



INNOVENT e.V.

TECHNOLOGY DEVELOPMENT JENA

**Oberflächenanalyse von historischem Flachglas
mit der Brewsterwinkel-Reflektometrie**

Motivation

Oberflächenmodifikationen von unbeschichtetem Flachglas

- Verunreinigung
- mechanisch/chemische Abdrücke
- Reinigungsspuren
- Alterung, Glaskorrosion
- ungünstige Herstellungsbedingungen

Objektive Qualitätskontrolle von beschichtetem Flachglas

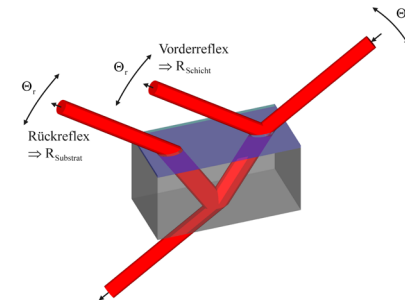
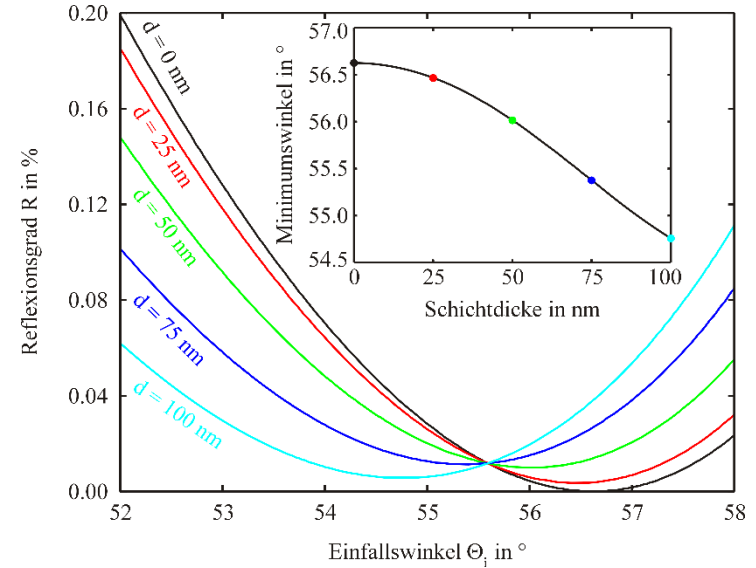
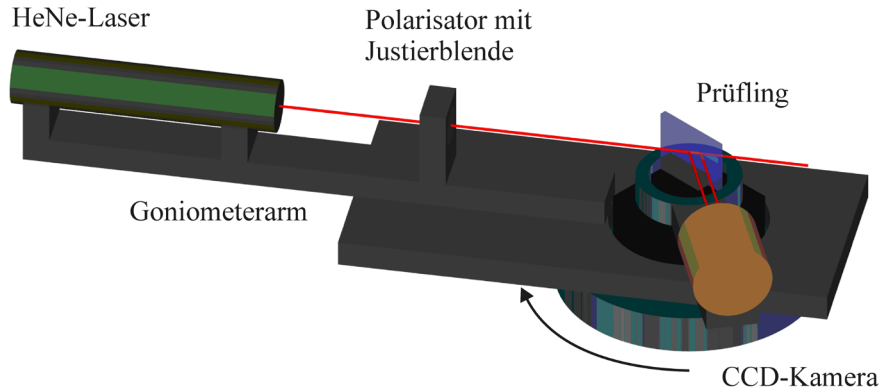
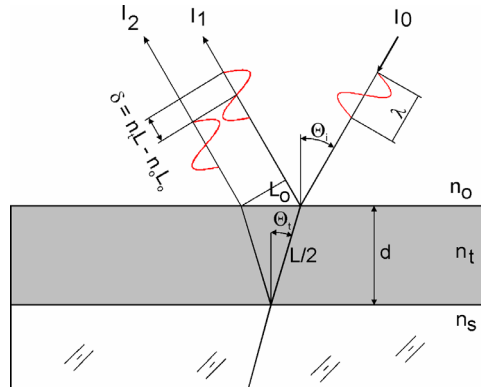
- Quantifizierung von Korrosions- und Abriebtests
- Abbildung der Oberflächenhomogenität durch das Reflexionsverhalten

Dekoration von lokalen Oberflächenmodifikationen beim Beschichten

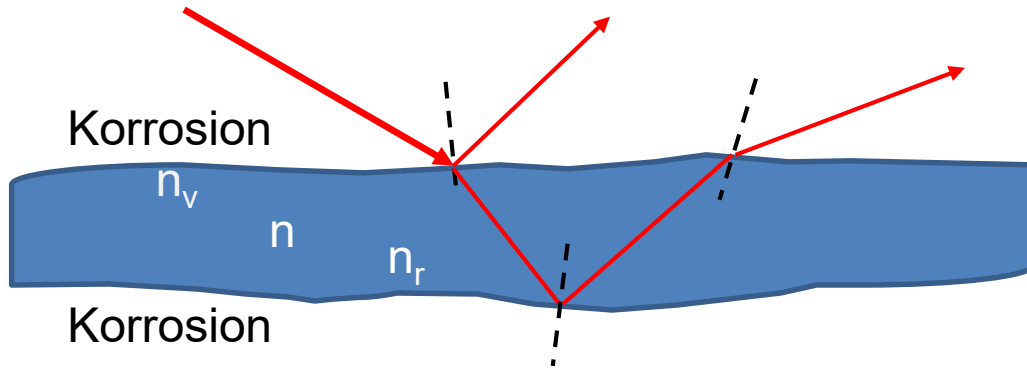


Brewsterwinkel – Reflektometrie zur Glasoberflächenprüfung

Prinzip

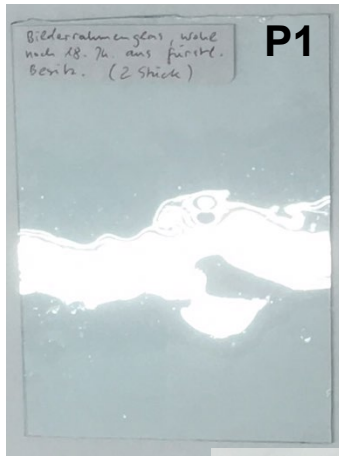


Analysemöglichkeiten von historischem Flachglas



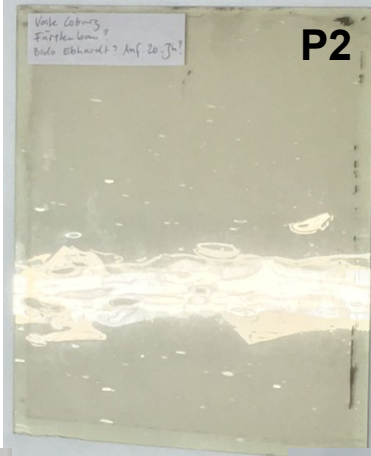
- Brechungsindex (n , n_v , n_r)
- Welligkeit $z(x,y)$
- Korrosion
- Oberflächenhomogenität
- Einschlüsse, Blasen
- Dickenprofil $D(x,y)$
- Rauheit $r(x,y)$
- Materialspannungen

