

Anspruchsvolle Kunststoff-Optik

-Designbeispiel und Herstellung-

Dr.-Ing.Ralf Mayer

Anspruchsvolle Kunststoff - Optik

Einleitung

Designbeispiel Head Up Display:

Fertigungstechnik: Abformung und
Werkzeugtechnik

Zusammenfassung

Einleitung

- Einsatzgebiete für Optiken aus Kunststoff

Automotive

- Regensensoren
- Head-Up Displays
- Lenkwinkelsensoren

Laser Technologie

- Laser Optiken
- Strahlformung

Life-Science

- Diagnostik Geräte
- Hautsensoren
- Spritzen



Industr. Fert./Logistik

- Scannersysteme
- Lichtschranken
- Optische Sensoren

Beleuchtung/Energie

- Bewegungsmelder
- Solarkonzentratoren
- Reflektoren

CE-/IT-/TK-Technik

- Handy-Objektive
- Scan-Stifte
- Glasfaser-Koppler

	Low Cost Qualität	Standard Qualität	State of the Art
Brennweite	+/-3.... 5%	+/-2.... 3%	+/-0.5.... 1%
Krümmungsfehler	+/-3.... 5%	+/-2.... 3%	+/-0.5.... 1%
Irregularitäten (D = 25mm Durchmesser)	6...10 Ringe	2...6 Ringe	0.5...2 Ringe
Formfehler (asymmetrische Fläche)	20...50µm	5...20µm	0.5...5µm
Oberfläche (scratch/dig)	80 / 50	60 / 40	40 / 20
Rauheit R_a	10...15nm	5..10nm	2...5nm
Zentriergenauigkeit	+/-3 min	+/- 2min	+/- 1min
Mittendicke	+/- 0.1 mm	+/- 0.05mm	+/- 0.01mm
Durchmesser	+/- 0.1 mm	+/- 0.05mm	+/- 0.01mm
Reproduzierbarkeit	1...2%	0.5...1%	0.3...0.5%

