

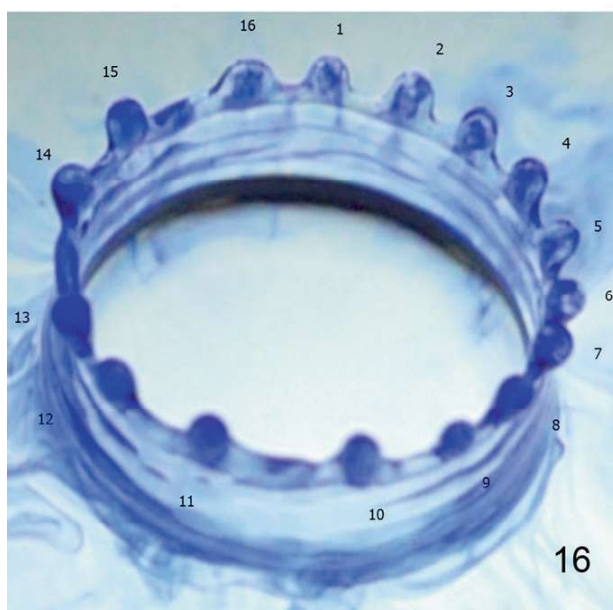
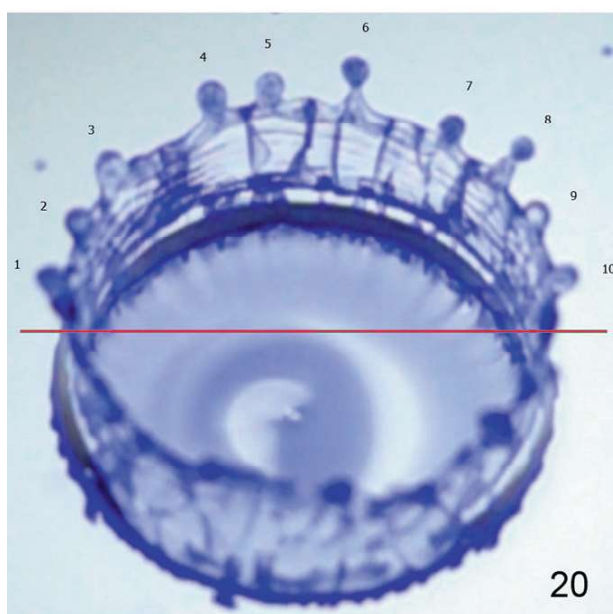
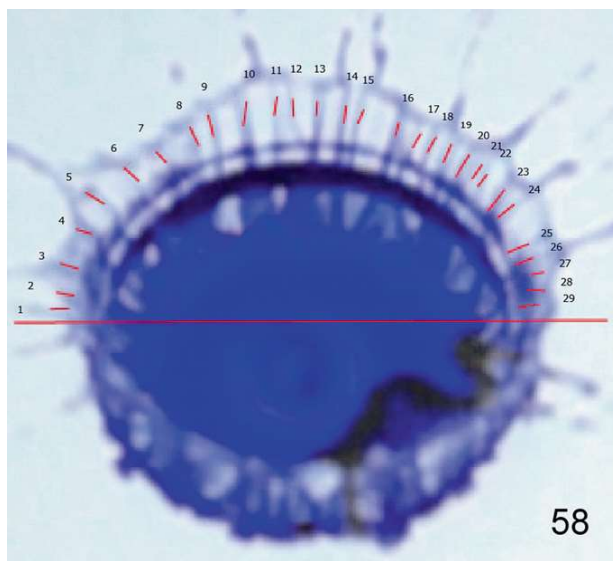
Zergliedern und Verschmelzen von Strömungsformen

Wenn z. B. ein 3 mm großer Wassertropfen aus 40 cm Höhe ins Wasser fällt, entstehen im Wasser, durch den Aufprall, ein Kraterloch nach unten und eine Krone mit Spitzen nach oben (Abb. 1). In der aufschießenden Lamelle der Krone erkennt man blaue Streifen, die in die Kronenspritzer übergehen. An den Streifen kann man abschätzen, wieviele Kronenspritzer kurz vorher da gewesen sein müssen.

