

# VEREIN FÜR BEWEGUNGSFORSCHUNG e.V. INSTITUT FÜR STRÖMUNGSWISSENSCHAFTEN

HERRISCHRIED IM SÜDSCHWARZWALD

## Strömungsdynamische Untersuchung (Tropfbildmethode)

Die Strömungseigenschaften erlauben eine Aussage über einen wichtigen Qualitätsaspekt des Wassers, liefern jedoch keine analytische Bestimmung der im Wasser gelösten chemischen Inhaltsstoffe. Diese Methode ist ein physikalisches, bildschaffendes Untersuchungsverfahren für Wasser und wässrige Lösungen, in denen Strömungsprozesse angeregt werden. Hierdurch wird dem Wasser Gelegenheit zu gestaltender Strömung unter standardisierten Bedingungen gegeben. Trinkwasser aus natürlich reinen, unbeeinträchtigten Grundwässern zeigen ein Optimum an Beweglichkeit und somit ein Maximum an vielgestaltigen Strömungsformen. Beeinträchtigte Wässer bewegen sich probentypisch verändert, beispielsweise schwächer differenziert.

### Durchführung

Die als dünne Schicht in einer Tropfbildschale ruhende Wasserprobe, die einen Zusatz von Glycerin enthält, wird durch regelmäßig einfallende Tropfen destillierten Wassers zur Bewegung angeregt. Die entstehenden Strömungsformen werden mittels einer Schlierenapparatur sichtbar gemacht und fotografiert (Abb. A).<sup>1</sup> Die zu untersuchende Probe wird außer dem Glycerinzusatz keiner Vorbehandlung, auch keiner Filtration oder ähnlichem unterzogen. Eine Kurzfassung der Laborparameter gibt die Tab. A.

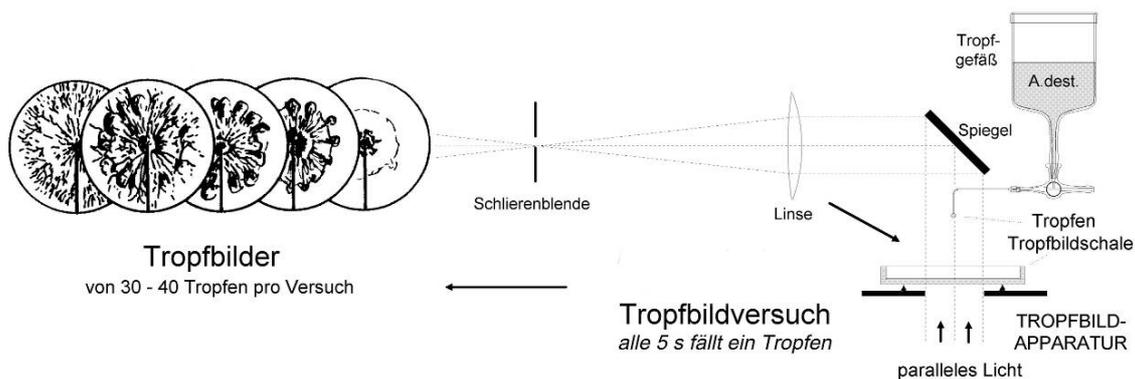


Abb. A: Versuchsanordnung der strömungsdynamischen Untersuchung (Tropfbildmethode)

Tropfbild-Schale	Küvette (5 mm Duranglas, ähnlich Petrischale), für schlierenoptische Verfahren geeignet mit planparallelem Boden und einem Innendurchmesser von $140 \pm 1$ mm
Füllmenge	20 ml, bestehend aus $17,5 \pm 0,1$ ml Wasserprobe und $2,5 \pm 0,15$ ml Glycerin, Schichthöhe bei A. dest. 1,1 mm
Glycerin	$85\% \pm 0,5\%$ reinst p.a., Reag. Ph Eur, Wasserprobe und Glycerin werden 63 min vor Versuchsbeginn gemischt.
Tropfwasser	Aqua dest., dampfdestilliert
Tropfgewicht	$15,55 \pm 0,05$ mg
Tropfen-Fallhöhe	$101,5 \pm 0,2$ mm, gemessen vom Kanülenrand zum Schalenboden
Tropf-Folge	$5 \pm 0,2$ sec
Labor-Temperatur	$20 \pm 1$ °C
Luftfeuchtigkeit	$60\% \pm 10\%$ relative Feuchte der Raumluft
Fotografie	jeweils $1,5 \pm 0,3$ sec nach Tropfenaufprall