Einleitung

• Thermoplaste für Präzisions Anwendungen

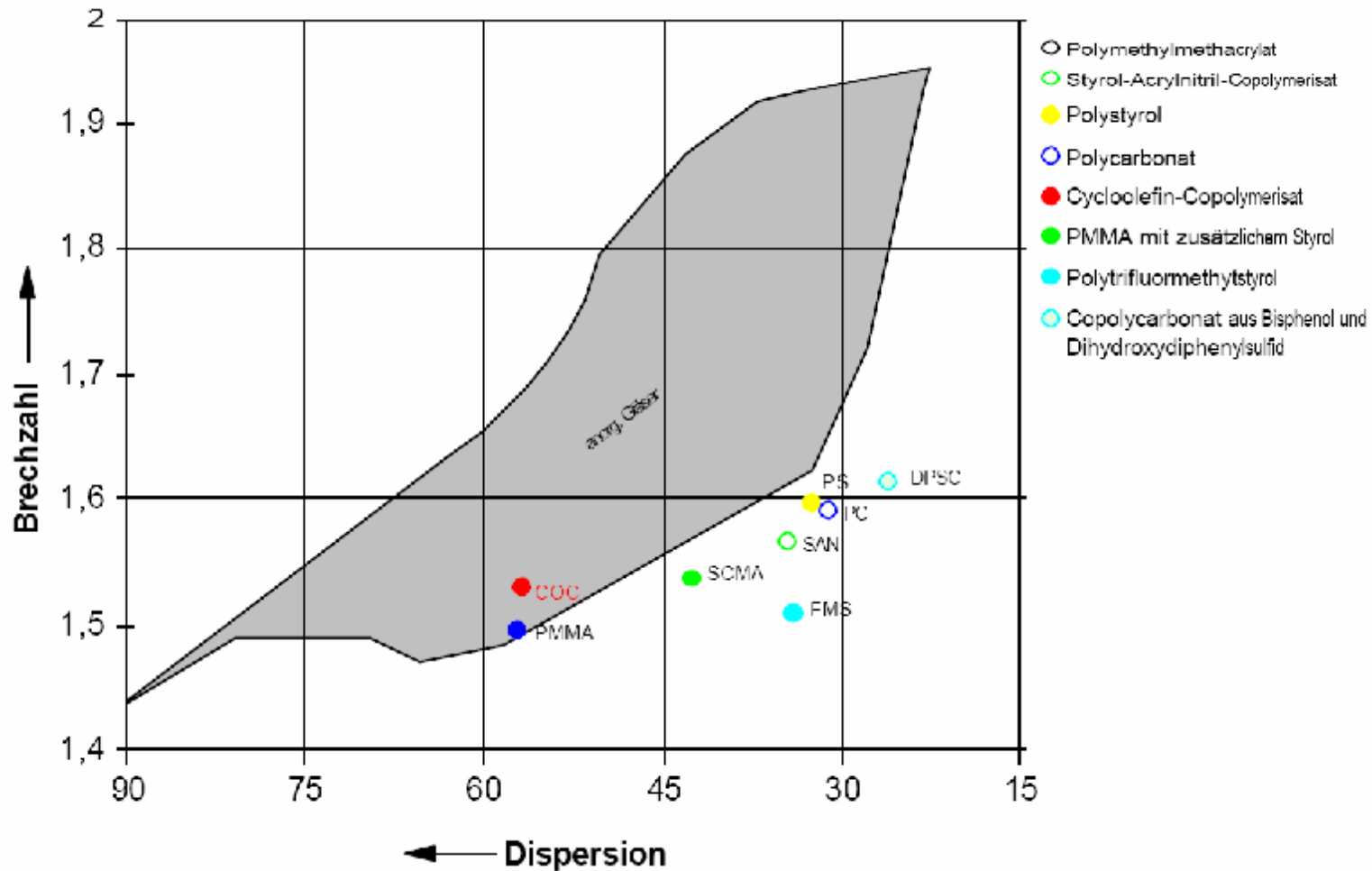


Material	Brand Name	common used Type	n_d 589nm [23°C]	dn/dT [*10 ⁻⁴ /K]	V_d	Transmission 2mm Thickness [%]	Birefringence [*10 ⁻⁶ mm ² /N]	Waterabsorption [%]	Max. Service Temp. [°C]	Melting Point [°C]	Density [g/cm ³]	Elastic Modulus [N/mm ²]	Ultimate Strength [N/mm ²]	Coeff. of Expansion [1/K]
PC	Makrolon	2405	1.590	-1.3	31.0	91	66...70	0.35	120	280-320	1.20	2300	ca. 60	6.00E-05
	Lexan	940-A	1.590	-1.3	34.0	91	66...70		110	280-320	1.20			
COC	Topas	5013	1.533	-1.0	56.0	92	-2.....-7	<0,01	130	240-300	1.02	3100	ca. 66	7.00E-05
	Topas	6017	1.533	-1.0	58.0	92	-2.....-7	<0,01	150	240-300	1.02		ca.66	6.00E-05
COP	Zeonex	E48R	1.531	-1.1	55.7	92		<0,01	138	240-300	1.01	2500	ca.60	6.00E-05
	Zeonex	330R	1.509	-1.1	56.5	92		<0,01	123	240-300	1.01	1800	ca.60	6.00E-05
PC-CF 20	Alcom	PC 740						0.08	142	320	1.28	12000	130	2.00E-05
PC-GF 30	Makrolon	8035						0.08	142	320	1.42	5000	55	5.00E-05
Fortron		PPS GF30						0.02	265	340	1.56	12200	255	

PC = Polycarbonate
 COC = Cyclo-Olefin-Copolymerisat
 COP = Cyclo-Olefin-Polymere

Einleitung

- Thermoplaste für Präzisions Anwendungen



Anspruchsvolle Kunststoff - Optik

Einleitung

Designbeispiel Head Up Display

Fertigungstechnik: Abformung und
Werkzeugtechnik

Zusammenfassung

Designbeispiel Head-Up-Display

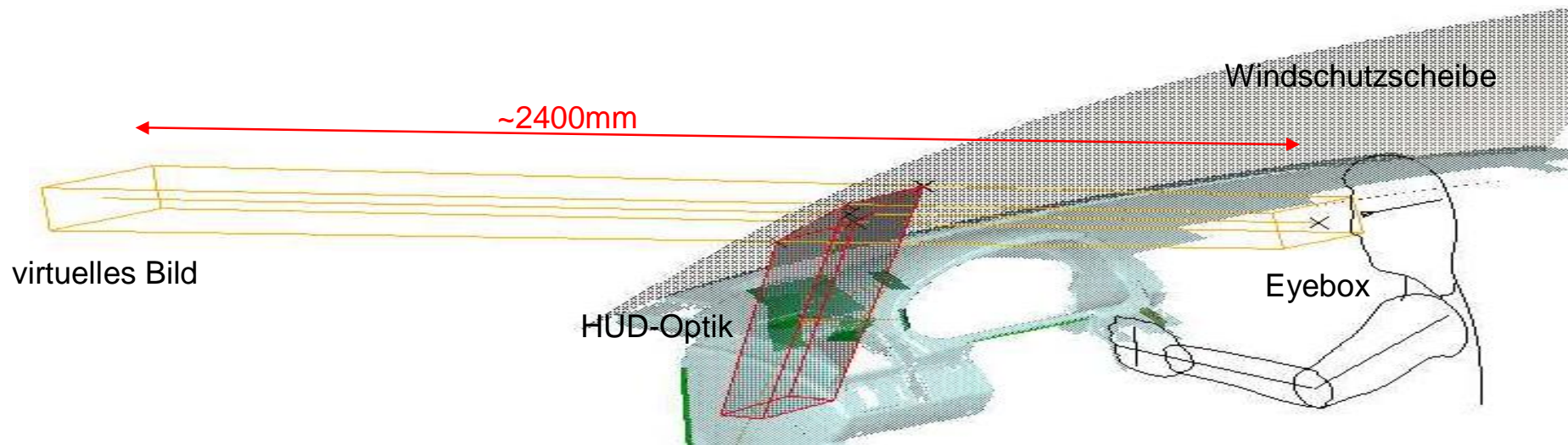
- Grundlagen



- Ø Darstellung von relevanten Daten in der Sichtlinie des Fahrers
 - Ø hohe Bildqualität
 - Ø keine Akkommodation
- } schnelle Informationsaufnahme

Designbeispiel Head-Up-Display

- Grundlagen



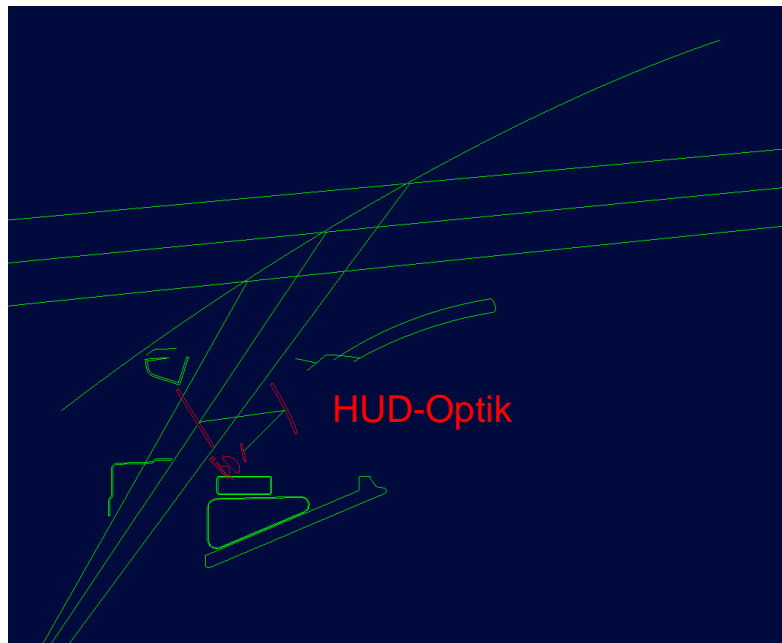
- ∅ HUD Einbau in I-Tafel zw. Instrument-Cluster und Spritzwand
- ∅ bauraumangepasste und bauraumoptimierte Optik notwendig