Die Glasprüflinge – Historisches Flachglas



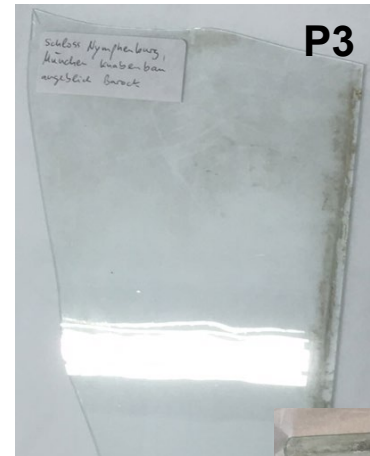
P1

Bilderrahmen-glas 18. Jh.
D \approx 1.2 mm
fürstl. Besitz



P2

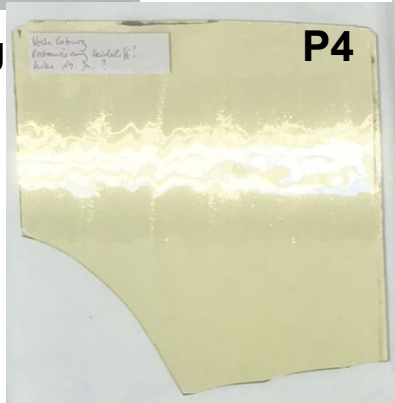
Veste Coburg
Fürstentum
Anf. 20. Jh.
D \approx 1.8 mm



P3

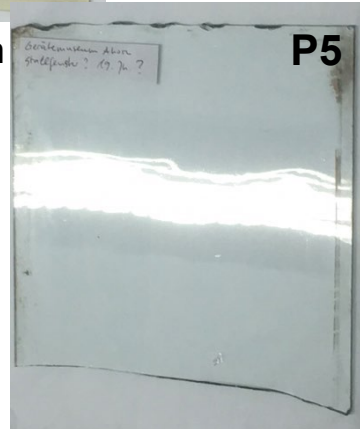
Schloß
Nyphenburg
München
Knabenbau
Barock?
D \approx 1.9 mm

Veste Coburg
19. Jh
D \approx 1.7 mm



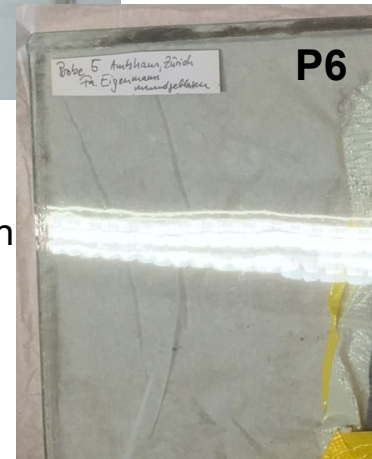
P4

Gerätemuseum
Ahorn 19. Jh
D \approx 2.5 mm



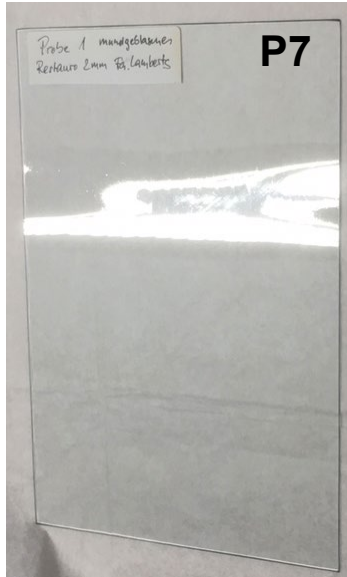
P5

Amtshaus
Zürich
mundgeblasen
D \approx 3.2 mm



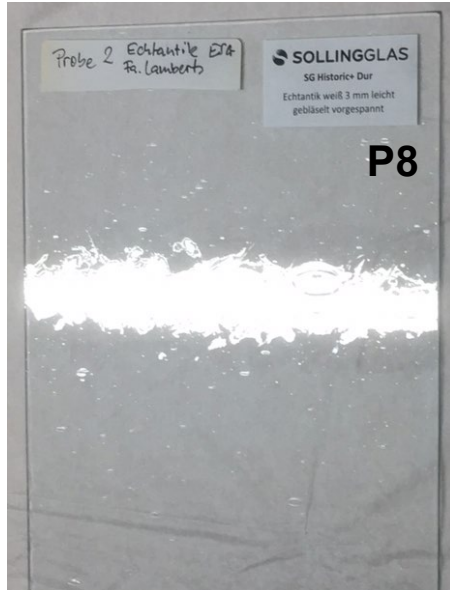
P6

Die Glasprüflinge – Antikglas neu



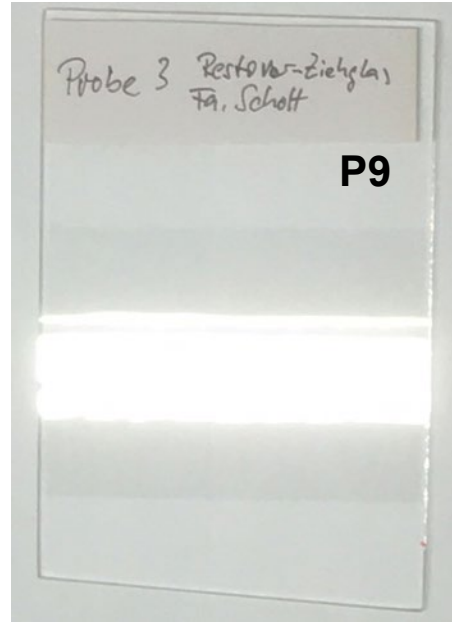
P7

Fa. Lamberts
Echtantik
D ≈ 3 mm



P8

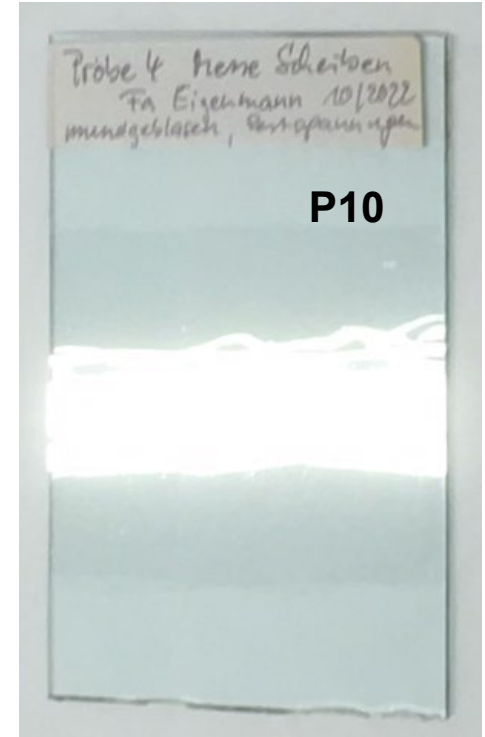
Fa. Lamberts
Restauro
mundgeblasen
D ≈ 2 mm