Tab. A: Versuchsparameter unter Standardbedingungen

<sup>1</sup> Näheres siehe Wilkens *et al.* (2000)

Der eintauchende Tropfen verdrängt in wenigen Millisekunden die Probenflüssigkeit nach allen Seiten. Ein Kraterloch entsteht, das sich schnell wieder schließt. Die vom Eintropfzentrum nach außen induzierten Strömungen bilden morphologisch vielfältig gestaltete kleine Wirbel. Diese kommen für kurze Zeit annähernd zur Ruhe und werden 1,5 Sekunden nach dem Tropfenaufprall fotografiert, ehe sie zerfließen. Die fotografierten Bilder geben also nicht das Endstadium eines Gestaltungsprozesses wieder, sondern sind eine Momentaufnahme davon.

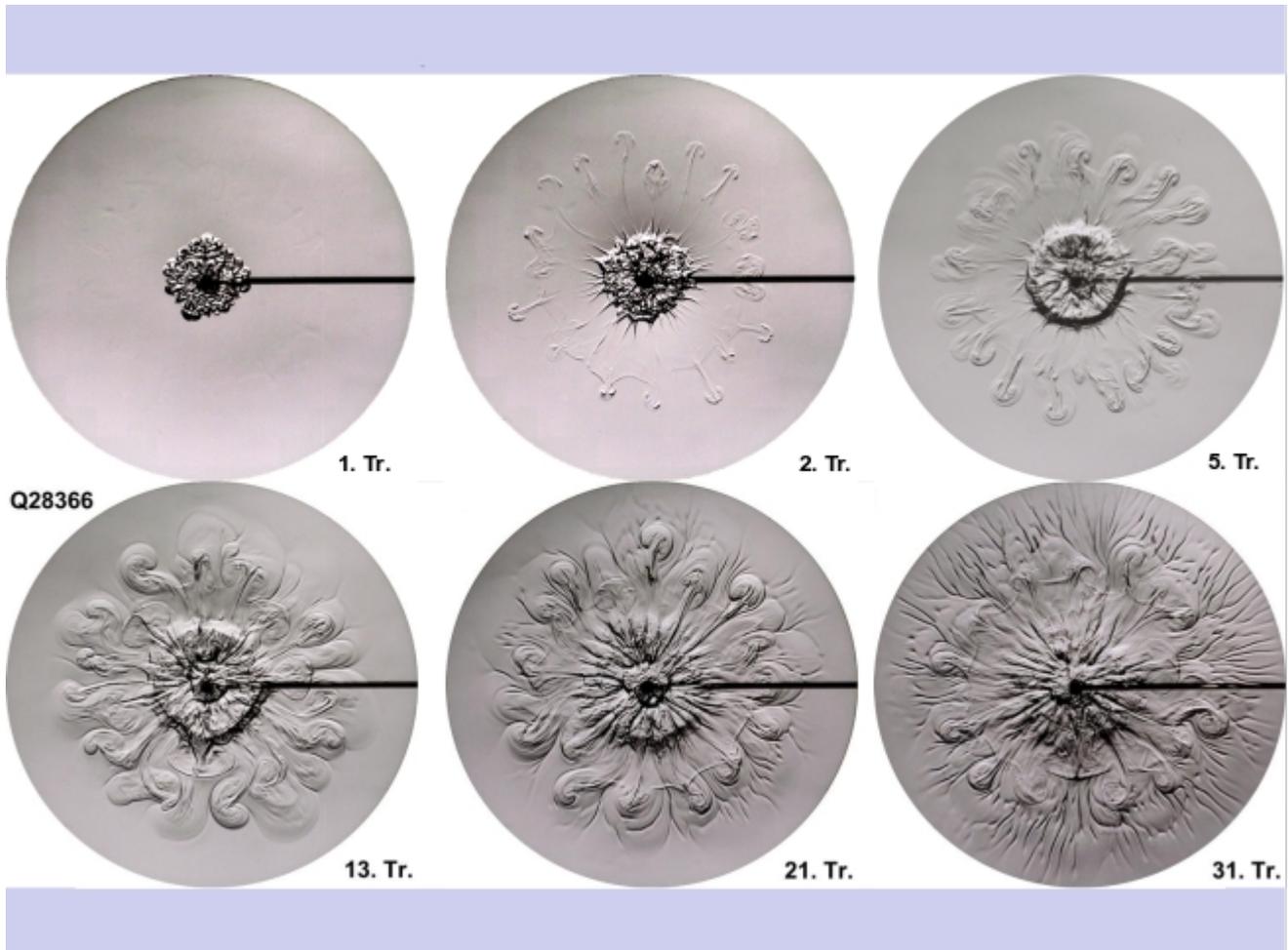


Abb. B: Strömungsbilder von Quellwasser der Stutzhofquelle als Beispiel und Referenz einer typischen vielgestalteten Entwicklungsreihe (s. u.), Versuchsnummer Q28366

Beim wiederholten Einfall von Tropfen entstehen jedes Mal neue Strömungsbilder. Vom vorangegangenen Strömungsbild bleiben zumeist verschwommene Reste, die in das neu entstehende Bild integriert werden.