Designbeispiel Head-Up-Display

• Prinzipielle Varianten

Variante 1:

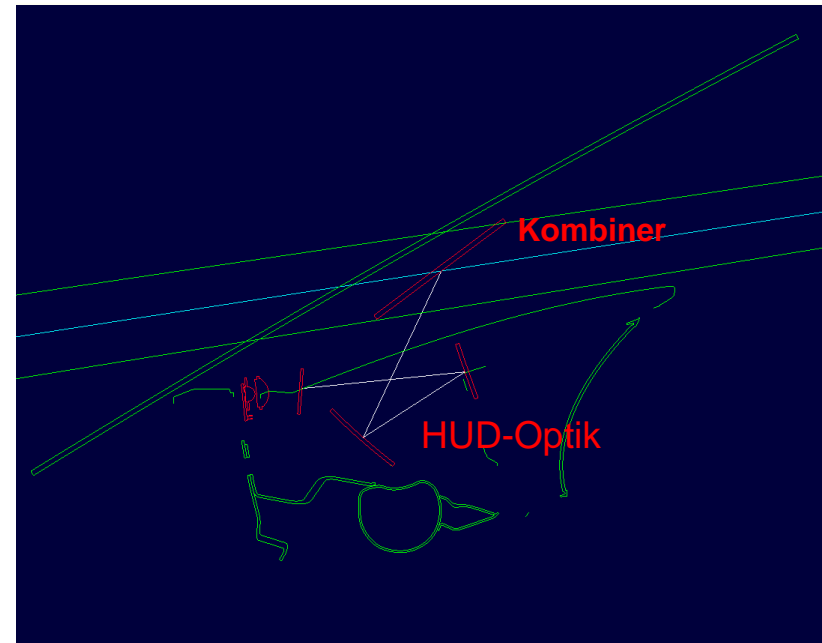
Projektion über Windschutzscheibe



- Ø beste Fahrzeugintegration
- Ø „unauffällig“
- Ø aber: fahrzeugspezifisch und toleranzempfindlich, da Windschutzscheibe ein Bestandteil der Optik

Variante 2:

Projektion über separaten Kombiner



- Ø im Prinzip fahrzeugunabhängig
- Ø beste optische Performance
- Ø erfordert ausfahrbaren Kombiner
- Ø mechanisch aufwändig
- Ø schwieriges I-Tafeldesign

