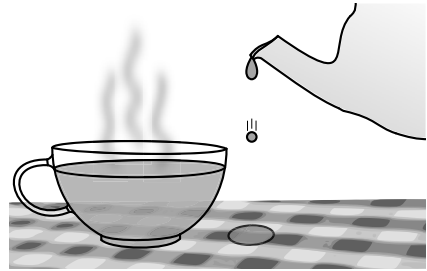


## 2 DAS PHÄNOMEN: Tee- und Kaffeekannen tropfen leider meist unerwünscht nach

Auch wenn man den Kaffee oder Tee noch so vorsichtig und gefühlvoll einschenkt, am Ende gibt es immer wieder ein Problem. Einzelne Tropfen landen entweder direkt auf dem Tischtuch oder nehmen "den Umweg" über den Hals der Kanne und führen letztlich auch so zu ärgerlichen Flecken. Muss das denn wirklich sein?



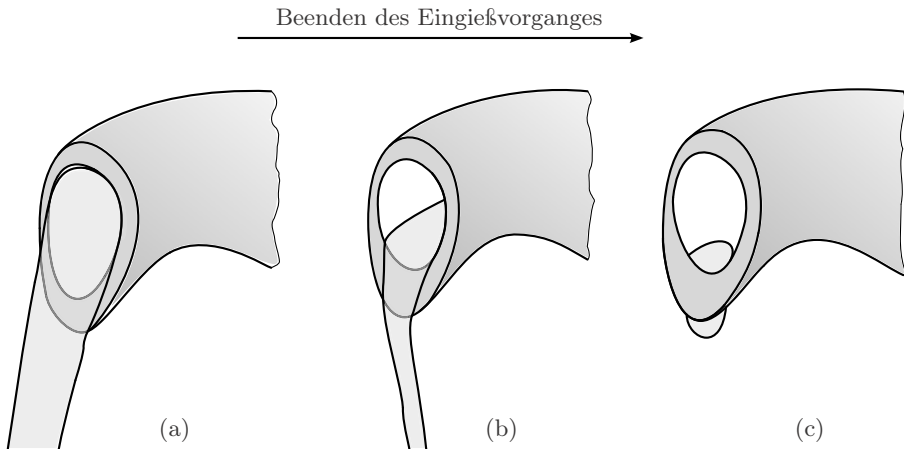
**Bild 2.1:** Nach dem Einschenken ist leider oftmals nicht wirklich Schluss ...

## DIE ANSCHAULICHE ERKLÄRUNG

Unerwünschte Tropfen bilden sich beim Ausgießen aus einer Tee- oder Kaffeekanne direkt am Austritt der sog. Tülle dann, wenn der Tee- oder Kaffeestrahл versiegt. Bild 2.2 zeigt die Situation direkt am Austritt aus der Tee- oder Kaffeekanne für drei aufeinander folgende Zeiten, wenn der Eingießvorgang beendet wird. Solange noch ein kontinuierlicher Tee- oder Kaffeestrahл aus der Tülle austritt, s. Bild 2.2(a) und (b), löst dieser dabei komplett von der Tüllenwand ab. Die Oberflächenspannung des Wassers (gegenüber der umgebenden Luft) sorgt dafür, dass der Wasserstrahl als solcher erhalten bleibt und sich nicht einzelne Tropfen am Austritt abspalten. Kritisch wird es, wenn der Strahl versiegt, d. h. der kontinuierliche Fluidstrahl unterbrochen wird, s. Bild 2.2(c). Dies geschieht direkt am Austritt, weil dort an der Strahloberfläche ein Sprung bezüglich der Randbedingungen auftritt, denen der Strahl unterliegt. Solange der Strahl noch in der Tülle strömt, wirkt die örtliche Wandschubspannung (aufgrund der Haftbedingung). Sobald der Strahl austritt und damit von der Wand ablöst, entfällt diese Spannung und es wirkt nur noch eine minimale Schubspannung gegenüber der mitgerissenen Umgebungsluft.

Direkt nachdem der Strahl am Austritt unterbrochen wurde, fließt das in der Tülle verbliebene Fluid in die Kanne zurück, während der abgetrennte Rest nach außen weiterfließt. Dabei entscheidet sich nun, ob bei dieser Abtrennung, d. h. der endgültigen Strömungsablösung, Fluidreste am Tüllenaustritt haften bleiben, die sich dann unter der Wirkung der Fluidoberflächenspannung zu einzelnen Tropfen zusammenziehen und ggf. ihrerseits ablösen können (was dann auf der Tischdecke zu entsprechenden Flecken führt).