### Ablauf des Versuchs

Die Strömungs- oder Tropfbilder ergeben in der Folge der Tropfen eine Entwicklungsreihe von Bildern mit zunächst zarten, später meist üppig entfalteten, rosettenartig angeordneten, vielgestaltigen Bildern mit zahlreichen Wirbeln (Abb. B), die vom 1. bis 40. Tropfen fotografiert werden.

## Strömungsbewegungen des Wassers

Die im Labor während des Versuchs beobachtete Art der **Strömungsbewegungen** gibt Aufschluss über die Strömungsdynamik einer Wasserprobe. Ein Wasser kann rasch, vielfältig und sich dynamisch bewegend strömen und immer wieder neue Formen erzeugen. Dies ist z. B. bei naturbelassenen Quellen und Mineralwässern der Fall. Im Gegensatz dazu strömen belastete Wässer träge, undifferenziert und passiv.

## Bildelemente der Strömungsbilder

Eine Übersicht über die Bereiche und Bezeichnungen der Strömungsbilder zeigt Abb. C.

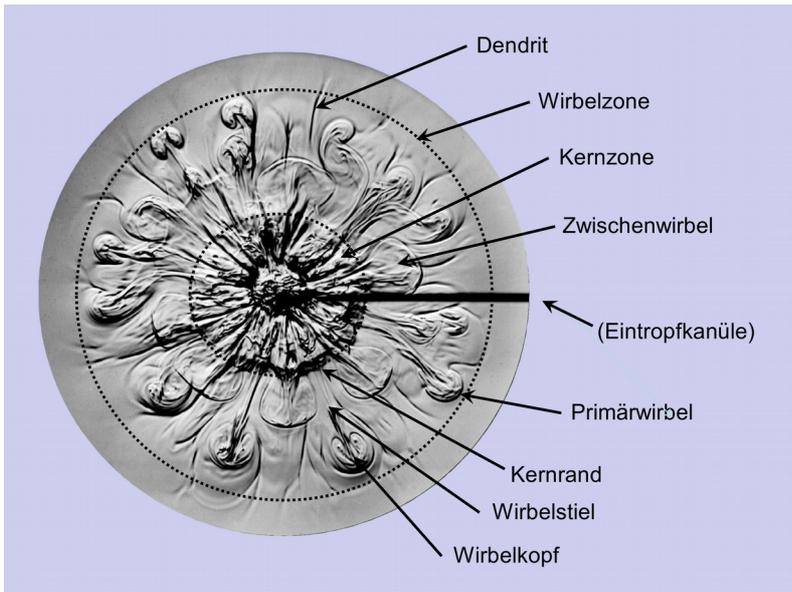


Abb. C: Wichtige Bildelemente eines vielgestaltigen Strömungsbildes (hier 17. Tropfen), der Bilddurchmesser entspricht im Versuch 5 cm.

### a) Kernrand: Abgrenzung der Eintropfzone (Kerntyp)

In der Kernzone des Bildes entstehen unorganisierte chaotisch erscheinende Strömungsmuster. Bei reinem Wasser erscheint der **Kernrand** bis etwa zum 10. Strömungsbild scharf abgegrenzt. Die Kernzone macht im weiteren Versuchsverlauf eine Formverwandlung durch, die mit einer scharfen Abgrenzung zur Wirbelzone beginnt und bei höherer Tropfenzahl in eine Auflösung der Abgrenzung übergeht. Diese Formverwandlung verläuft in Abhängigkeit von der Probe unterschiedlich schnell mit zum Teil auch abweichenden Formelementen. Eine unscharfe Abgrenzung des Kernrandes schon bei frühen Tropfenzahlen ist meistens ein Anzeichen für eine Belastung des Wassers mit organischen Verunreinigungen. Die unterschiedliche Abgrenzung des Kernrandes wird durch die Kerntypen 0 – 12 beschrieben<sup>2</sup>. Kerntyp 12 besitzt eine scharfe, wulstförmige Abgrenzung umgeben von einem geschlossenem Ring von Kammern (sehr saubere Wasserprobe, siehe Abb. D, links), Kerntyp 3 besitzt eine verwaschene Kernzone mit aufgelöstem Rand (Abb. D, rechts). Die Bestimmung des Kerntyps erfolgte jeweils beim 10. Strömungsbild.