P9

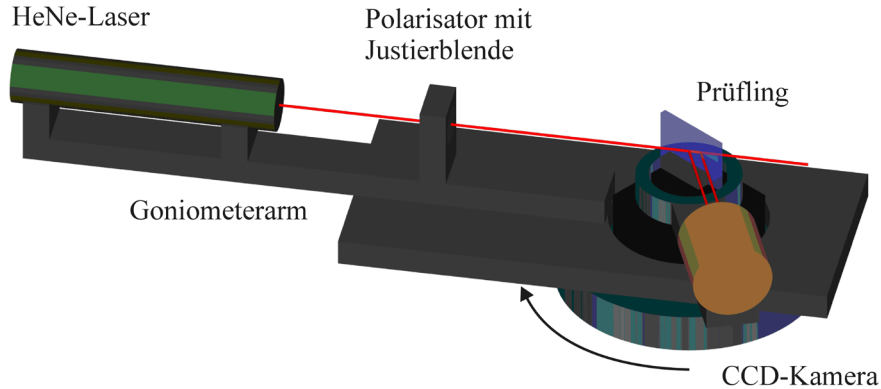
Fa. Schott
Restover
Ziehglas
D ≈ 2.7 mm

Fa. Eigenmann
mundgeblasen
D ≈ 3.1 mm



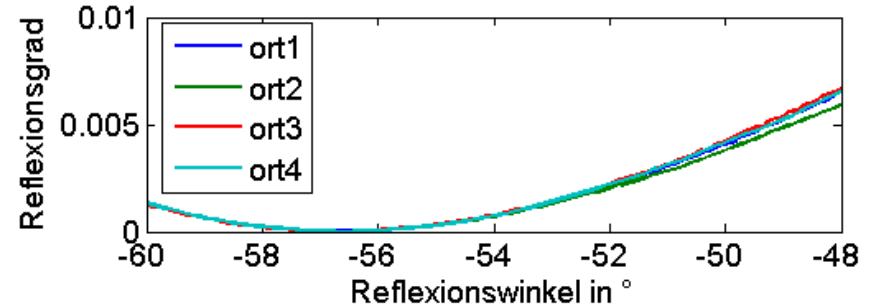
P10

2-Theta Goniometermessung

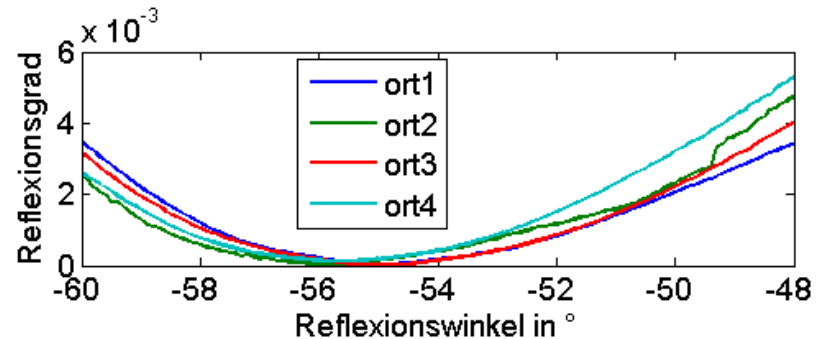


Entfernung Justierblende-Glasprüfling 1m
Lichtwellenlänge $\lambda = 632.8\text{nm}$
Absolutwinkelfehler 0.05°
Messbereich 12° in 0.1° Schritten
Jeweils 4 Messorte an Vorder- und Rückseite

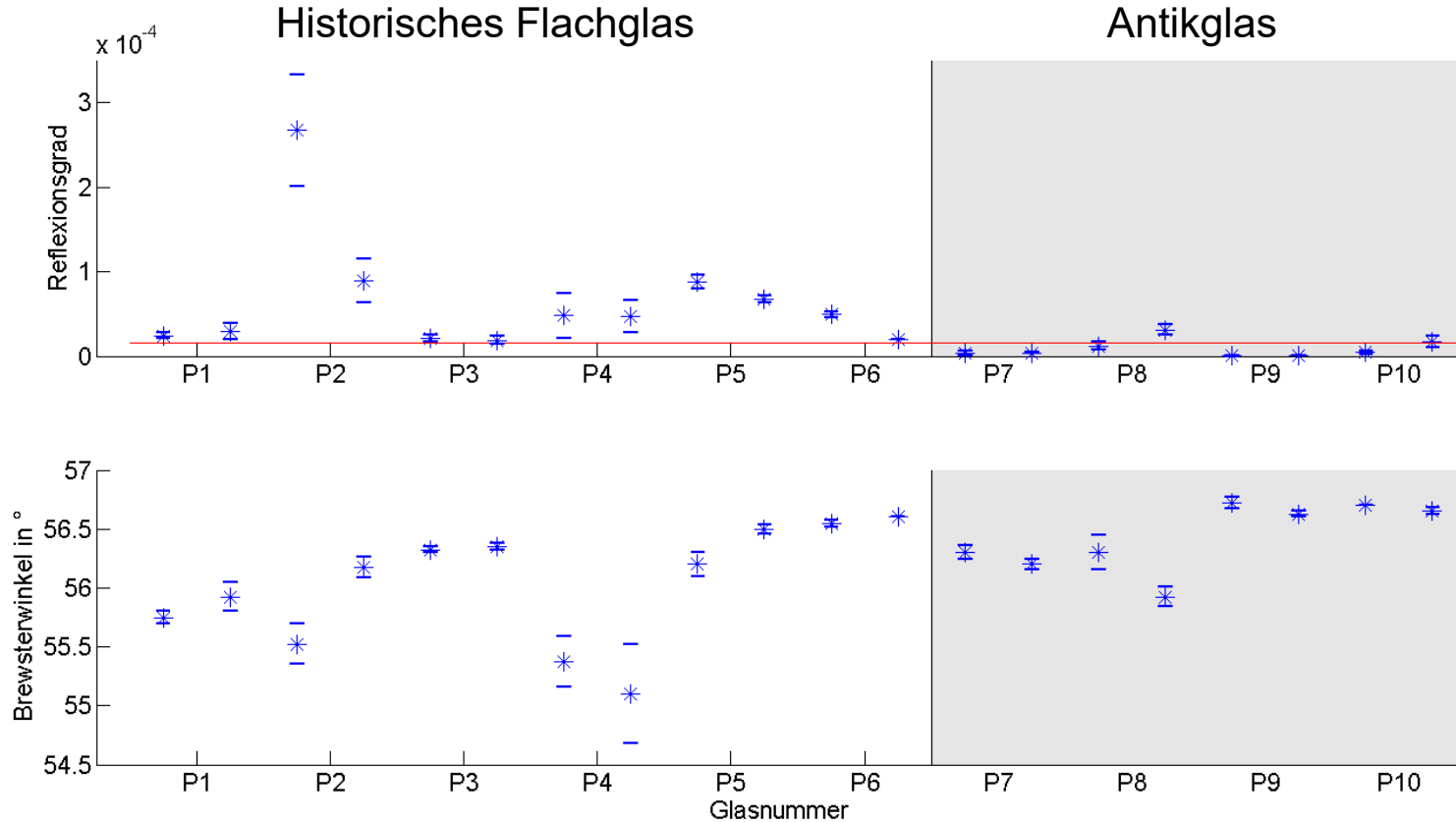
Antikalas Schott Ziehalas P9



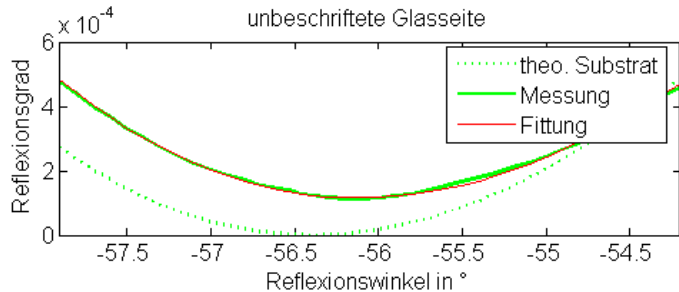
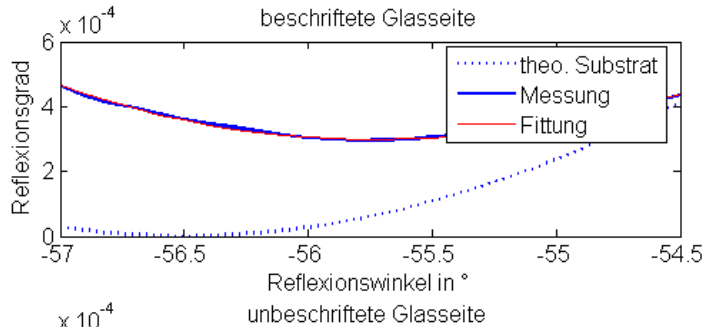
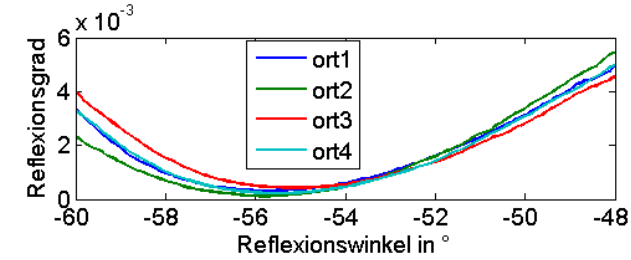
Veste Coburg P4



