

Fingerspitzen**gefühl**... Vorstellung**kraft**... Bewegungs**drang**...  
Detail**treue**... Grenz**bereich**... Verbund**werk**...

Kunststoff-Optik in höchster Präzision



via(**optic**)

1. Wetzlarer Herbsttagung „Moderne Optikfertigung“  
**Fertigung optischer Komponenten aus Kunststoff –  
Möglichkeiten und Grenzen**

Dipl. Ing. (FH) Bernhard Willnauer

Wetzlar, 27. September 2011

**Standort**

**Mitarbeiter**

**QM**

**Know-How**

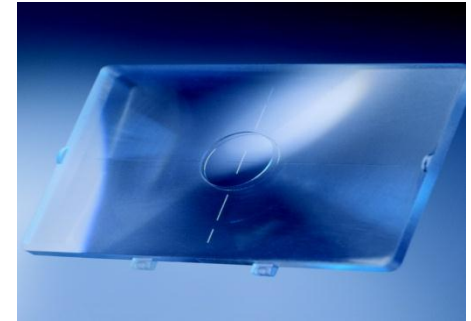
Am Leitz-Park 1 in Wetzlar

60

DIN ISO 9001:2008

über 35 Jahre Erfahrung in  
der Kunststoffoptik

- Optik Design
- Werkzeugbau
- Spritzgusstechnik
- Oberflächenbeschichtung
- Montage



Einstellscheibe LEICA R8

Spiegelreflexkamera LEICA R8



### Entwicklungs- und Fertigungsprojektmanagement



# Fertigung optischer Komponenten aus Kunststoff

## Möglichkeiten und Grenzen

---

**Einsatzgebiete optischer Systeme aus Kunststoff**

**Thermoplaste für optische Anwendungen**

**Überblick Herstellprozess Werkzeugtechnik und Spritzguss**

**Kunststoff-Formgebung: Möglichkeiten und Grenzen**

**Qualitätssicherung und Messtechnik**

# Einsatzgebiete optischer Systeme aus Kunststoff

## Vor- und Nachteile von Kunststoffoptik

---

### Vorteile

- kostengünstige Massenproduktion
- komplexe Formen und Geometrien möglich
- Montagefunktionen können in ein Bauteil integriert werden
- kostengünstiger Rohstoff
- geringes Gewicht
- Bruchsicherheit

### Nachteile

- hohe Initialkosten für Formwerkzeuge
- eingeschränkter Temperaturbereich
- Spannungsdoppelbrechung
- eingeschränkter Brechungsindex- und Abbe-Zahl-Bereich
- Temp.empfindlichkeit von  $n$  und  $\nu$
- Brechungsindex weniger genau definiert / definierbar
- eingeschränkte Beschichtbarkeit
- anfällig für Mikrorisswachstum

# Einsatzgebiete optischer Systeme aus Kunststoff

## Optische Bauteile

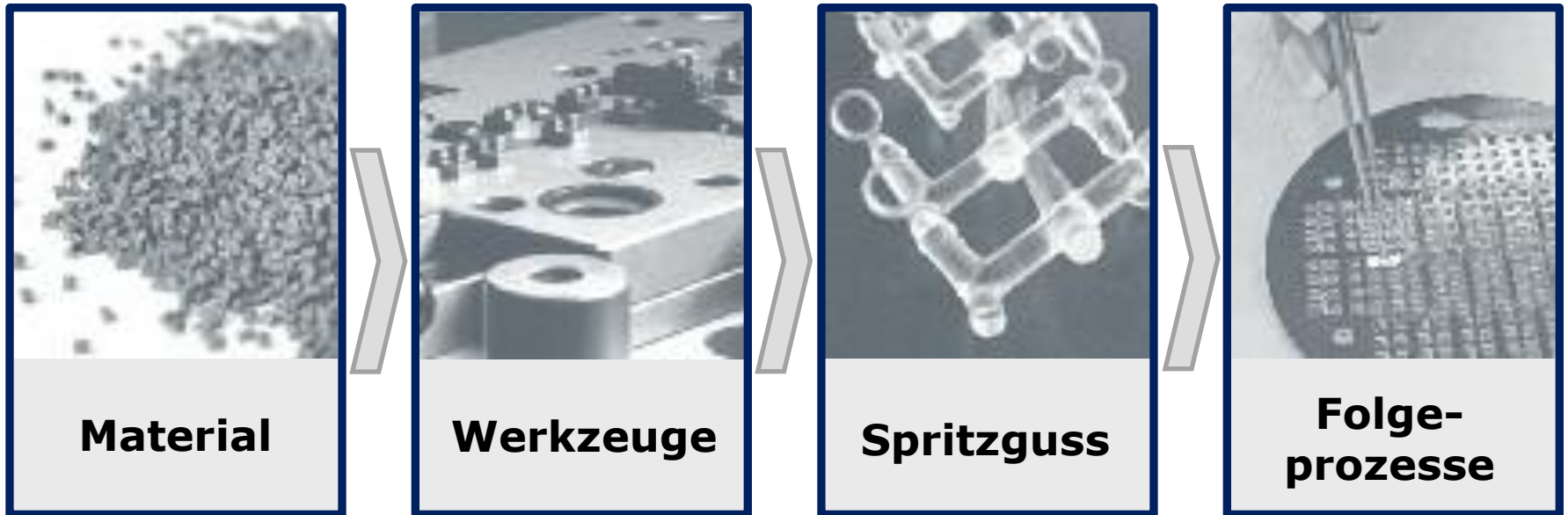


- Sphären, Asphären u. Freiformlinsen
- Fresnel-Linsen
- Linsenarrays
- Zylinderlinsen
- Prismen
- Spiegel
- Mikrostrukturen
- Diffraktive Optik

