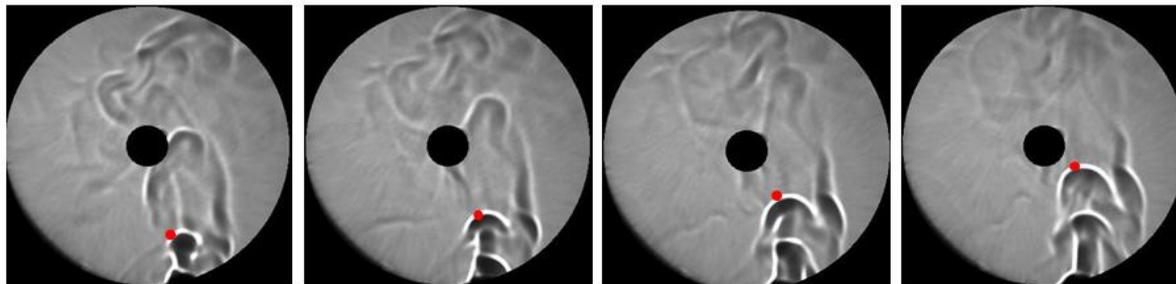




Schlierenmessplatz zur Quantifizierung von Luftbewegungen in der Gerätetechnik





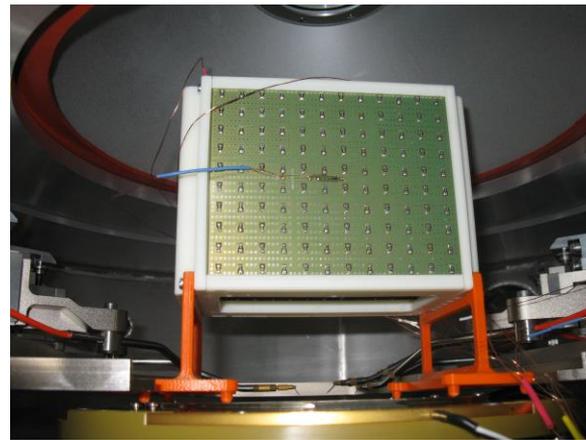
Gliederung

- Einleitung / Motivation
- Versuchsaufbau
- Software
- Ergebnisse
- Zusammenfassung
- Ausblick



Einleitung / Motivation:

- Die lüfterlose Entwärmung von Baugruppen in Schaltschränken stellt bei 70° Umgebungstemperatur eine Herausforderung dar
- Studie hinsichtlich der quantitativen Beiträge von Wärmeübertragung durch Konvektion, Strahlung und Leitung wurde durchgeführt
- Gehäusekonstruktion im Zusammenspiel mit Design der elektronischen Baugruppen und mit Hilfselementen wurde untersucht

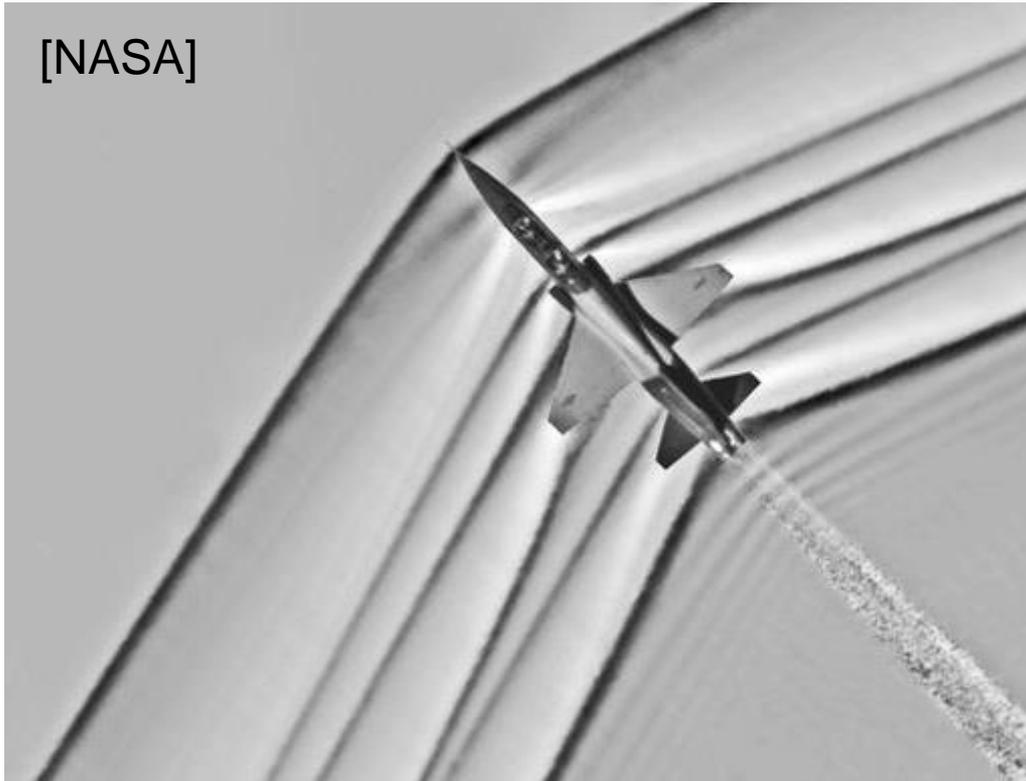




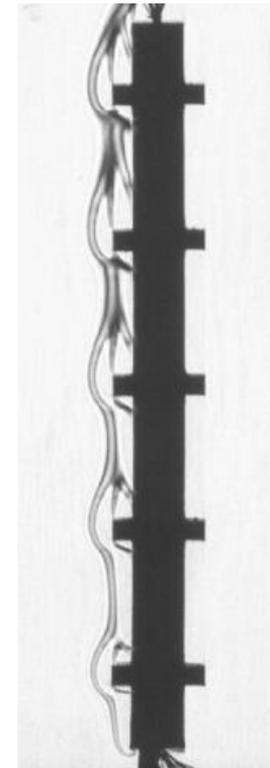
Einleitung / Motivation:

Schlierenfotografie

[NASA]



[Dario Ambrosini, Giovanni Tanda,
Eur. J. Phys. 27 (2006) 159–172]