Brechzahlbestimmung - Brewsterwinkel

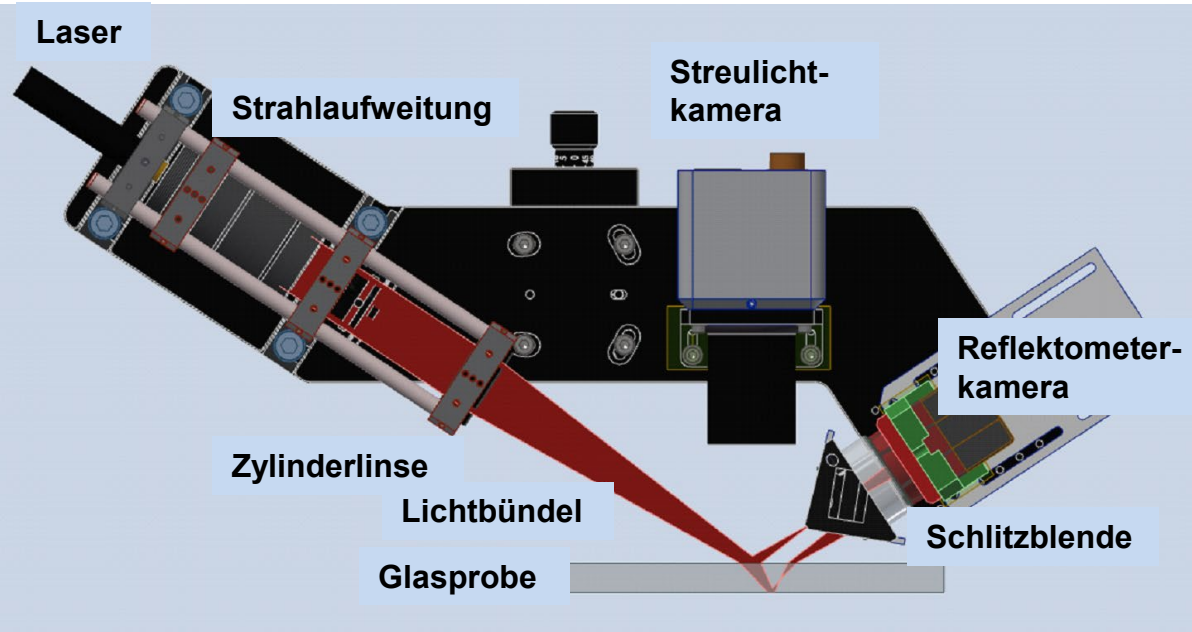


Brechzahlbestimmung - Brewsterwinkel



| Probe | Seite | Brechzahl Glas | Brechzahl Korrosion | Dicke Korrosion in nm |
|-------|---------------|----------------|---------------------|-----------------------|
| P1 | beschriftet | 1.511 ± 0.003 | 1.471 | 67 ± 7 |
| | unbeschriftet | 1.516 ± 0.006 | 1.471 | 60 ± 11 |
| P2 | beschriftet | 1.491 ± 0.006 | 1.351 | 37 ± 10 |
| | unbeschriftet | 1.504 ± 0.001 | 1.381 | 22 ± 7 |
| P3 | beschriftet | 1.501 ± 0.003 | - | - |
| | unbeschriftet | 1.502 ± 0.003 | - | - |
| P4 | beschriftet | 1.511 ± 0.009 | 1.455 | 72 ± 20 |
| | unbeschriftet | 1.501 ± 0.010 | 1.439 | 65 ± 31 |
| P5 | beschriftet | 1.535 ± 0.002 | 1.477 | 52 ± 9 |
| | unbeschriftet | 1.511 ± 0.005 | - | - |
| P6 | beschriftet | 1.514 ± 0.003 | - | - |
| | unbeschriftet | 1.517 ± 0.000 | - | - |
| P7 | beschriftet | 1.500 ± 0.007 | - | - |
| | unbeschriftet | 1.494 ± 0.005 | - | - |
| P8 | beschriftet | 1.500 ± 0.017 | - | - |
| | unbeschriftet | 1.478 ± 0.010 | - | - |
| P9 | beschriftet | 1.524 ± 0.005 | - | - |
| | unbeschriftet | 1.518 ± 0.003 | - | - |
| P10 | beschriftet | 1.522 ± 0.000 | - | - |
| | unbeschriftet | 1.520 ± 0.002 | - | - |

Messaufbau



Beleuchtung

Laserdioden

$\lambda=450\text{nm}$, $\lambda=520\text{nm}$, $\lambda=635\text{nm}$

$I_0=10\text{mW}$, $\Theta_i = 56.5^\circ$

Linienfleck auf der Probenoberfläche ca. $2 \times 6\text{mm}^2$,

Winkelspektrum $\pm 4.5^\circ$

TM-Polarisation

Detektion

CMOS Leuchtdichtemesskamera

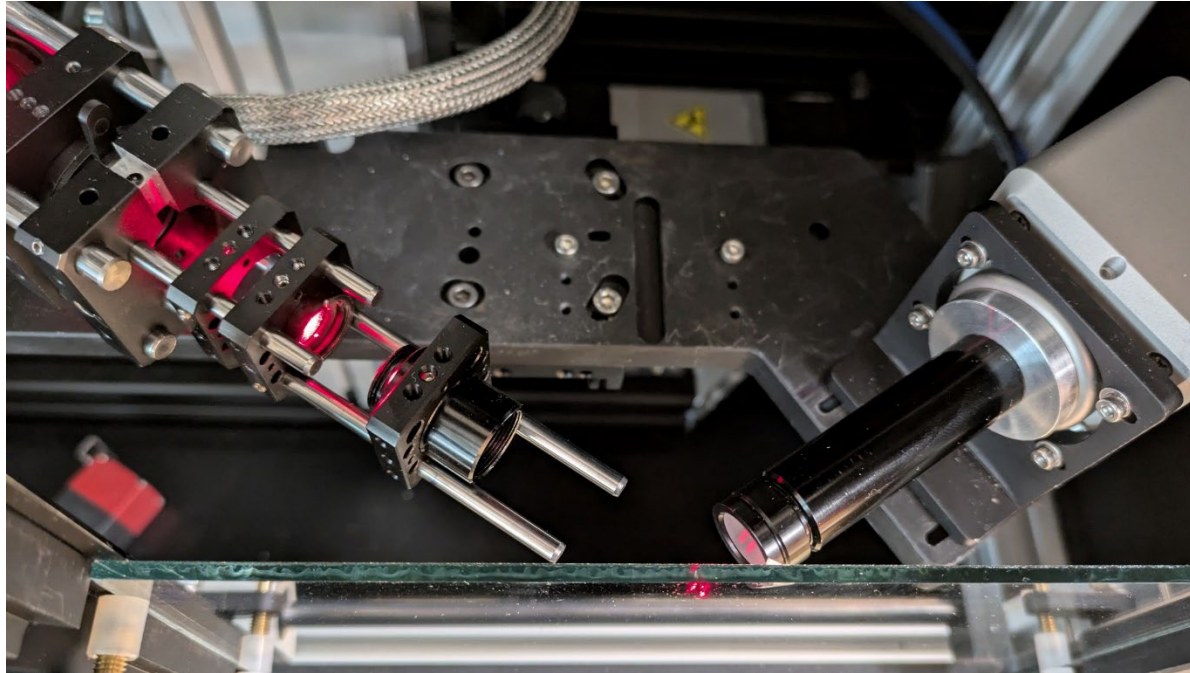
TM Messung

Belichtungszeit 1ms

Bildrate max. 250 Hz

Messgeschwindigkeit max.