# Übersicht

## Fertigungsschritte

---

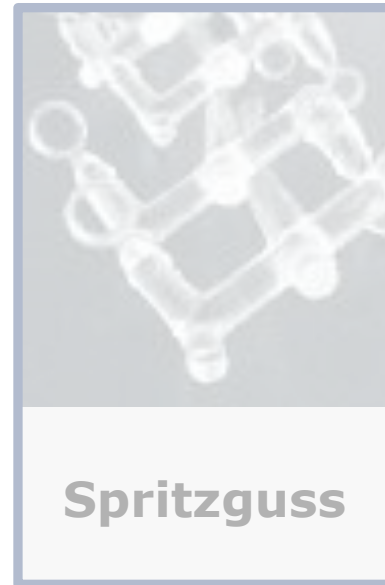
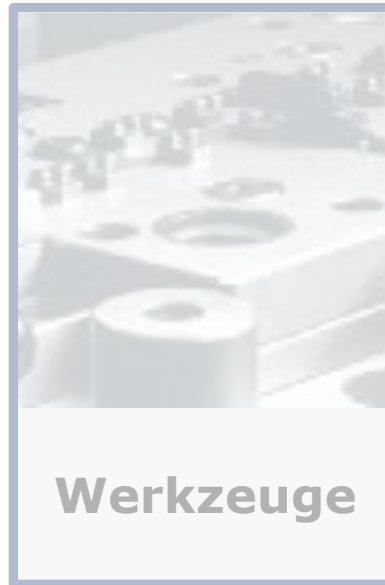


### Serienfertigung von Kunststoffoptik

# Möglichkeiten und Grenzen der Kunststoffoptik

## Übersicht

---



# Material

## Übersicht optische Kunststoffe

**SAN**

1 1936

**PA**

1 1968



**PC**

1 1954

**PS**

1 1920

**COC**

1 1996

**COP**

1 1996

**PMMA**

1 1928



**PMMI**

1 1959

# Material

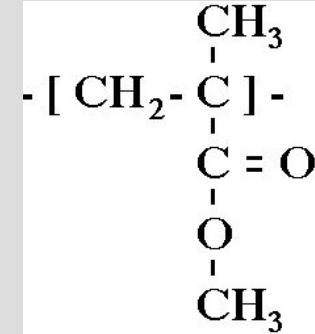
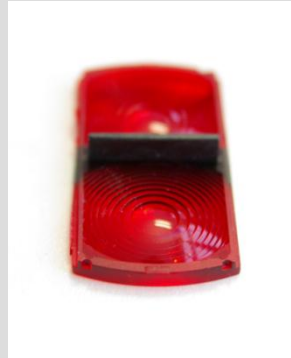
## Vergleich von optischen Kunststoffen

Criteria	PMMA	PC	COC	COP
Refractive index	O	+	O	O
Transmission	+	+	+	+
Dispersion	+	O	+	+
Tension Birefringence	+	-	+	+
Mechanical dependability	O	+	O	O
Scratch resistance	+	-	O	O
Water absorption	-	-	+	+
temperaturereliability	-	+	+	+
UV reliability	+	+	O	O
Coatability	-	O	+	+
Price	+	+	O	-

# Material

## Vor- und Nachteile einiger Kunststoffe

### PMMA



#### Die Vorteile

- kostengünstig
- hohe Transmission (92%)
- geringe Spannungsdoppelbrechung
- hohe mechanische Stabilität
- geringe Dispersion ( $v \approx 57$ )
- hohe Kratzfestigkeit
- chemische Widerstandsfähigkeit

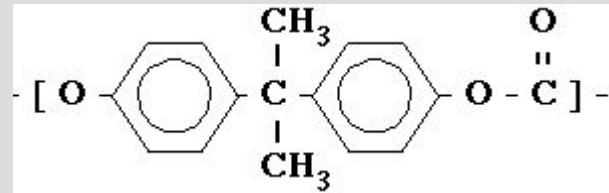
#### Die Nachteile

- hohe Wasseraufnahme (0,6%)  
→ schlechte Beschichtbarkeit  
→ Formänderung nach dem Spritzgießen
- geringe Einsatztemperatur (90-100°C)

# Material

## Vor- und Nachteile einiger Kunststoffe

### PC



### Die Vorteile

- kostengünstig
- mittlere Einsatztemperatur (110-120°C)
- hohe Transmission (91%)
- hohe Brechzahl ( $n \approx 1.59$ )
- sehr hohe Schlagzähigkeit

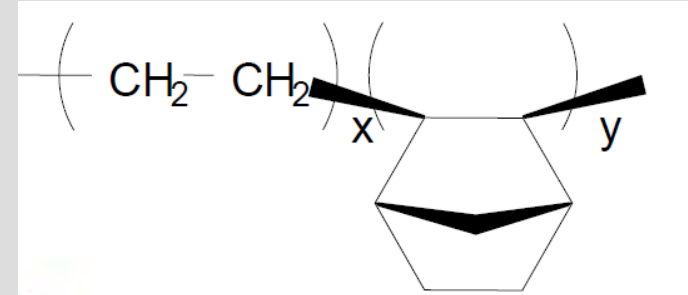
### Die Nachteile

- Wasseraufnahme (0,12%)
- hohe Spannungsdoppelbrechung  
→ Formänderung nach dem Spritzgießen
- mittlere Dispersion ( $v \approx 34$ )

# Material

## Vor- und Nachteile einiger Kunststoffe

### COC



### Die Vorteile

- sehr geringe Wasseraufnahme (<0.01%)  
→ hohe Formbeständigkeit nach dem Spritzgießen
- hohe Einsatztemperatur (130-150°C)
- mittlere - niedrige Spannungsdoppelbrechung
- hohe Transmission (92%)
- geringe Dispersion ( $v \approx 58$ )

### Die Nachteile

- kostenintensiv
- spröde
- hohe Toleranzen der Rohmaterialeigenschaften

# Material

## Vor- und Nachteile einiger Kunststoffe

### COP

#### Die Vorteile

- sehr geringe Wasseraufnahme (<0.01%)  
→ hohe Formbeständigkeit nach dem Spritzgießen
- hohe Einsatztemperatur (120-140°C)
- mittlere - sehr geringe Spannungsdoppelbrechung
- sehr gut beschichtbar
- hohe Transmission (92%)
- geringe Dispersion ( $v \approx 56$ )

