

# Der Leidenfrost-Effekt als Transportmittel

## SOWAS Gruppe B

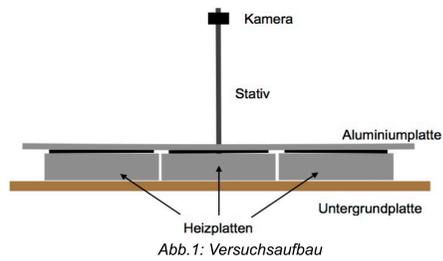
Jutta Püttmann, Sam Taziaux, Gregor Gemba, Sophie Aerdker (Projektleiterin)

### 1. Motivation

Der Leidenfrost-Effekt, der von Johann Gottlob Leidenfrost erforscht und 1756 in *De aquae communis nonnullis qualitatibus tractatus* [6] veröffentlicht wurde, beschreibt das Schweben von Wassertropfen auf einer heißen Oberfläche. Dieser Effekt kann im Alltag oft bei einer heißen Herdplatte beobachtet werden, auf die ein Tropfen Wasser fällt. Ist die Temperatur so hoch, dass ein Teil des Tropfens schnell genug verdampft, bildet sich eine isolierende Dampfschicht, sodass der restliche Tropfen erhalten bleibt. Unterhalb einer bestimmten Temperatur (dem Leidenfrost-Punkt) sieden die Tropfen rasch und verdampfen, während sie ab dem Leidenfrost-Punkt sehr viel langsamer vergehen. Wir haben den Leidenfrost-Effekt untersucht, um herauszufinden ob auf dessen Basis ein Transportmittel (später als "Leidenfrost-Cart" bezeichnet), welches auf dem schwebenden Wasser aufliegt, gebaut werden kann und in wie fern dieses benutzbar ist..

### 2. Aufbau

Alle Versuche wurden mit einem Aufbau wie in Abb. 1 durchgeführt. Der gesamte Aufbau kann auf der Untergrundplatte für die Messung der Reibung schräg gestellt werden. Für die Messungen auf den gerillten Platten wurde die lange Aluminiumplatte durch eine gerillte Platte ersetzt. Die Beschleunigung des Carts wurde aus Aufnahmen einer Hochgeschwindigkeitskamera mit einem Trackingprogramm ermittelt.



### 3. Leidenfrost-Punkt

Der Leidenfrost-Punkt (LP) ist der Punkt, ab dem das so genannte Filmsieden stabil auftritt, im Experiment also, wenn die Tropfen auf dem heißen Untergrund klar und ruhig sind. Die Theorie zur Bestimmung des LP ist in viele verschiedene Modelle gefächert, wir haben mit dem Modell von Henry [7] verglichen, welches den LP folgendermaßen berechnet:

$$(1) T_{LP} = T_{wmB} + 0,42 \left\{ \frac{k_l \rho_l c_{pl}}{k_w \rho_w c_{pw}} \left[ \frac{h_{lv}}{c_{pw}(T_{wmB} - T_{sat})} \right] \right\}^{0,6} (T_{wmB} - T_{sat})$$

$k_l$	Wärmeleitfähigkeit von Wasser
$\rho_l$	Dichte von Wassers
$c_{pl}$	Spez. Wärme von Wasser
$k_w$	Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes
$\rho_w$	Dichte des Untergrundes
$c_{pw}$	Spez. Wärme des Untergrundes
$h_{lv}$	Latente Wärme von Wasser
$T_{wmB}$	Film-Siede-Temperatur von Wasser
$T_{sat}$	Siedetemperatur von Wasser

Tabelle 1: Variablen der Formel (1)

Unsere Messung wurde mit dem oben dargestellten Aufbau durchgeführt. Die Platte wurde kontinuierlich erhitzt und es wurde ab 100°C regelmäßig Wasser auf die Platte getropft und beobachtet, wie der Tropfen sich bei den jeweiligen Temperaturen verhält. Messungen auf den gerillten Platten ergaben, dass die Rillen keinen Einfluss auf den LP haben.