Um zu entscheiden, ob und wann es zu einer solchen Tropfenbildung kommt, müssten die äußerst komplexen Vorgänge bei diesen instationären Zweiphasenströ-



**Bild 2.2:** Strömungsverhältnisse am Tüllen-Austritt

- (a) Strahl, Querschnitt voll ausfüllt
- (b) Strahl, Querschnitt teilweise ausgefüllt
- (c) Tropfenbildung durch Strahlrest

mungen um den Ablösevorgang herum analysiert werden. Solche Detailuntersuchungen gibt es<sup>1</sup>, ohne dass daraus allerdings die Antwort für jeden Einzelfall gefunden werden könnte. Stattdessen sollen hier Einzelfaktoren aufgeführt werden, die einen entscheidenden Einfluss auf das Tropfverhalten von Tee- und Kaffeekannen haben. Diese Faktoren sind:

- (1) Die Benetzbarkeit der Oberfläche. Die Bedeutung der Oberflächenspannung zwischen dem Fluid und der festen Oberfläche (die über den Grad der Benetzbarkeit entscheidet) ist erst seit kurzer Zeit als entscheidender Faktor für das Tropfproblem erkannt worden. Je stärker hydrophob (wasserabstoßend) eine feste Oberfläche ist, umso besser. Mit sog. superhydrophoben Materialien kann die Tropfenbildung sicher ausgeschlossen werden. Da die Benetzbarkeit ein reines Oberflächenphänomen ist, können beliebige Materialien durch eine Oberflächenbeschichtung die Eigenschaft der Superhydrophobie bekommen. Alle nachfolgend aufgeführten Punkte besitzen auch einen Einfluss, sind aber bei starker Hydrophobie der Oberfläche nur noch von untergeordneter Bedeutung.
- (2) Die Form der Tüllenöffnung, insbesondere der Radius der Tüllenlippe. Dieser Radius sollte so klein wie möglich sein und damit eine nahezu scharfe Abrisskante realisieren. Was die allgemeine Form der Tüllenöffnung betrifft, ist damit auch ein Tropfen zu unterbinden, wenn sie die (bereits 1822 in England patentierte) Form besitzt, die in Bild 2.3(a) gezeigt ist.

<sup>1</sup>Siehe z. B.: Duez, C.; Ybert, C.; Clanet, C. und Bocquet, L. (2010): *Wetting Controls Separation of Inertial Flows from Solid Surfaces*, Phys. Rev. Lett. 104, 084503

- (3) Die Strömungsgeschwindigkeit bzw. deren Reduktion bis zur Strahlunterbrechung. Tendenziell ist eine schnelle, nahezu abrupte Unterbrechung der Strömung vorteilhaft, weil damit auf jeden Fall unterbunden wird, dass sich ein schmaler Strahl um den Austrittradius herum entwickelt und dann größere Fluidmengen außen an der Tülle entlang laufen.

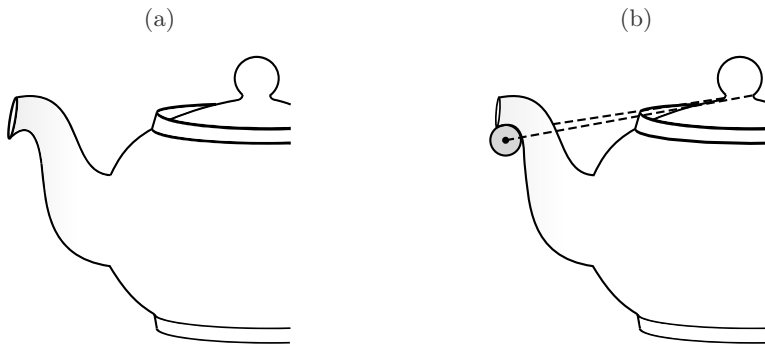
Sollten alle Maßnahmen nicht greifen, bleibt immer noch die Notlösung, einen Tropfenfänger anzubringen, s. Bild 2.3(b)!

## WEITERGEHENDE BETRACHTUNGEN

Um den entscheidenden Punkt für die Verhinderung des Nachtropfens, die Oberflächenbenetzbarkeit, noch etwas genauer zu erläutern, ist in Bild 2.4 gezeigt, welche Kräfte an der Kontaktlinie einer Flüssigkeit mit einer festen Oberfläche herrschen.