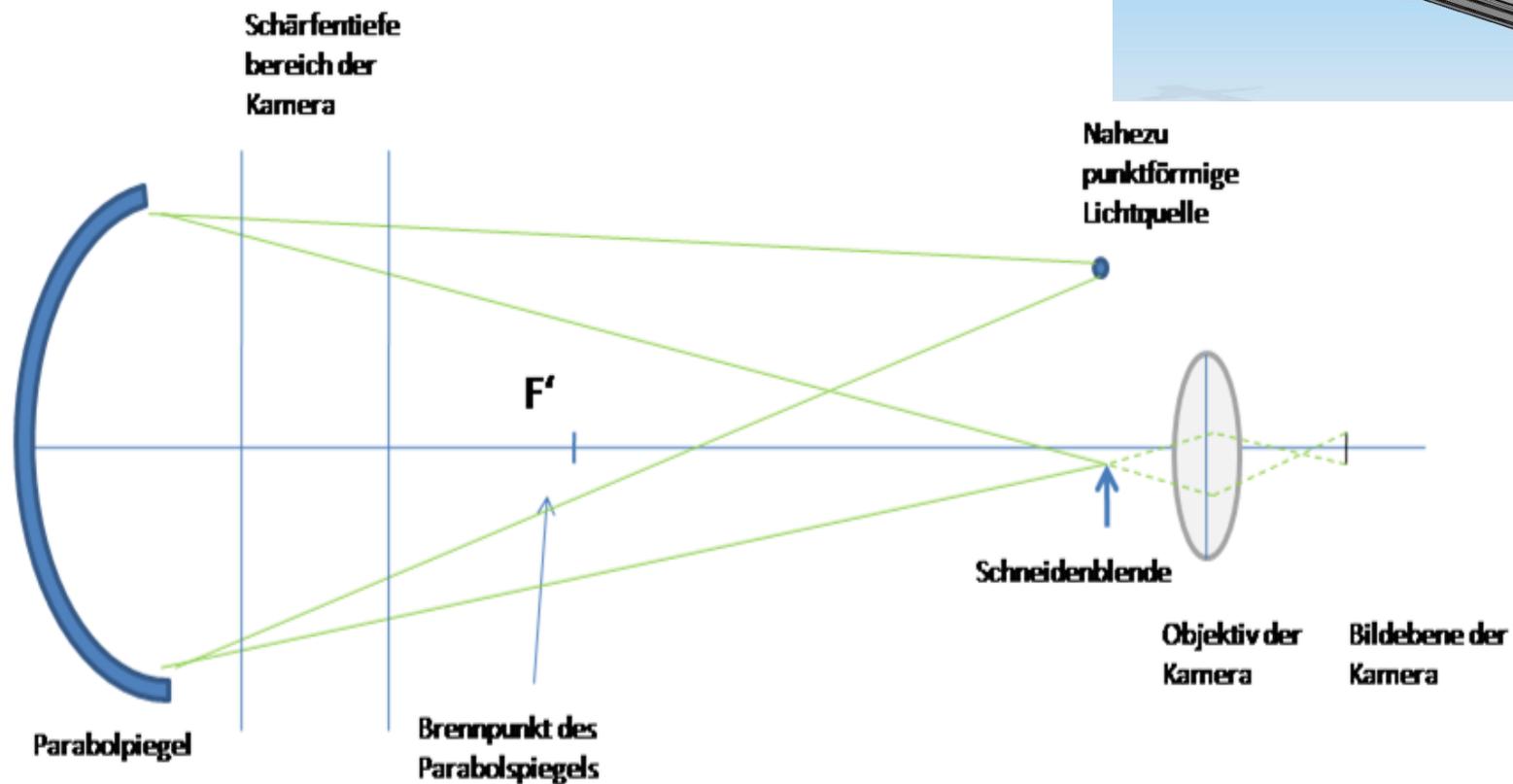


Sichtbarmachung von Dichteunterschieden von Gasen durch Kontrastbildung



Einleitung / Motivation:

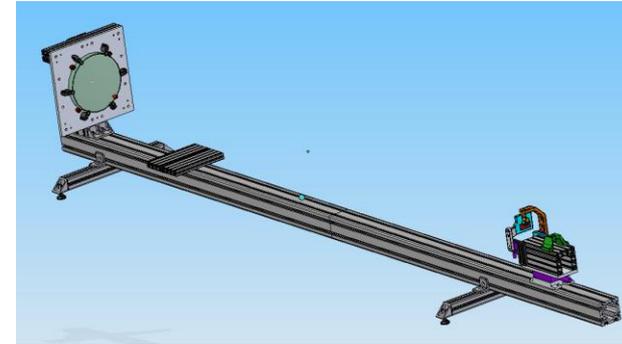
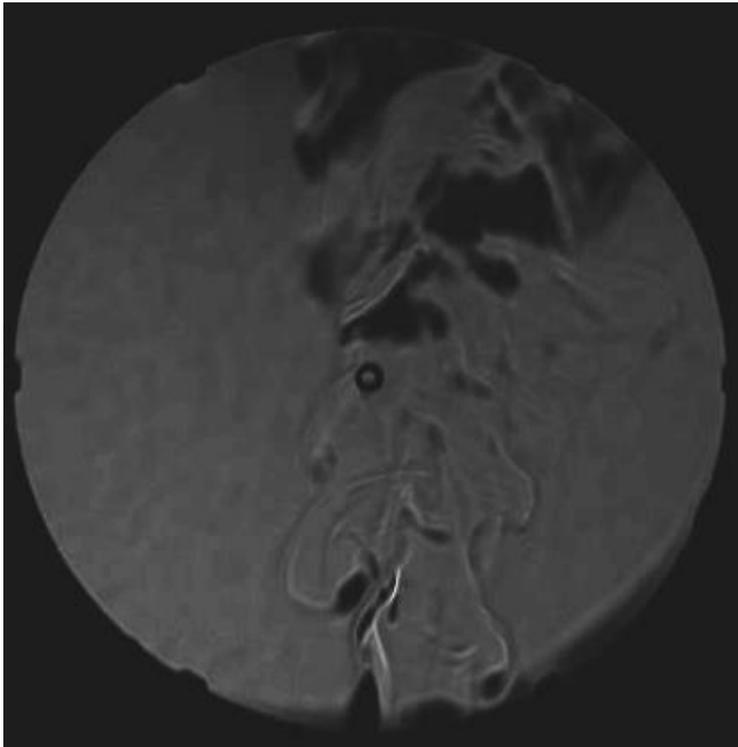
Schlierenfotografie - einfachster Aufbau





Einleitung / Motivation:

Schlierenfotografie - einfachster Aufbau



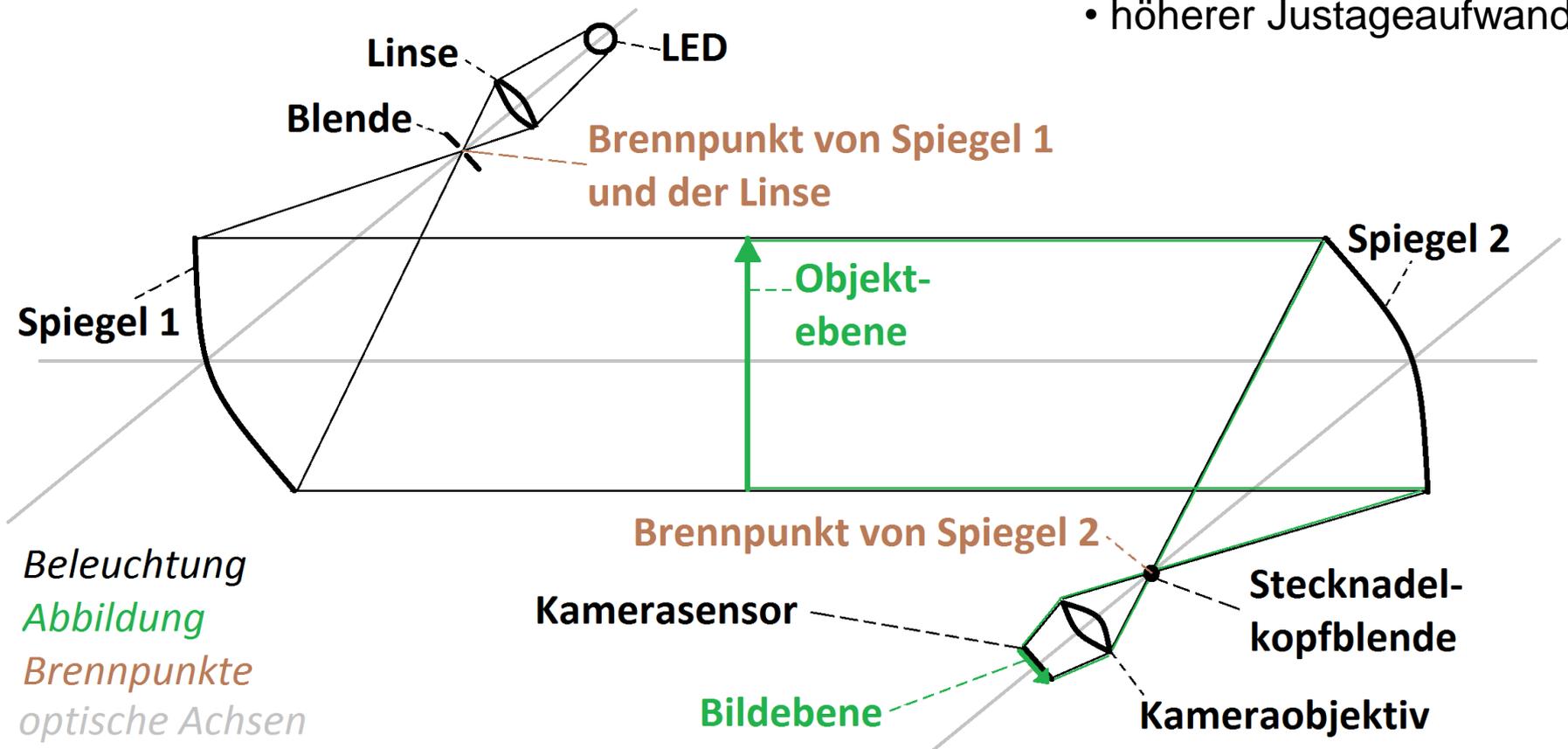
[youtube]