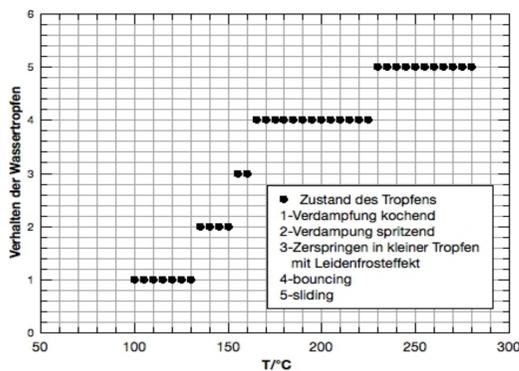


Abb. 2: Messung des Leidenfrost-Punktes

Offensichtlich ist der Zustand der Oberfläche sehr wichtig. Diesen haben wir weder selbst verändert, noch tritt dieser in den Formeln auf. Der von uns gemessene LP stimmt jedoch mit dem von [4] bestimmten Wert auf 5°C genau überein und beträgt 230°C.

### 4. Reibung

Zur Bestimmung der Reibung des Wassertropfens wurde die Beschleunigung des Tropfens auf einer gekippten Aluminiumplatte mit der theoretischen Hangabtriebsbeschleunigung  $F_H$  verglichen:  $(2) F_H = F_G \cdot \sin \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha \Rightarrow a_H = g \cdot \sin \alpha = g \cdot \frac{\Delta h}{l}$ , mit  $\Delta h$  dem Höhenunterschied zwischen oberem und unterem Ende der Aluminiumplatte und  $l$  der Länge dieser.

Bei unserem Aufbau ergibt dies eine Beschleunigung von  $a_H = (0,264 \pm 0,005) \frac{m}{s^2}$

Experimentell ergibt sich eine mittlere Beschleunigung von  $a_{Exp} = (0,237 \pm 0,011) \frac{m}{s^2}$

Der Gleitreibungskoeffizient  $\mu = \frac{FR}{FN}$  ergibt somit  $\mu = -(2,7 \pm 1,2) \cdot 10^{-3}$ .

### 5. Beschleunigung auf gerillten Platten

Durch Rillen in der Oberfläche wie in Abb. 3 werden Wassertropfen über die Platte beschleunigt. An einer Kante teilt sich der unter dem Wassertropfen befindliche Dampf (vgl. Abb. 3). Dabei ist die Reibung zwischen Dampf und Tropfen entlang der Schräge deutlich größer, sodass dort der Tropfen mitgezogen wird. Die daraus resultierende horizontale Kraft  $F$  kann beschrieben werden durch:  $(3) F = 0,5 \cdot A_{eff} \cdot h \cdot \left| \frac{dp}{dx} \right| \cdot \cos \vartheta$  [5], wobei  $A_{eff}$  die effektive Fläche des Tropfens,  $h$  die Dicke des Wasserdampfes unter dem Tropfen,  $\frac{dp}{dx}$  der Druckgradient und  $\vartheta$  der Neigungswinkel der Rillen ist. Hier wurde die Abhängigkeit von  $\vartheta$  über Messung auf drei Platten mit unterschiedlichen Rillenabständen bei sonst gleichen Bedingungen (Temperatur der Platte, Wassermenge) untersucht.

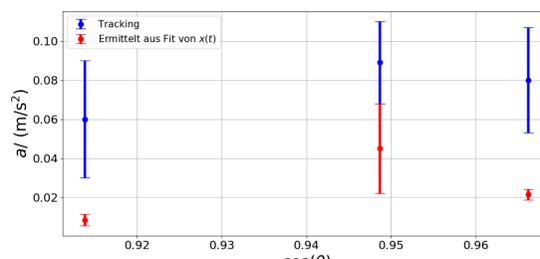


Abb. 4: Beschleunigung in Abhängigkeit vom Neigungswinkel

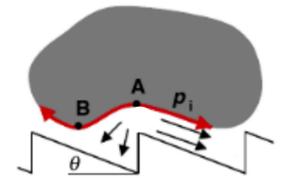


Abb. 3: Wassertropfen auf gerillter Platte [6]

