

Nutzung der Hochdruckwasserstrahltechnik für geothermische Tiefbohrungen

Sarah Jasper

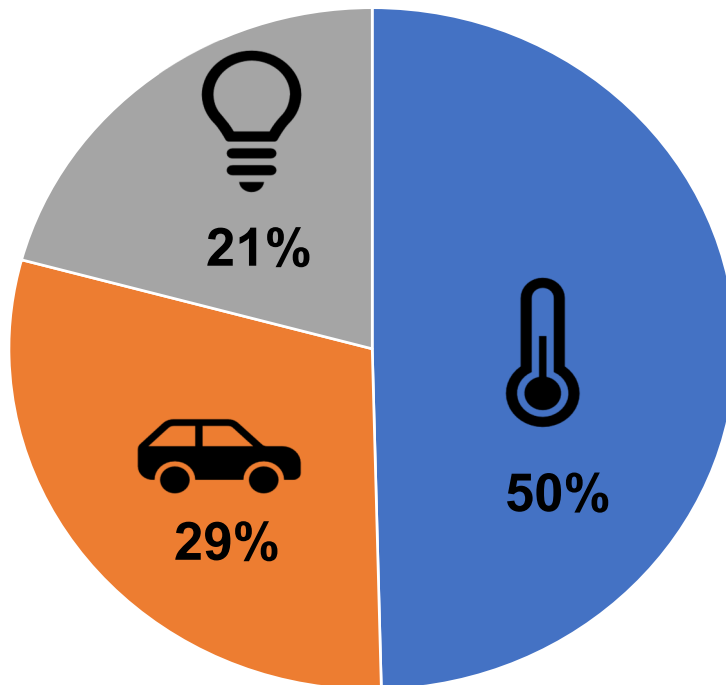
Hochschule Bochum

Fachbereich Mechatronik und Maschinenbau

Institut für Thermo- und Fluidodynamik

Energiewende – nur ein Stromthema?

Endenergieverbrauch in
Deutschland (2017)

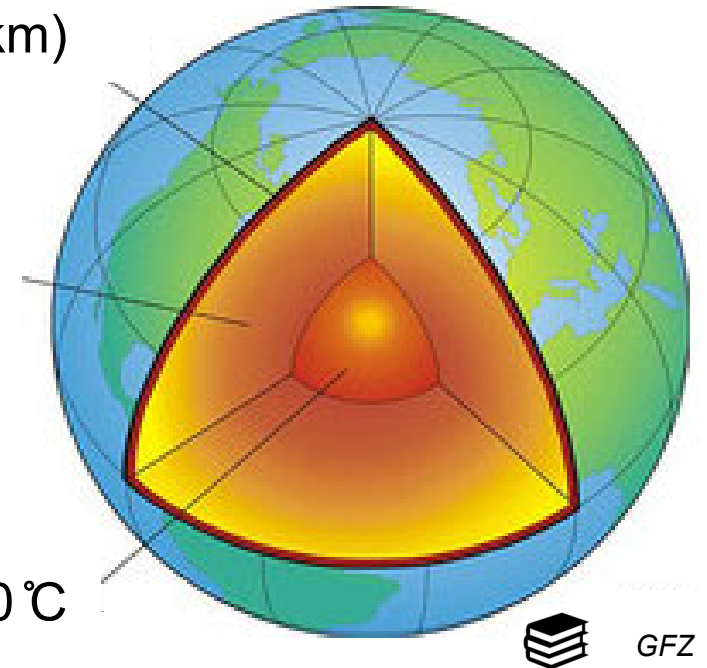


 AG Energiebilanzen AGEE-Statistik, Stand 07/2018

Kruste (ca. 30km)
~3 °C/100m

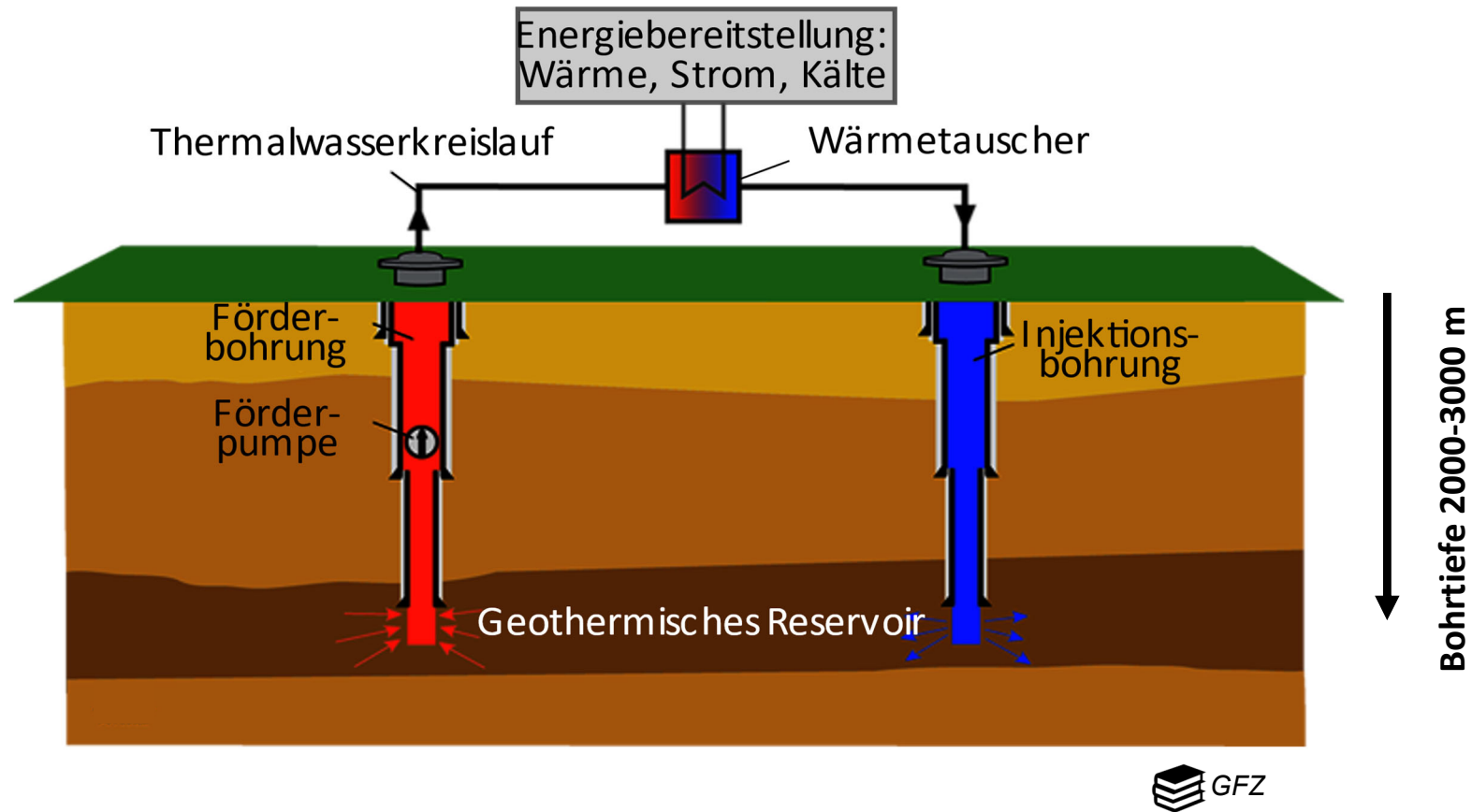
Mantel
>1000 °C

Kern ~5000 °C



- ✓ Geothermie ist grundlastfähig
- ✓ Hohes Potential für eine nachhaltige Wärmequelle in Fernwärmenetzen
- × Momentan nicht wirtschaftlich

Geothermie: Potential und Nutzung



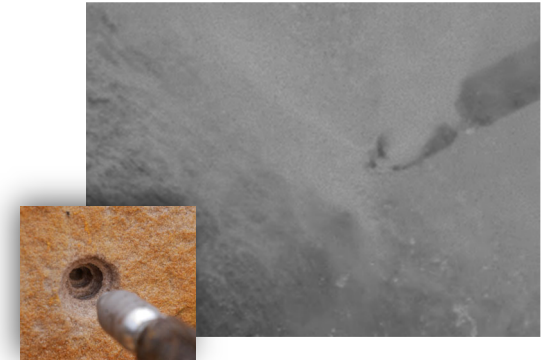
Oberflächennahe Geothermie:
bis 400 m und $T=20^{\circ}\text{C}$
(z.B. Wärmepumpen für Haushalte)

Tiefe Geothermie:
ab 400 m und $T>60^{\circ}\text{C}$
(z.B. Geothermiekraftwerke zur
Bereitstellung von Fernwärme)

Wasserstrahlschneiden von Gestein?