Versuchsaufbau

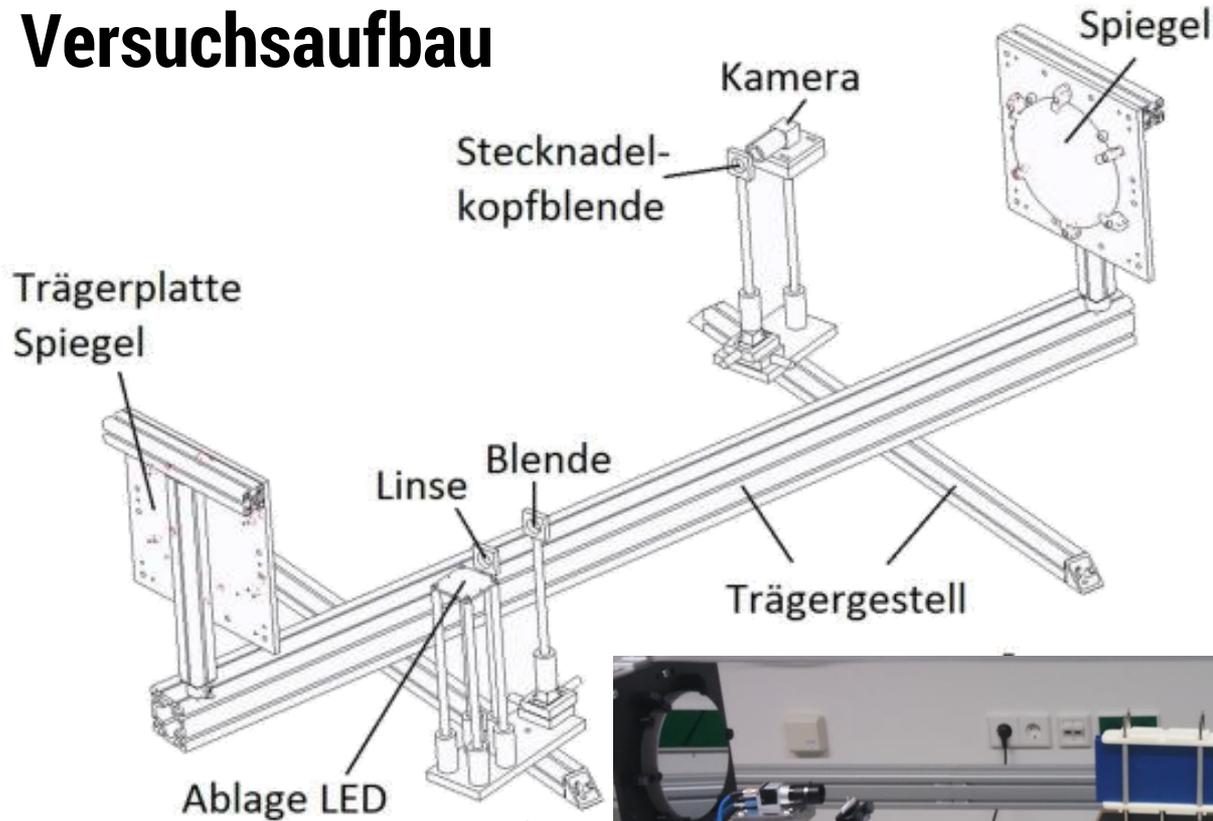
- telezentrischer Aufbau
- größere Helligkeit
- verbesserte Blende

- höherer Justageaufwand



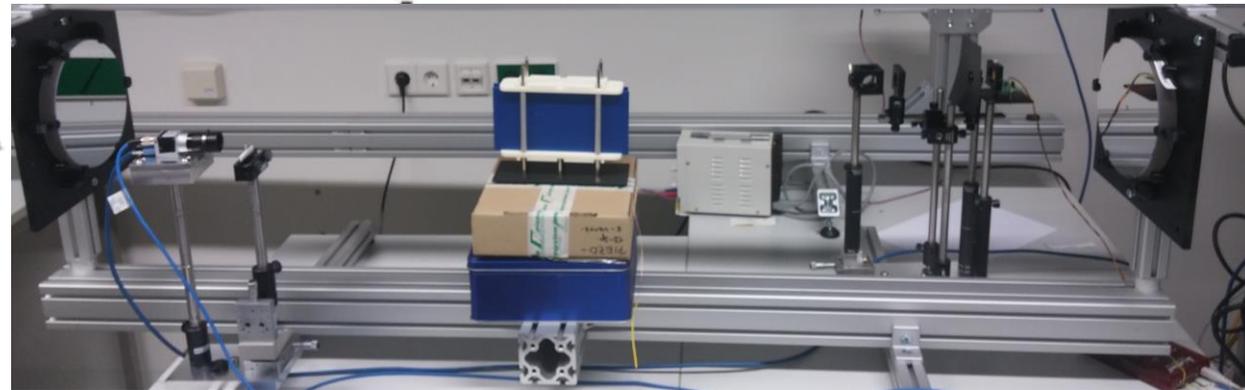


Versuchsaufbau



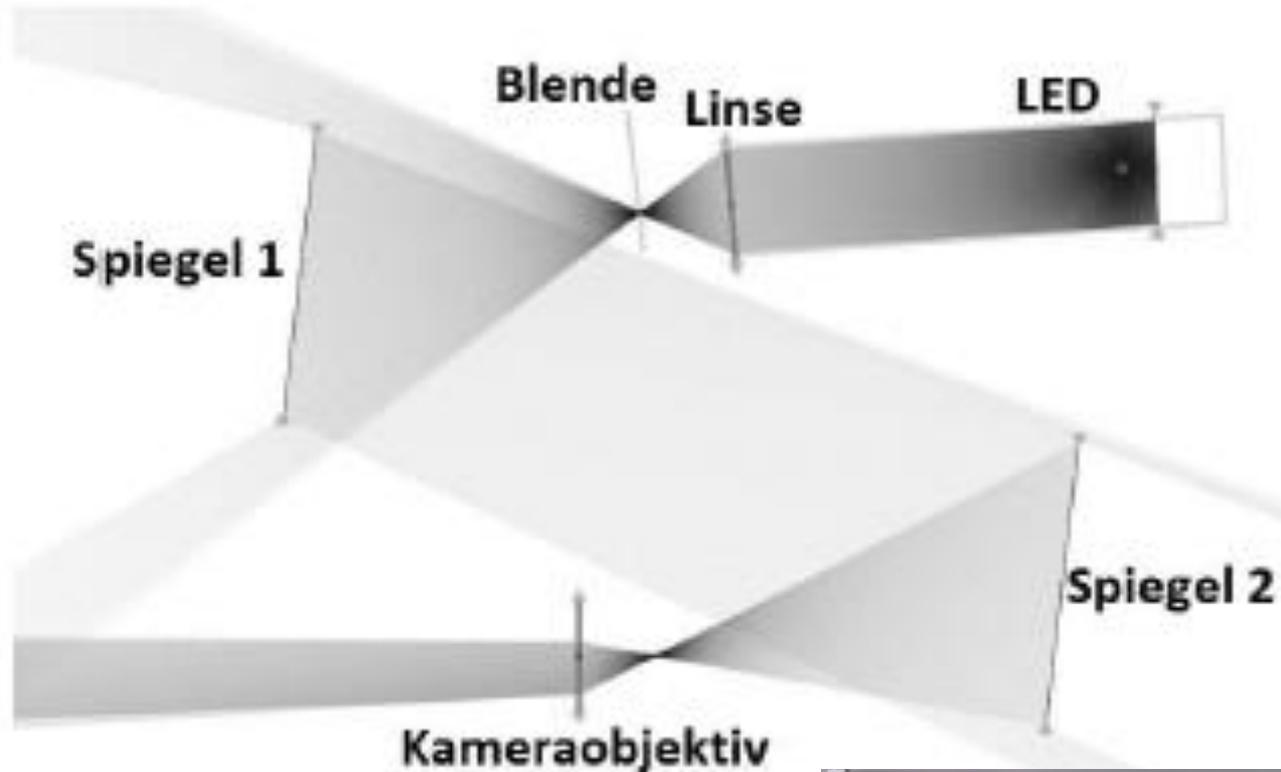
- telezentrischer Aufbau
- größere Helligkeit
- verbesserte Blende
- kompaktere Größe