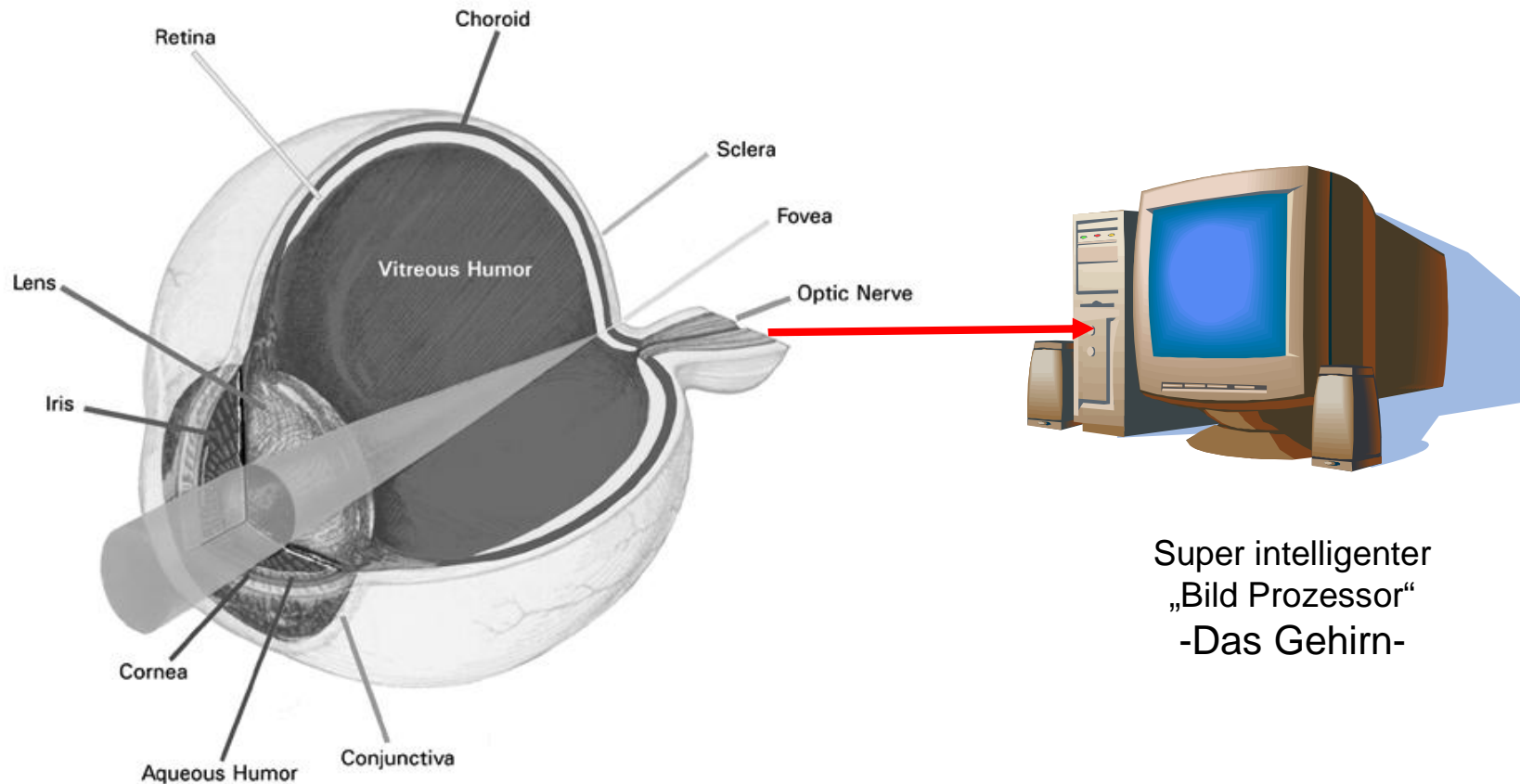
optischer Aufbau

	Reflektiv	Refraktiv	Catadioptric
Flexibilität bei der Korrektur der Optik	sehr groß	groß	sehr groß
Bauraumbedarf	groß	mittel...klein	mittel...klein
Chromatische Bildfehler	keine	problematisch	beherrschbar
Aufwand	mittel	sehr groß	groß
Rückreflexverhalten bei externem Lichteinfall	günstig	problematisch	beherrschbar
Gewicht	mittel	groß	mittel

Designbeispiel Head-Up-Display

- Anforderungen des menschlichen Sehapparates

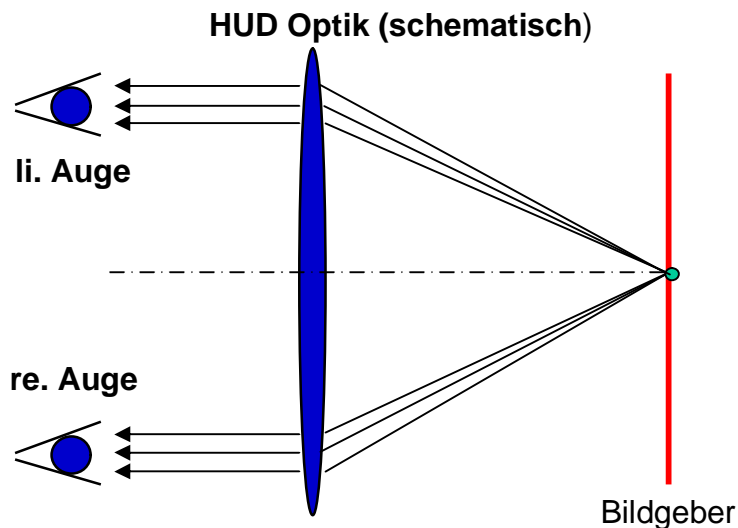
Das System "Auge"



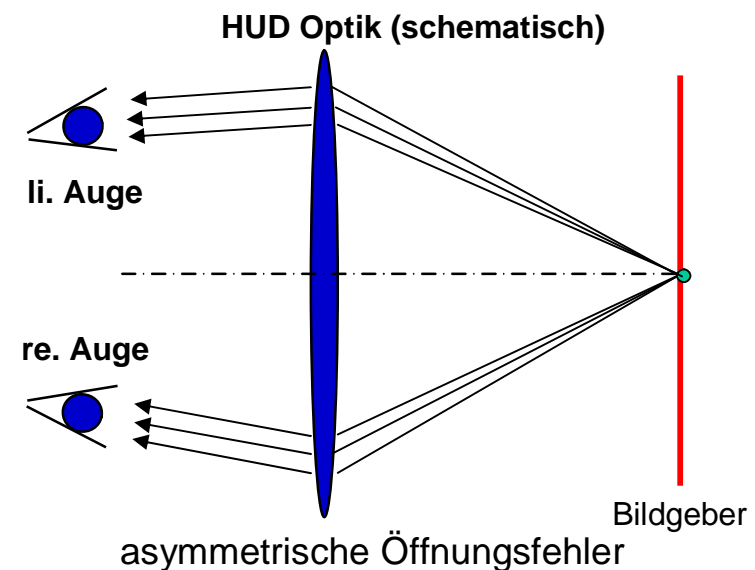
Designbeispiel Head-Up-Display

- Anforderungen des menschlichen Sehapparates

Ideale biokulare Optik



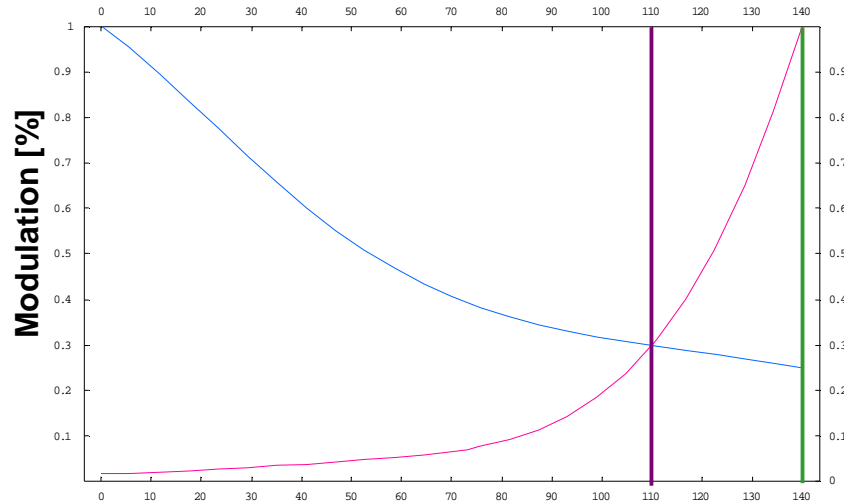
Reale biokulare Optik



- ∅ Eine HUD Optik weist eine große Apertur auf, in der sich 2 kleine Pupillen (Augen) bewegen:
 - Optimierung für biokulares Sehen
 - Minimierung von statischen und dynamischen Abbildungsfehlern in der Eyebow
 - Optimierung von Auflösung und Kontrast
- ∅ Das virtuelle Bild muß ermüdungsfrei betrachtet werden können
- ∅ Der Betrachter muß ein „angenehmes Sehgefühl“ haben