Vorgänge zwischen Hochdruckwasserstrahl und Gestein sichtbar machen, um sie strömungsmechanisch „greifbar“ zu machen



Was sind die entscheidenden Prozesse beim Bohren mit Hochdruckwasserstrahlen?
Welche Lösungsansätze kann die Strömungsmechanik beitragen?

teilweise gefördert durch

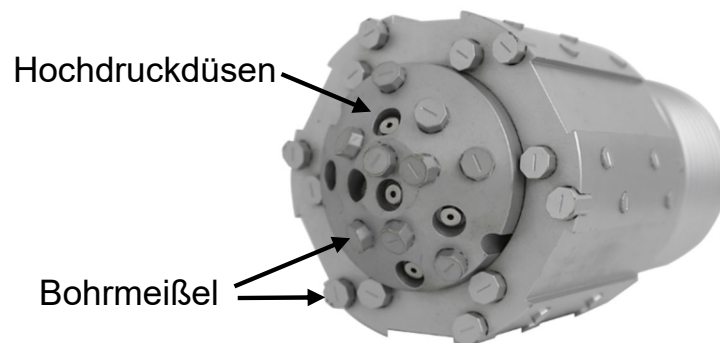
Ministerium für Innovation,
Wissenschaft und Forschung
des Landes Nordrhein-Westfalen



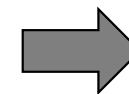
„FH Struktur“
AZ: 322-8.03.04.02 –
FH-Struktur 2016/04