- höherer Justageaufwand

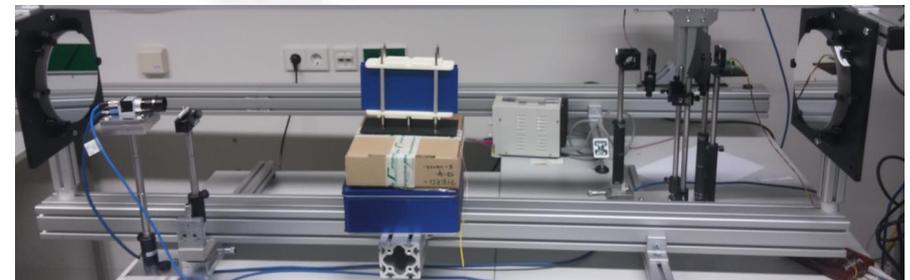




Versuchsaufbau

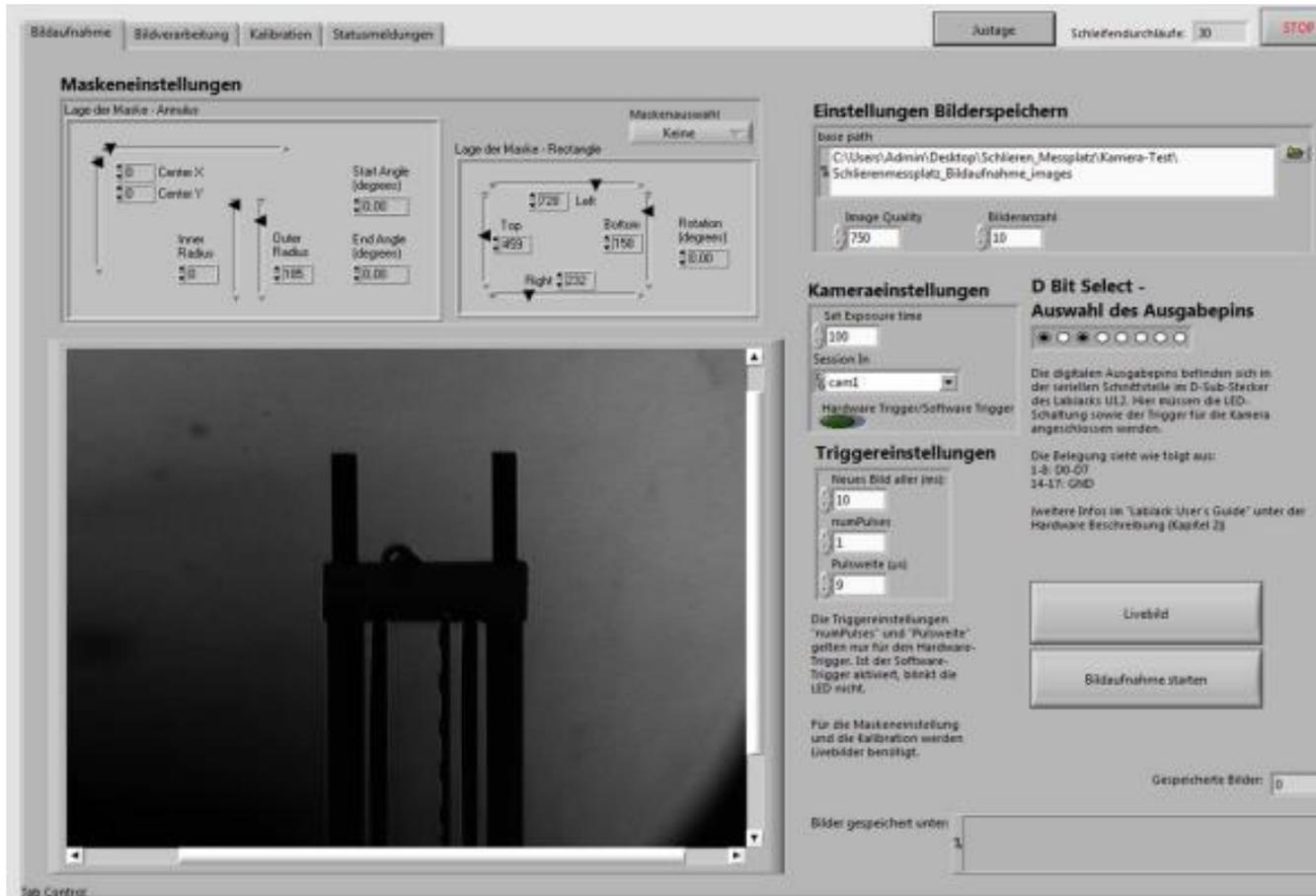


Aufbauabmessungen entsprechen der Brennweite der Spiegel





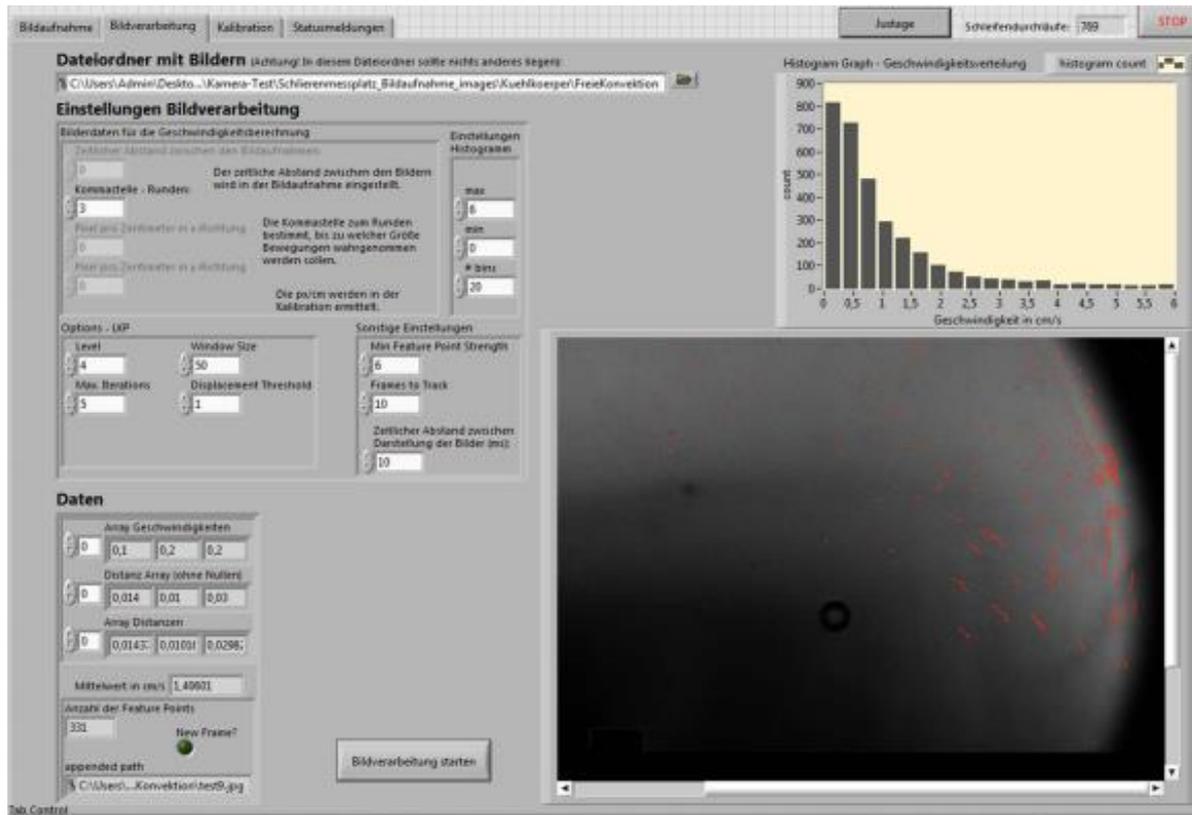
Software



- Erfassung mit NI-Labview Vision Toolbox
- Justagefunktion
- Maskierung
- Bildaufnahme
- Kalibrierung