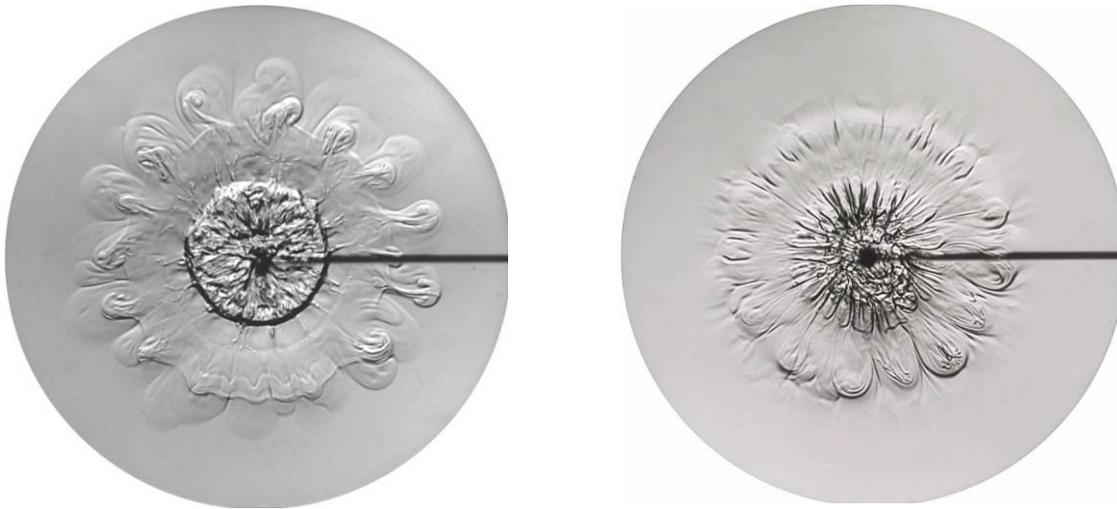


Abb. D: Beispiele für die Einteilung des Kerntyps, jeweils 10. Strömungsbild. Links: Kerntyp 12, rechts: Kerntyp 3

### b) Wirbelzone:

- Gestaltung der Strömungsformen und Konturierung der Einzelwirbel

In der Wirbelzone entstehen durch das Zusammenwirken von einfallendem Tropfen und Probenflüssigkeit sehr sensible Strömungen. Diese werden als vielgestaltige Strömungsformen sichtbar, zumeist als differenzierte Wirbelanordnungen. Die Anwesenheit und Ausprägung der Strömungsformen bestimmt die **Gestaltung** der Strömungsbilder. Als **Konturierung** wird im Folgenden die plastische Ausbildung der einzelnen Wirbel bezeichnet.

- Gliederung der Wirbelzone

Zwei verschiedene Wirbelarten gliedern die Wirbelzone: die weiter außen liegenden **Primärwirbel** und die zwischen diesen liegenden **Zwischenwirbel**, welche morphologisch dem Kern zu entspringen scheinen und ohne Wirbelstiel sind. Die Zahl der Primär- und Zwischenwirbel innerhalb eines Versuchs (= **Primär- bzw. Zwischenwirbelsumme**) gibt an, inwieweit das Strömungsbild durch sie rhythmisch gegliedert ist.

- Dendriten

Von etwa dem 10. Strömungsbild an werden an den Rändern der sich auflösenden Wirbel linienartige Formen sichtbar. Sie vergrößern sich in den folgenden Strömungsbildern aus der Wirbelzone in die Bildperipherie hinein und verzweigen sich dabei büschelig oder bäumchenartig; daher werden sie Dendriten genannt. Anders als die sich immer neu bildenden Wirbel bleiben sie von Tropfen zu Tropfen bestehen und vergrößern sich kontinuierlich. Sie entstehen durch laminare Ausgleichsströmungen.

Bei unterschiedlichen Proben entstehen Strömungsbilder verschiedener Art. So kann die Reichweite von vielgestaltig differenziert strömenden, quirlig bewegten Wässern (Beispiel des Quellwassers in Abb. E) bis zu monoton ringförmig strömenden, träge bewegten Wässern (Beispiel eines verschmutzten Wassers in Abb. E) gehen.