125 mm/s



Beleuchtung

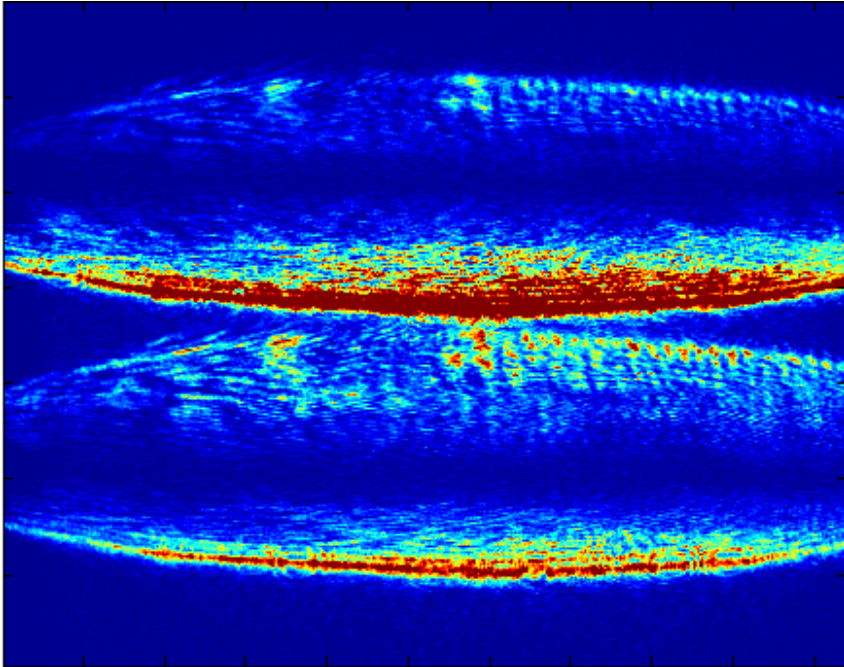
Linien spot auf der Probenoberfläche fokussiert ca. $0.1 \times 6\text{mm}^2$,
Winkelspektrum $\pm 4.5^\circ$
TM-Polarisation

Detektion

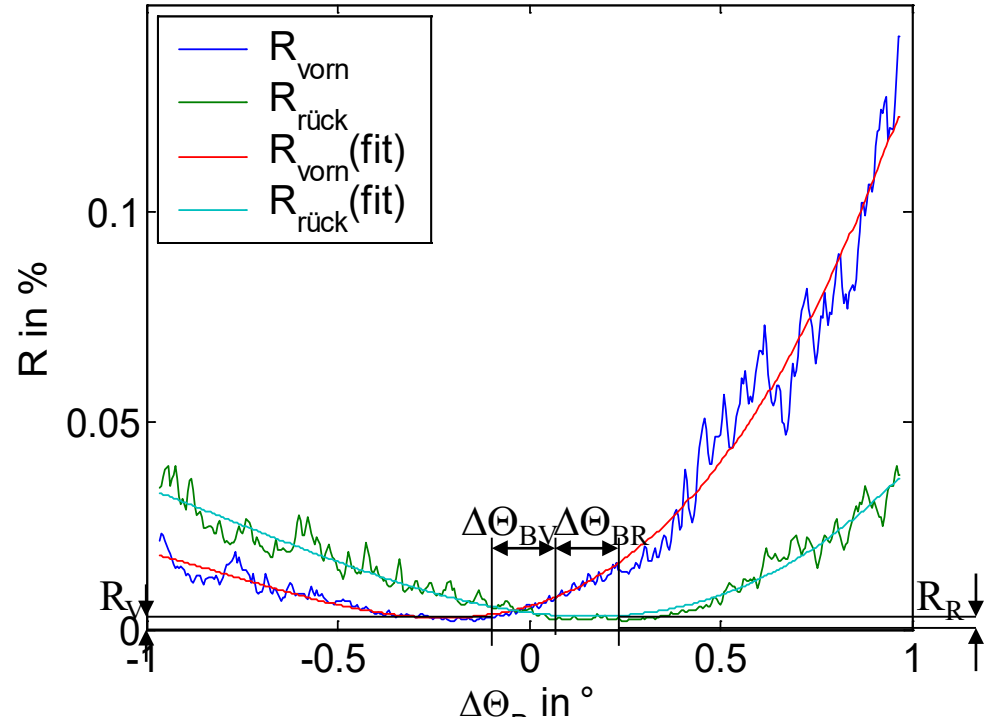
Streuscheibe als Auffangebene
Abstand zur Probenoberfläche
11 mm
TM Messung
Belichtungszeit 2ms
max. Glasdicke 4mm