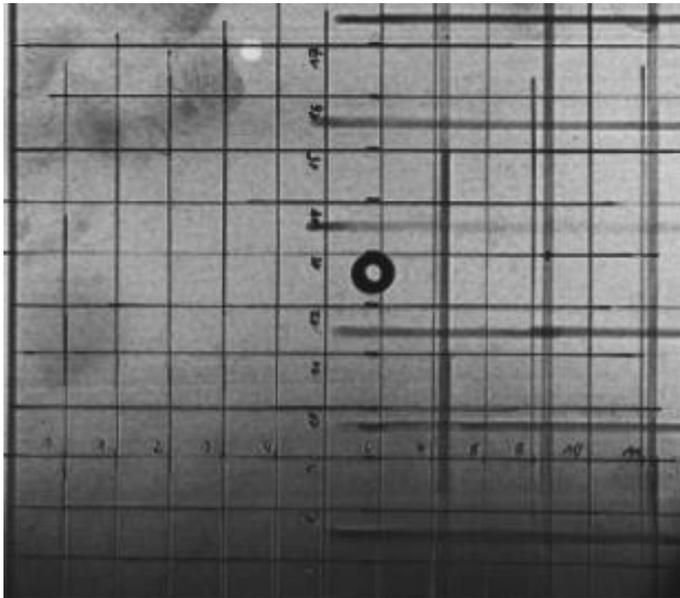
Software



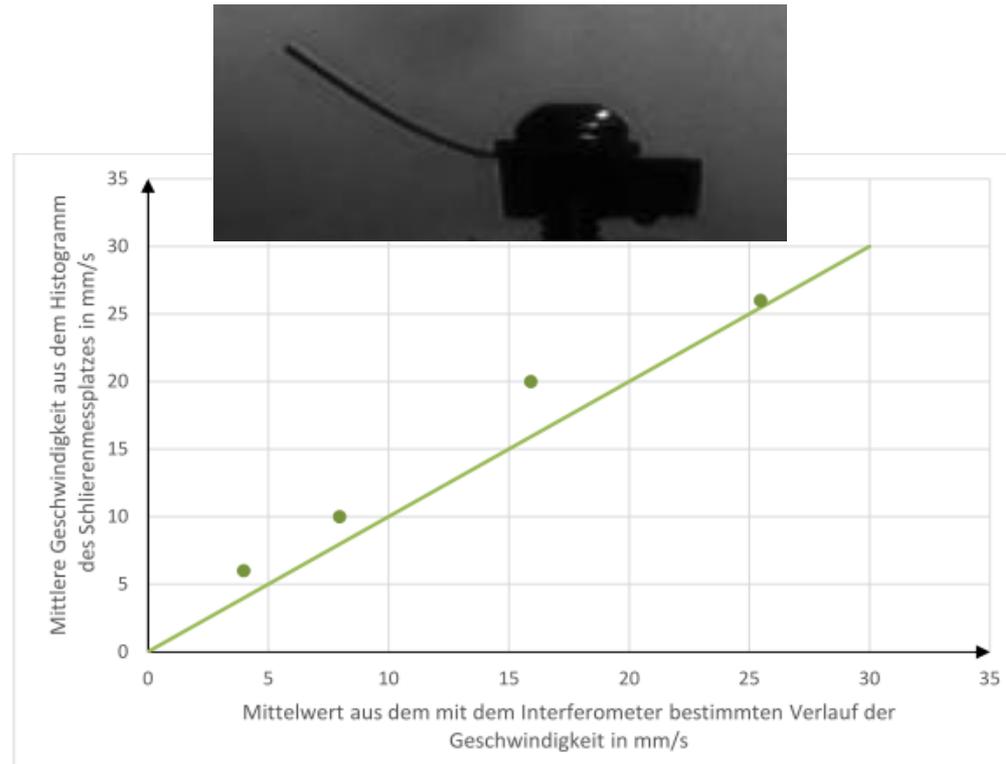
- Auswertung von Geschwindigkeit mit Feature Point Detektor und Verfolgung der Feature Point mit Image Flow (Lukas-Kanade Algorithmus)
- Verstellbare Empfindlichkeit
- Statistische Darstellung

Ergebnisse

Kalibrierung und Verifikation



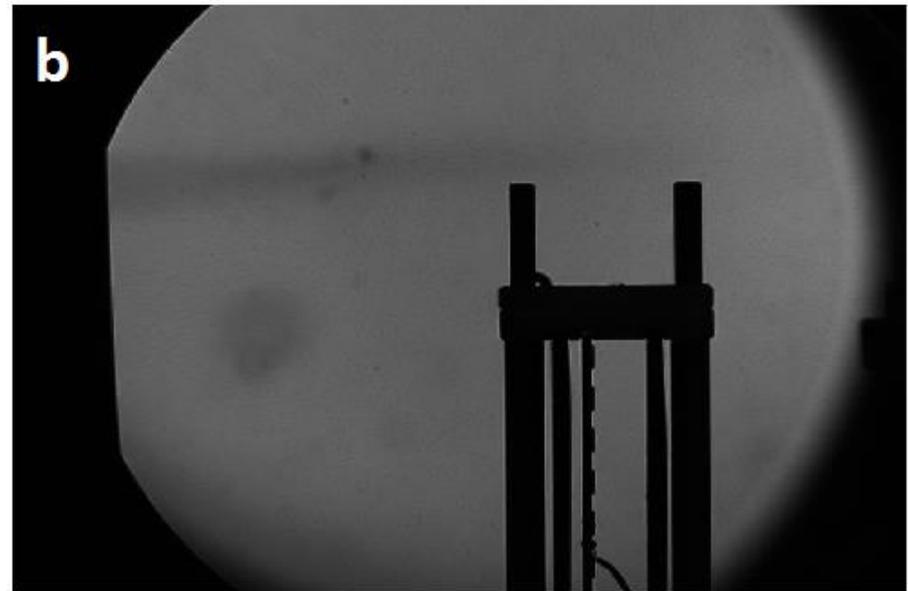
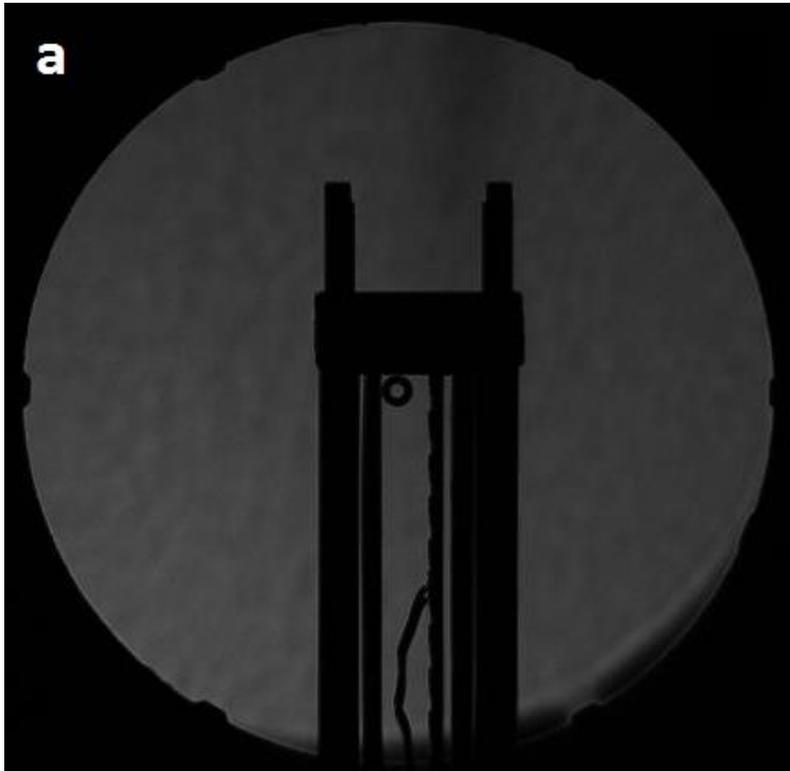
cm- „Normal“ auf Glasscheibe zur Kalibrierung



Verifikation durch
Bewegungsbestimmung von Festkörper
und Referenzmessung mit Vibrometer

