

# Ab-Fluss oder Ab-Wasser, ein Innen-Welt- oder Um-Weltproblem?

Peter Schneider

## 1. Einleitung \*

Milch ist eine natürliche Emulsion von Milchfetttröpfchen in Milchserum, die von aus Phosphorlipiden und Eiweissstoffen bestehenden Hüllen umgeben sind. Im Milchserum sind Casein, Milchzucker, Mineralsalze und kolloidal gelöste Molkeneiweissstoffe nachweisbar.

Durch Qualitätsabnahme von Milch wurde entdeckt, dass Rührprozesse in Milchtanks nicht nur das Aufrahmen der Milch vermindern, indem Tropfentrauben aufgelöst und die Tröpfchen in gleichmässiger Verteilung gehalten werden, sondern dass Milch auch homogenisiert wird. Beim Homogenisieren werden grössere Fetttröpfchen in kleinere zerschlagen. Dabei wird die Xanthindehydrase – ein Enzym, das an der Oberfläche der Tropfen zu finden ist – von der Oberfläche entfernt und im Milchserum gelöst. Durch Strömungen in der Milch wird das gelöste Enzym denaturiert, d. h. die Raumstruktur der Xanthindehydrase wird ungeordneter, wobei sich die biologischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften des Stoffes verändern. Auch die in der Milch vorhandenen kolloidal gelösten Eiweissstoffe können durch Strömungen in der Milch denaturiert werden oder wie andere Kolloide auch anderen Veränderungen durch Strömungen unterliegen.

Wegen der Vielfalt der unterschiedlichen Substanzen in Nahrungs- und Heilmitteln sind die Untersuchungen des Einflusses von Strömungen auf Substanzen in den Anfängen. Strömungen nehmen also einen nur zu einem geringen Grade verstandenen und kontrollierten Einfluss auf die Qualität unserer Nahrungs- und Heilmittel.

Zur Untersuchung des Einflusses von Strömungen auf Substanzen ist es notwendig, Strömungen nicht nur quantitativ (z. B. durch Bestimmung der lokalen Strömungsgeschwindigkeit), sondern auch qualitativ unterscheiden zu lernen. In der Strömungsphysik wird allgemein zwischen laminarer und turbulenter Strömung unterschieden: In *laminarer Strömung* bleiben parallele Farbfäden zueinander parallel und werden nicht miteinander vermischt; in *turbulenter Strömung* werden Farbfäden miteinander vermischt und in das umgebende Medium eingelöst.

Als Kenngrösse zur Unterscheidung von Strömungen wird die kritische Reynoldszahl ( $Re_{krit}$ ) benutzt. Diese gibt an, wann eine Strömung nicht mehr zum laminaren Strömungsbereich, sondern zum turbulenten Strömungsbereich gehört.

Am Beispiel des Flusses soll im folgenden zunächst dargestellt werden, dass es neben dem laminaren und turbulenten Strömungszustand noch den sogenannten *harmonischen Strömungszustand* gibt.

## 2. Harmonischer Strömungszustand und Flussmäander

*Bild 1* zeigt einen idealisierten Längsschnitt durch einen Fluss. Das Wasser strömt an der Oberfläche mit maximaler mittlerer Strömungsgeschwindigkeit von links nach rechts. Mit der Tiefe nimmt die mittlere Strömungsgeschwindigkeit ab und erreicht am Flussbett den Wert 0. Das in *Bild 1* gezeichnete Quadrat verformt sich im Laufe der Zeit zu einem Parallelogramm, d. h. es wird stromabwärts bewegt

\* Den Herren Prof. Dr. E.-A. Müller und Dipl.-Phys. D. Rapp danke ich für Anregungen und fördernde Diskussionen.

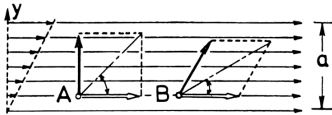


Bild 1: Idealisierter Längsschnitt durch einen Fluss (Strömungsrichtung von links nach rechts; a: Flusstiefe).