Messparameter

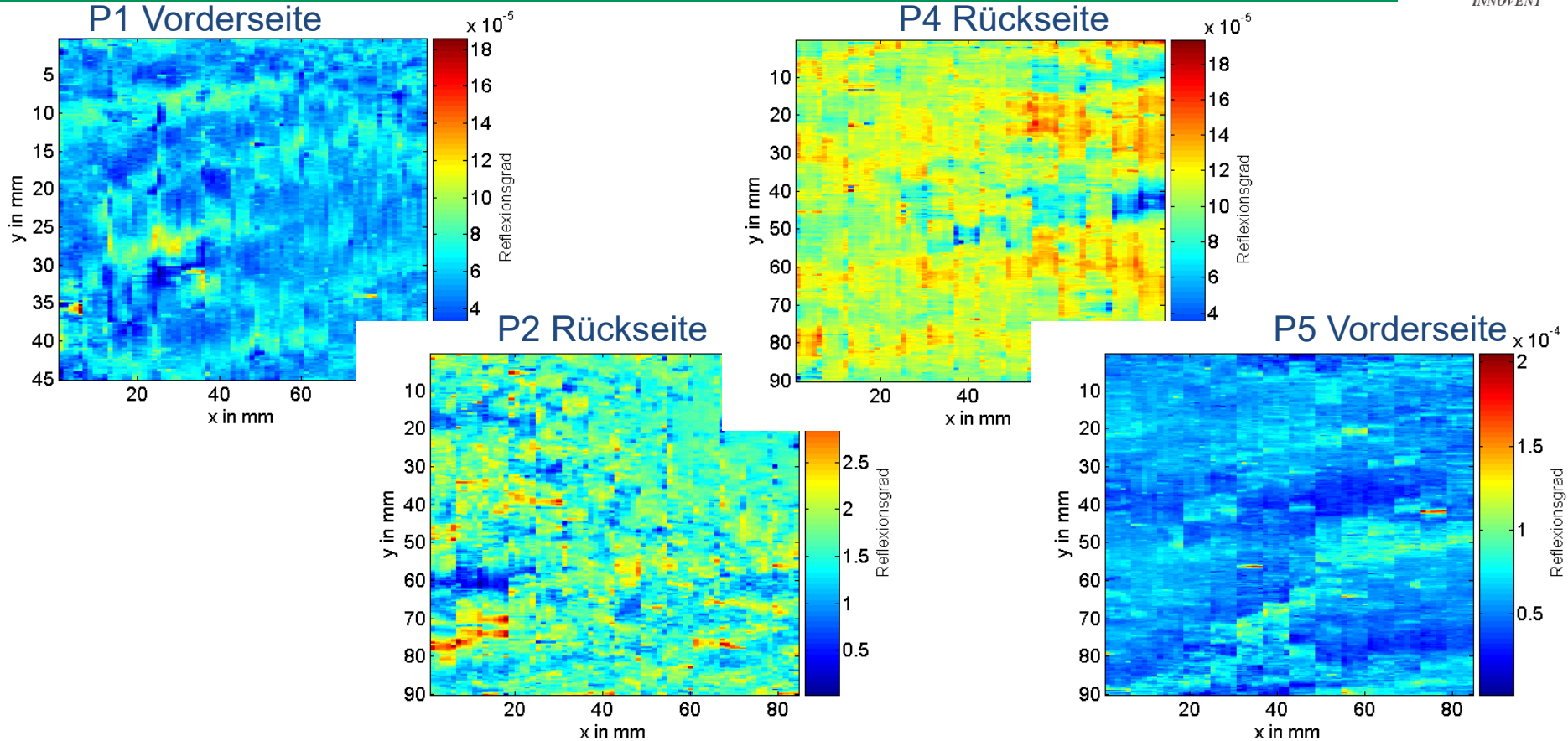
Kamerabild in Falschfarbendarstellung



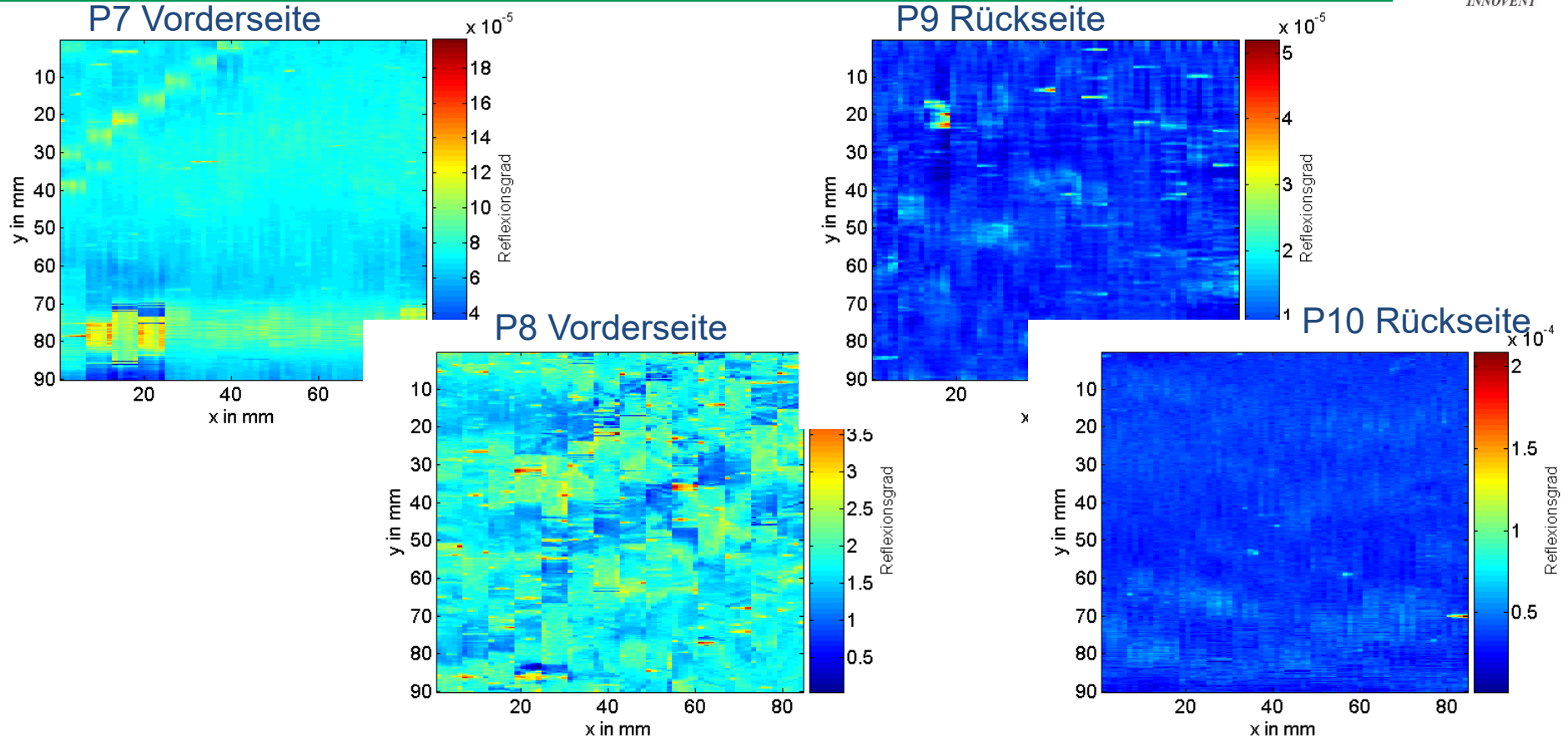
Sektor 6



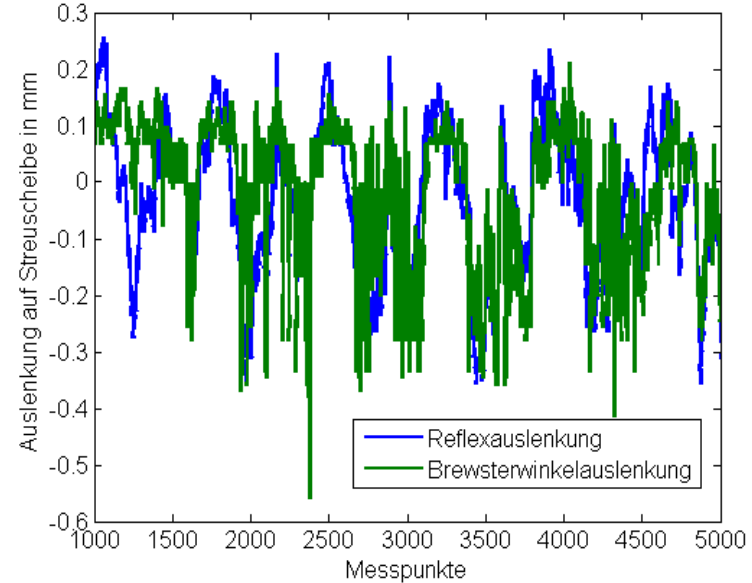
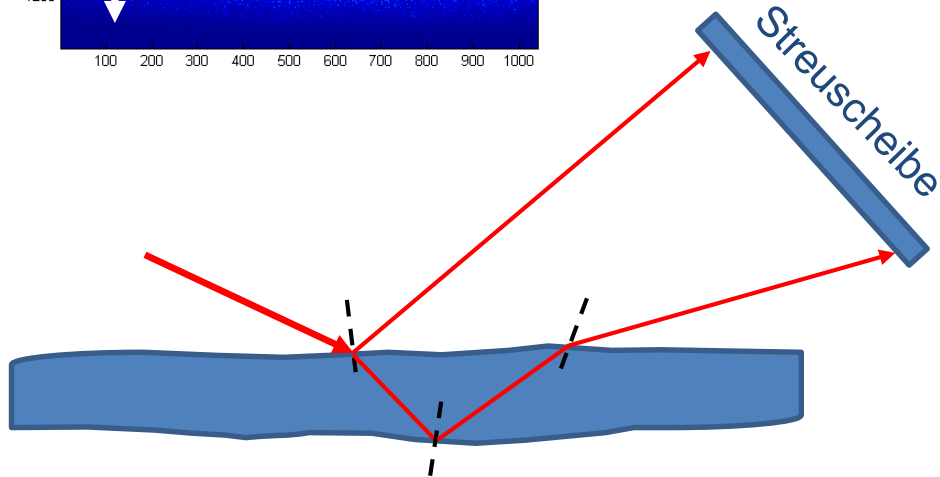
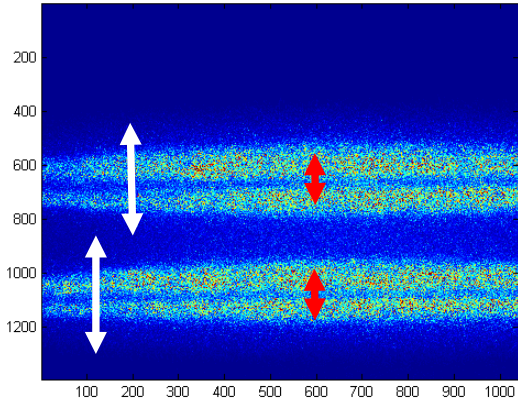
Homogenitätsanalyse Reflexionsgradminimum