Ergebnisse

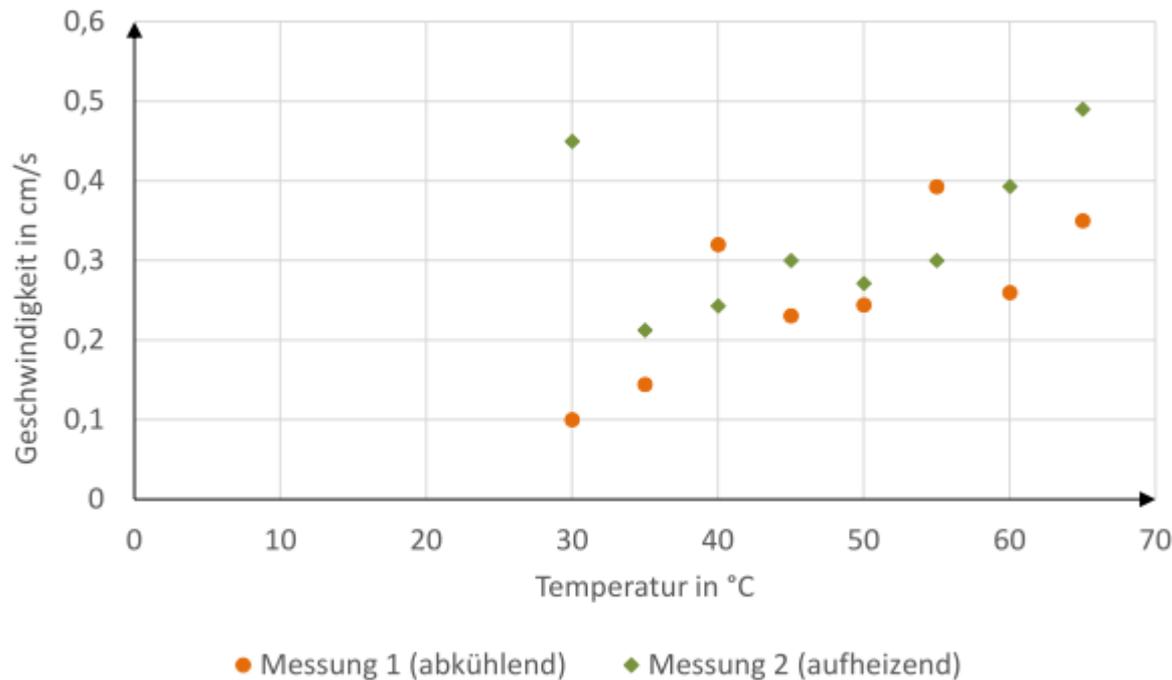
Perspektivfehler



Belichtungszeit auf $100\mu\text{s}$ begrenzt, um Bewegungsunschärfe zu minimieren

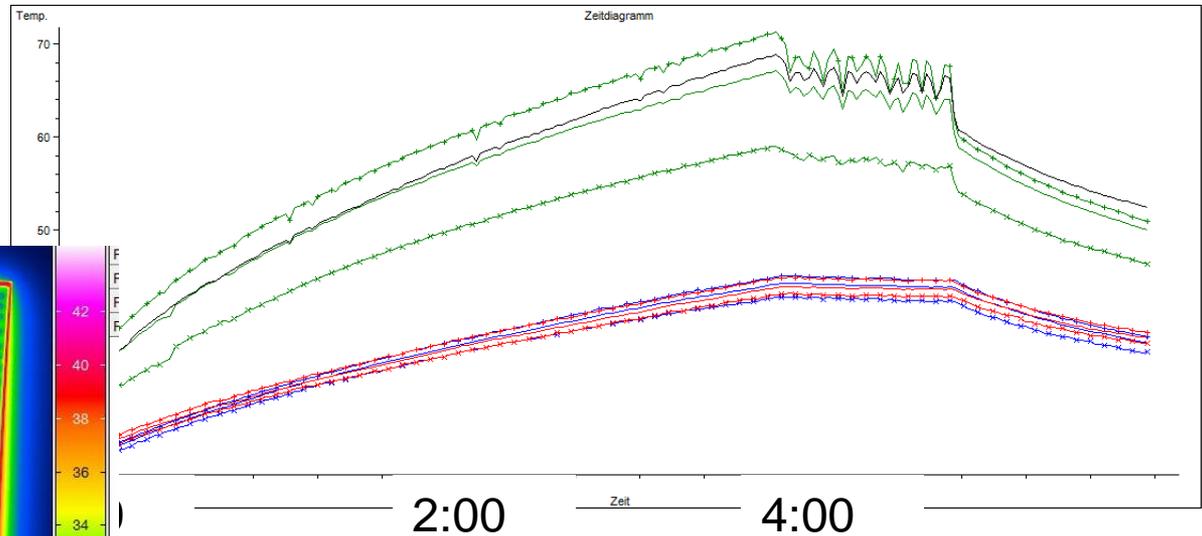
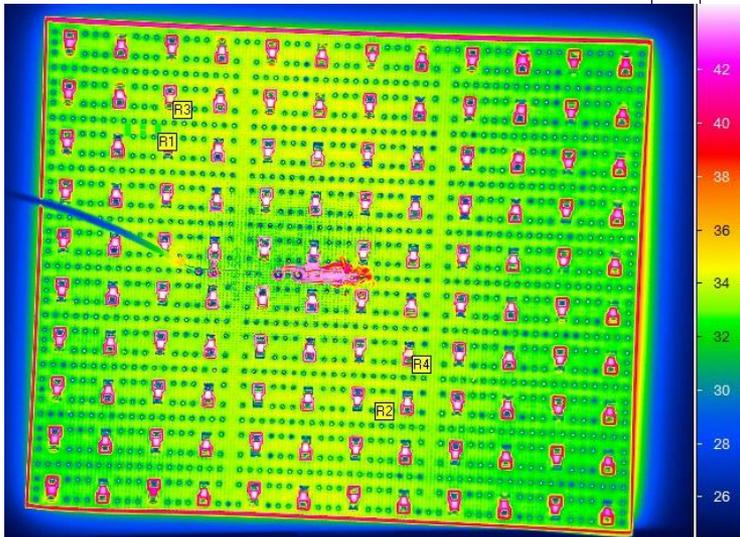
Ergebnisse

Luftbewegung über Dummiegehäuse mit beheizter Leiterplatte



Ergebnisse

Verteilung warmer Luft im Dummiegehäuse

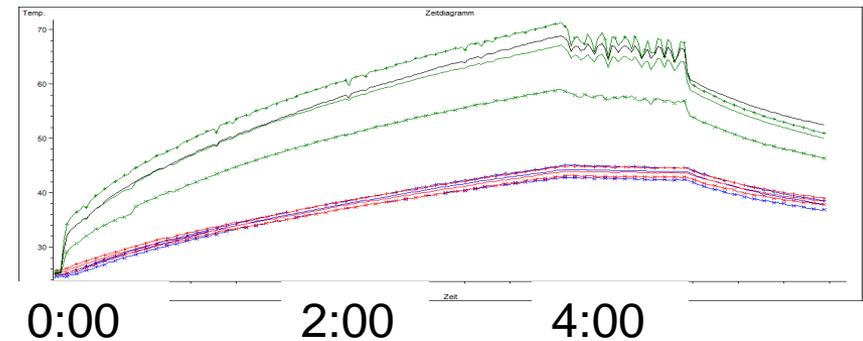


Zeitverlauf der Temperaturregelung für 65°

Leiterplatte im Inneren des
Gehäusedummies

Ergebnisse

Verteilung warmer Luft im Dummiegehäuse



- Ausbildung des stationären Zustands beobachtbar
- Orte Luftaustritts beobachtbar
- Geschwindigkeit der Luft an diesen Stellen „messbar“

Ergebnisse

Verteilung warmer Luft im Dummiegehäuse

Stationärer Zustand bei



35°



50°

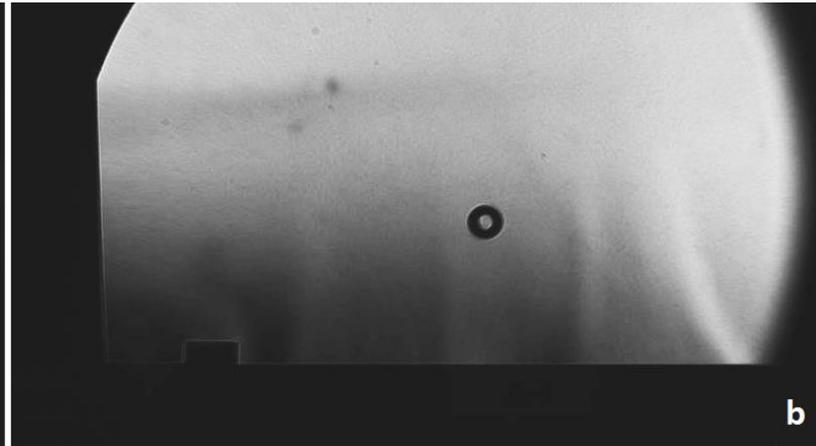
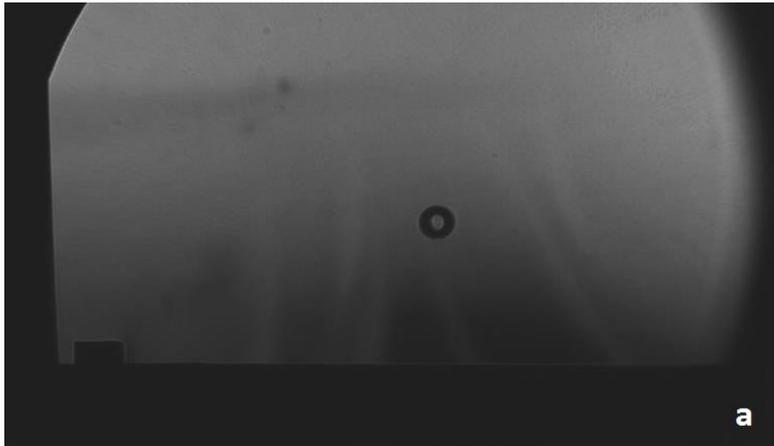