Co-funded by the Horizon 2020 programme
of the European Union

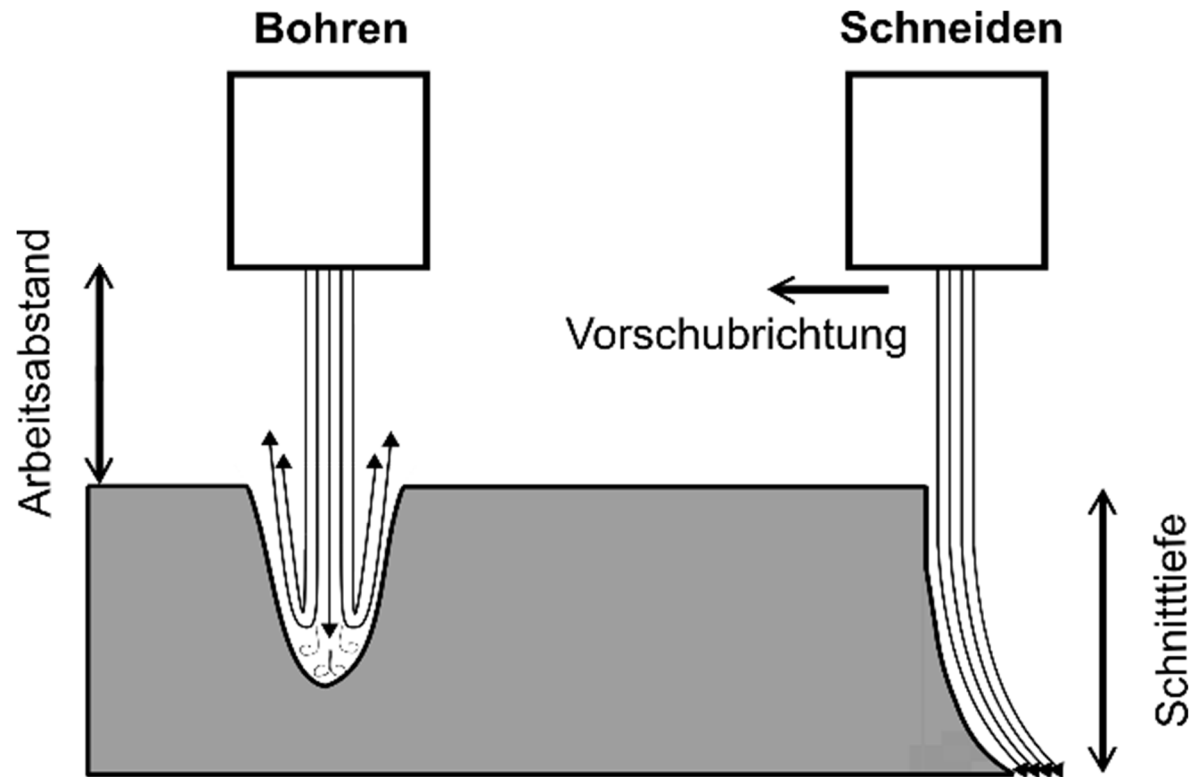


Optimierung und Weiterentwicklung
der Bohrtechnik

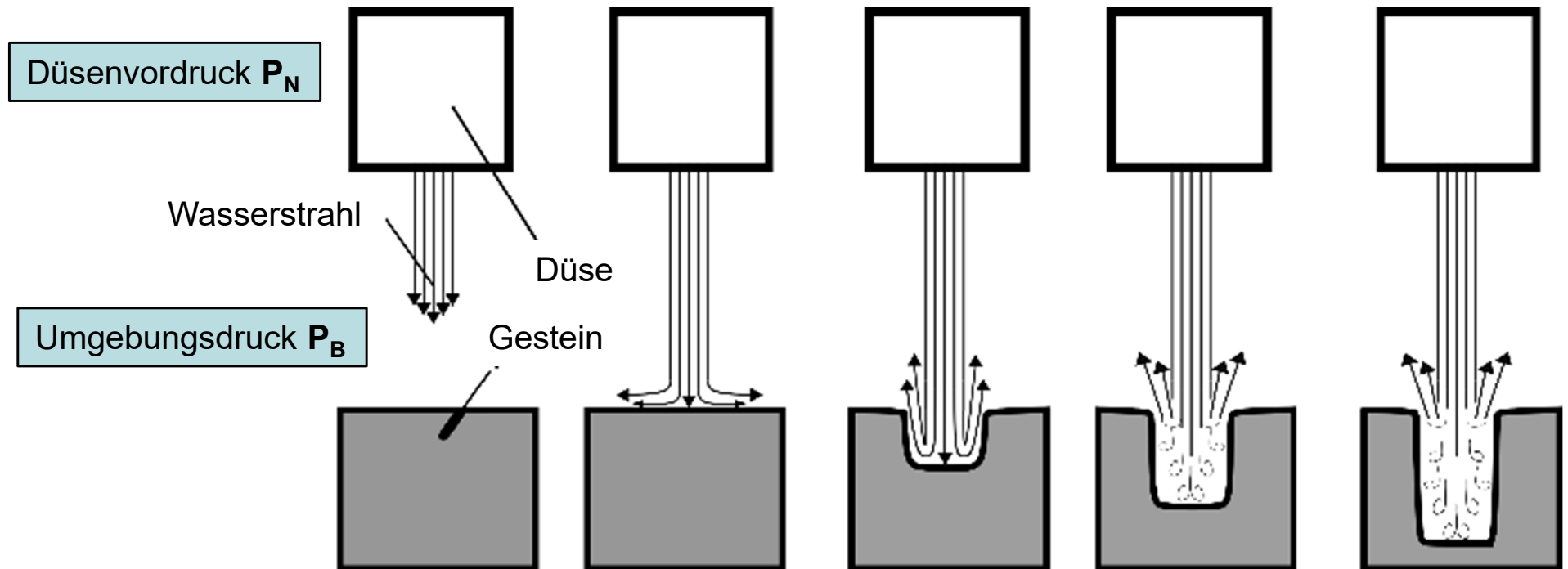


Technologie des Wasserstrahl-
schneidens auf das Bohren
von Gestein übertragen

Wasserstrahlbohren & -schneiden

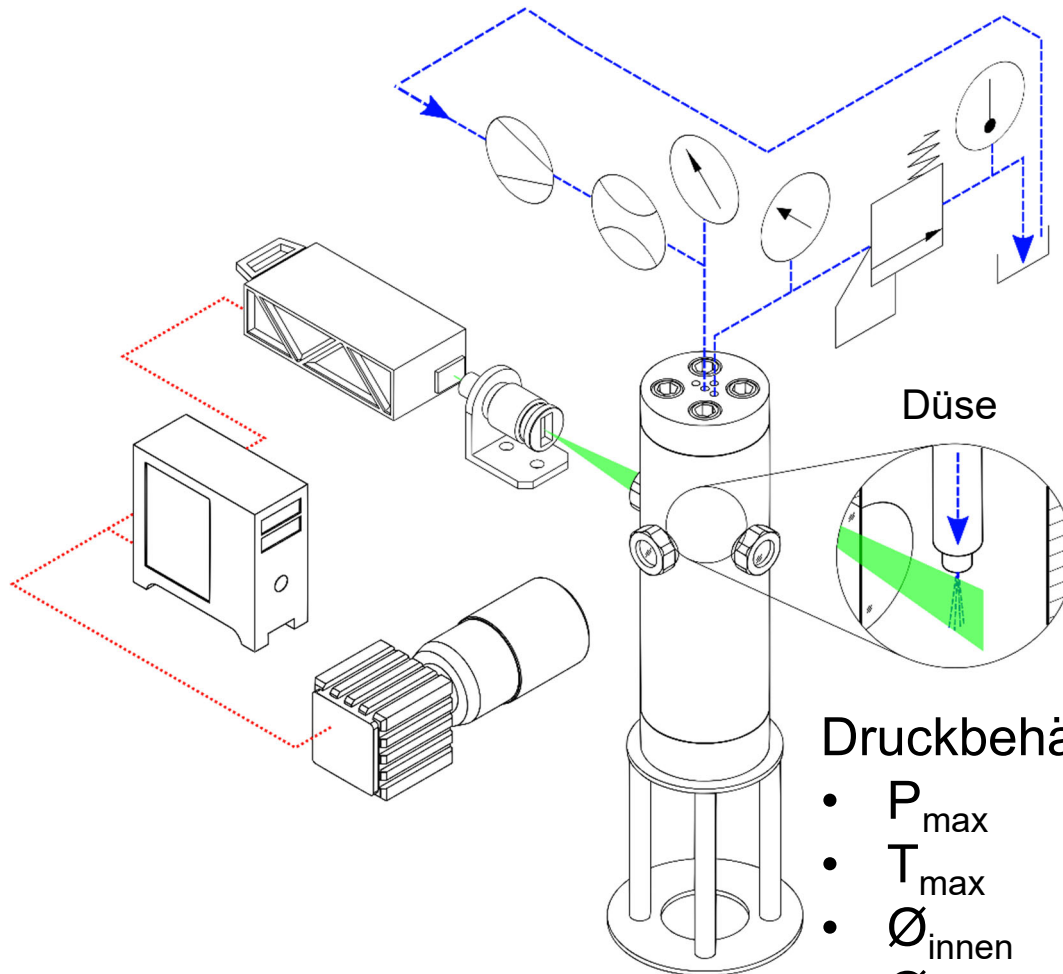


Der Wasserstrahlbohrprozess



Hauptsächlicher Erosionsmechanismus ist derzeit noch nicht bekannt
Oberflächenerosion / hydraulische Bruchbildung /
poro-elastisches Spannungsversagen / Kavitationserosion

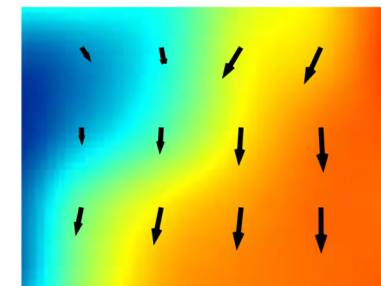
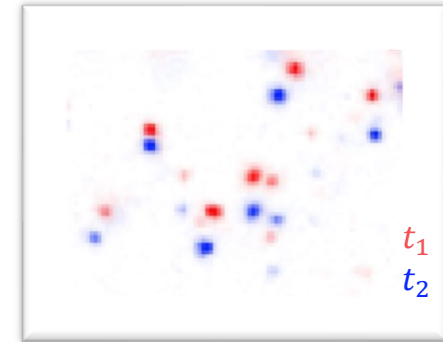
Experimenteller Aufbau PIV (I)



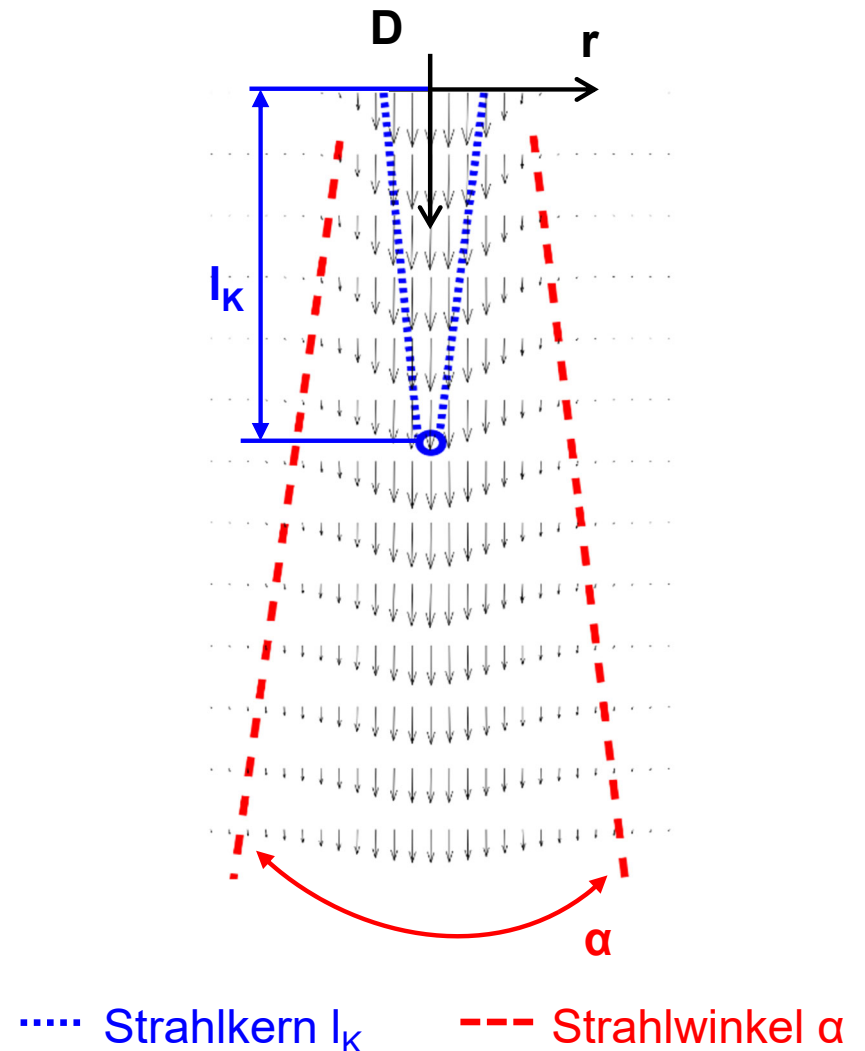
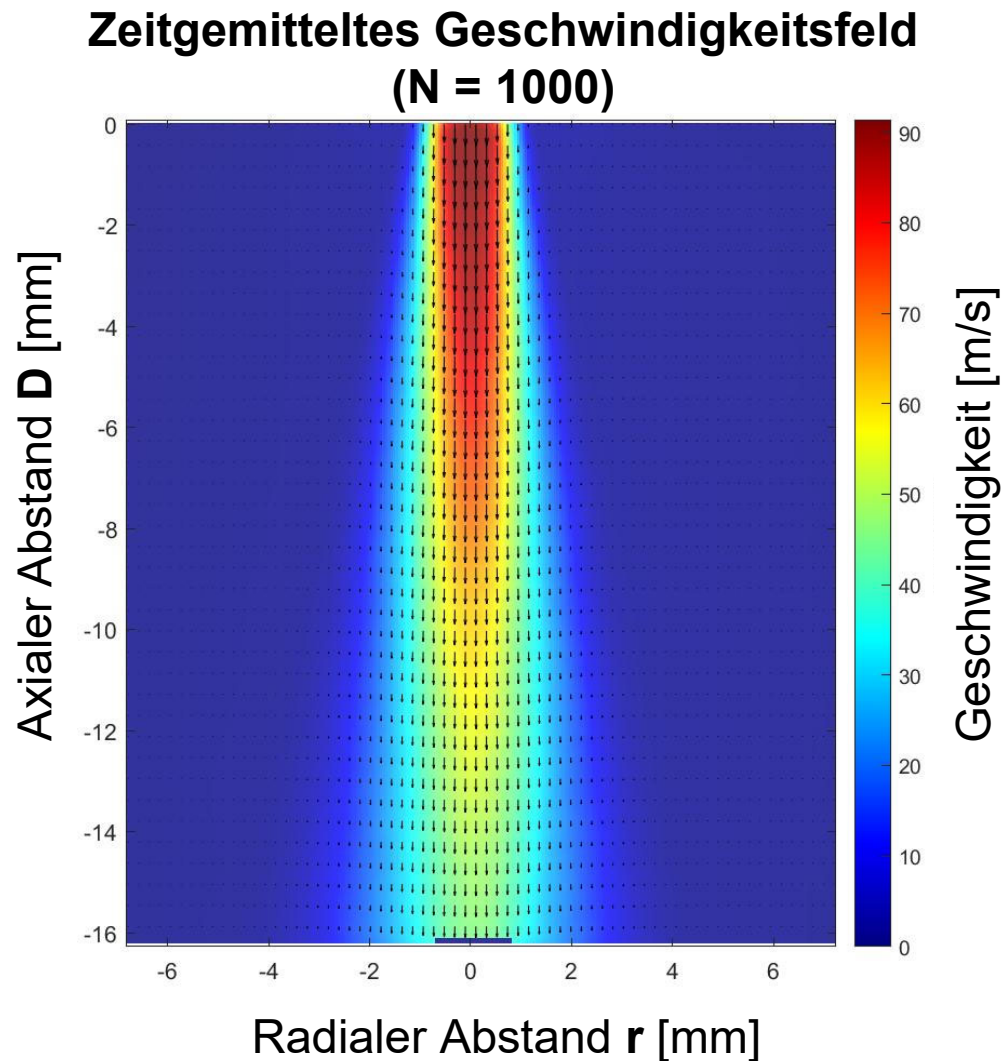
Druckbehälter