Homogenitätsanalyse Reflexionsgradminimum



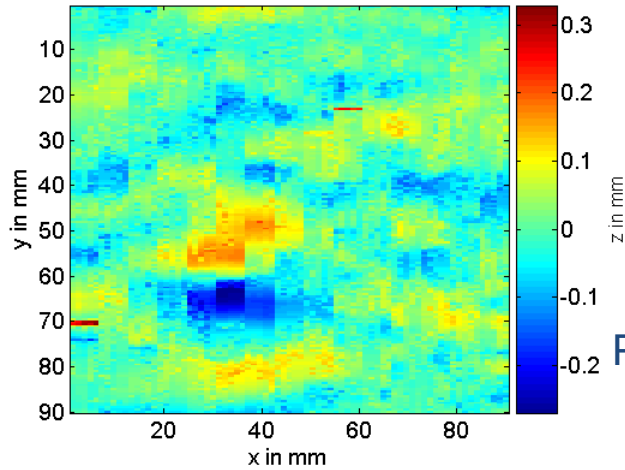
Welligkeitsanalyse Reflexionsgradminimum



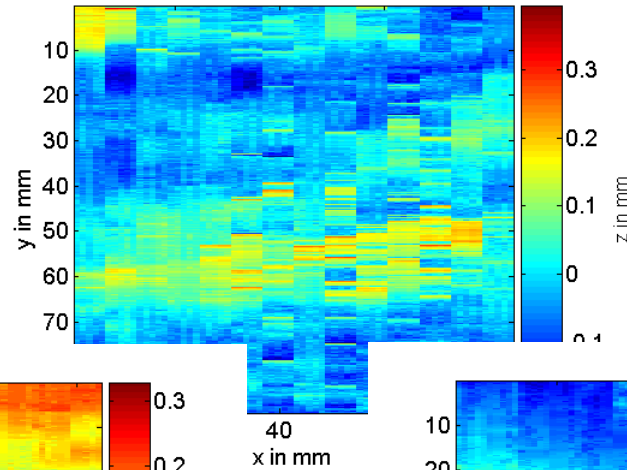
Annahme:
Ideale Brewsterwinkelmessung !

