

Numerische Simulation von Tropfenaufprall und Filmbildung an der Wand

Dr. X. Cai, Dr. N. Samkhaniani, Dr. M. Wörner¹, Prof. Dr. B. Frohnafel²

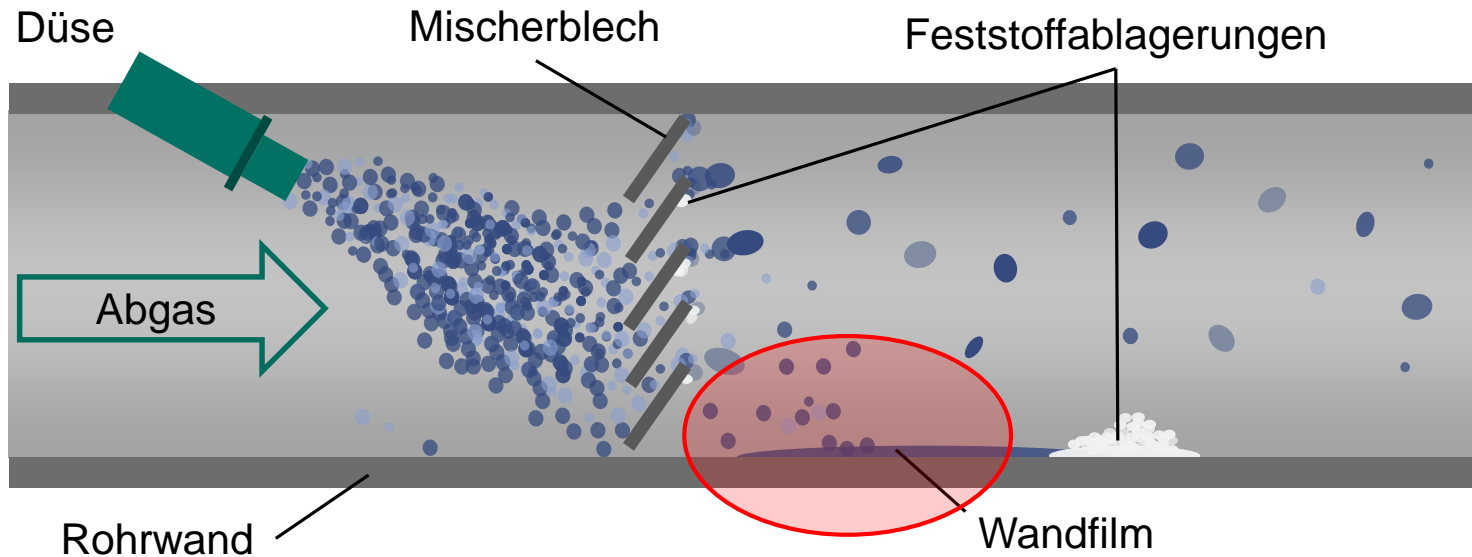
Boysen Doktorandentage 9.-10. Mai 2019, Altensteig

¹ Institut für Katalyseforschung und -technologie (IKFT), ² Institut für Strömungsmechanik (ISTM)



- Einleitung
- Phasenfeldmethode
- Simulationsergebnisse und Validierung
 - Aufprall von Einzeltropfen auf eine Wand
 - Bildung eines Flüssigkeitsfilms
- Zusammenfassung und Ausblick

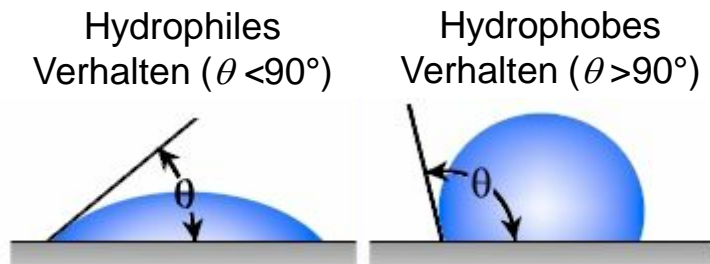
Zielsetzung BOY-127.1



- Den Vorgang der Filmbildung von Harnstoff-Wasser-Lösung (HWL) durch Tropfenaufprall und –koaleszenz mit direkter numerischer Simulation untersuchen und verstehen
- Aufzeigen, inwieweit die Filmbildung durch Modifizierung von **Benetzungseigenschaften** minimiert/verhindert werden kann