- P_{\max} 50 MPa
- T_{\max} 40°C
- $\varnothing_{\text{innen}}$ 65 mm
- $\varnothing_{\text{Fenster}}$ 35 mm

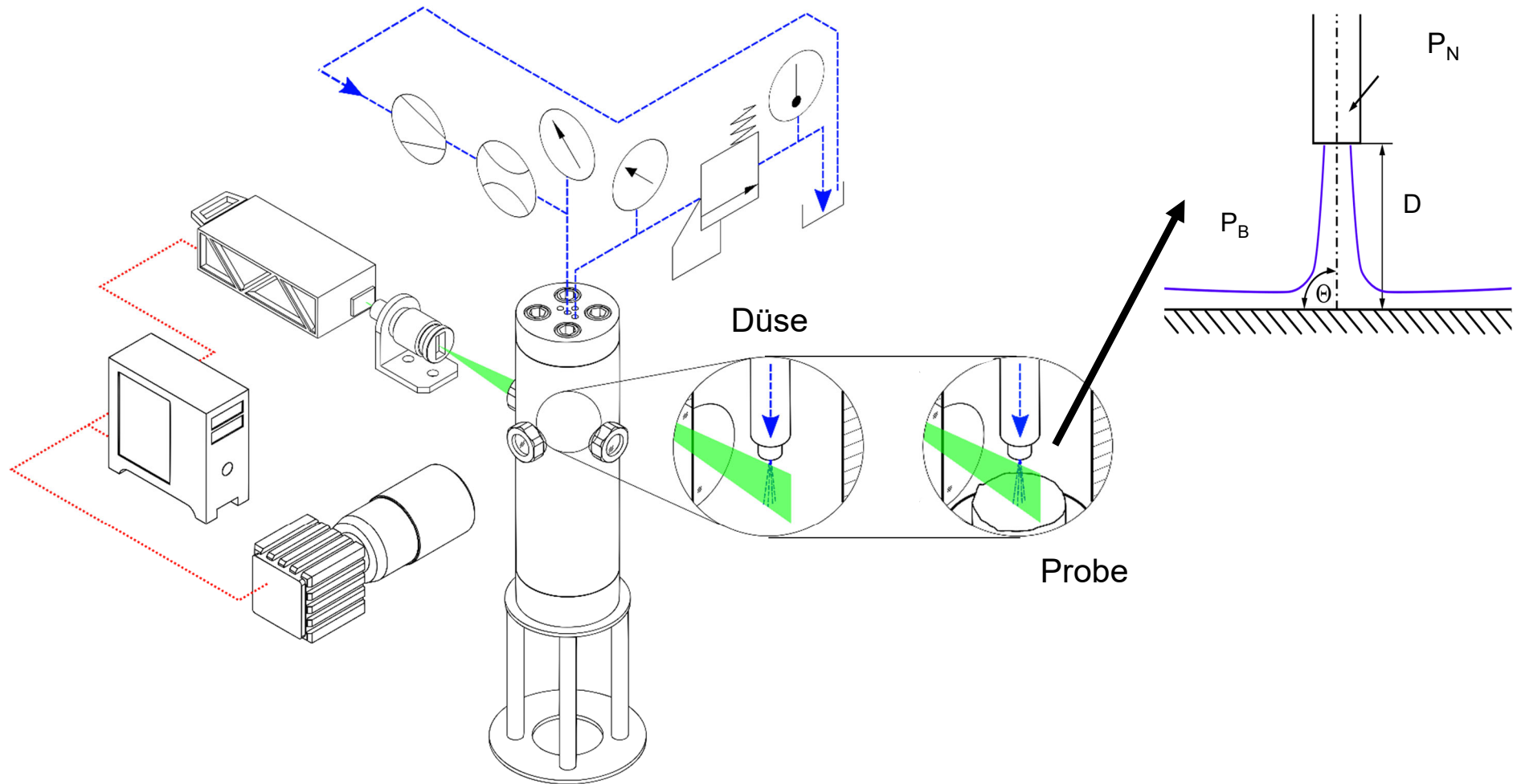
Drei optische Zugänge für PIV und Schattenbildverfahren