#### Die Nachteile

- sehr kostenintensiv

# Material

## Entwicklungstrends

### PMMA

- höhere Temperaturstabilität
- Spezielle Typen für Display Anwendungen
- Prozesse für Beschichtung von PMMA verfügbar
- Optimierung der Schlagzähigkeit

### PC

- Spezialtypen für LED Anwendungen
  - Höhere Transmission
  - Optimierter Yellowness Index
  - Bessere Stabilität gegenüber LED Licht
- Lichtleiter Typen mit niedriger Absorption
- optimierte Typen für Außenanwendungen ohne Schutzlackierung

# Material

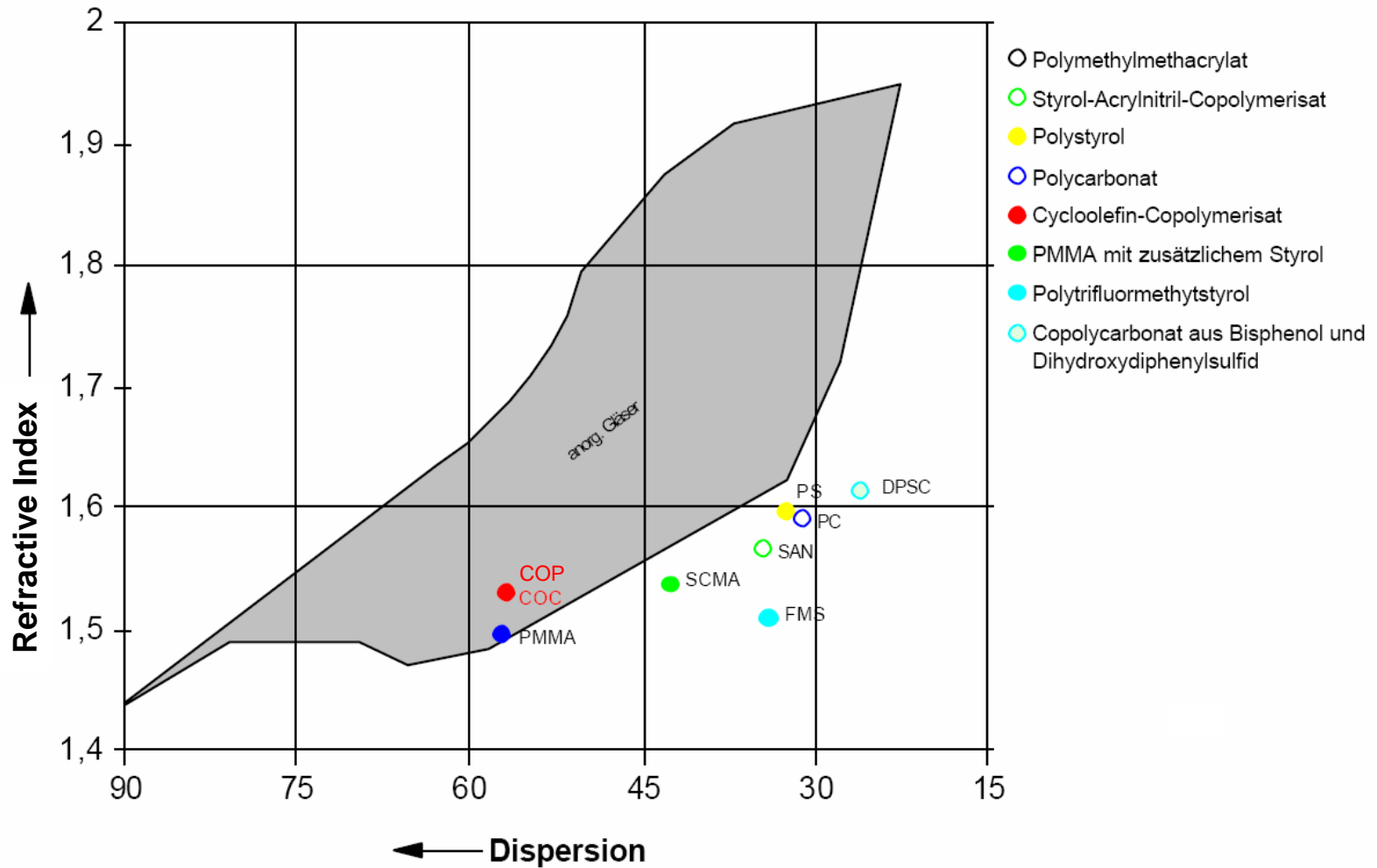
## Entwicklungstrends

### COC

- Angepasste Eigenschaftsprofile möglich
- Optimierte Typen für Spritzgießanwendungen
- Konstante Rohmaterial Eigenschaften
- Hohe Temperatur Typen auf Anforderung
- Typen mit guter Transmission im UV-Bereich

# Material

## Optische Eigenschaften der Kunststoffe



### BMBF Project NAKUSOF

#### NaNofilled Plastics for Optics with new Functionality



#### Viaoptic Subproject:

„Manufacturing of precision optics with high refraction index plastic resins through injection compression“

High refraction index / Abbé coefficient

→ Simple chromatic correction of optical systems

Production test to get results of molding properties, achievable accuracy, process capability, birefringence properties, tendency to micro-cracks, optical properties after injection molding.