Benetzungseigenschaften

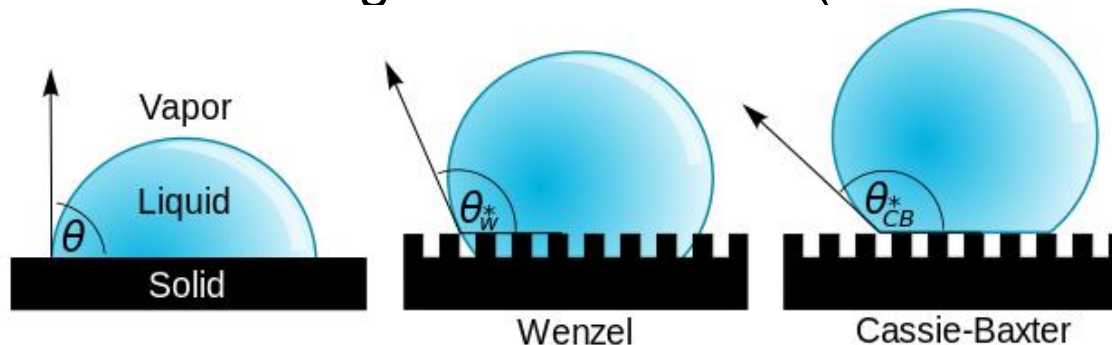
- Benetzbarkeit wird durch **Kontaktwinkel** charakterisiert



Quelle: www.ramehart.com/contactangle.htm

*Der Kontaktwinkel θ hängt von den **Grenzflächenenergien** von Gas, Flüssigkeit und Festkörper ab*

- Beeinflussung des Kontaktwinkels (KW)
 - Beschichtung der Oberfläche
 - Strukturierung der Oberfläche (Lotus-Effekt)



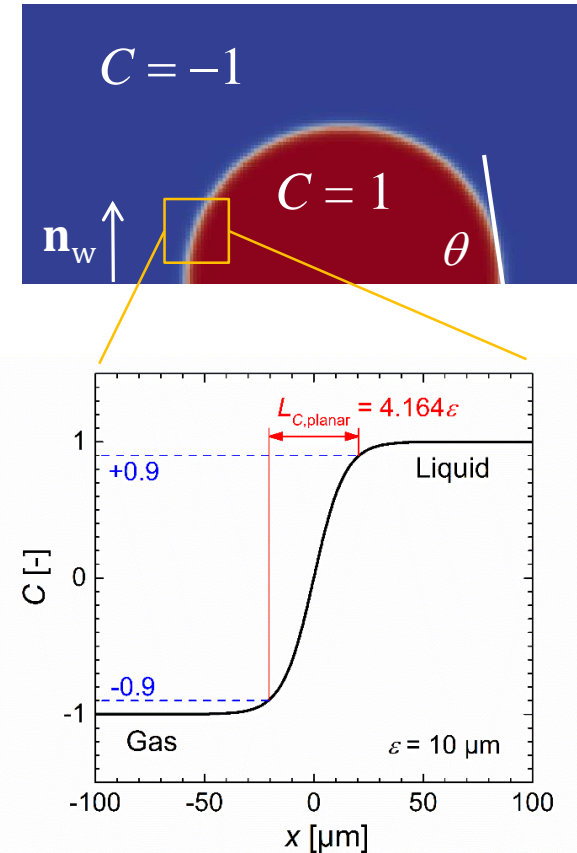
Quelle: Wikipedia

■ Phasenfeldmethode

- Phasenverteilung wird durch Cahn-Hilliard-Gl. für den Ordnungsparameter C beschrieben ($-1 \leq C \leq 1$)
- Gas-flüssig-Grenzfläche hat endliche Dicke, die vorgegeben wird ($\propto \varepsilon$)
- KW geht über Randbedingung für C ein
- Kopplung CH-Gl. mit den zweiphasigen Navier-Stokes-Gleichungen