Designbeispiel Head-Up-Display

- Anforderungen des menschlichen Sehapparates: **Auflösung**



- theoret. Auflösungsgrenze eines idealen Auges
- aberrationsbegrenzte Auflösungsgrenze des realen Auges
- **Aerial Image Modulation:** Modulationsanforderungen des realen Auges im Bereich der Fovea (4mm Pupille)
- MTF des Auges

Auflösungsvermögen des Auges im Bereich der Fovea [lp/mm]

Mouroullis/Visual Instrumentation/McGrawHill

Brennweite des Auges

$$f_{\text{Auge}} \approx 17.3\text{mm}$$

Auflösung im Bereich der Fovea

$$\text{Res}_{\text{Fovea}} \approx 110 \frac{\text{lp}}{\text{mm}}$$

Auflösung im Augennahpunkt

$$\text{Res}_{254\text{mm}} = \frac{f_{\text{Auge}}}{\text{Bildweite}} * \text{Res}_{\text{Fovea}} \approx 7.5 \frac{\text{lp}}{\text{mm}}$$

Auflösung bei 2000mm Betrachtungsabstand

$$\text{Res}_{2000\text{mm}} \approx 1 \frac{\text{lp}}{\text{mm}}$$

Designbeispiel Head-Up-Display

- Anforderungen des menschlichen Sehapparates: **Bildparameter**

Physiologisch wichtige Bildparameter

			Grenzwerte nach Gold and Hyman <i>(Visual Instrumentation/McGrawHill)</i>	Grenzwerte nach Peli <i>(Visual Instrumentation/McGrawHill)</i>
Vertikale Bildlagendifferenz (linkes/rechtes Auge)		mrad	1	7.5
Konvergenz Fehler (linkes/rechtes Auge)		mrad	2.5	10
Divergenz Fehler (linkes/rechtes Auge)		mrad	1	10
Vergrößerungs Differenz (linkes/rechtes Auge)		%	n/a	1
Bild Rotation (linkes/rechtes Auge)			zu minimieren	6
Fokus Differenz (linkes/rechtes Auge)			derzeit nicht eindeutig spezifizierbar, muß auf jeden Fall kleiner 0.25 dpt. sein	

Designbeispiel Head-Up-Display

- Anforderungen des menschlichen Sehapparates: **Bildparameter**

„Kosmetische“ Bildparameter

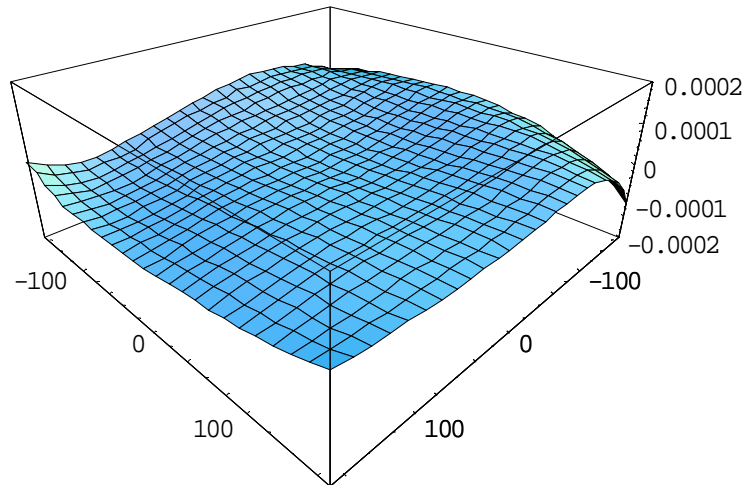
Parameter	Example	Unit	Require d Value	Remark
X-Distortion (80% area)		%	2	Measured over 80% of the inner image area in the optical axle
X-Distortion (20% area)		%	3	Measured over 20% of the frame around the inner image area in the optical axle
Y-Distortion (80% area)		%	2	Measured over 80% of the inner image area in the optical axle
Y-Distortion (20% area)		%	3	Measured over 20% of the frame around the inner image area in the optical axle
Smile (80% area)		%	0,3	Measured over 80% of the inner image area in the optical axle
Smile (20% area)		%	0,8	Measured over 20% of the frame around the inner image area in the optical axle
X Rotation		"	0,5	Measurement has to be defined in the Test Specification HUD
Y-Magnification variation		%	7	Measurement has to be defined in the Test Specification HUD
X-Magnification variation		%	10	Measurement has to be defined in the Test Specification HUD
Focus variation incl. Astigmatismus (80% area)		mm	+/- 50	Measured over 80% of the inner image area in the optical axle
Focus variation incl. Astigmatismus (20% area)		mm	+/- 80	Measured over 20% of the frame around the inner image area in the optical axle

- eine polynomiale Darstellung der Freiformflächen (Scheibe und Spiegel) in der folgenden Form hat sich bewährt