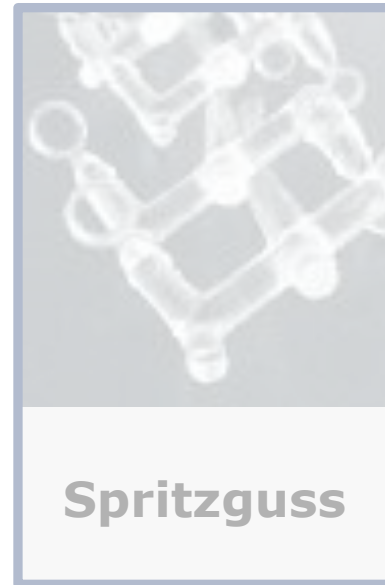
**Result: Agglutinate of nano particles leads to project end**

(Project end was June 2009)

# Möglichkeiten und Grenzen der Kunststoffoptik

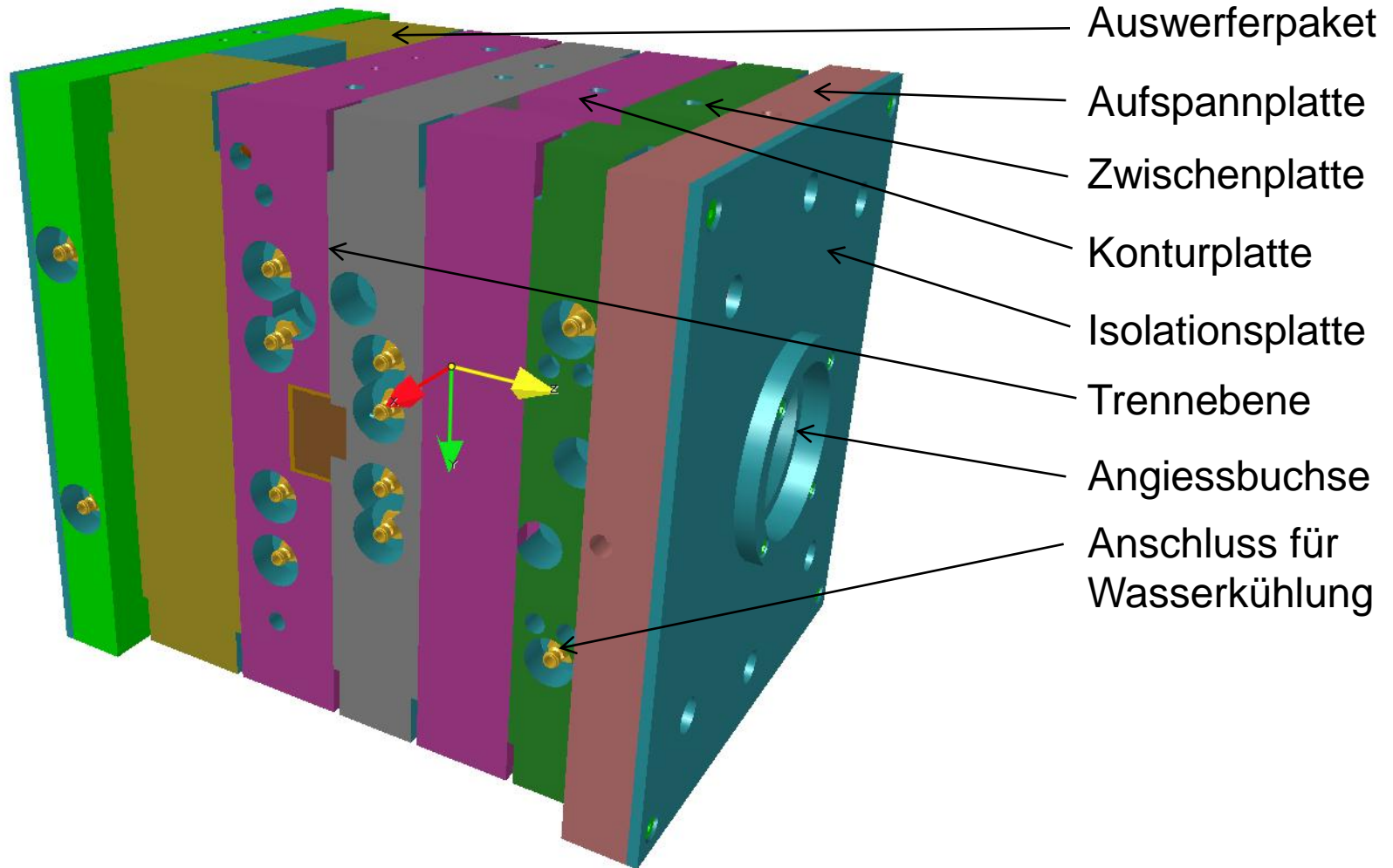
## Übersicht

---



# Werkzeuge

## Allgemeiner Aufbau eines Spritzgießwerkzeugs



# Werkzeuge

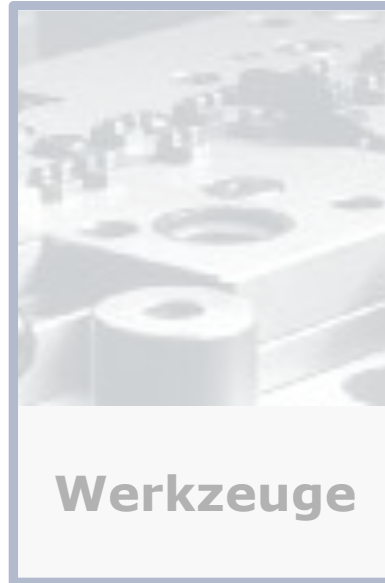
## Materialien und Bearbeitungsverfahren