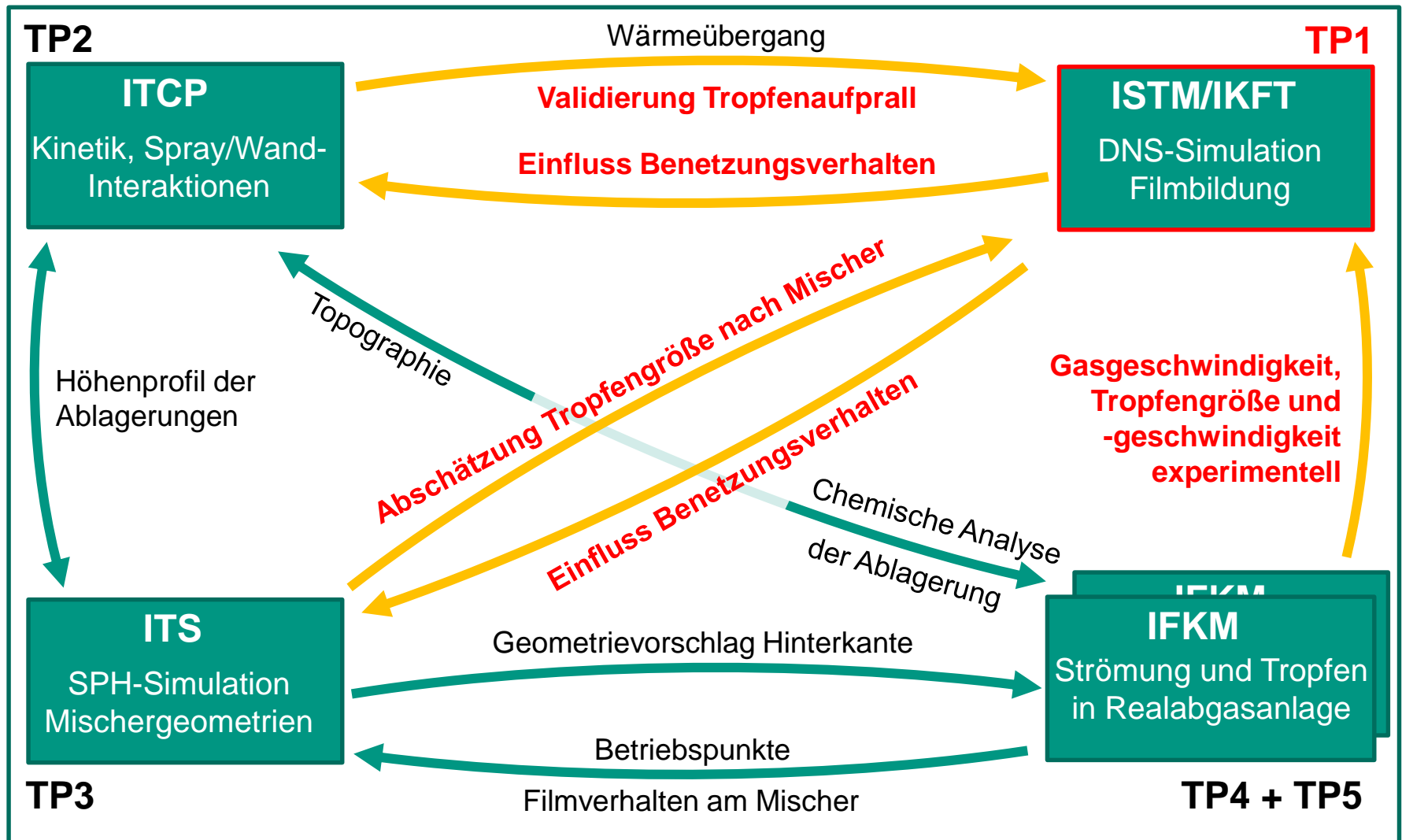
■ Rechenprogramm phaseFieldFoam

- Implementierung in OpenFOAM
- Entwickler: H. Marschall (TU Darmstadt), X. Cai (KIT), ...



$$\mathbf{n}_w \cdot \nabla C = \frac{1 - C^2}{\sqrt{2\varepsilon}} \cos \theta$$