Auf Fotos von unterschiedlichen Momenten dieses Vorgangs war mir immer wieder aufgefallen, dass man am Anfang dieses Eintauchens mehr Kronensprit-



Abb. 1: Eintauchen eines 3 mm großen Tintentropfens, gefallen aus 60 cm Höhe



zer zählen konnte als später (Abb. 2). Um den Vorgang genau zu verfolgen, reichen Einzelfotos von verschiedenen voneinander unabhängigen Momenten nicht, sondern man muss die Kronenspritzer filmen. Da der Vorgang aber sehr schnell abläuft, genügt eine normale Videokamera nicht. Erst seitdem ich eine Kamera habe, die 1000 Bilder pro Sekunde machen kann, konnte ich verfolgen, was geschieht (Abb. 3): Zwei benachbarte Kronenspitzen oder Kronenspritzer nähern sich meist an der Basis einander an, bis sie sich berühren und verschmelzen. Auf den Bildern aus den Hochgeschwindigkeitsfilmen sind zwei Beispiele gezeigt, auf denen die sich vereinigenden Spritzer farblich markiert sind (Abb. 3 und 4). Es kommt nicht immer zum Spritzen, der Tropfen muss dazu groß

Abb. 2

Oben: Aufprall eines Tintentropfens auf einen auf einer Glasplatte liegenden Tintentropfen, wenige Tausendstel Sekunden nach Beginn des Aufpralls. Der Vorgang war so schnell, dass eine Belichtungszeit von $1/1250$ Sekunden nicht ausreichte, um den Vorgang scharf abzubilden. Mit Hilfe der blauen Streifen kann man abschätzen, wieviele Spritzer es gegeben hat; hier waren es ca. 58.

Mitte: Etwas später, nach Aufprall auf eine dünne Wasserschicht, gibt es nur noch ca. 20 Kronenspritzer.

Unten: Noch später sind es nur noch 16 Kronenspritzer.