# Möglichkeiten und Grenzen der Kunststoffoptik

## Übersicht

---



# Spritzguss

## Spritzgießmaschinen für optische Bauteile

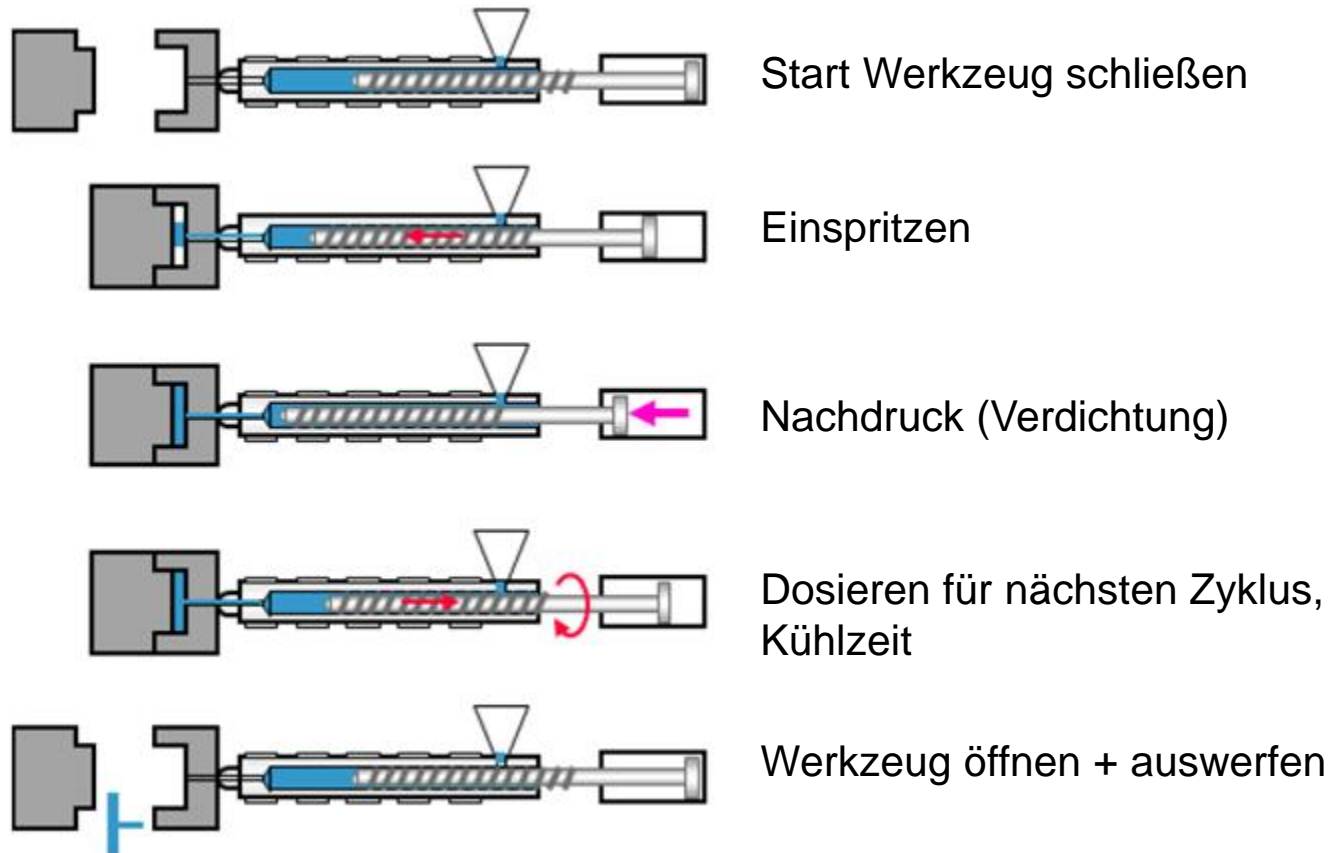


### Anforderungen an Spritzgießmaschinen für optische Bauteile:

- präziser Werkzeugantrieb: elektrisch mit Kniehebel oder hydraulisch direkt
- hochgenaue Weg- und Geschwindigkeitsregelung
- reproduzierbare Temperierung
- Mengensteuerung drucküberwacht, elektrisch oder hydraulisch Lagegeregelt