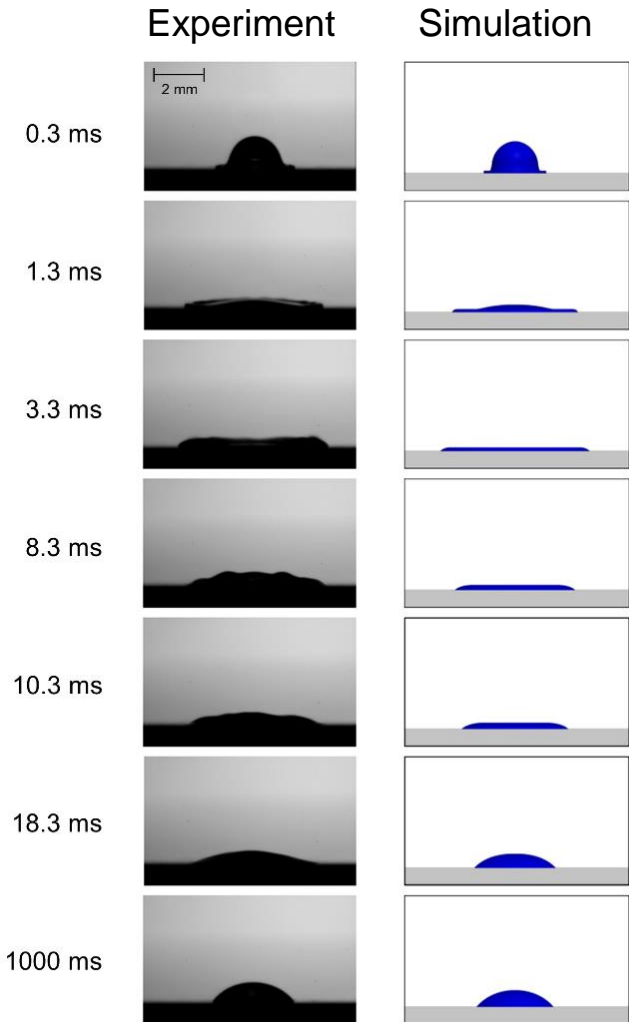
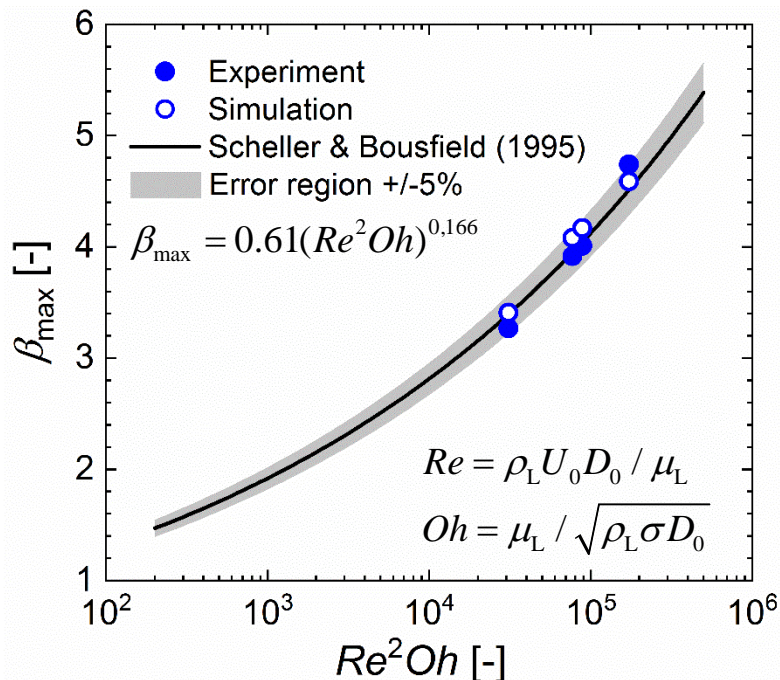
Verzahnung der Teilprojekte in BOY-127



Einzeltröpfen - Deposition

■ Vergleich mit Experimenten in TP-2

- HWL-Tropfen auf Edelstahl $\theta = 50,3^\circ$
- Tropfendurchmesser $D_0 = 2 - 3$ mm
- Aufprallgeschwindigkeit $U_0 = 2 - 3,4$ m/s
- Vergleich Ausbreitungsfaktor $\beta = D_{\text{wet}}/D_0$