Zeitgemittelttes Geschwindigkeitsfeld, Strahlkern und -winkel

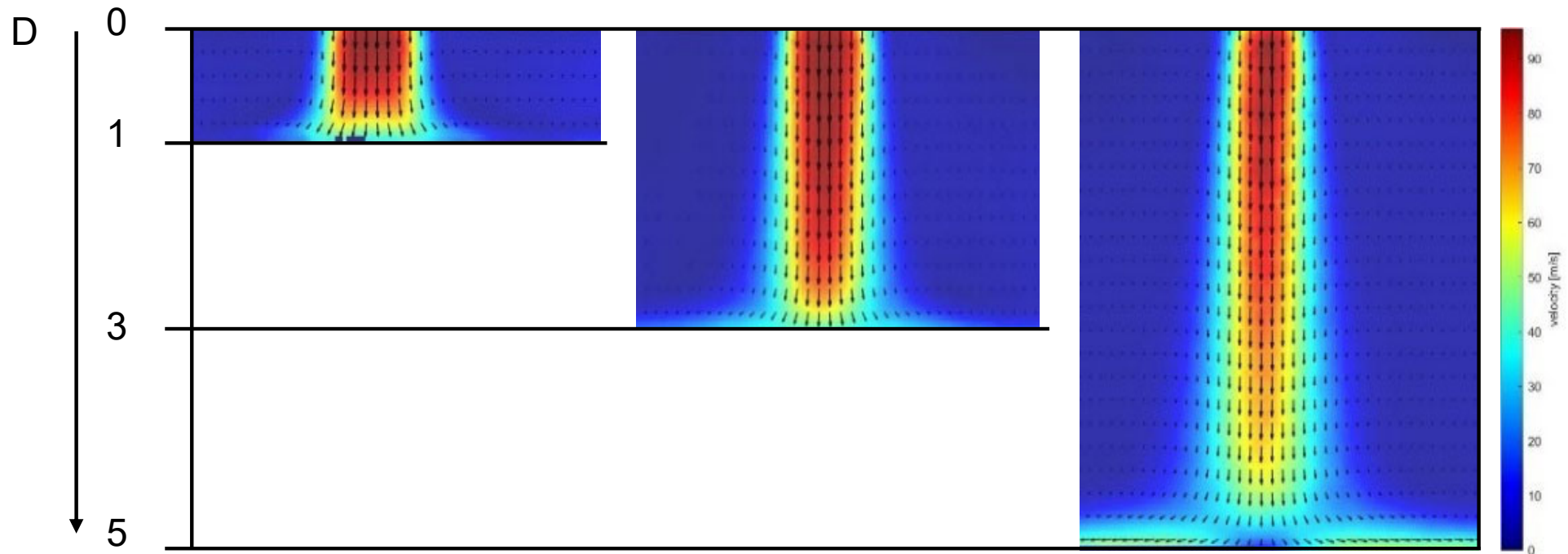


Experimenteller Aufbau PIV (II)



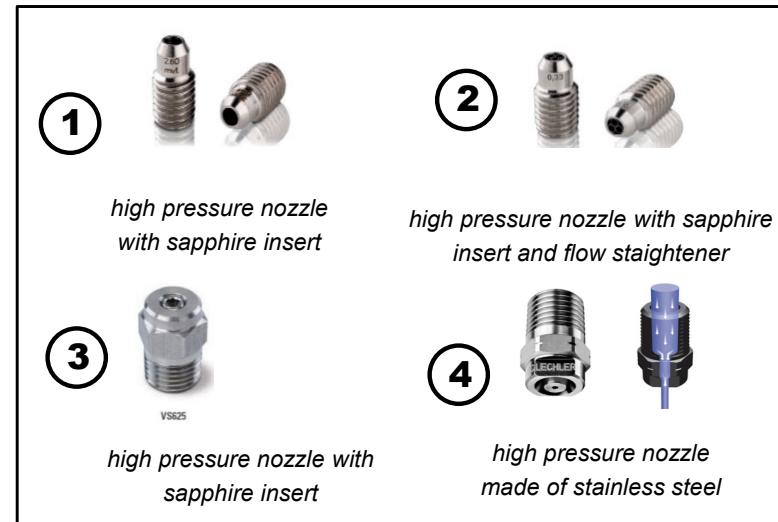
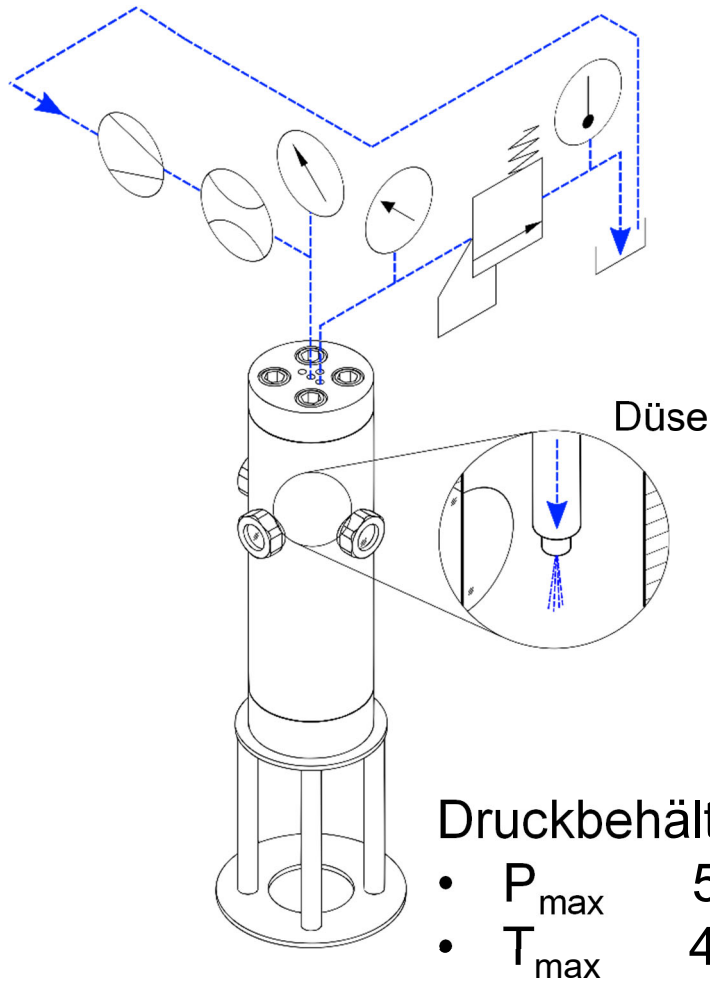
Zeitgemitteltes Geschwindigkeitsfeld

Zeitgemittelte Geschwindigkeitsprofile (N = 500)



Parameter	Dimension	Wert
Düsenvordruck	P_D MPa	15
Umgebungsdruck / Gegendruck	P_U MPa	10 – 13
Teufe	- m	1000 - 1300
Druckverhältnis	P^* -	0,8 – 0,9
Volumenstrom	Q l/min	10,0 – 16,0
Temperatur	T °C	30 – 40

Experimenteller Aufbau Strömungszustand

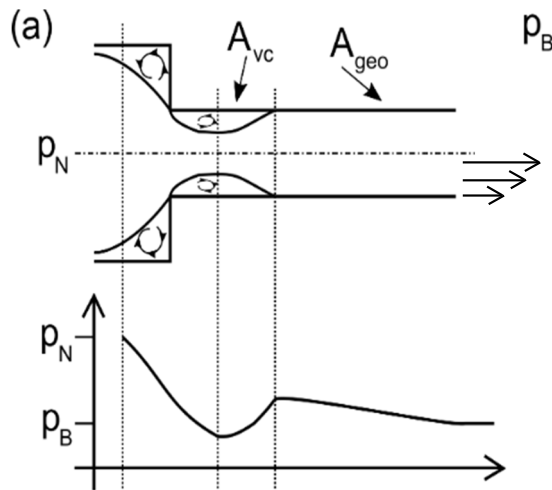


name	type	P_{\max}
N1	sapphire nozzle	300 MPa
N2	sapphire nozzle, With flow straightener	300 MPa
N3	sapphire nozzle	120 MPa
N4	stainless steel nozzle	30 MPa