Diese Kräfte werden durch die sog. *Oberflächenspannungen*  $\sigma_{ij}$  mit der Dimension Kraft/Länge und der Einheit N/m ausgedrückt.<sup>1</sup> Der Index ij beschreibt die entsprechende Paarung aus dem Wandmaterial (W), der Flüssigkeit (F) und dem Gas (G). Durch die molekulare Wechselwirkung zwischen den drei unterschiedlichen Stoffen entstehen an der gemeinsamen Kontaktlinie die drei Oberflächenspannungen  $\sigma_{FG}$ ,  $\sigma_{FW}$  und  $\sigma_{GW}$ . Das Kräftegleichgewicht für eine stationäre (zeitlich unveränderte) Situation lautet

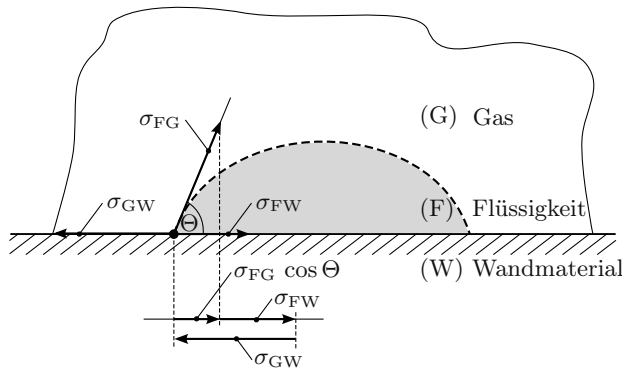
$$\sigma_{FG} \cos \Theta = \sigma_{GW} - \sigma_{FW} \quad (2.1)$$



**Bild 2.3:** Tropfenvermeidung

- (a) Spezielle Tüllenöffnung zur Vermeidung des Nachtropfens (Patentiert in England, 1822)
- (b) und die Notlösung, wenn alle Maßnahmen fehlschlagen

<sup>1</sup>Diese Größen  $\sigma_{ij}$  können alternativ auch als sog. *Oberflächenenergien* interpretiert werden und geben dann an, wie viel Arbeit zur Vergrößerung der Oberfläche (bei gleichbleibendem Volumen) erforderlich ist. Als Einheit gilt dann  $\text{Nm/m}^2 = \text{J/m}^2$ .



**Bild 2.4:** Kräftebilanz an der Kontaktlinie einer Flüssigkeit mit einer festen Wand

und ist als *Youngsches Kapillargesetz* bekannt. Abhängig von den stoffspezifischen Werten  $\sigma_{ij}$  stellt sich damit ein bestimmter Winkel  $\Theta$  ein, s. Bild 2.4.

Für Winkel  $\Theta < 90^\circ$  liegt definitionsgemäß eine *Benetzung der Oberfläche* vor (mit einer vollständigen Benetzung für  $\Theta = 0^\circ$ ). Bezogen auf Wasser als Fluid spricht man von *hydrophilen* Oberflächen. Beispiele dafür sind Karbonate, Silikate, Sulfate und Quarz.

Für Winkel  $\Theta > 90^\circ$  liegt definitionsgemäß eine *Nicht-Benetzung der Oberfläche* vor, obwohl es noch Grenzflächen zwischen der Wand und der Flüssigkeit gibt (erst für  $\Theta = 180^\circ$  würden diese zu Kontaktpunkten entarten). Bezogen auf Wasser als Fluid spricht man von *hydrophoben* Oberflächen. Bei einigen Pflanzen tritt der sog. Lotuseffekt auf, bei dem Kontaktwinkel von bis zu  $160^\circ$  erreicht werden. Für Winkel  $\Theta > 160^\circ$  nennt man die Oberflächen *superhydrophob*. Technisch können solche Oberflächen entweder durch die zusätzliche Beschichtung mit Nanomaterialien oder durch eine gezielte Mikrostrukturierung der vorhandenen Oberflächen hergestellt werden. In beiden Fällen besteht aber auch das Problem der Verschmutzung, bzw. der Oberflächenveränderung durch Abrieb, was den Effekt dann entsprechend beeinflusst.

Ist eine Tee- oder Kaffeekanne auf diese Weise *tropfsicher*, muss sie also entsprechend vorsichtig behandelt werden!

Ach, so ist das!

50 thermofluidodynamische Alltagsphänomene  
anschaulich und wissenschaftlich erklärt

Herwig, H.

2014, IX, 285 S. 152 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-658-05629-2