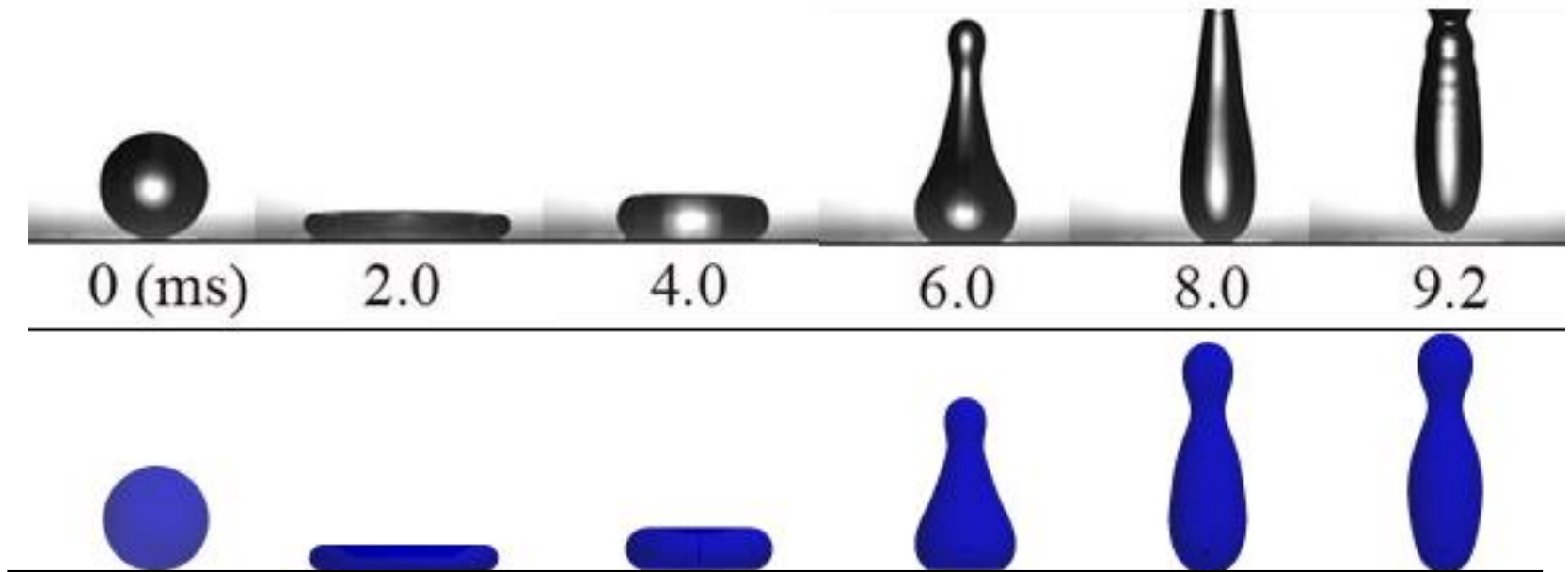


📖 Börnhorst et al., eingereicht bei *Chem. Eng. Technol.*

Einzeltröpfen - Tropfenrückprall

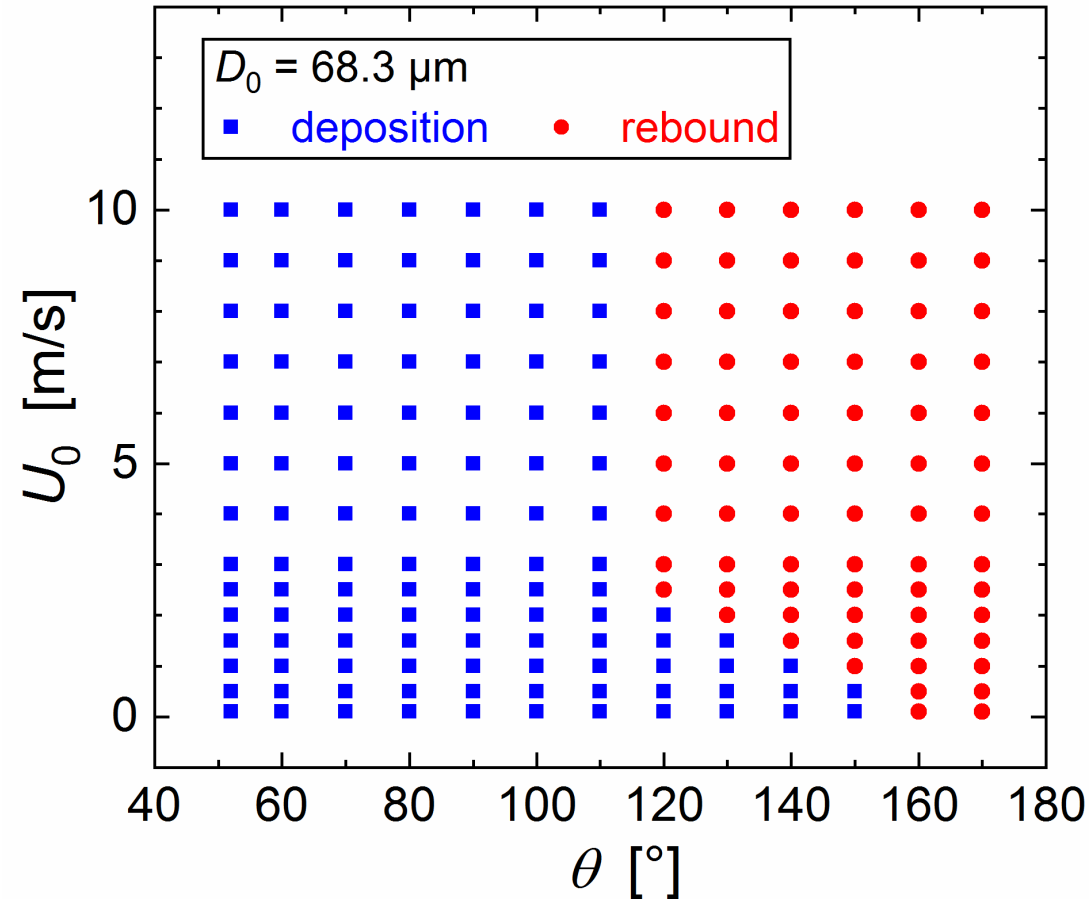
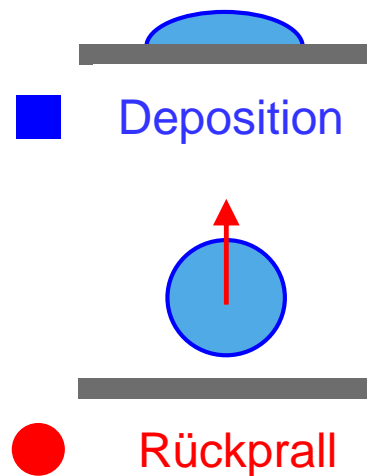
■ Experimente von Yun (2017)

- Rückprall eines Wassertropfens von einer