Strömungszustände in Hochdruckdüsen

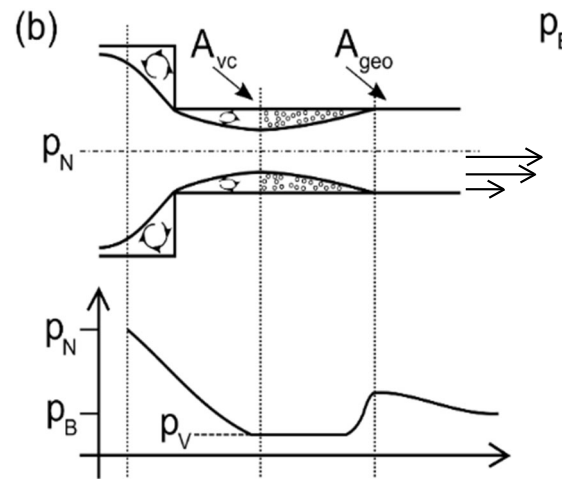
Umgebungsbedingungen verändern sich bei Tiefbohrungen mit zunehmender Teufe
 → durch die Wassersäule im Bohrloch bildet sich am Bohrlochboden ein hydrostatischer Druck aus

$$\sigma = \frac{p_B}{p_N} = P^*$$



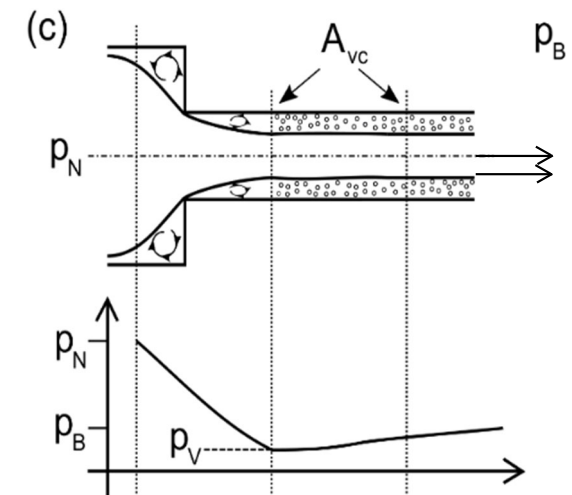
Turbulente Strömung

- Strahl $\sim A_{geo}$
- keine Kavitation



Filmkavitation

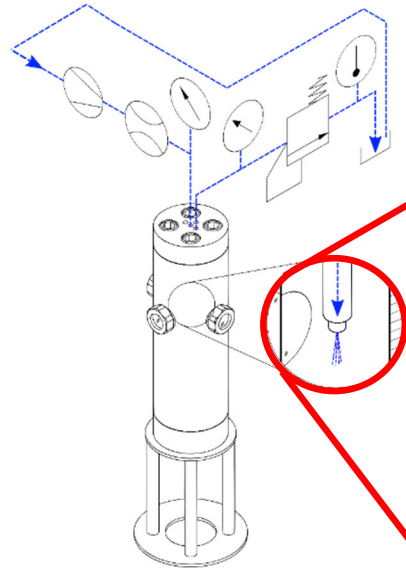
- Strahl $\sim A_{geo}$
- Kavitation in der Düse



Supercavitation

- Strahl $\sim A_{vc}$
- Kavitation auch außerhalb der Düse

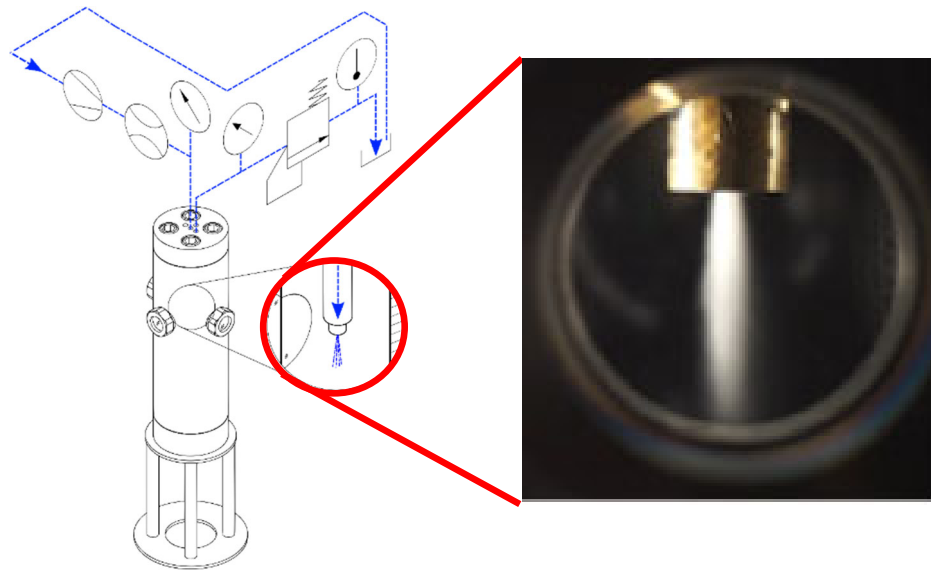
Visualisierung von Kavitationswolken (I)



Visualisierung der Saphirdüse
in der Druckzelle

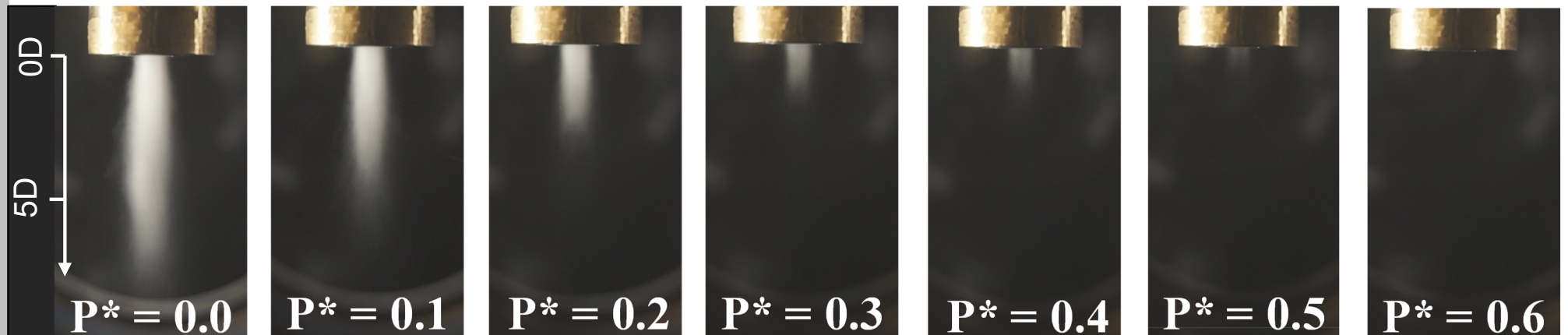
- Düsenvordruck ~ 10 MPa
- Umgebungsdruck steigt schrittweise
- Lange Belichtungszeit $>$ zeitlich gemittelte Beobachtung von Kavitationswolken

Visualisierung von Kavitationswolken (I)



Visualisierung der Saphirdüse
in der Druckzelle

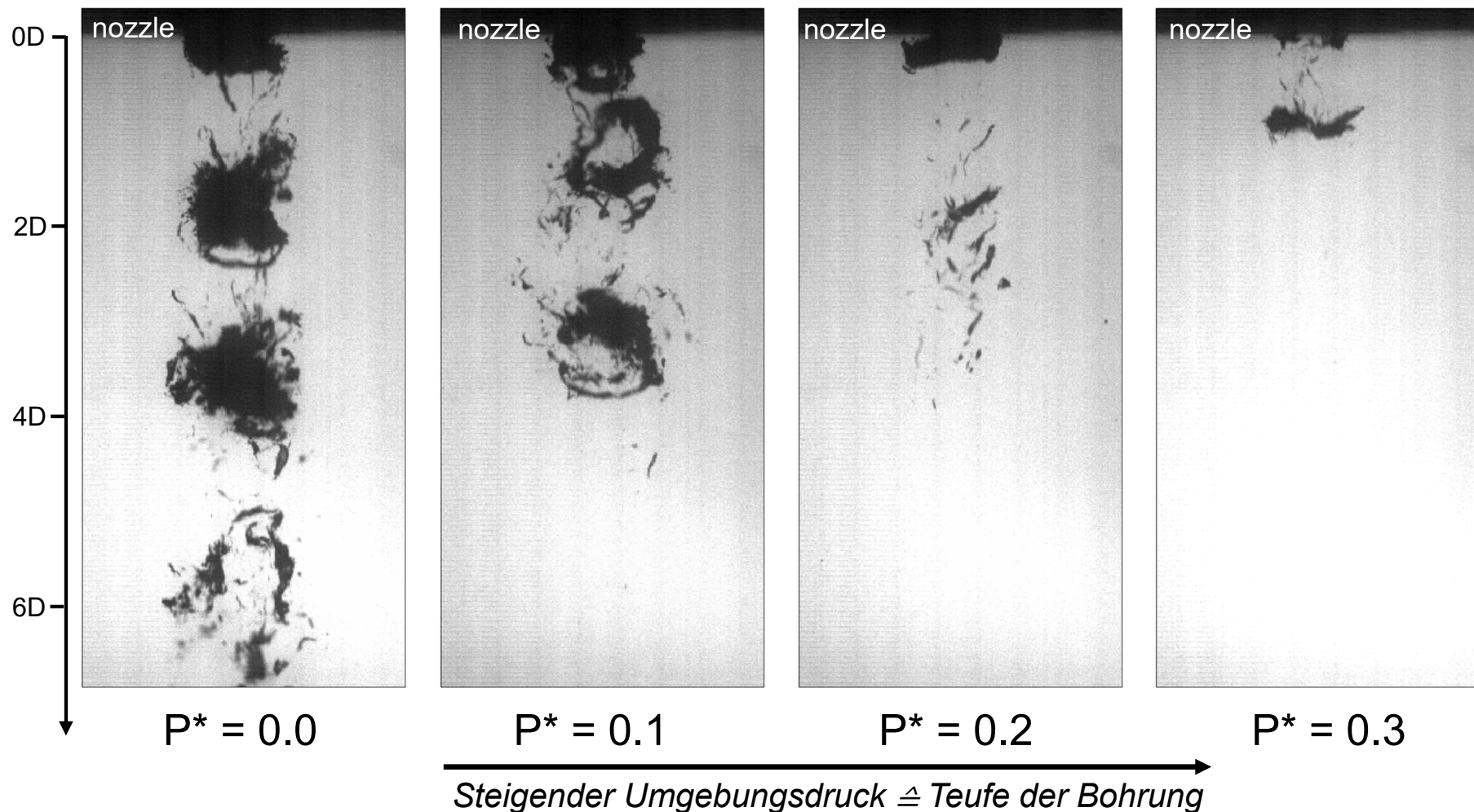
- Düsenvordruck ~ 10 MPa
- Umgebungsdruck steigt schrittweise
- Lange Belichtungszeit $>$ zeitlich gemittelte Beobachtung von Kavitationswolken