65°



Ergebnisse

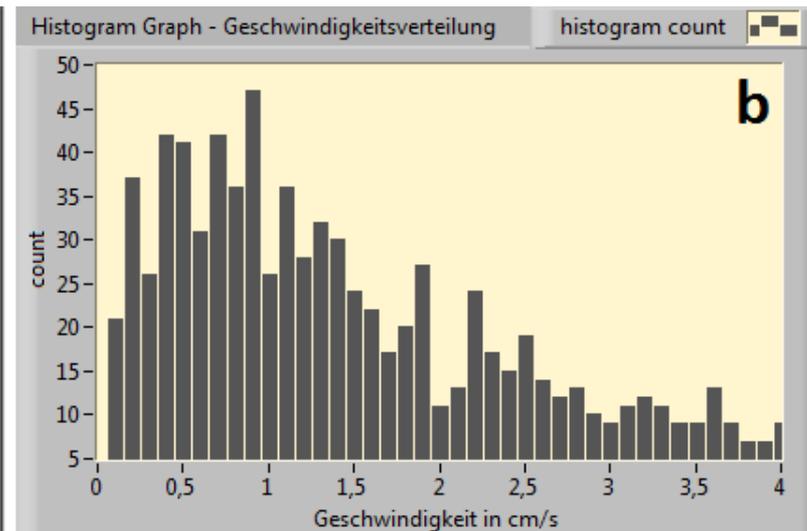
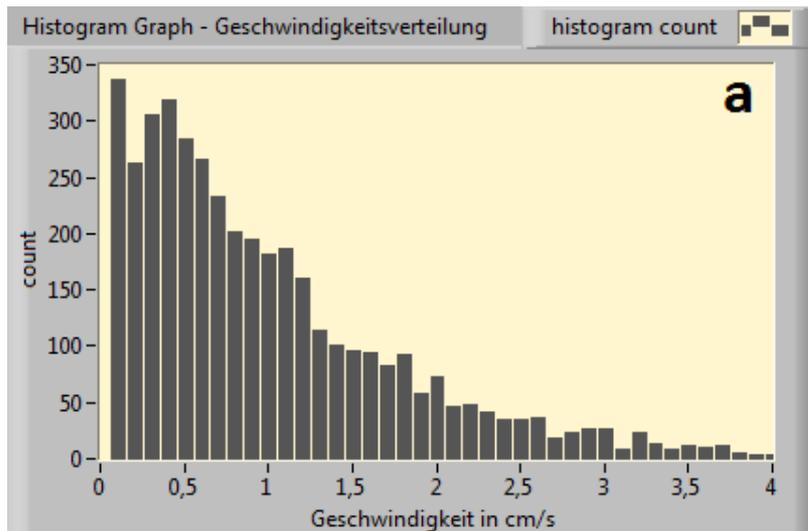
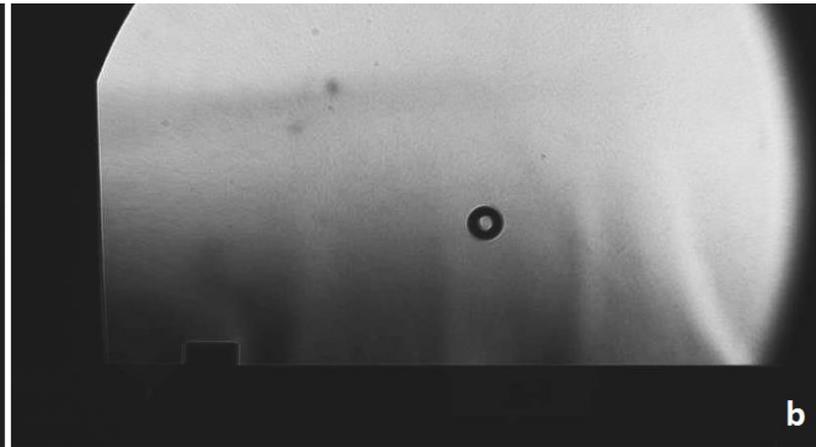
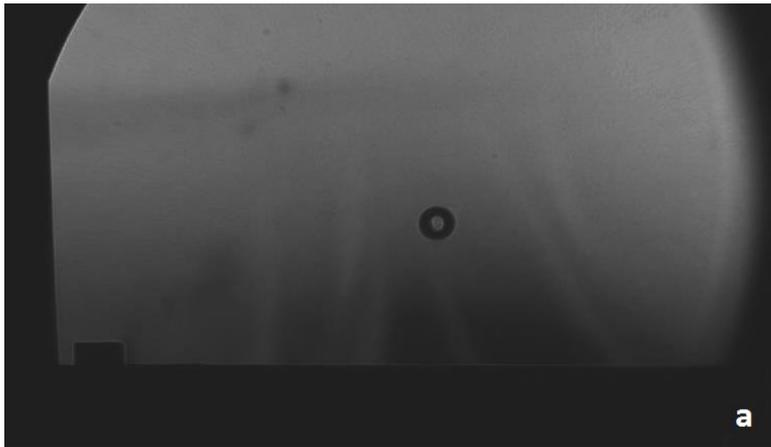
Luftbewegung über Kühlkörpern im Praktikumsversuch



Kühlkörperrippen
(a) horizontal
(b) vertikal

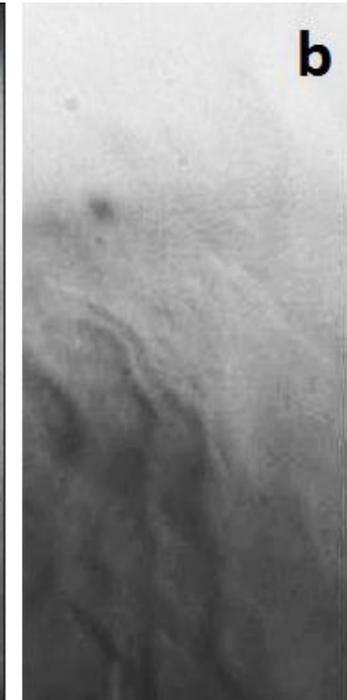
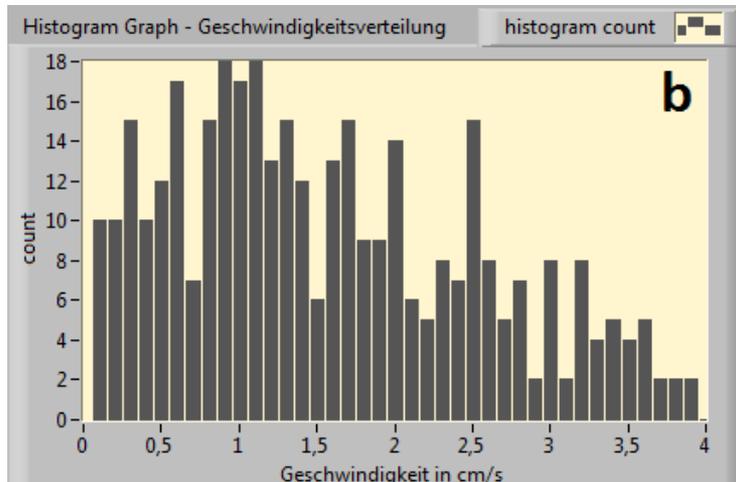
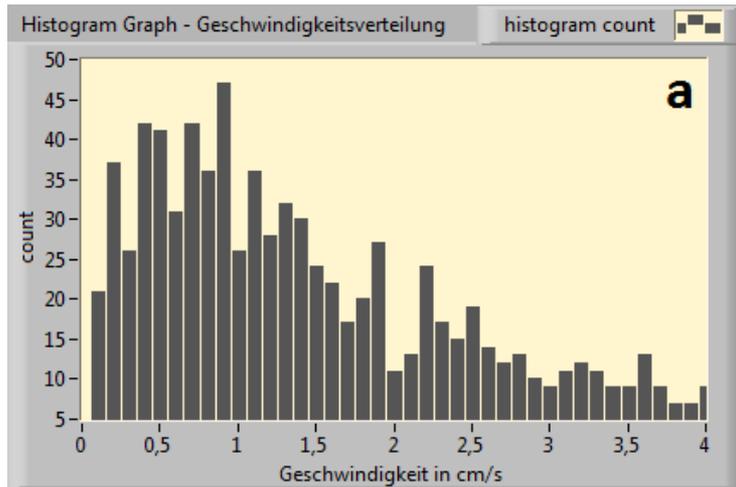
Ergebnisse