Abb. E: Beispiele charakteristisch gestalteter Strömungsbilder; links: Vielgestaltig wirbelig strömendes Quellwasser (Bildtyp 5), Mitte: mäßig gestaltet strömendes Wasser (Bildtyp 3), rechts: Ringförmig und wirbellos strömendes, belastetes Wasser (Bildtyp 0, jeweils 15. Strömungsbild)

### Auswertung und Auswertungskriterien

Grundlage der Auswertung von Versuchen zur Strömungsdynamik sind die im Strömungsbild auftretenden Formen und Gestaltungsmerkmale. Die jeweilige Ausgestaltung und Anordnung der Bildelemente in der Strömungsbildreihe sind wichtige Auswertungsmerkmale. Da jeder Versuch aus einer Reihe von 40 Strömungsbildern besteht, liegt den Versuchsbewertungen ein Gestaltungs- und Verwandlungsgeschehen in der Zeit zugrunde. Wenn aus Platzgründen hier je Versuch nur einige Strömungsbilder gezeigt werden können, so sind sie als typische Repräsentanten des Charakters des ganzen Versuches aufzufassen.<sup>3</sup> Die Tropfbilduntersuchung jeder Probe wurde 4-mal durchgeführt um der natürlichen Streuung der Strömungsdynamik Rechnung zu tragen. Bei der vorliegenden Untersuchung wurden folgende Eigenschaften der Tropfbilder ausgewertet:

- **Strömungsbewegung**, von kräftig bewegt bis erstarrt.
- **Gestaltung der Strömungsformen**, von vielgestaltig wirbelig (Bildtyp 5) bis wirbellos (Bildtyp 0, siehe Abb. E).
- **Gliederung der Wirbelzone**, wird durch die Summe der ausgebildeten Zwischenwirbel (ZWS) ausgedrückt. Von 0 (nicht gegliedert) bis ca. 180 ZW/Versuch (überwirbelig).
- **Kerntyp**, Bereich von 1 bis 12. Bei reinem Trinkwasser sollte er den Wert 10 bis 12 haben (siehe Abb. D).
- **Konturierung der Einzelwirbel**, von scharf bis aufgelöst.

### Kontrollen:

Zur Absicherung der Laborbedingungen werden innerhalb einer Versuchsserie regelmäßig Versuche mit Aqua dest. als Probe durchgeführt (Kontrollen).

Zum Verständnis der strömungsdynamischen Untersuchung sei noch auf folgendes hingewiesen: Die Strömungsvorgänge im Versuch werden vorrangig vom *Zusammenspiel* der strömungsphysikalischen Eigenschaften von Wasserprobe und Tropfwasser, insbesondere deren Oberflächenspannung, Viskosität und Dichte, sowie dem Bewegungsimpuls des Tropfens bestimmt<sup>4</sup>. Sie erweisen sich als ein außerordentlich

<sup>3</sup> Näheres zur Auswertung siehe Jacobi (2004), Picariello (2004), Wilkens *et al.* (2000).

<sup>4</sup> Smith 1975, Wilkens *et al.* 2000, Wilkens 2004

komplexes Geschehen, das zahlreiche Instabilitäten durchläuft und dadurch sensibel auf feinste Unterschiede sowohl der verschiedenen Wässer als auch der äußeren Bedingungen anspricht. Letztere werden als Standardbedingungen konstant gehalten und ermöglichen so eine sehr hohe Empfindlichkeit der Strömungsvorgänge; die einzelnen Parameter sind als Ensemble sorgfältig aufeinander abgestimmt<sup>5</sup>.

## Literatur

- Jacobi, M. (2004): Auswertungsmethodik beim Vergleich von Herstellungsvarianten biologisch-dynamischer Rührpräparate mit der Tropfbildmethode, *Elemente der Naturwissenschaft* **81**, 95-102. Dornach, Schweiz.
- Picariello, Ch. (2004): Schritte der Auswertung von Tropfbildern, *Elemente der Naturwissenschaft* **81**, 91-94. Dornach, Schweiz.
- Smith, H. J. (1975): The hydrodynamic and physico-chemical basis of the drop picture method. Max Planck-Institut für Strömungsforschung, Göttingen, Bericht Nr. 8/1975.
- Wilkens, A. (2004): Strömungsvorgänge beim Tropfbildversuch und Beziehungen zwischen Probe, Strömungsprozess und Bild, *Elemente der Naturwissenschaft* **81**, 5-22. Dornach, Schweiz.
- Wilkens, A., M. Jacobi und W. Schwenk (2000): Die Versuchstechnik der Tropfbildmethode – Dokumentation und Anleitung. *Sensibles Wasser* **5**, Herrischried.