# Spritzguss

## Ablauf Spritzgießprozess



# Spritzguss

## Ablauf Spritzprägen



Start Werkzeug schließen



**Werkzeug nicht komplett schließen,**  
Einspritzen



**Prägen durch Werkzeugschließen**



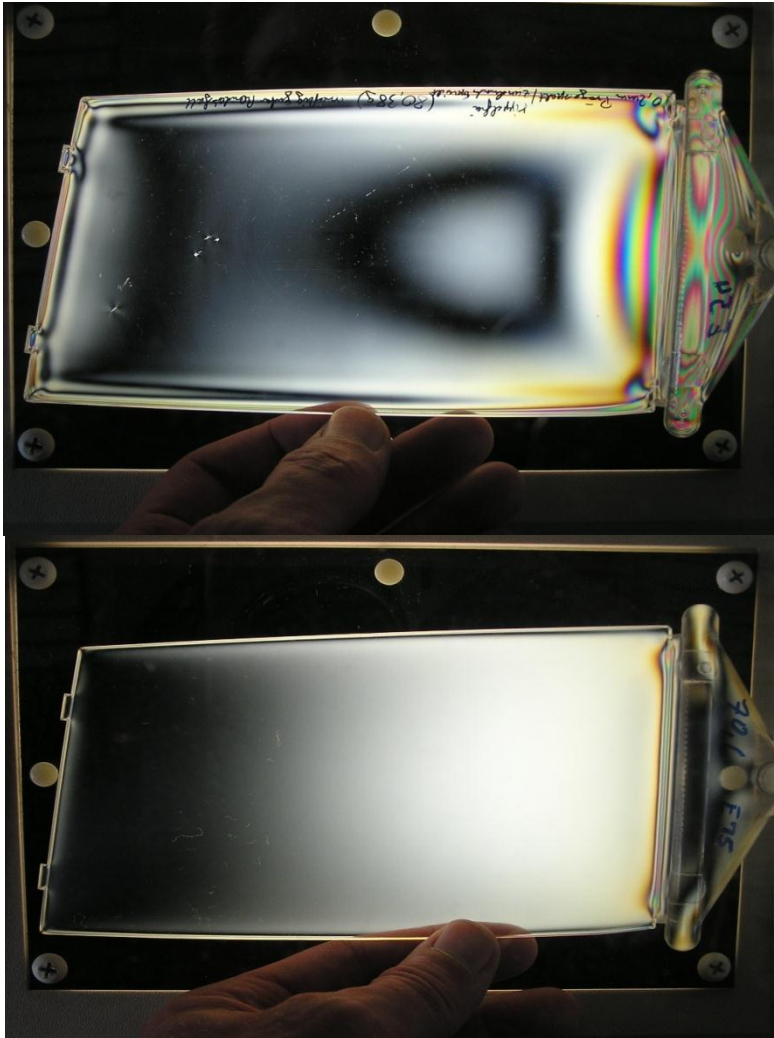
Dosieren für nächsten Zyklus, Kühlzeit



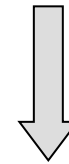
Werkzeug öffnen + auswerfen

# Spritzguss

HUD-Spiegel: Spannungsoptimierung durch Spritzprägeprozeß



**Konventioneller Spritzprozess**



**Spritzprägen**

**deutlich verbesserte  
Langzeitstabilität da stark  
verringerte Relaxationsprozesse !!**

# Spritzguss

## Zusammenfassung

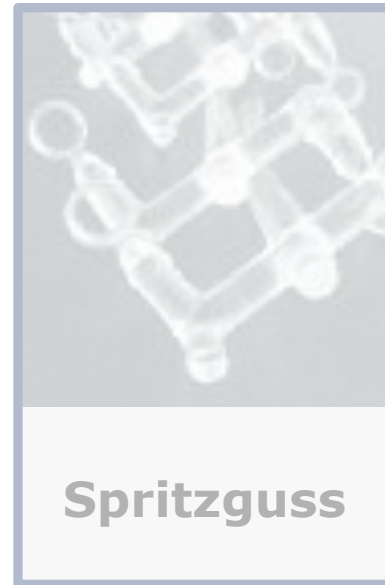
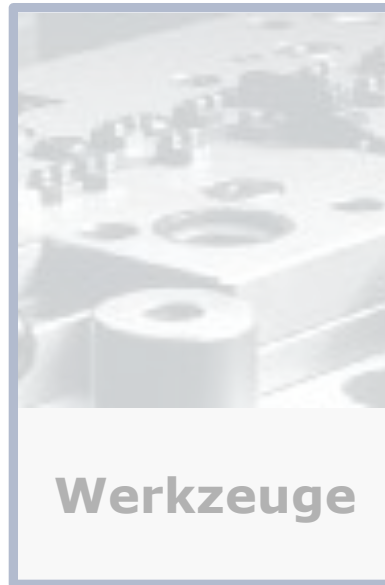
- Hochgenaue Antriebs- und Dosiermöglichkeit  
→ reproduzierbarer Prozess
- Konstante Umgebung :  
Material Vorbereitung, Temperatur & Luftfeuchtigkeit, optische Handhabung  
→ vorsichtig und sauber
- Hoher Automatisierungsgrad  
→ Reduzierung von unkontrollierten Einflüssen



# Möglichkeiten und Grenzen der Kunststoffoptik

## Übersicht

---



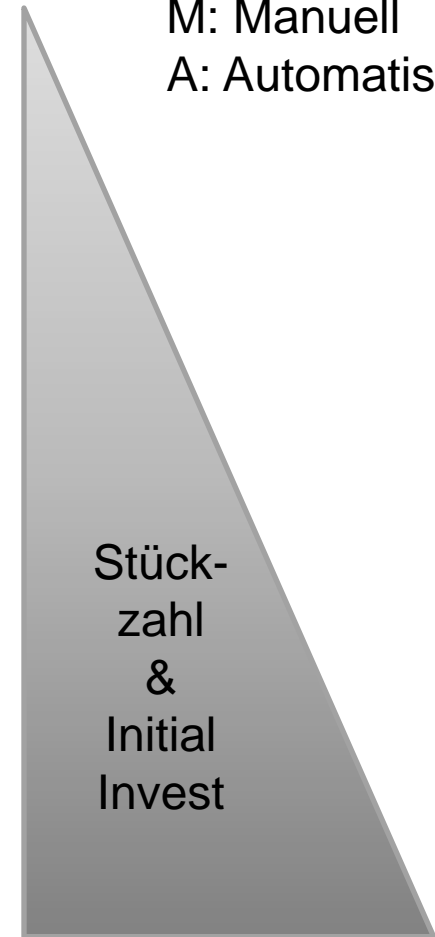
# Folgeprozesse

## Matrix manuelle / automatisierte Prozess

	Trennen	Prüfen / Testen	Montage	Verpacken
1	M	M	M	M
2	A	M	M	M
3	M	A	M	M
4	M	M	A	M
5	M	M	M	A
6	A	A	M	M
7	A	M	A	M
8	A	M	M	A
9	M	A	A	M
10	M	A	M	A
11	M	M	A	A
12	A	A	A	M
13	A	A	M	A
14	A	M	A	A
15	M	A	A	A
16	A	A	A	A

Low

M: Manuell  
A: Automatisiert



High

# Folgeprozesse

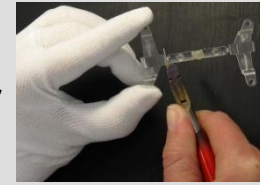
## Reine Manuelle Prozesse (Fall 1)

Trennen  
Manuell



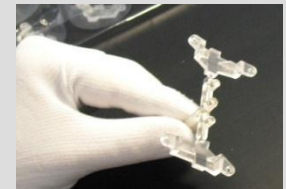
Mechanical Saw

or



Tool Cutting

or



By Hand

Prüfen / Testen  
Manuell



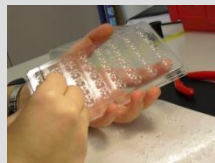
- Lupe
- Referenzplatte für Fehlergröße
- Ionisierte Luft
- Mikroskop
- ...

Montage  
Manuell



- Drucken
- Kleben
- Pinzette / Vakuum Werkzeuge
- Ultraschallschweißen
- ...