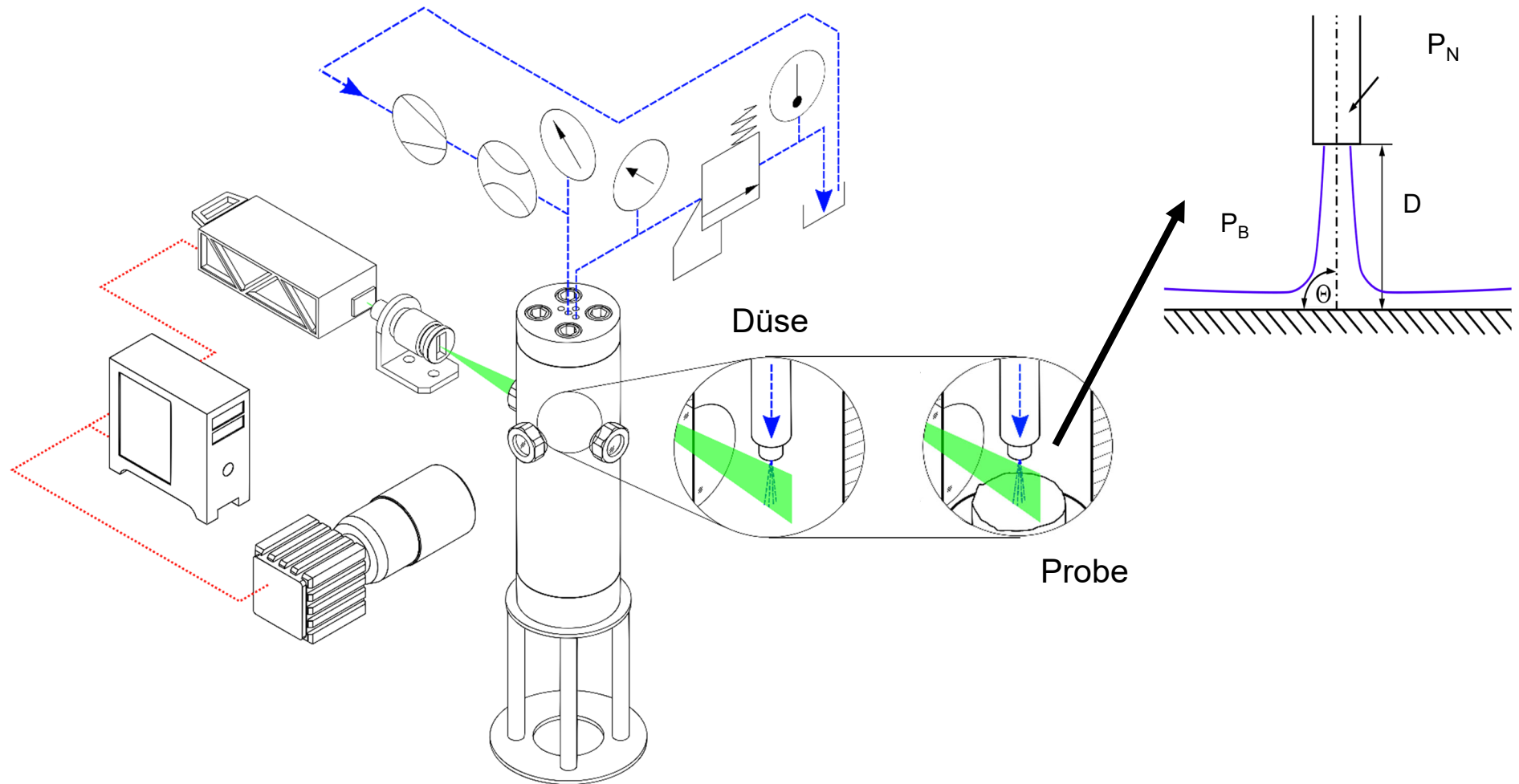
Steigender Umgebungsdruck $\hat{=}$ Tiefe der Bohrung