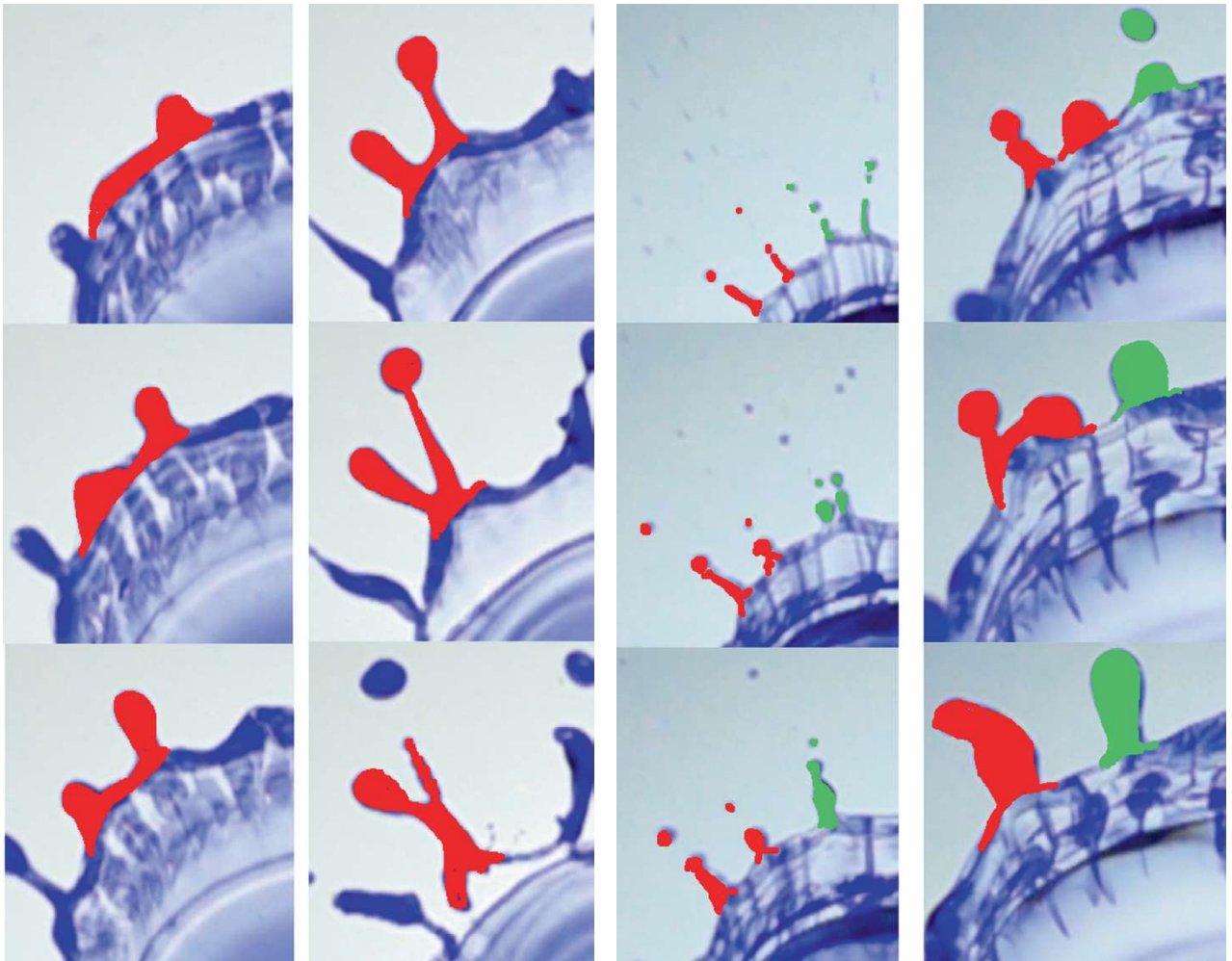


Abb. 3 links und 4 rechts: Ausschnitte aus der Krone an einer Stelle, an der zwei Kronenspritzer zu einem verschmelzen. Es sind einzelne Bilder aus einem Hochgeschwindigkeitsfilm (1000 Bilder pro Sekunde).

genug und schnell genug auf eine Wasserschicht aufprallen. Unter Tropfbildbedingungen (Tropfengröße 15 mg, entspricht einem Tropfen mit 3 mm Durchmesser und einer Fallhöhe von 10,15 cm) bilden sich keine Spritzer. Es entsteht nur ein Wellenring, unter dem sich allerdings einiges tut (Abb. 5). Erstaunlicherweise geschieht unter Wasser etwas Verwandtes wie das Verschmelzen der Spritzer an der Krone (Abb. 6). Unter der Ringwelle entsteht vor allem ein Ringwirbel, der mit ihr wächst und sich dann gliedert. Auf Abbildung 6 sieht man ganz unten, wie die Gliederung mit zwei kleinen Verdickungen des Ringwirbels beginnt, die zunehmen, sich an der Basis annähern, so weit, dass ein großer Tropfbildwirbel entsteht. Die Strömungen unter Wasser sind deutlich langsamer als über Wasser bei der Bildung von Krater und Krone. Die Bilder sind eine Auswahl aus einem Film, der mit einer normalen Videokamera mit 50 Bildern pro Sekunde aufgenommen wurde.