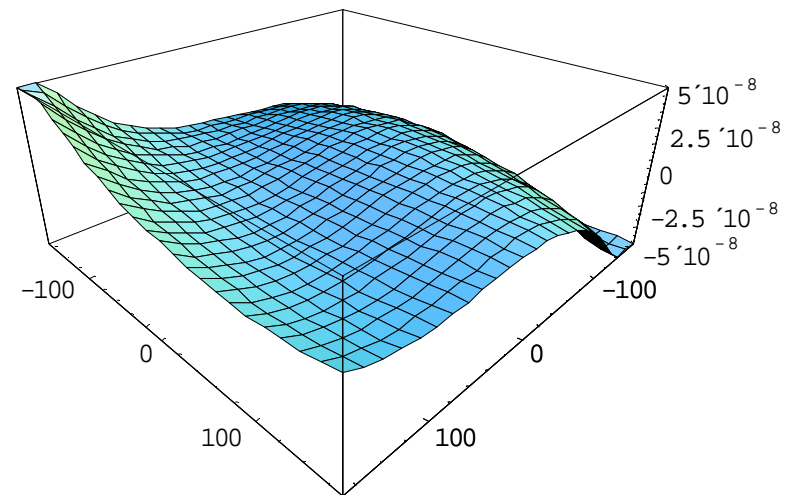
$$\begin{aligned} z(x, y) = & \frac{c \cdot (x^2 + y)}{1 + \sqrt{1 - (1+k) \cdot c^2 \cdot (x^2 + y)}} \\ & + p1 \cdot x + p2 \cdot y \\ & + p3 \cdot x^2 + p4 \cdot x \cdot y + p5 \cdot y^2 \\ & + p6 \cdot x^3 + p7 \cdot x^2 \cdot y + p8 \cdot x \cdot y^2 + p9 \cdot y^3 \\ & + p10 \cdot x^4 + p11 \cdot x^3 \cdot y + p12 \cdot x^2 \cdot y^2 + p13 \cdot x \cdot y^3 + p14 \cdot y^4 \\ & + p15 \cdot x^5 + p16 \cdot x^4 \cdot y + p17 \cdot x^3 \cdot y^2 + p18 \cdot x^2 \cdot y^3 + p19 \cdot x \cdot y^4 + p20 \cdot y^5 \\ & + p21 \cdot x^6 + p22 \cdot x^5 \cdot y + p23 \cdot x^4 \cdot y^2 + p24 \cdot x^3 \cdot y^3 + p25 \cdot x^2 \cdot y^4 + p26 \cdot x \cdot y^5 + p27 \cdot y^6 \end{aligned}$$

- Sorgfalt ist bei der Festlegung des Polynomgrades wichtig, wählt man ihn zu groß, neigen die Flächen zum „Schwingen“
- diese Art der Darstellung ist in Optik-Design Software leicht zu handhaben
- sie erlaubt eine weitreichende „Formenvielfalt“/Deformation der Spiegel und somit einen hohen Grad an Kompensationswirkung

- darüberhinaus wird eine Analyse gegebener Freiformflächen, wie z.B. der Windschutzscheibe, wesentlich erleichtert

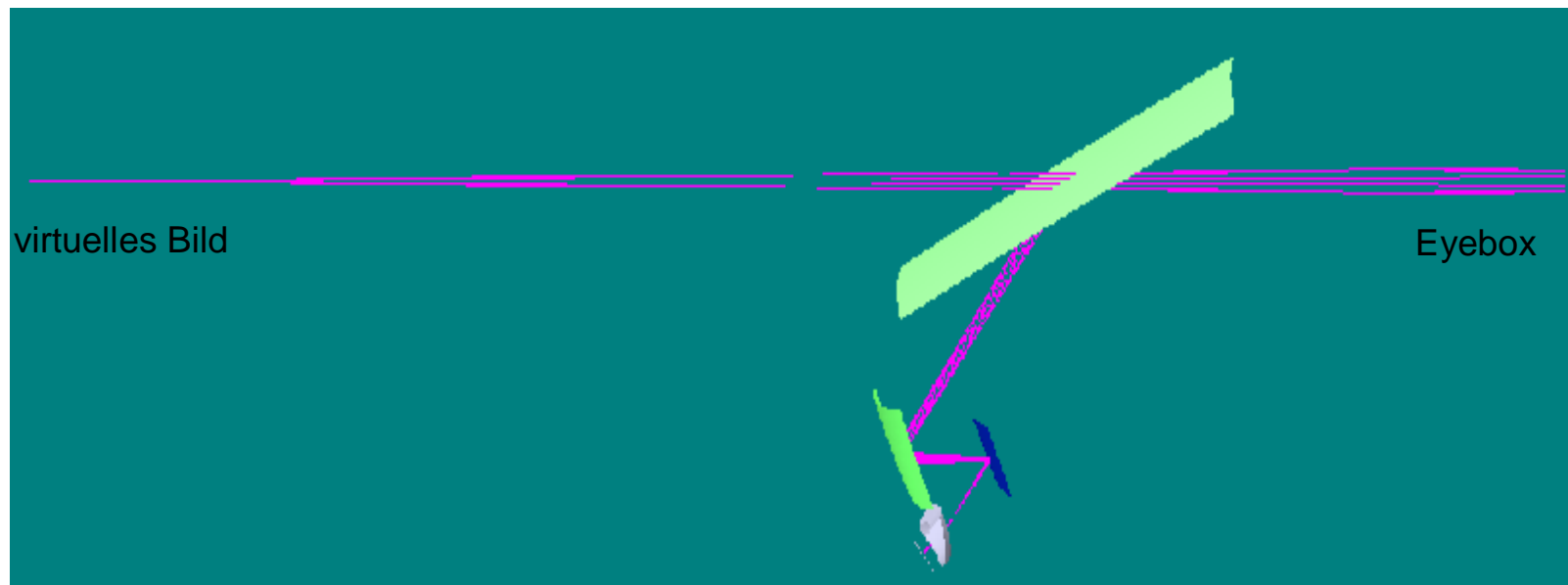


Krümmungsverlauf einer typ. Windschutzscheibe im benutzten Bereich



Krümmungsänderung einer typ. Windschutzscheibe im benutzten Bereich

- zur Berechnung der optischen Komponenten wird bei Viaoptic ZEMAX EE im sequentiellen Modus für die Abbildungsoptik und im non-sequentiellen Modus für die Streulichtanalyse eingesetzt
- die Systemoptimierung erfolgt ausgehend vom virtuellen Bild (Reverse Raytracing), was die Optimierung der optischen Performance in der gesamten Eyebox wesentlich erleichtert
- Startpunkt für die Optimierung ist eine Einfallswinkel-minimierte Spiegelanordnung, die immer die beste Abbildungsqualität im jeweiligen Bauraum erreicht