Visualisierung von Kavitationswolken : Hochgeschwindigkeitsaufnahmen

Belichtungszeit 2 μ s, Aufnahme­rate 32 kHz

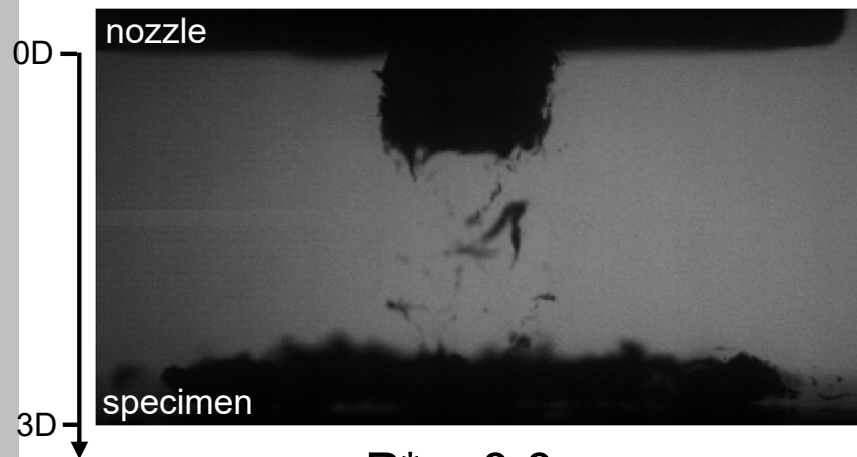


Experimenteller Aufbau: auf eine Probe auftreffender Strahl

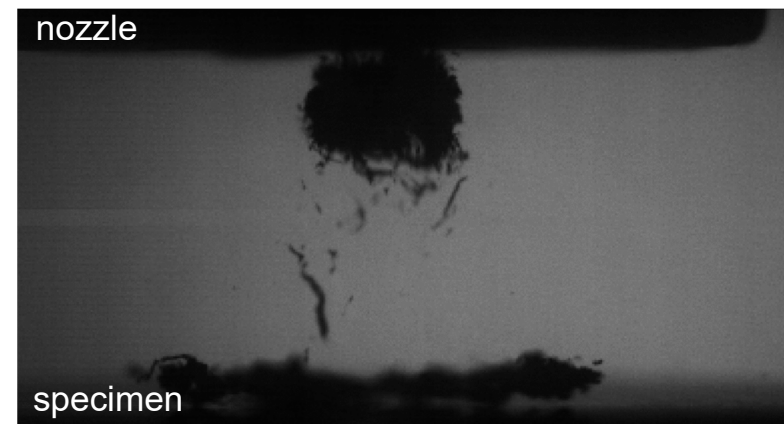


Visualisierung von Kavitationswolken : Hochgeschwindigkeitsaufnahmen

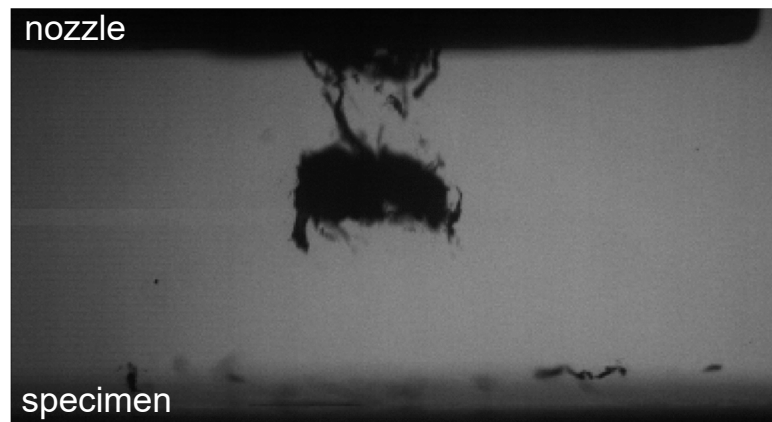
Belichtungszeit 2 μ s, Aufnahme rate 32 kHz



$P^* = 0.0$



$P^* = 0.1$

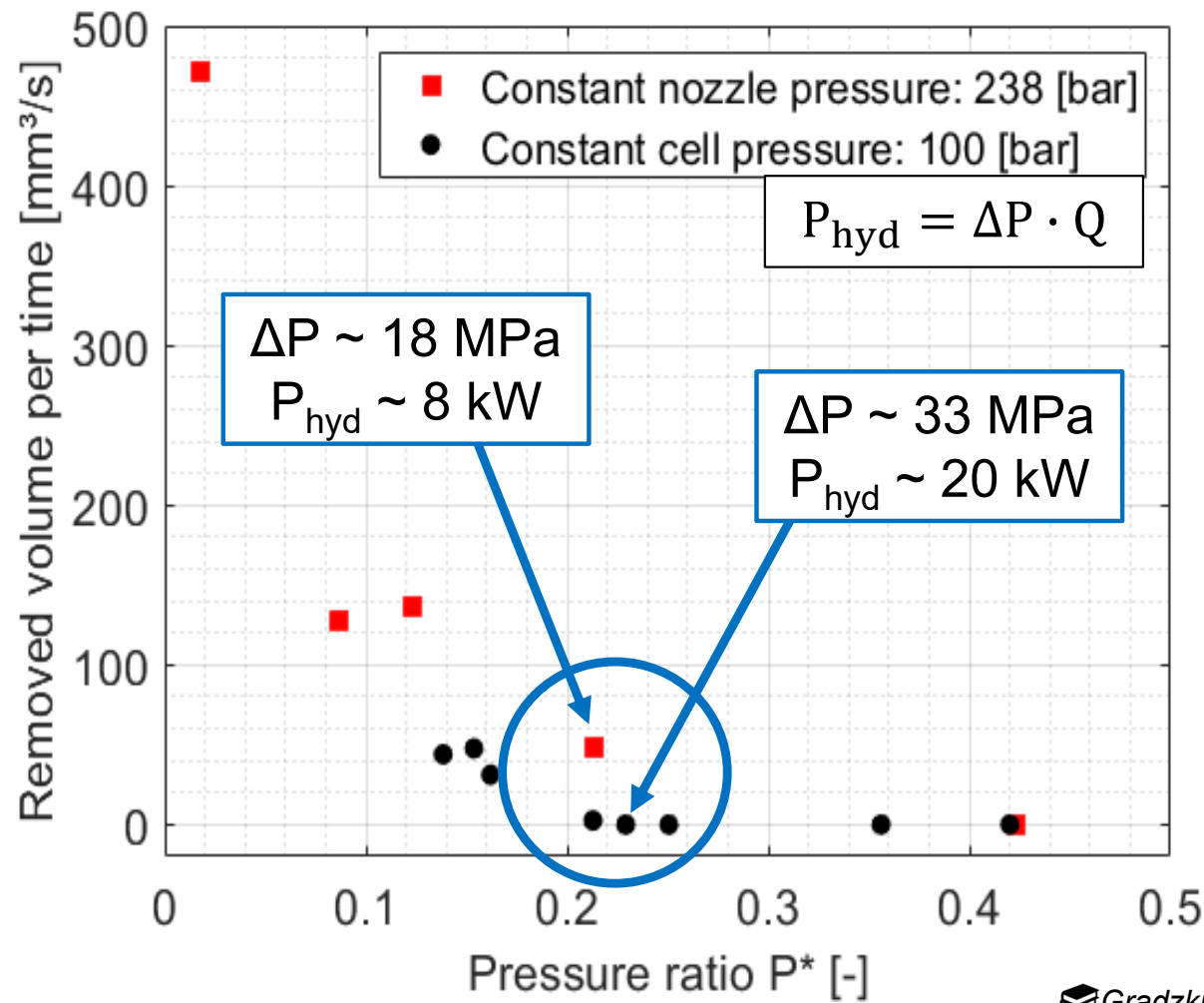


$P^* = 0.2$



$P^* = 0.3$

Zusammenhang mit dem Gesteinsabtrag



Gradzki et al. 2019

Steigender Umgebungsdruck \triangleq Tiefe der Bohrung

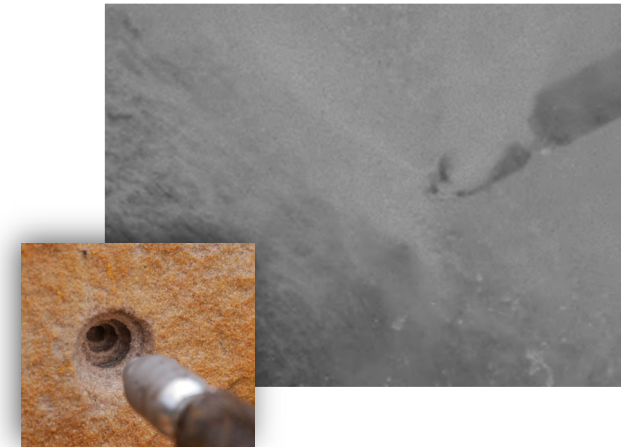
Zusammenfassung & Ausblick

- (Laser-)optische Untersuchung des Hochdruckwasserstrahl Bohrprozesses:



Was sind die entscheidenden Prozesse beim Bohren mit Hochdruckwasserstrahlen?

- Sowohl die Kernlänge (\downarrow) als auch der Strahlwinkel (\uparrow) werden deutlich beeinflusst von
 - Kavitation im Düsenquerschnitt
 - Begrenzender Geometrie
- Kavitation im Austrittsquerschnitt der Düse tritt unterhalb eines kritischen Druckverhältnisses P^* auf
- P^* scheint der Haupteinflussfaktor für den Gesteinsabtrag zu sein
- Weitere Experimente & Auswertung von Messreihen
 - >> Zusammenhang zwischen den strömungsmechanischen Untersuchungen und den Erosionsmechanismen für Gestein herstellen und quantifizieren



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Sarah Jasper

Institut für Thermo- und Fluidodynamik | Hochschule Bochum

sarah.jasper@hs-bochum.de

Ministerium für Innovation,
Wissenschaft und Forschung
des Landes Nordrhein-Westfalen



„FH Struktur“ Forschungsförderung
an Fachhochschulen
AZ: 322-8.03.04.02 – FH-Struktur 2016/04



Teilfinanziert durch das Horizon 2020 Programm
der Europäischen Union
Fördernummer 652662