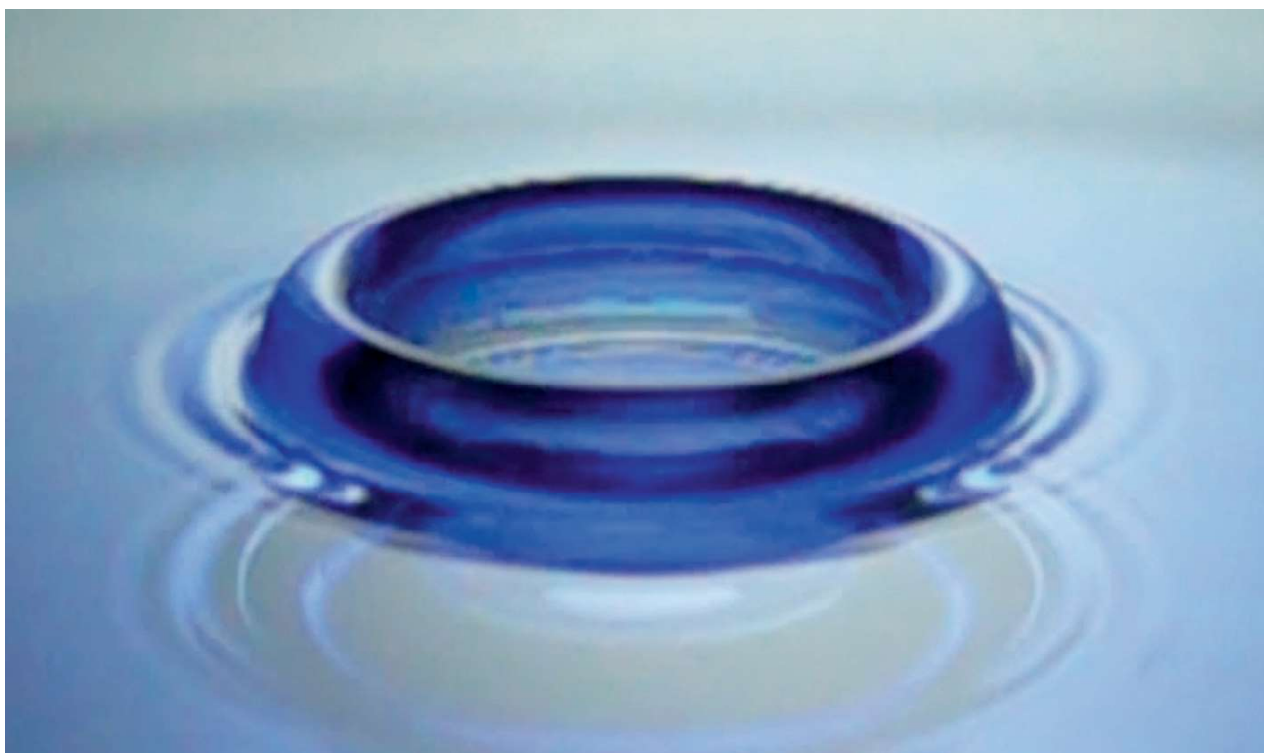
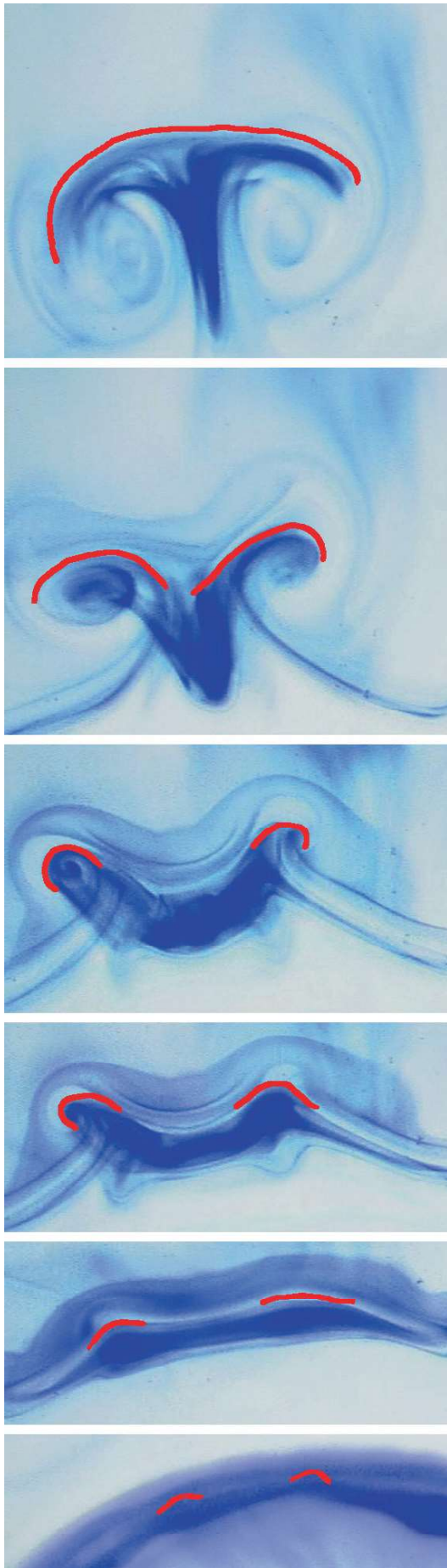


Abb. 5: Wellenring, kurz nach dem Aufprall des Tropfens (nach 7 ms) auf die Wasserschicht entstanden. Ein paar Kapillarwellen eilen ihm voraus. Im Innern der Welle finden differenzierende Strömungen statt, die später zu den Strömungsmustern wie im Tropfbild führen. Unten im Bild, auf dem Glasboden, spiegeln sich die Wellen.

Die Verwandtschaft, dass Strömungsformen zu einer neuen Einheit verschmelzen, besteht trotz ganz unterschiedlicher treibender Kräfte. Der Kronenspritzer schießt als kleiner Wasserstrahl aus der Krone, Oberflächenspannungskräfte halten den instabilen Strahl zusammen. Sobald eine Unregelmäßigkeit entsteht, z. B. eine kleine Einbuchtung, wirken sofort die Kräfte der Oberflächenspannung und schnüren den Strahl ein, bis er in Tropfen zerfällt.

Ganz anderes geschieht unter Wasser. Ein Ringwirbel entsteht, das Wasser kreist um seine ringförmige Wirbelachse, im Zentrum schnell und nach außen hin immer langsamer werdend. Wie der Wasserstrahl der Krone ist auch der Ringwirbel instabil. Bei kleinsten Unregelmäßigkeiten entstehen Verdickungen, die Flüssigkeit wird von den Verdickungen von beiden Seiten regelrecht angezogen. Dabei können relativ schnelle, axiale Strömungen auftreten und die Basis der beiden Wirbelansätze verschmelzen miteinander. So, wie bei den Spritzern die Oberflächenspannung die treibende Kraft ist, so sind es unter Wasser die Kräfte der axialen Strömungen. In beiden Fällen kommt die Energie vom fallenden Tropfen.