superhydrophoben Oberfläche ($\theta = 160^\circ$, $D_0 = 1,7$ mm, $U_0 = 1$ m/s)



 S.Yun, Bouncing of an ellipsoidal drop on a superhydrophobic surface, Scientific reports (2017) 7:17699

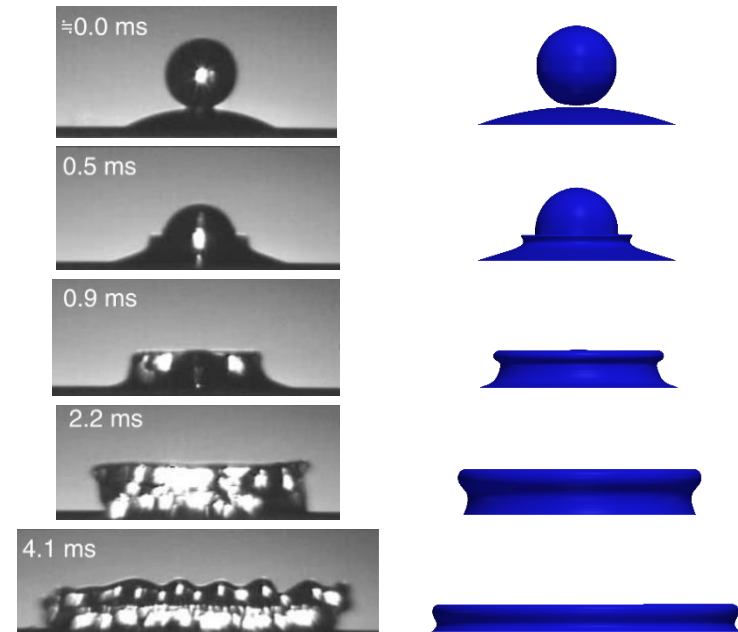
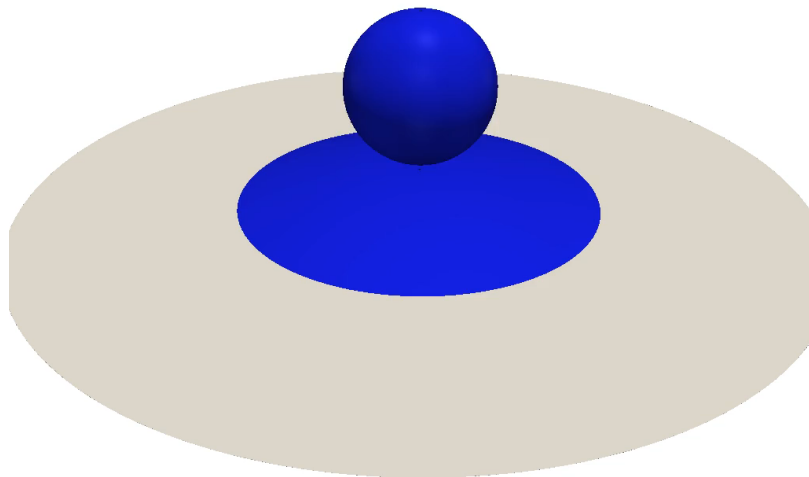
Bereichsdiagramm für HWL



