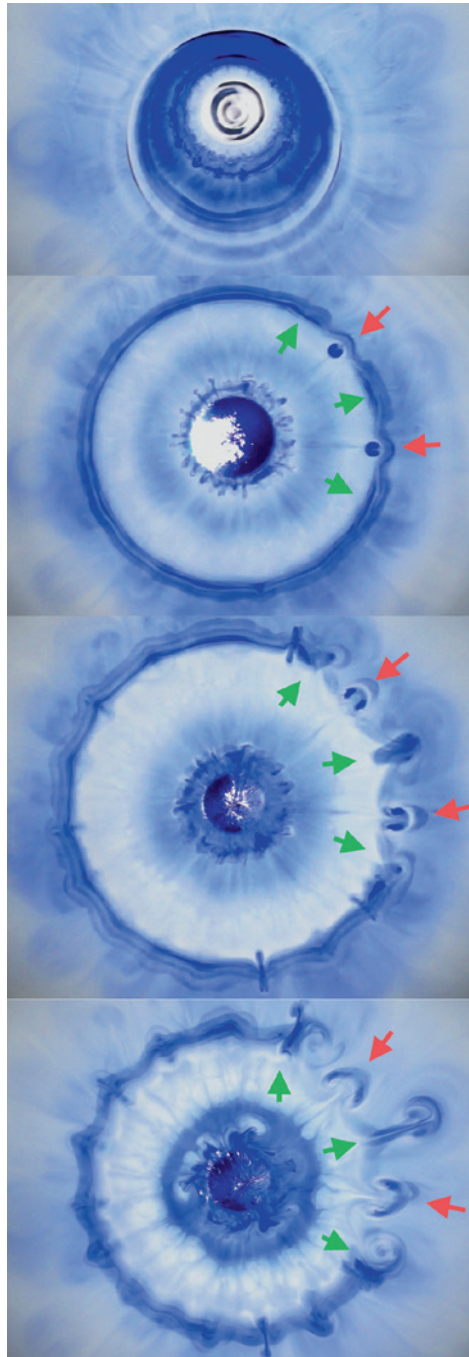
1. Verdickung im G-Wirbel
  2. Verformung des G-Wirbels
  3. Abschnürung vom G-Wirbel
  4. Wachsen des Wirbelansatzes in die Peripherie.
- Rechts und links wird der Zwischenwirbel von Primärwirbeln begleitet.*

**Abb. 19:**

Auf dem ersten Foto kann man zwei Ringwirbel erkennen, wie sie auf Abbildung 10 markiert sind. Es sind innen ein Kern-Ringwirbel und außen ein Girlanden-Ringwirbel. Auf dem zweiten Bild haben sich zwei Teile vom Girlanden-Ringwirbel abgeschnürt, sie werden später zu den den sogenannten Zwischen-Wirbeln. Auch zu sehen auf Abb. 17. Erst im dritten Bild sieht man auch Primärwirbel, die sich mit den Zwischenwirbeln abwechseln. Auch zu sehen auf Abb. 16.

Einiges Verständnis konnte mit diesen Versuchen für die Entstehung der Tropfbildwirbel gewonnen werden. In vorigen WASSERZEICHEN 60, 61 und 62 ging es auch um die Entstehung der Tropfbilder und Tropfbildwirbel.

Andreas Wilkens



**Fotos:** Andreas Wilkens