Luftbewegung über Kühlkörpern



Ergebnisse

Luftbewegung über Kühlkörpern mit Lüfter

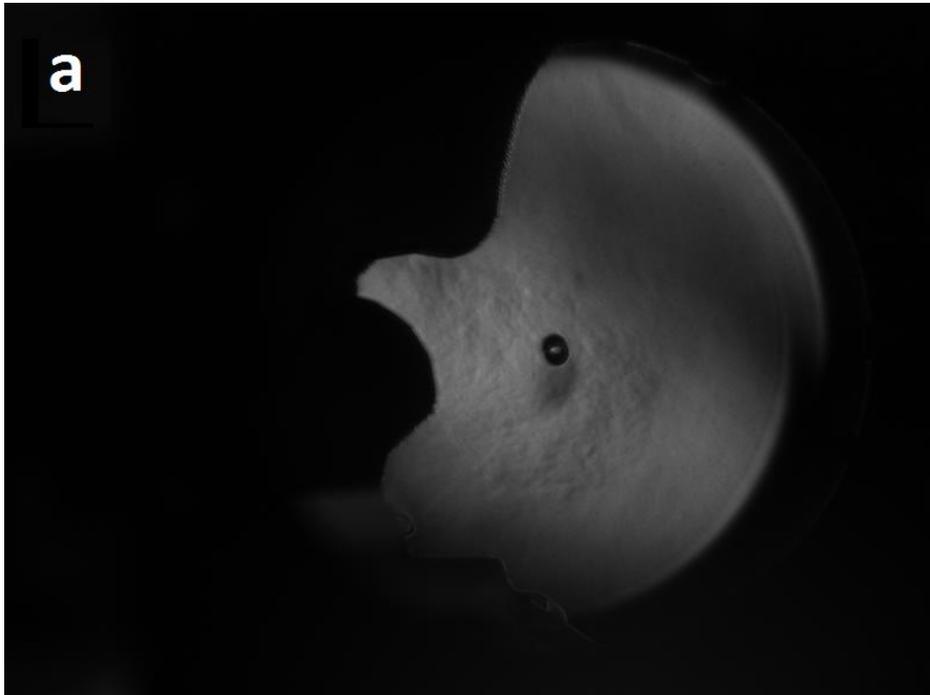


(a) Ohne Lüfter
(b) Mit Lüfter

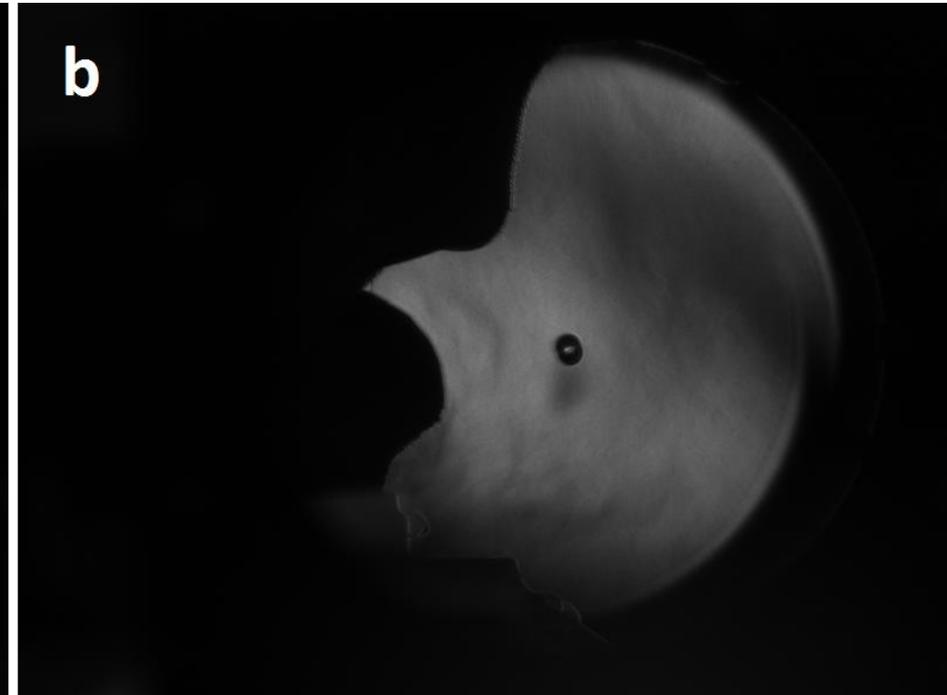


Ergebnisse

Sprache



(a) „Kasper“



(b) „Melone“



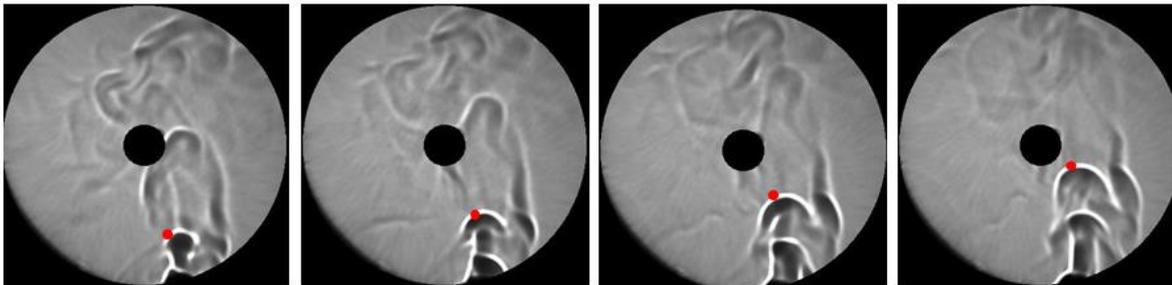
Zusammenfassung

- Verbesserter kompakter Schlierenmessplatz wurde aufgebaut, justiert und getestet
- Geschwindigkeitsquantifizierung ist möglich
- Aufbau ist mit geringem Aufwand transportabel
- Telezentrie ermöglicht die Untersuchung von 2D-Situationen an lang ausgedehnten Objekten
- Untersuchungen zur Optimierung an Gehäuseteilen und elektronischen Baugruppen wurden durchgeführt
- Software zur Bilderfassung und Verarbeitung steht zur Verfügung
- Erfahrungsaustausch und weitere Nutzer sind willkommen



Ausblick

- Interferometrischer / Holographischer Aufbau ist in Planung
- Bessere Quantifizierung der Geschwindigkeit durch Einbringung kleiner Störungen durch Ultraschallwandler ist in Arbeit
- Geeignete Kameratriggerung würde auch das Sichtbarmachen von Schallwellenausbreitungen ermöglichen
- Mikroskopischer Aufbau ist denkbar



[Harvard]



Danke

- **Für Ihre Aufmerksamkeit**
- **An die Organisatoren für die Einladung zur Tagung**
- **Herrn Gunther Griebach vom Kooperationspartner Siemens Chemnitz für die anregenden Diskussionen**
- **Frau Sarah Schmidt und Herrn Dr. Christian Auerswald und Olaf Dietze für die Zusammenarbeit beim Aufbau des Schlierenmessplatz**