Auf Abbildung 7 sieht man einen aufsteigenden Jet, der an seiner Spitze Tröpfchen abschnürt. Voraussetzung für seine Entstehung ist ein Kraterloch im Wasser, in dem das Wasser von allen Seiten zusammenfließt und im Zentrum aufeinandertrifft. Dieses Wasser kann nur nach oben ausweichen und der Jet entsteht. Ein solches Kraterloch kann auch durch eine kleine platzende Luftblase entstehen. Das Loch wird schnell durch die Kräfte der Oberflächenspannung geschlossen, wodurch feine Jets entstehen, die in viele kleine Tröpfchen zerfallen. Das ist übrigens ein Vorgang mit globaler Bedeutung, weil Tröpfchen aus den Meeren Substanzen in die Luft schleudern, die aufsteigen und als Kondensationskeime für Regen dienen.

Abbildung 8 zeigt einen ähnlichen Vorgang des Zergliederns wie bei den Kronenspritzern und den Jettropfen. In allen drei Fällen ist die Oberflächenspannung die treibende gliedernde Kraft. Die Kronenspritzer werden durch den Tropfenaufprall zur Seite geschleudert, der Jet wird durch den Sammlungsimpuls des Kraterloches nach oben geschleudert und die Wasserstrahlen werden durch ihren Fall von der Schwerkraft nach unten gezogen.

Abb. 6:
 Bildsequenz von unten nach oben. Auf dem untersten Foto entspricht dem Ringwirbel der dunkelblaue Bereich. Die Entwicklung der Wirbelansätze ist rot markiert. Rechts und links der Wirbelansätze reißt der Ringwirbel ab und der Rest „schnurrt“ zusammen und bildet einen großen Wirbel, oberstes Foto.