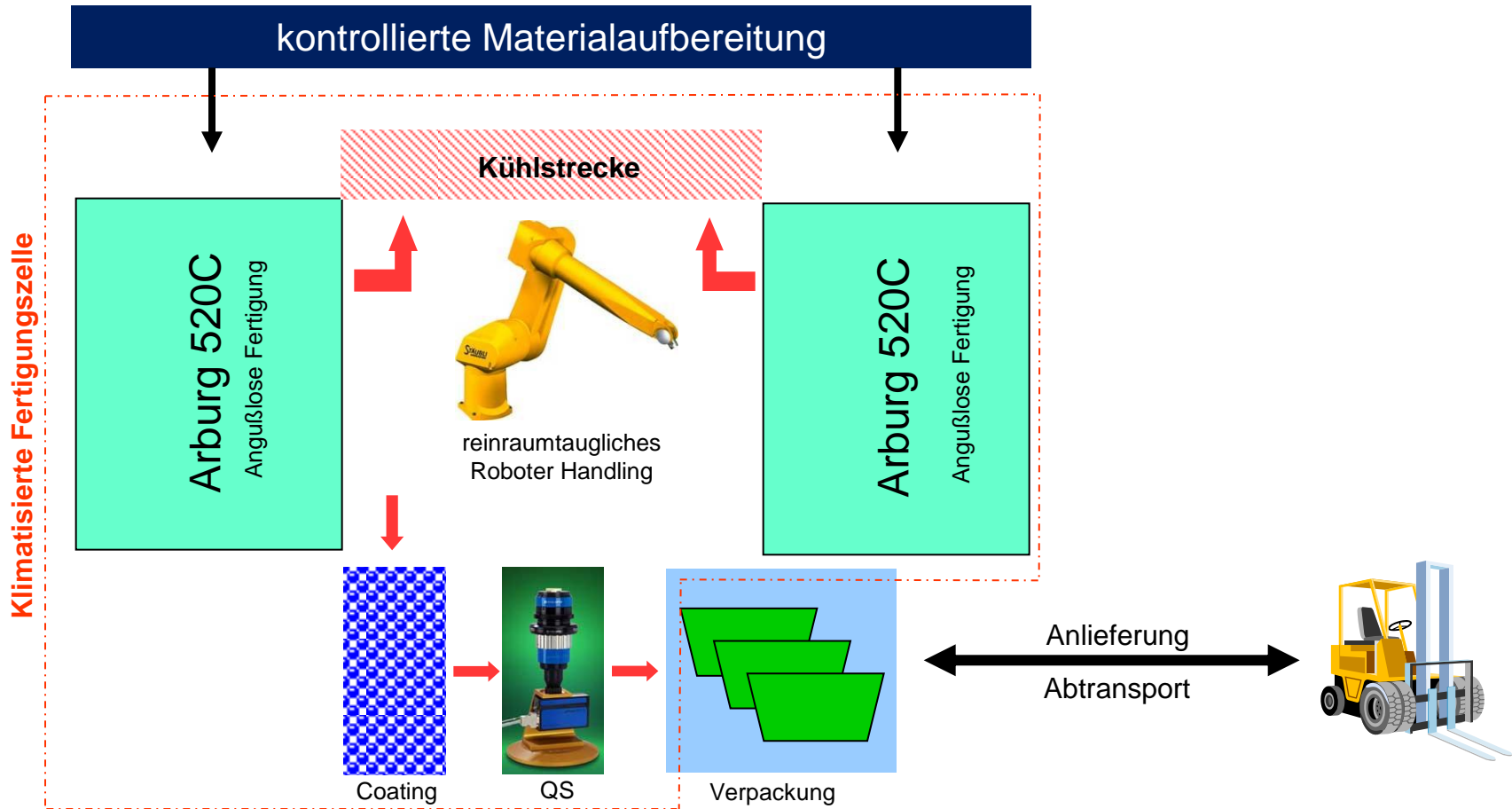
Verpacken  
Manuell



- Kunststoff Trays
- Pinzette / Vakuum Werkzeuge
- ...

# Folgeprozesse

## Vollautomatisierte Fertigungszelle (Fall 16)



# Kunststoffformgebung Möglichkeiten und Grenzen

## Dimensionsbereich für typische Kunststoffoptiken

---

	Minimum	Maximum
Durchmesser	1 mm	100 mm
Mittendicke	1 mm	30 mm
Durchmesser / Mittendicken Verhältnis	1:1	1:5
Resultierende optische Fläche	1 mm <sup>2</sup>	50.000 mm <sup>2</sup>

# Kunststoffformgebung Möglichkeiten und Grenzen

## Genauigkeitsklassen

	Low Cost Qualität	Standard Qualität	High End Qualität
<b>Brennweite</b>	+/-3.... 5%	+/-2.... 3%	+/-0.5.... 1%
<b>Krümmungsfehler</b>	+/-3.... 5%	+/-2.... 3%	+/-0.5.... 1%
<b>Irregularitäten (D = 25mm)</b>	6....10 Ringe	2....6 Ringe	0.5....2 Ringe
<b>Formfehler (asymmetrische Fläche)</b>	20....50µm	5...20µm	0.5...5µm
<b>Oberfläche (D = 25mm)</b>	5/ 5 x 0,25	5/ 3 x 0,25	5/ 1 x 0,16
<b>Rauheit Ra</b>	10...15nm	5..10nm	2...5nm
<b>Zentriergenauigkeit</b>	+/-3 min	+/- 2min	+/- 1min
<b>Mittendicke</b>	+/- 0.1 mm	+/- 0.05mm	+/- 0.01mm
<b>Durchmesser</b>	+/- 0.1 mm	+/- 0.05mm	+/- 0.01mm

# Kunststoffformgebung Möglichkeiten und Grenzen

## Einflussfaktoren

---

### Artikel Design

- Gewölbte Flächen bevorzugt vor Planflächen
- Gleichmäßige dünne Wandstärke soweit möglich
- Anguss- und Auswerfer im Design berücksichtigen
- Radien statt scharfer Kanten

### Werkzeugauslegung

- Kühlung für gleichmäßige Temperaturführung
- Moldflow Simulation für optimierte Angußauslegung
- Großflächige Einzelauswerfer oder Konturauswerfer

### Prozessführung

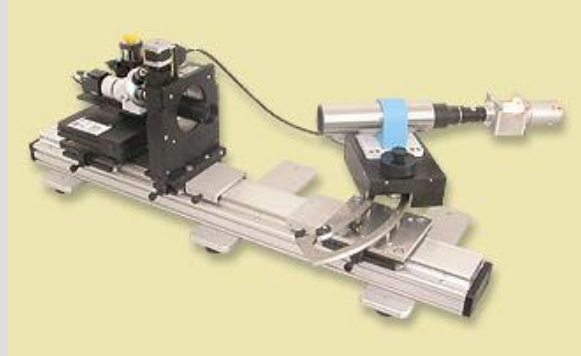
- Gleichmäßige Druckverteilung in der Kavität
- Prozessüberwachung Temperatur, Druck, Kräfte und Zeiten
- Visuelle und statische Überwachung mit abgeleiteter Regelung der Prozessparameter