### Parallelströmung mit Drehung der Flüssigkeitsteilchen

(Translation) und der zur Strömungsrichtung senkrechte Pfeil wird gleichzeitig gedreht (Rotation). Denkt man sich noch die in einem Flusse mögliche Bewegung senkrecht zur Bildebene von *Bild 1* hinzu, so wird aus der Drehung eine Schraubung um eine Achse senkrecht zur Strömungsrichtung, wobei diese gedachte Achse gleichzeitig stromabwärts strömt.

Diese Betrachtung gilt für jeden Ort der Strömung, d. h. das strömende Kontinuum muss ideell als aus lauter solchen infinitesimalen Schrauben – die sich mit unterschiedlicher Transport- und Drehgeschwindigkeit (entsprechend der Wassertiefe) stromabwärts bewegen – bestehend vorgestellt werden. Diese infinitesimalen Wirbel sind nicht starr; aufgrund der verschiedenen Transport- und Drehgeschwindigkeiten kommt es zu gegenseitigen Verformungen der Wirbel, so dass eine Strömung aufgrund dieser Grundstruktur dauernden Formumwandlungen unterliegt.

Der *laminare Strömungszustand* ist dadurch gekennzeichnet, dass diese ideelle Wirbelanlage der Strömung nicht explizit realisiert wird: Farbfäden schwimmen ohne Verformung und Vermischung nebeneinander her und bleiben in diesem Sinne gegenüber der ungefärbten umgebenden Flüssigkeit isoliert bzw. werden nur geringfügig mit dieser vermischt. Der *turbulente Strömungszustand* entfaltet an jedem Ort die ideelle Wirbelanlage: Farbfäden werden vollständig mit ihrer Umgebung (und daher auch miteinander) vermischt.

Zwischen diesen beiden extremen Zuständen kann man sich folgenden mittleren Zustand vorstellen: Ein Farbfaden strömt nicht mehr parallel zur Wasseroberfläche, wird aber auch nicht durch den turbulenten Wirbelprozess mit seiner Umgebung vermischt und aufgelöst. Während seiner Fortbewegung berührt er innig das ihn umgebende Medium ohne sich aufzulösen und wird zusammen mit diesem zu einem Wirbel mit immer enger werdenden Spiralen aufgerollt (*Bild 2*). Durch rhythmische Wiederholungen dieses Berührungs- und Einrollungsprozesses entsteht bei einem harmonischen Freistrahle (z. B. einem Flüssigkeitsstrahl, der aus einer runden Düse in eine mit der Strahlflüssigkeit sich vermischende ruhende Flüssigkeit einströmt) eine Wirbelfolge (*Bild 3*).

Diese Art von Wirbelströmung wird als *harmonische Strömung* bezeichnet. Diese macht sichtbar, was sich entweder ideell (laminarer Strömungszustand) oder explizit (turbulenter Strömungszustand) an jedem Ort einer solchen Strömung ereignet. Sie hebt die beiden lokal vorhandenen Extreme zu einer räumlichen Form im dreifachen Sinne des Wortes «aufheben» auf: Sie *bewahrt* die Ruhe des laminaren und die zerfallende Beweglichkeit des turbulenten Strömungszustandes und *hebt* sie gegenseitig *auf* in einen *erhabeneren* Strömungszustand. Genauer formuliert haben das Unharmonische des laminaren Strömungszustandes und das Disharmonische des turbulenten Strömungszustandes ihren Ursprung im harmonischen Strömungszustand: Sinkt z. B. die Reynoldszahl unter einen bestimmten Wert, so verschwinden die Wirbel und die Strömung wird laminar; übersteigt die Reynoldszahl einen bestimmten Wert, so zerfallen die Wirbel unmittelbar bei ihrer Bildung und die Strömung wird turbulent.