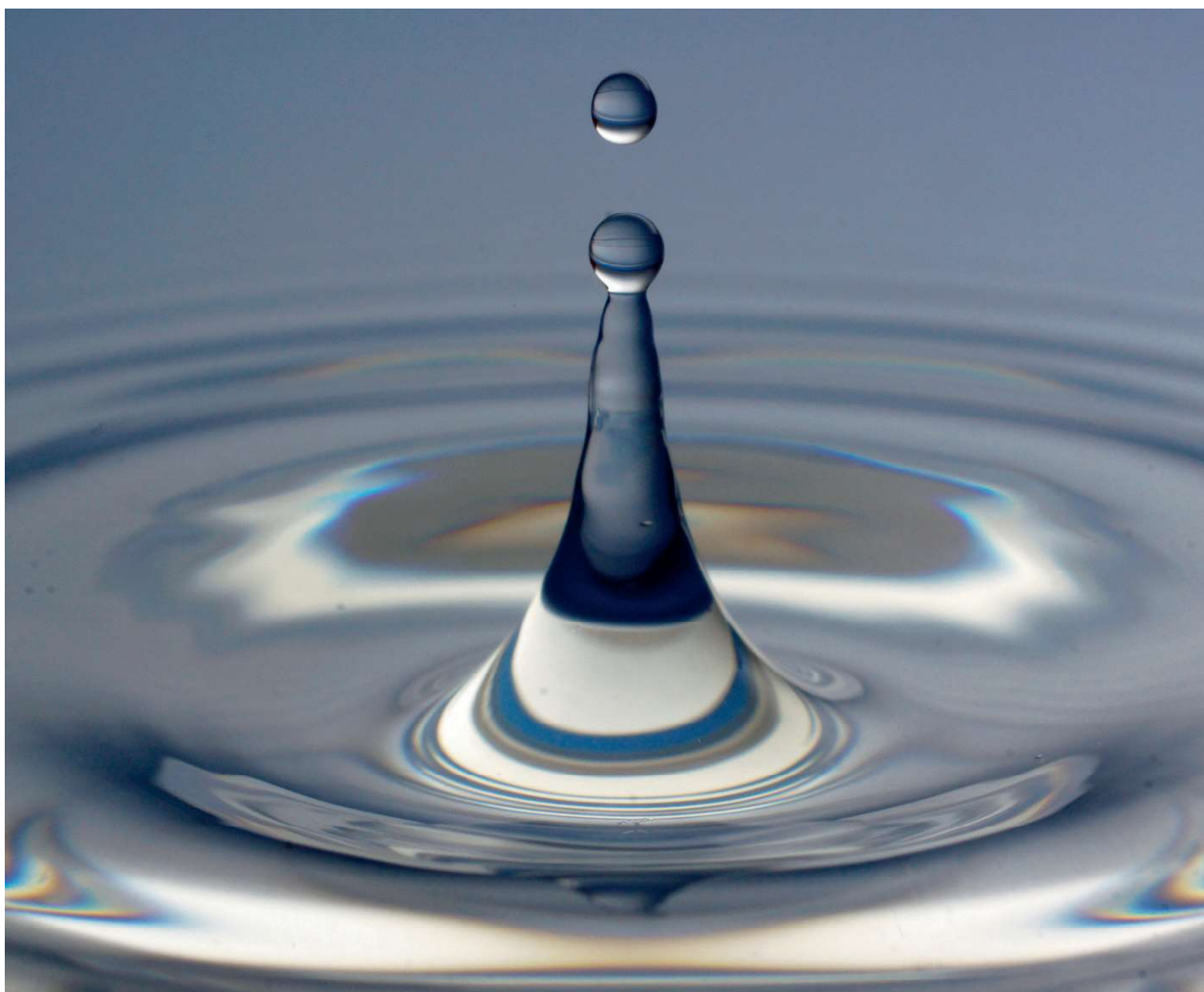


Abb. 7: Ein Tropfen ist ins Wasser gefallen, eine Ringwelle und ein Kraterloch sind entstanden. Durch das Zufließen des Kraterloches wird ein Jet generiert, der aufsteigt und wie beim Kronenspritzer von der Oberflächenspannung in Tropfen zergliedert wird. Die Farben und Muster sind Spiegelungen vom Untergrund in dem klaren Wasser.

Je gekrümmter die Wasseroberfläche, desto stärker zieht die Oberflächenspannung den Wasserstrahl bzw. die Tropfen zusammen. Beim linken, dickeren Strahl ist die Kraft der Oberflächenspannung geringer und der Strahl bleibt länger erhalten. Entsprechend löst sich der rechte, dünnere Strahl viel früher auf. Diese Gesetzmäßigkeit gilt genauso für Kronenspritzer und Jets.

Ein Geheimnis bleibt: Wo und wie beginnt die Gliederung? Auf den Abbildungen 9 und 10 sind immer schon Gliederungen zu sehen. Es ist kaum denkbar, noch frühere Stadien des Aufpralls sichtbar zu machen. Auf jeden Fall kann man sagen, dass die Einheit „Tropfen“ nach dem Aufprall sofort in gliedernde Strömungen übergeht (Abb. 11).



Abb. 8:
*Drei unterschiedlich dicke Wasserstrahlen.
Mit bloßem Auge sind die einzelnen Tröpfchen
nicht zu sehen, die Strahlen erscheinen kon-
tinuierlich. Beim Aufprall verraten prasselnde
Geräusche, dass sie nicht kontinuierlich sind.*

Abb. 9:

Oben:

Der Tropfen hat gerade die Wasseroberfläche berührt. Wenn man die Berührungszone genau betrachtet, sieht man ein paar schwarze Stellen, das heißt dass schon in diesem Stadium die Berührungszone differenziert ist.

Mitte:

Der Tropfen ist etwas eingetaucht und man ahnt eine Wasserlamelle, die fein gegliedert ist.

Unten:

Der Tropfen ist halb eingetaucht, eine viel grobere Gliederung als beim mittleren Tropfen ist zu sehen und zahlreiche Tröpfchen werden zu allen Seiten weggeschleudert.