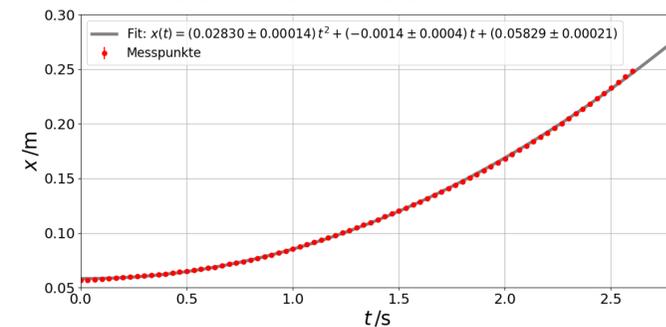


Abb. 5: Fitkurve des Ortes

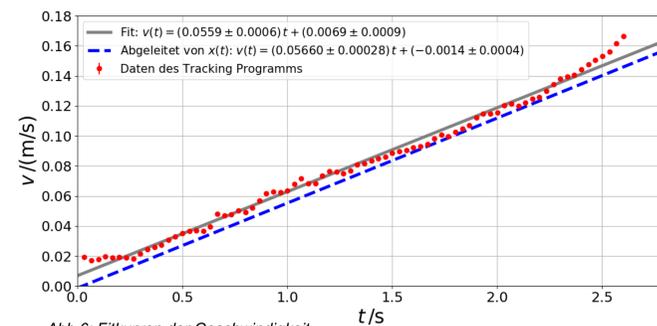


Abb. 6: Fitkurven der Geschwindigkeit

Dabei wurde eine mittlere Beschleunigung durch Differenzbildung des Trackingprogramms bestimmt (blaue Punkte). Da diese Vorgehensweise zu sehr weit gestreuten Beschleunigungen führte, wurden die Ortsdaten direkt mit einer Parabel gefittet und ebenfalls eine Beschleunigung durch Differenzieren der gefitteten Funktion

bestimmt (rote Punkte). Die beiden Platten kleineren Rillenabstandes zeigen eine Korrelation zu (3), für eine Bestätigung wären aber mehr Messungen an verschiedenen Rillenabständen nötig. Die festgestellte Reibung kann wie die Verdampfung des Wassertropfens bei unserer Plattenlänge vernachlässigt werden, wie durch das genau passende Fitten einer Parabel zeigt.

### 6. Gewichtsbelastung

Bei dieser Messung werden Gewichte auf das Cart gelegt. Bei 0,1ml ist die Wassermenge zu gering um auch nur das Gewicht des Carts zu tragen. Ab 0,5ml hinzugefügter Wassermenge bilden sich sofort Wassertropfen auf der Oberfläche des Carts, sodass ebenfalls keine Messung mehr möglich ist. Mit unseren Mitteln ist eine maximale Belastung von 0,9g möglich.

Wassermenge/ml	Maximale Gewichtsbelastung/g
0,1	-
0,2	0,6
0,3	0,8
0,4	0,9
0,5	-

Tabelle 3: Gewichtsbelastung

### 7. Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Leidenfrost-Effekt für die Verwendung als Transportmittel nur begrenzt geeignet ist, da aufgrund des zu hohen Leidenfrost-Punktes zu viel Energie zum Erwärmen benötigt wird und aufgrund der zu geringen Belastbarkeit des Carts und der Instabilität, nur sehr leichte Gegenstände transportiert werden können. Das Cart lässt sich allerdings effektiv durch das senkrechte Aneinanderreihen von geriffelten Platten umlenken.

### 8. Literatur

- [1] Leidenfrost levitation: beyond droplets, Hashmi et al., Scientific Reports 2, nr. 797, 2012
- [2] Liquid-vapor phase-change phenomena, Carey, Van P. (1992), pp. 311, 316-318
- [3] The Leidenfrost point: Experimental Study and Assessment of Existing Models, Bernadin et al., ASME, Vol. 121, Nov. 1999
- [4] Role of the Surface in the Measurement of the Leidenfrost Temperature, Baumeister et al., ASME, pp 91-101 1970
- [5] Self-Propelled Leidenfrost Droplets, Linke et al., Physical Review Letters 96(15):154502, 2006
- [6] De aquae communis nonnullis qualitatibus tractatus, J.G. Leidenfrost, Duisburg, 1756
- [7] A correlation for the minimum film boiling temperature, Henry et al, Chem. Eng. Prog. Symp. Ser., vol. 70 no. 138, pp. 81-90 1978

### 9. Danksagung:

Wir möchten uns ganz herzlich bei den Technikern Klaus Ulrich und Tomasz Domanski, der Feinmechanikwerkstatt und unsere Projektleiterin Sophie bedanken.