- Tropfenrückprall tritt nur bei Kontaktwinkel $\theta \geq 120^\circ$ auf

Koaleszenz von zwei Wassertropfen

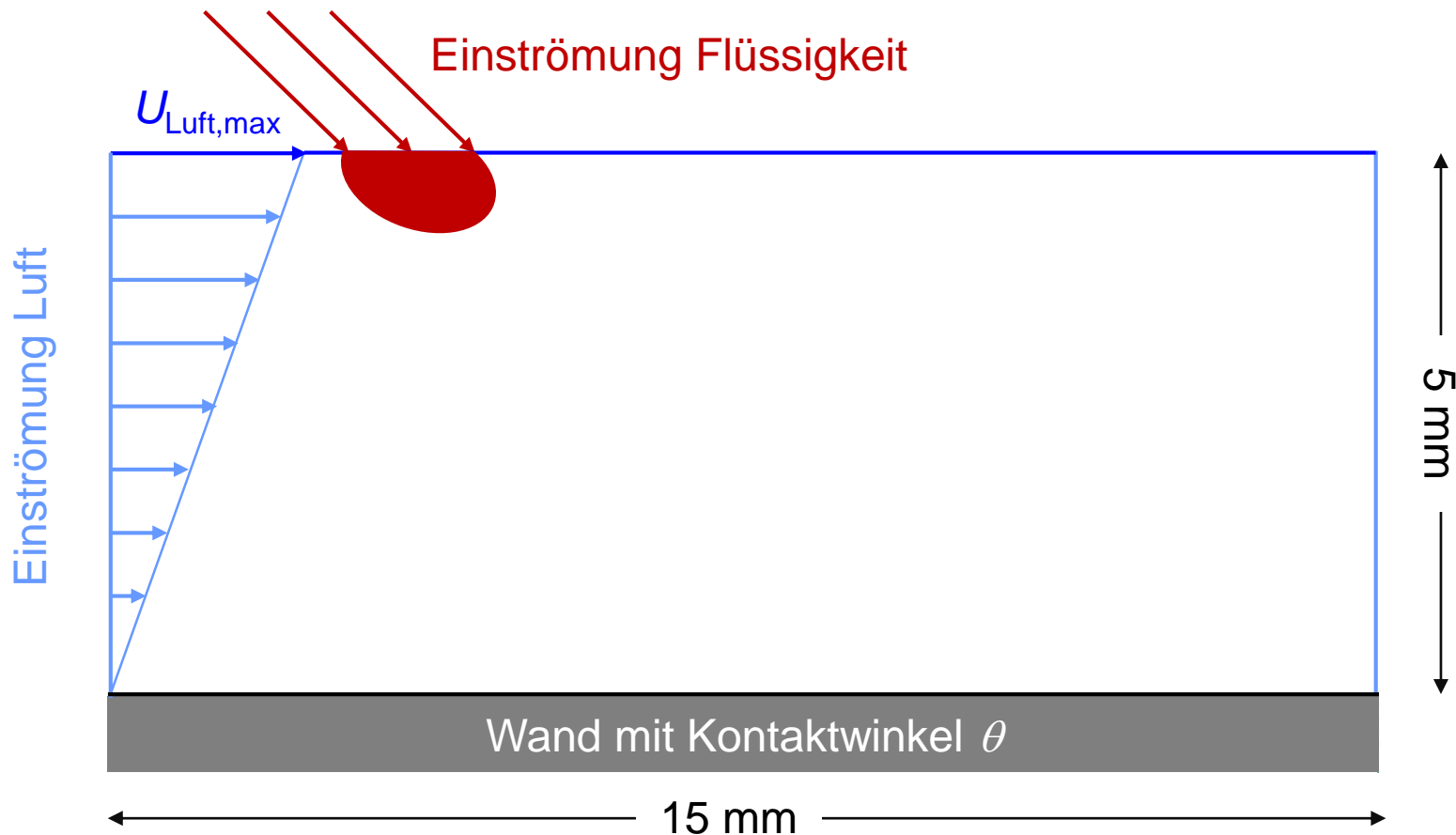
- Vergleich mit Experiment von Fujimoto et al. (2001)
 - Aufprall eines fallenden Tropfens ($U_0 = 2,1$ m/s) auf einen ruhenden Tropfen ($D_0 = 2,4$ mm, Substrat: Glas, hydrophil)
 - Rotationssymmetrische Simulation