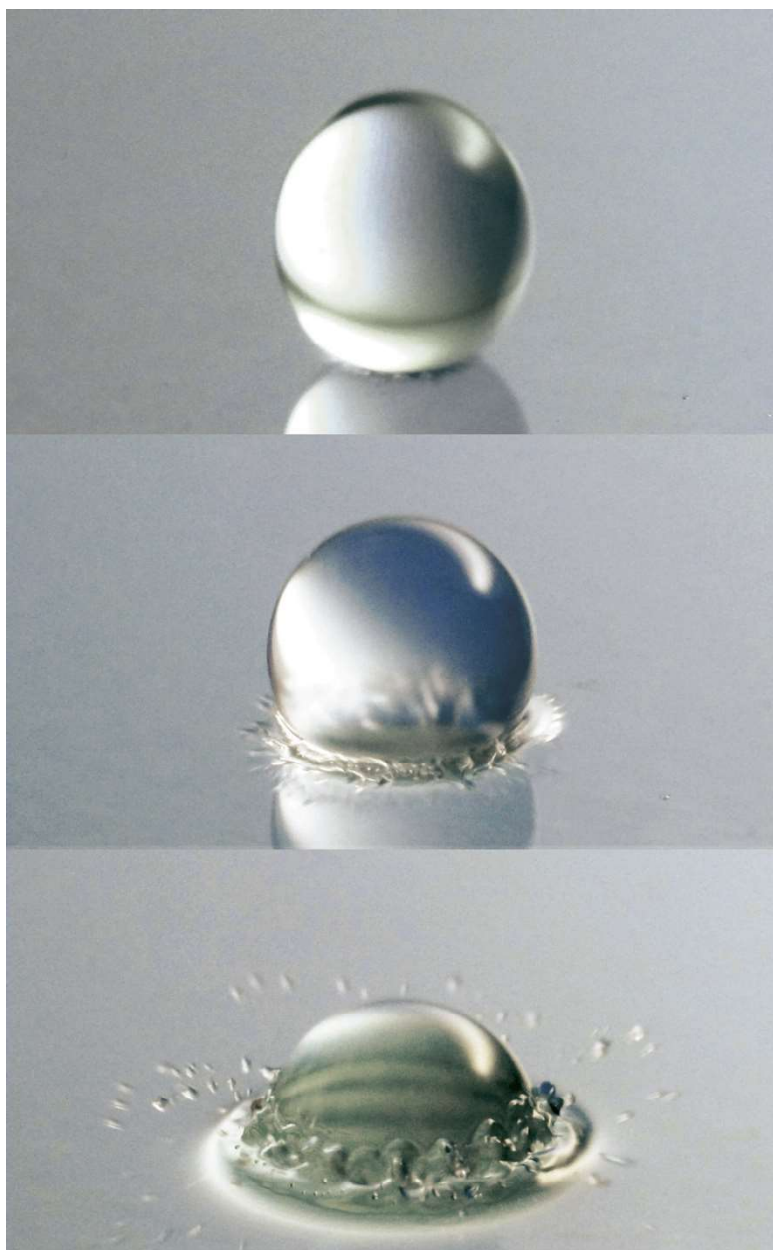
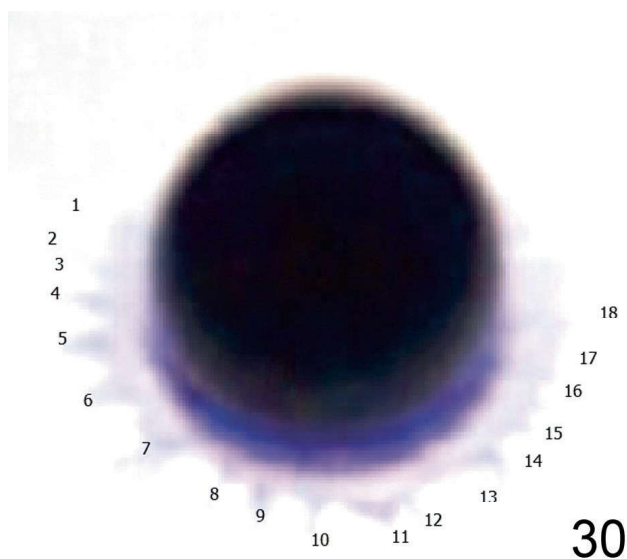


Abb. 10:

Eine feine Wasserlamelle ist ganz zart zu erkennen. Zählt man deren Spitzen, kommt man auf ca. 30.



