In Tropfen zerfallender Strahl und Rieselfilm auf rotierender Scheibe: eine Strömungspolarität*)

Reinhard Koehler

In der vorliegenden Arbeit sollen zwei verschiedene Strömungen behandelt werden: Der in Tropfen zerfallende Strahl und der auf rotierender Scheibe radial sich ausbreitende Rieselfilm. Das Ziel ist, eine Reihe verwandter Phänomene zu finden, welche erlaubt, die behauptete Polarität der genannten Strömungsvorgänge zu verstehen. Dazu ist es günstig, die Tropfenbildung aus einem Strahl genauer darzustellen.

Tropfenbildung aus einem Strahl

Der gesamte Vorgang zeigt mehrere Phasen *(Bild 1,* nach *Boys):*

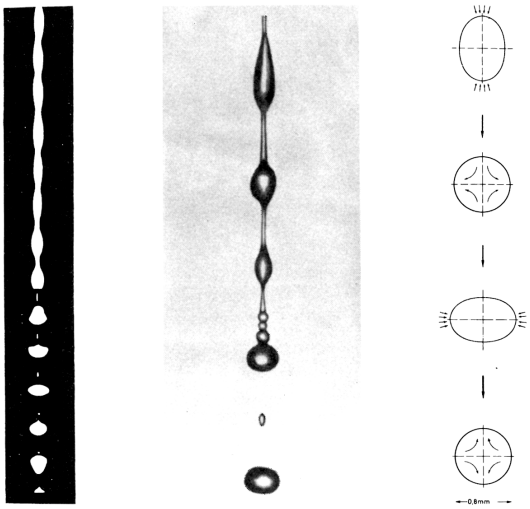

Bild 1: In Tropfen zerfallender Strahl. Durchmesser zu Beginn 0,4 mm.

Bild 2: Abschnüren von Tropfen zäher Flüssigkeit.

Bild 3: Vier Schwingungsphasen eines fallenden Tropfens. Auf die letzte Form folgt wieder die erste.

1. Aus einer Düse tritt ein feiner Strahl von glattem und glasigem Aussehen; ein Beweis für gleichmässige Strömung und Oberfläche.

2. In einigem Abstand von der Düse erfolgt ein Umschlag: Der Strahl wird trübe, scheint dicker zu werden und zu zersplittern. Mittels Funkenblitzen kann man Momentan-Formen sichtbar machen, aus denen die fortlaufende Bewegung erschlossen werden muss. So «sieht» man unterhalb der Umschlagstelle, wie sich der Strahl in regelmässigen Abständen von etwa dem vierfachen Strahldurchmesser

*) Aus der Arbeit der Gesellschaft zur Förderung der Krebstherapie e. V. Pforzheim

abwechselnd einschnürt und verdickt. Diese Formen wandern mit der Strahlströmung mit und nehmen dabei an Amplitude zu.

3. Wie sich die zuerst wellenartigen Einschnürungen weiterentwickeln können, zeigt *Bild 2 (E. G. Richardson* 1953, verändert) bei zäherer Flüssigkeit als in *Bild 1:* In den Verdickungen ballt sich die Flüssigkeit, in den Einschnürungen wird sie zu feinen Strängen ausgezogen. Diesen Bildetendenzen werden wir im weiteren wieder begegnen.

4. Ein Tropfen nach dem anderen schnürt sich von der Strömung ab und bewegt sich von da ab unabhängig. Der Tropfen behält vom Abreissen her eine birnenartige Form, die durch Schwingungen mannigfache Abwandlungen erfährt.

5. Dabei entstehen Formen wie Eiform und im Wechsel dazu Linsenform, beide spiegelsymmetrisch in bezug auf ihre senkrecht zur Strahlachse weisende Äquatorebene. Feinere Beobachtungen an länger fallenden Tropfen zeigen, wie die Schwingungen allmählich schwächer werden und der Tropfen die starre Kugel als Grenzfall anstrebt.

Ob der Strahl horizontal oder vertikal aus der Düse austritt, beeinflusst die Tropfenbildung nicht wesentlich, aber natürlich die weitere Bewegung der Tropfen.

Der Gesamtvorgang zeigt eine mehrfache Gliederung, die bestimmt wird durch den Gegensatz der strömenden Anfangsphase (glatter Strahl) und der formbildenden Phase, in welcher sich zuletzt die Tropfen wie starre Körper bewegen. Während die Einschnürungen wachsen, überwiegt in der anfänglichen Bewegung die strömende Komponente; lösen sich die in den Verdickungen vorgebildeten Tropfen vom Strahl ab, überwiegt die ballende gegenüber der strömenden Komponente. Den gleichen Ablauf finden wir an den zwischen den Verdickungen ausgezogenen feinen Strängen, die sich zu mehreren winzigen Tröpfchen zusammenziehen *(Bild 2).* Die Schwingungen der Tropfenform weisen auf die immer noch vorhandene Strömung hin; sie pendelt zwischen Strömen und Stauen *(Bild 3).*

Zwei Richtungen sind denkbar, in denen Reihen zugehöriger Phänomene abgeleitet werden können. Entweder ist es möglich, dass das bewegte, strömende Element zurücktritt und eine Gestalt zur Ruhe kommt. Oder die Gestaltbildung wird verhindert, wenn die strömende Komponente wächst. Damit finden wir in jeder Strömung zwei Richtungen, nach denen sich diese verändern kann:

In Richtung auf die Gestalt, dann überwiegt die formbildende Phase.

In Richtung auf die Bewegung, dann überwiegt die strömende Phase.

In Verfolgung dieser Richtungen ergeben sich Phänomenreihen, als deren erste Glieder wir betrachten:

1. den unmittelbar an der Strahldüse sich ablösenden Tropfen (hängender Tropfen),
2. den Strahl mit verzögerter Tropfenbildung.

Diese beiden Varianten des zu Tropfen zerfallenden Strahls erhalten wir durch Ändern der Versuchsbedingungen.

1. Unmittelbar am Düsenrand bilden sich Tropfen, wenn die Zulaufgeschwindigkeit gedrosselt wird. *Bild 4 (K. L. Wolf* 1959) zeigt, wie sie sich abschnüren. Der vom abfallenden Tropfen gezogene «Nabelstrang» ist leicht zu beobachten, ebenso, wie er sich zu Satellitentropfen zusammenzieht. Nach Ablösen eines Tropfens bleibt eine Flüssigkeitskuppe über der Düsenöffnung zurück. Wird die Zulaufgeschwindigkeit an der Düse wieder erhöht, so tritt besonders bei Düsendurchmessern, die kleiner als 1 mm sind, eine Instabilität auf: Zunächst bildet sich ein Strahl. Die Stelle, wo er zu Tropfen zerfällt, schwankt auf und ab. Kommt sie in die Nähe der Düsenöffnung, bildet sich dort eine Flüssigkeitskuppe, wodurch die