Welligkeitsanalyse

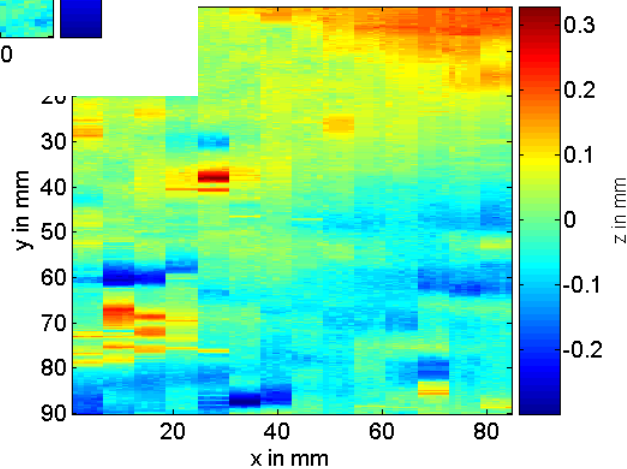
P1 Vorderseite



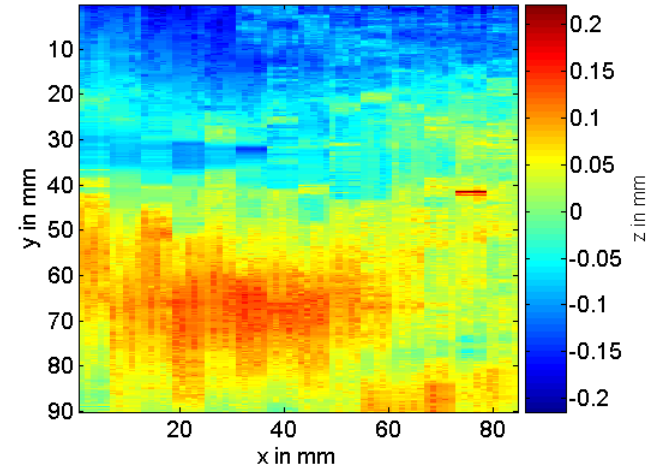
P4 Rückseite



P2 Rückseite

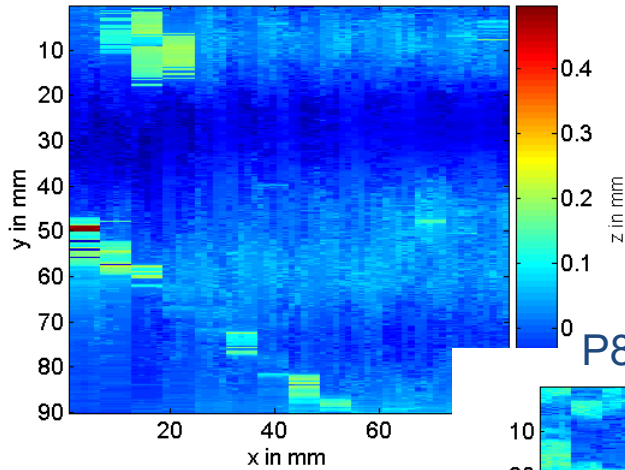


P5 Vorderseite

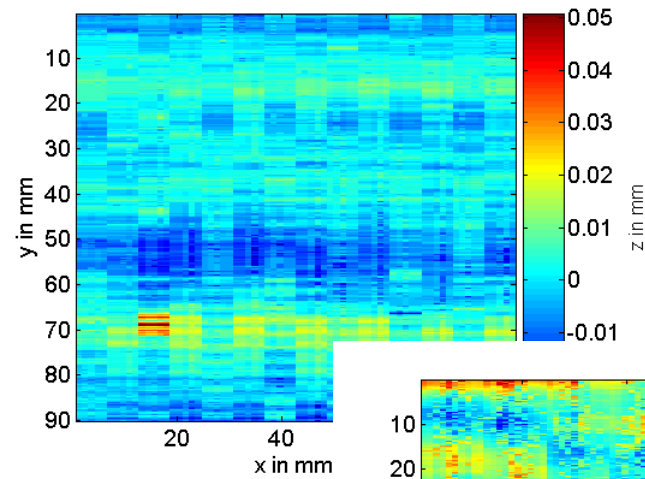


Welligkeitsanalyse

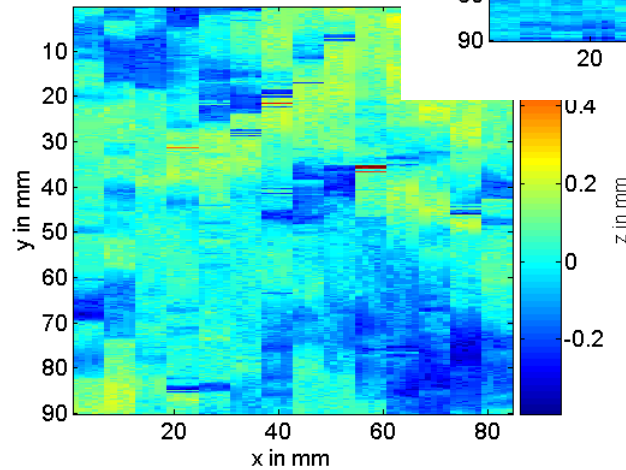
P7 Rückseite



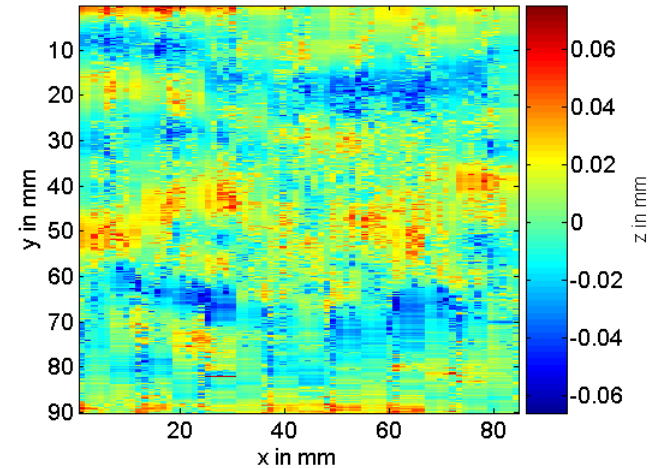
P9 Vorderseite



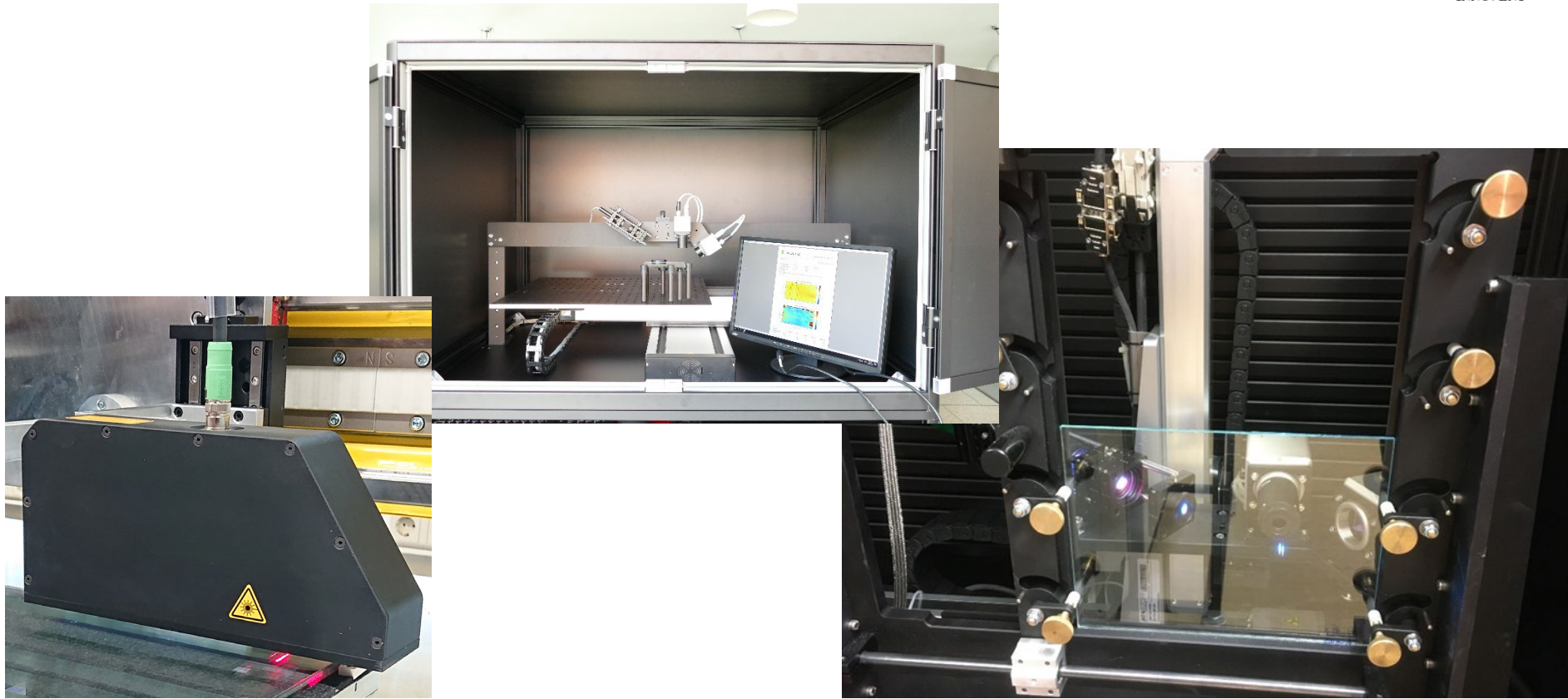
P8 Vorderseite



P10 Rückseite



Brewsterwinkel – Reflektometrie Gerätevarianten



Zusammenfassung

- Historisches Flachglas kann „unsichtbare“ Korrosionsschichten aufweisen.
- Mit der Brewsterwinkel-Reflektometrie lassen sich die Oberflächenbrechzahl des Materials und die Brechzahl und Dicke der Korrosionsschicht ermitteln.
- Historische und Antikgläser besitzen oftmals zwei unterschiedliche Seiten.
- Die Homogenität der Oberfläche lässt sich großflächig und schnell ermitteln.
- Welligkeitsprofile lassen sich mit einem angepassten Objektiv messen.

Ausblick

- Die Ermittlung von Dickenprofilen erscheint möglich.
- Rauheitsanalysen von Beschichtungen auf Glasoberflächen ist ein aktuelles Thema.
- Die Messung von Materialspannungen ist eine denkbare Erweiterung des Verfahrens.
- In einem derzeit laufenden Projekt entwickeln wir ein Handgerät zur Glasoberflächencharakterisierung
 1. Ausbaustufe Handmessgerät mit Digitalkamera
 2. Ausbaustufe Brewsterwinkelobjektiv für das Smartphone

LET'S GET IN TOUCH



Social Media:

LinkedIn / Xing: [INNOVENT e. V.](#)

phone: +49 (0)3641 282515

mail: rh2@innovent-jena.de



<https://www.innovent-jena.de/mos>