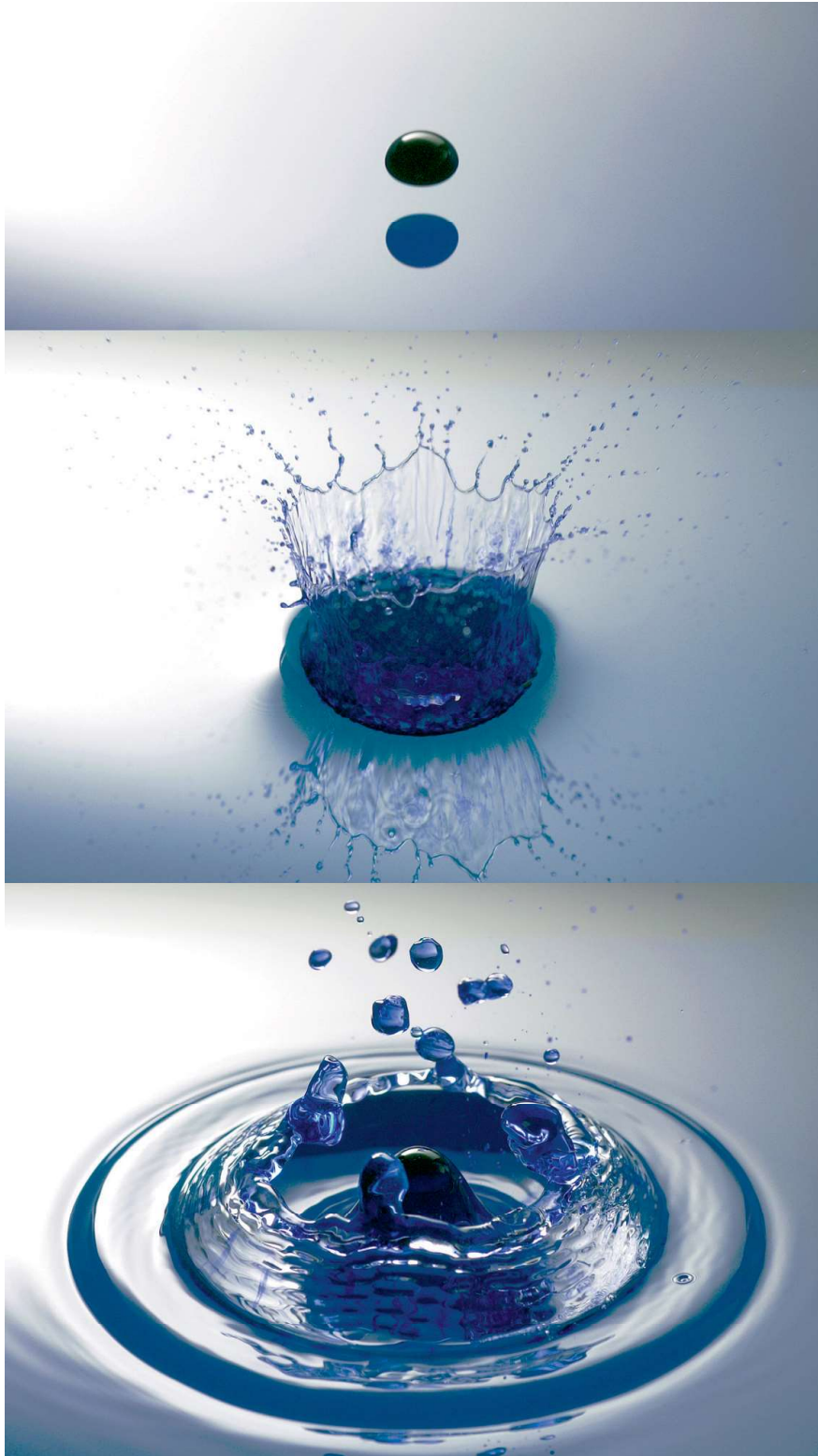


Abb. 11:

Aus 4,5 m Höhe fällt ein 8 mm großer Wassertropfen ins Wasser. Eine heftig spritzende Krone entsteht (Mitte) die sich anfänglich zu einer Blase schließen will (unten). Auch ein Jet ist im unteren Bild zu erkennen. Es handelt sich um ganz klares Wasser, die Farben kommen von Spiegelungen der blauen Umgebung.

Im größeren Zusammenhang

Was bis jetzt beschrieben wurde, wie steht das in einem größeren Zusammenhang? Der Tropfen als ungegliederte Einheit, sie entsteht in der Atmosphäre durch Kondensation und durch Verschmelzen von vielen Tropfen: ein riesiger Vereinigungsvorgang. Werden Tropfen zu groß, zerfallen sie wieder zu kleineren Einheiten. Würde das nicht geschehen, würden z. B. Pflanzenblätter im Regen zerschmettert. Nach diesem globalen Verschmelzungsprozess kommen die Tropfen auf der Erde und den Gewässern an und zersteuben und zergliedern im Aufpall. Wieder ein globaler Prozess. Es ist ein Vorgang, bei dem der Beginn des Aufpralls mit winzigen Spritzern extrem schnell verläuft und im Verlauf immer langsamer wird. Dabei vereinigen sich die feineren differenzierteren Strukturen zu immer einfacheren, größeren. Die ganz feinen Spritzer sind so klein, dass sie gleich in der Luft verdunsten und die Salze und Substanzen, die im Wasser waren, in der Luft zurücklassen. Von dort steigen sie wieder auf und bilden Kondensationskeime für die Bildung neuer Tropfen. Die größtmögliche „Zersplitterung“ bildet den Keim für eine neue Vereinigung.

Von Bewegungsenergie, von Beschleunigung getrieben haben wir im Gliedern eine Art von „Werden“. Durch Verlangsamung, durch Abnahme der Bewegungsenergie und mit dem Verschmelzen der Formen, haben wir eine Art „Vergehen“, bis am Ende nur noch die ruhende Wasseroberfläche bleibt.

Andreas Wilkens

(Fotos: Andreas Wilkens)