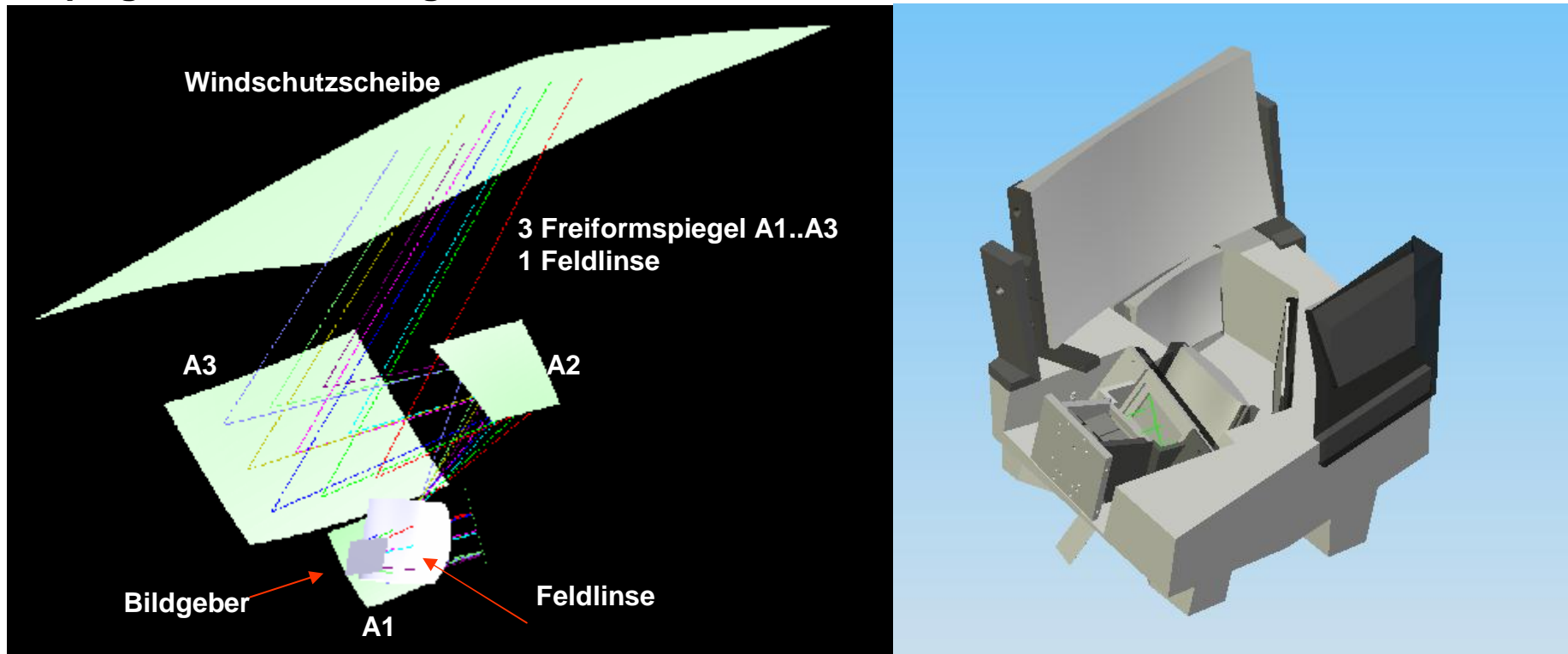


Designbeispiel Head-Up-Display

- Optik-Desing: **Realisierung**

- eine Optimierung ausgehend vom Bildgeber, führt in ZEMAX zu Problemen mit der Berechnung der für die Abbildungsleistung wichtigen Eintrittspupille(=Augenpupille), da diese nun im optischen System nach den zu optimierenden Spiegeln liegt
- nachteilig bei "Reverse Raytracing,,: berechnete Abbildungsfehler auf dem TFT müssen auf das virtuelle Bild umgerechnet werden, was beherrscht ist (siehe: *Korsch, Reflective Optics*)