# Qualitätssicherung und Messtechnik

## Verwendete Prüftechnik



FISBA Interferometer  
μPhase FS 10



OEG MTF-Prüfgerät  
MTF Variant



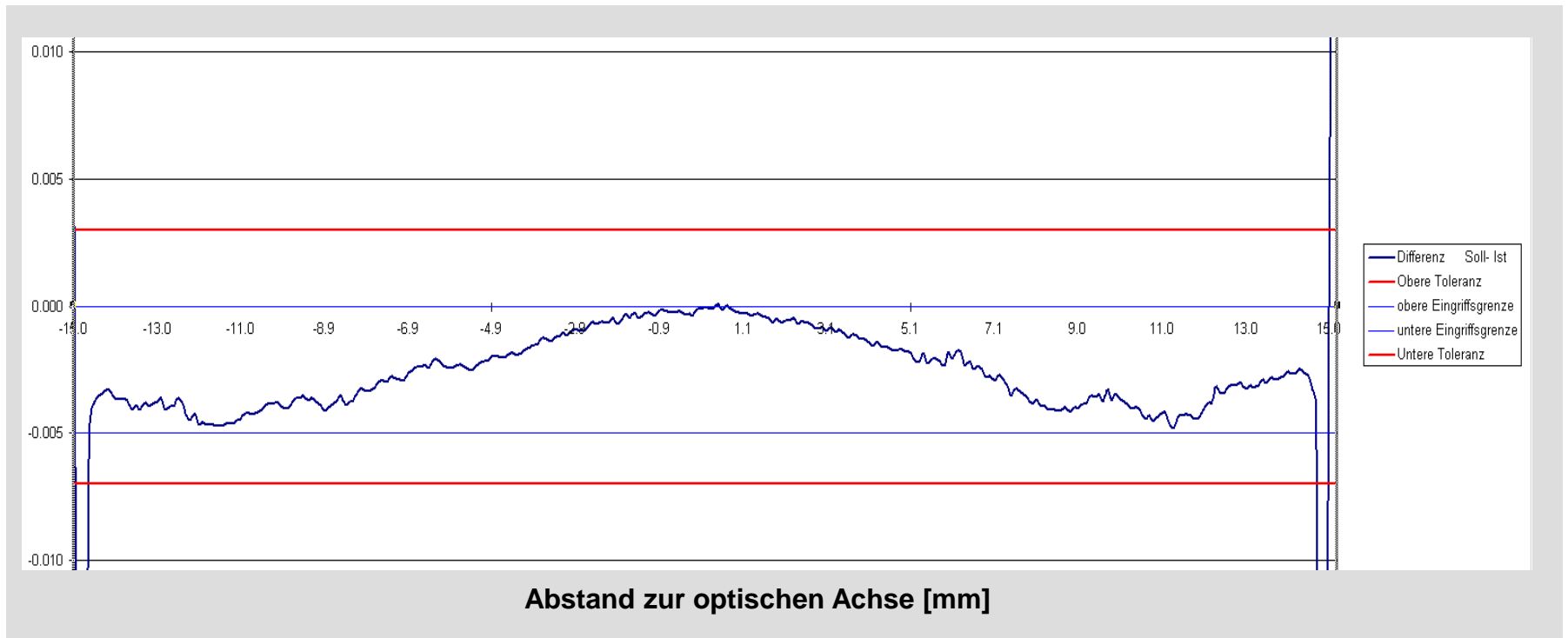
Werth Multisensormessmaschine  
Video-Check HA 400 3D



Mahr – Tastschnitt Perthometer

# Qualitätssicherung und Messtechnik

## Beispiel Tastschnittmessung



**Bei Standard und High End Toleranzanforderungen muss eine Optimierungsschleife mit aktiver Gegenkorrektur eingeplant werden**

# Präzisionsoptik aus Kunststoff

## Zusammenfassung

---

- **Kunststoffe** sind in der **Optik etabliert**
- **Kunststoffe** sind für **komplexe Geometrien** gut geeignet, die **präzise** und **kostengünstig** in **hohen Stückzahlen** hergestellt werden können
- **Artikeldesign** hat maßgeblichen **Einfluss** auf die erreichbaren **Genauigkeiten**
- sorgfältige **Materialauswahl** für den speziellen Anwendungsfall ist **Grundvoraussetzung** um **Überraschungen** zu vermeiden
- die **Verfahrenstechnik/Maschinenteknik** ist noch nicht am Ende ihrer Möglichkeiten
- eine präzise und schnelle **Prozessmesstechnik** ist von **grundlegender Bedeutung**

---

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Mehr über **via**(**optic**) ?

**Viaoptic GmbH**  
**Am Leitz-Park 1**  
**D-35578 Wetzlar, Germany**  
**Phone: +49 6441 9011-0**  
**e-Mail: [info@viaoptic.de](mailto:info@viaoptic.de)**  
** [www.viaoptic.de](http://www.viaoptic.de)**

# Quellenverzeichnis

---

- ▶ Bäumer Stefan; Handbook of Plastic Optics Wiley-VCH 2005
- ▶ Dr. -Ing. Ralf Mayer; Precision Injection Molding, Optik & Photonik Dec 2007
- ▶ Holden, Frank C.; Review of Dimensional Instability in Materials, Memorandum 189, Defense Materials Information Center 1964
- ▶ Greener, Jehuda, Precision Injection Molding Hanser 2006
- ▶ Dipl. Ing. (FH) Christoffer Müller, Vortrag „Optische Komponenten und Systeme aus Kunststoff Von der Idee bis zum fertigen Produkt“; Bayern Photonics Erlangen 2010
- ▶ Olaf Zöller, Bayer Material Science: Vortrag „Herstellung und Untersuchung von optischen Kunststoffprodukten“, SKZ Würzburg 2009
- ▶ Topas GmbH, Produktübersicht, Internet 2010