Bilder an flüssigen Grenzen

Eine Morphologie strömender Mitteilung

Peter E. M. Schneider / Dietrich Rapp

Einleitung

Die Begriffe *fest, flüssig, gasig* weisen auf verschiedene «Beweglichkeiten» hin[1]. Das Feste ist verdichtet, ausgeformt, erstarrt, bewahrt Wärme, reflektiert und bricht Licht, erschwert chemische Reaktionen durch geringe Oberfläche und wird als erstorben erlebt. Demgegenüber verdünnt sich, verströmt sich, verflüchtigt sich ein Gas, kühlt sich ab, trägt und verteilt Licht, erleichtert aufgrund seiner Durchdringlichkeit chemische Reaktionen und duchzieht regsam seine Umgebung.

Zwischen der Ruhe des Festen und der Eigenbeweglichkeit des Gases vermittelt das ruhig-bewegliche Flüssige. In der die Umgebung ausschliessenden Grenzflächenhautbildung nähert sich Flüssiges bildhaft dem Festen, im Verströmen in die Umgebung bildhaft dem Gase. In der *Grenzflächenbildung* (z. B. Oberfläche eines Sees) erscheinen diese polaren Tendenzen des Flüssigen als ausgewogen: sich abschliessend und ausbreitend zugleich, gegenüber angrenzenden Substanzen bindend (z. B. Gase in Wasser) und lösend (z. B. Festes in Wasser). Flüssiges verhält sich an den Grenzen zu Festem entweder benetzend, filmbildend oder nichtbenetzend, tropfenbildend; mit Flüssigem mischt sich Flüssiges entweder durch Diffusion und wirbelartige Austauschvorgänge oder Flüssiges isoliert sich von Flüssigem in Schichten und Tropfen. Auf einer flüssig/gasigen Grenzfläche können kleine feste Gegenstände schwimmen, weil sich die Flüssigkeitsoberfläche aufgrund ihrer Grenzflächenspannung wie ein fester Körper verhält. Der Wasserspiegel in einem Glas Wasser sinkt allmählich, weil Flüssiges in Gas übergeht. Bei Wärmezufuhr oder Wärmeentzug geht Flüssiges an seinen Grenzen in Gas oder Festes über. Eine flüssige Grenzfläche reflektiert und streut Licht. Chemische Reaktionen in flüssigen Grenzflächen führen zu Trennung und Verbindung von Substanzen. Zur Erhaltung von Lebensvorgängen löst Flüssiges in seinen Grenzflächen Festes und bindet Gas.

Flüssiges ist also in seinen Grenzflächen zum Gas und zum Festen hin offen.

In einem erweiterten Sinne findet man dieses *offene Verhältnis* auch bei der Bildung von Strömungsformen, wie im folgenden ausgeführt werden soll.

Grenzflächengebilde beim Tropfen- und Wirbelstrahl

Ein Flüssigkeitsstrahl, der aus einer runden Düse in eine mit der Strahlflüssigkeit sich nicht vermischende Flüssigkeit (z. B. Waser in Luft) ausströmt, besteht an der Düsenmündung aus einem runden Flüssigkeitszylinder; weiter stromabwärts ist der Strahl periodisch verdickt oder verdünnt (gewellt) und bildet noch weiter stromabwärts einzelne – um eine Mittelform (Kugel) schwingende – *Tropfen (Bild 1)*. Strömt ein Flüssigkeitsstrahl aus einer runden Düse in eine mit der Strahlflüssigkeit sich vermischende Flüssigkeit (z. B. Wasser in Wasser), so treten zunächst dieselben Strahlformen auf. Anstelle der Tropfen werden jedoch sich vergrössernde und umbildende *Ringwirbel* gebildet *(Bild 2)*.

[1] Ausgearbeiteter Vortrag, gehalten am 19. September 1971 auf der Jahrestagung der Naturwissenschaftlichen Sektion am Goetheanum.

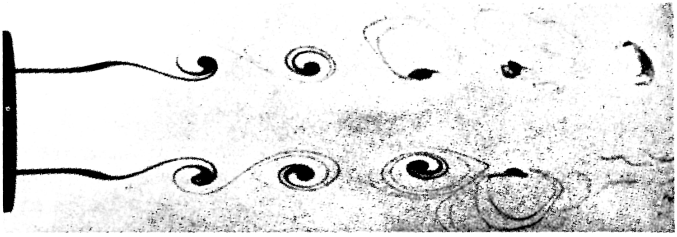
Herrn Professor Dr. E.-A. Müller danken wir für fördernde Diskussionen.

Tropfen und Wirbel als Grenzflächenbilder

Für den Tropfen ist die Ruhespannung seiner Oberfläche, für den Wirbel seine spiralig-rotierende Bewegung konstituierend. Tropfen haben die Tendenz, sich bei ihrer Bildung zentripetal zusammenzuziehen (Minimal-Tendenz der Oberflächenspannung) und sich von ihrer Umgebung (diese auf ihrer Oberfläche zurückspiegelnd) zu isolieren. Dadurch wird das Tropfenmaterial verdichtet und kugelig ausgeformt. Der dem Festen nächststehende Tropfen ist der schwebend zur Ruhe gekommene Tropfen, bei dem auch die Oberflächenströmungen abgeklungen sind und der gleichmässig von Wärme durchzogen ist. — Ein Wirbel (seine Wirbelstärke) öffnet und verdünnt sich zur Peripherie hin, indem er — durch seine spiralig-rotierende Bewegung wachsend — sich in die umgebende Flüssigkeit verströmt, diese in sich einsaugt *(Bild 3)* und sich gleichsam durch diese Verinnerung der Umgebung ernährt, bis er sich durch Umbildevorgänge in die Umgebung einlöst. Wärmeänderungen begleiten diese Vorgänge. — Im Ruhezustand hat der Tropfen seine minimale Oberfläche. Der Wirbel erreicht in ausgebildetem Zustand vor seiner Umbildung seine maximale Ausdehnung.

In Kugelform hat sich eine Substanz am intensivsten von ihrer Umgebung zurück- und zusammengezogen. Der nicht mehr schwingende, schwebende Tropfen, dessen Oberflächenströmungen zur Ruhe gekommen sind, ist somit die «feste» Gestaltung im Flüssigen mit vollkommener (unendlichfacher) Symmetrie (isotroper Körper). Im Wasserhaushalt der Erde tritt der Tropfen dort auf, wo der von der Erde aufgestiegene Wasserdampf kondensiert (Wolken, Regen, Tau), um zur Erde

◀ *Bild 1:* Tropfenfreistrahl nach *R. J. Donnelly* und *W. Glaberson* (1966). Die Frequenz der Tropfenbildung wurde durch eine künstliche Störung des auch ohne künstliche Störung in Tropfen zerfallenden Strahls erzwungen.



▲ $RE = 1780$

Bild 2: Wirbelfreistrahl nach *E.Berger* (1960).
Wasser, das in ruhiges Wasser einströmt, wurde an zwei gegenüberliegenden Stellen einer runden Düsenmündung angefärbt. Die in der Bildebene sichtbaren Formen sind rotationssymmetrisch (Rotationsachse = Strahlachse) ergänzt vorzustellen.