 Fujimoto et al., *Int. J. Multiphase Flow* **27** (2001) 1227-1245

Filmbildung

- Keine experimentellen/numerischen Arbeiten in Literatur
 - Eigene Vorstudien in Form von (ebenen) 2D Simulationen



Anströmung mit $U_{\text{Luft,max}} = 5 \text{ m/s}$

$\theta = 45^\circ$



Koaleszenz
am Aufprallort
→ Filmbildung

$\theta = 90^\circ$



Koaleszenz
am Aufprallort
→ Filmbildung
mit Filmtransport

$\theta = 120^\circ$



Tropfen koalieren
und werden
abtransportiert
→ keine Filmbildung

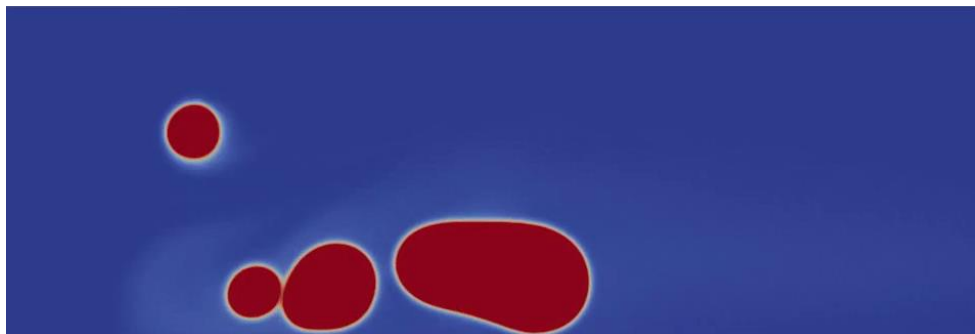
Anströmung mit $U_{\text{Luft,max}} = 2,5 \text{ m/s}$

$\theta = 90^\circ$



Koaleszenz
am Aufprallort
→ Filmbildung
kein Filmtransport

$\theta = 120^\circ$



Tropfen koalieren
und werden
abtransportiert
→ keine Filmbildung

■ Einzeltropfen

- Validierung von Methode und Code für Aufprall auf hydrophile und hydrophobe Oberflächen
- Für Kontaktwinkel $\theta \geq 120^\circ$ prallen Tropfen mit ausreichend großer kinetischer Energie von der Wand zurück

■ Filmbildung

- Validierung für senkrechten Aufprall auf sitzenden Tropfen
- 2D Simulationen legen nahe, dass die Filmbildung durch hydrophobe Wände minimiert bzw. unterdrückt werden kann

■ Ausblick

- Arbeitsbeginn Dr. N. Samkhaniani am 1. Juni 2019
- Dreidimensionale Simulationen zur Filmbildung
- Simulationen mit Wärmeübergang



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

- Mitwirkung von Studenten
 - Arijit Majumdar (Praktikum)
 - Shuo Wang (HiWi)
 - Yanchen Wu (Masterarbeit)