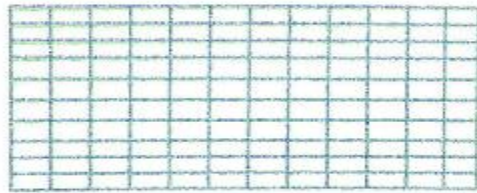
3-Spiegel-1-Linsen Design



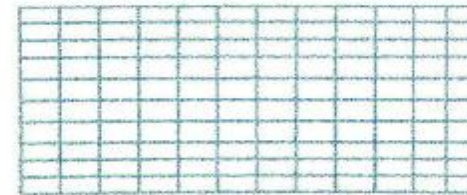
Designbeispiel Head-Up-Display

- Optik-Desing: **Realisierung**

Øerreichte Bildperformance innerhalb der Eyebox

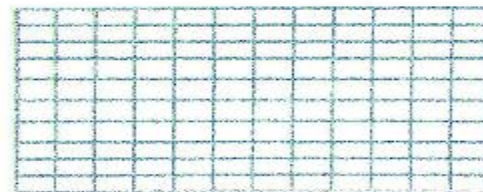


oben links

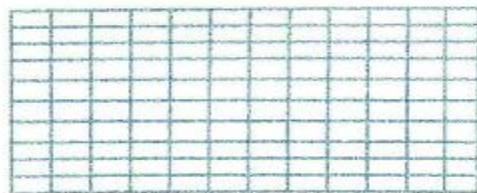


oben rechts

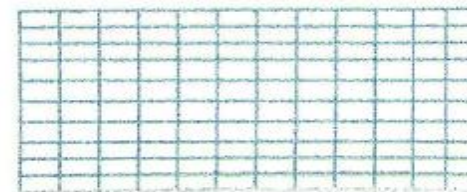
blau = linkes Auge
grün = rechtes Auge



mitte Eyebox



unten links

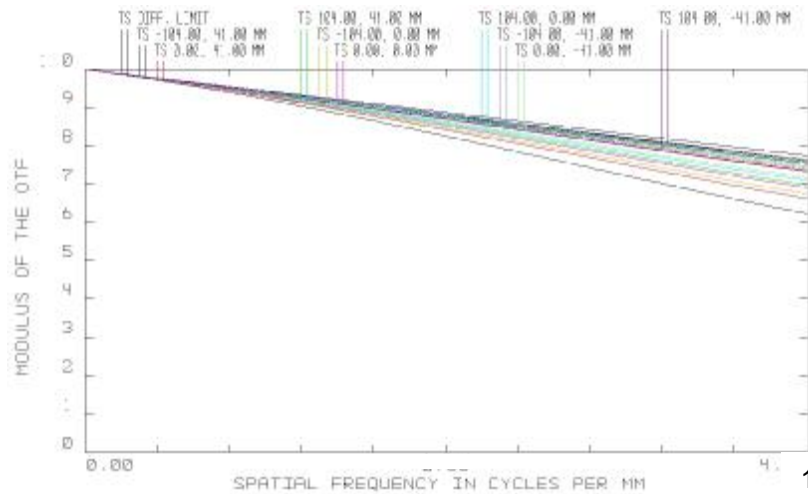


unten rechts

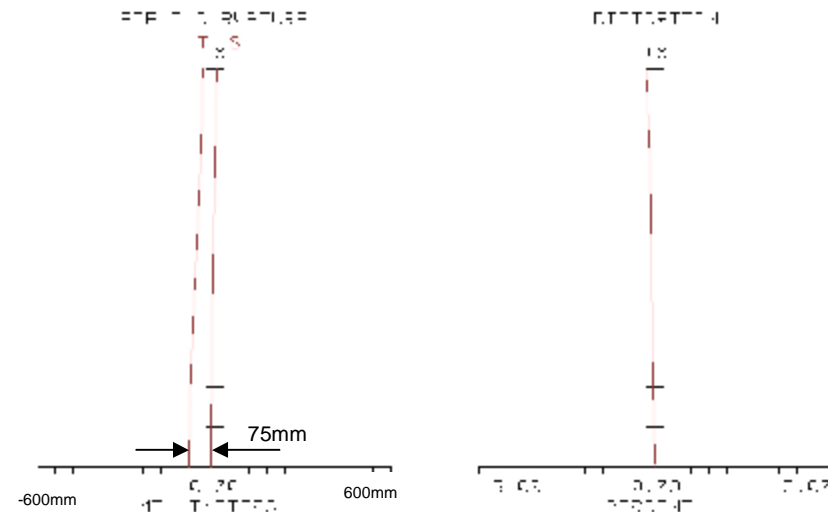
Designbeispiel Head-Up-Display

- Optik-Desing: Realisierung

Øerreichte Bildperformance innerhalb der Eyebox



MTF für HUD Optik
1lp/mm = Augenauflösung










Bildfeldkrümmung/Astigmatismus

Designbeispiel Head-Up-Display

- Optik-Desing: **Realisierung**

Øerreichte Bildperformance innerhalb der Eyebox

		Einheit	Typical spec
X-Distortion		%	1.5
Y-Distortion		%	1
Smile		%	0,1
X Rotation		°	0.1
Y-Magnification variation		%	1
X-Magnification variation		%	1
Focus variation / Astigmatismus		dpt	1/10
Spot size		mm	0.5
Schärfe		Lp/mm	1lp/mm bei 60% Kontrast

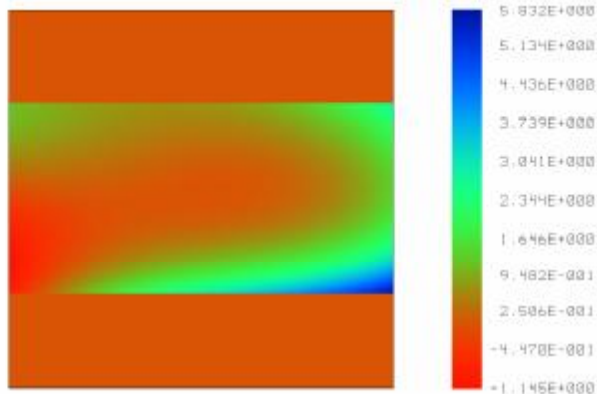
Designbeispiel Head-Up-Display

• Optik-Desing: Realisierung



Auszug einer Spezifikation für HUD Optik :

- Temperaturbereich: $-40^{\circ}\text{C} \dots 105^{\circ}\text{C}$
- max. Feuchte: 95%
- keine/minimalste Wasserabsorption
- Freiformflächen bis 230mm x 100mm
- max. Geometriefehler (21°C): $\pm 5 \dots 8 \mu\text{m}$
- slope error $< 5'$
- Rauheit $< 5 \text{ nm } R_a$
- Spiegel-Beschichtung : $R > 93\%$ zw. 450 und 650 nm
- AR coating (Linsen): $R < 1.5\%$ zw. 450 und 650 nm
- keine Fließlinien, keine n-Inhomogenitäten, keine "Black-spots"
- Linsen "frei" von Eigenspannungen/Spannungsdoppelbrechung
- Material Linsen: z.B. Zeonor 330R
- Material Spiegel: z.B. Topas 6015



SURFACE SAG MAP

LENS_HFS_NO_TITLE.
TUE OCT 16 2007
SURFACE 20: LENS_SURF_1
UNITS ARE MILLIMETERS.

WIDTH = 60. DECENTER X = 0, Y = -1 MILLIMETERS

V15_MOD_FELOLINES.ZMX
CONFIGURATION 1 OF 1

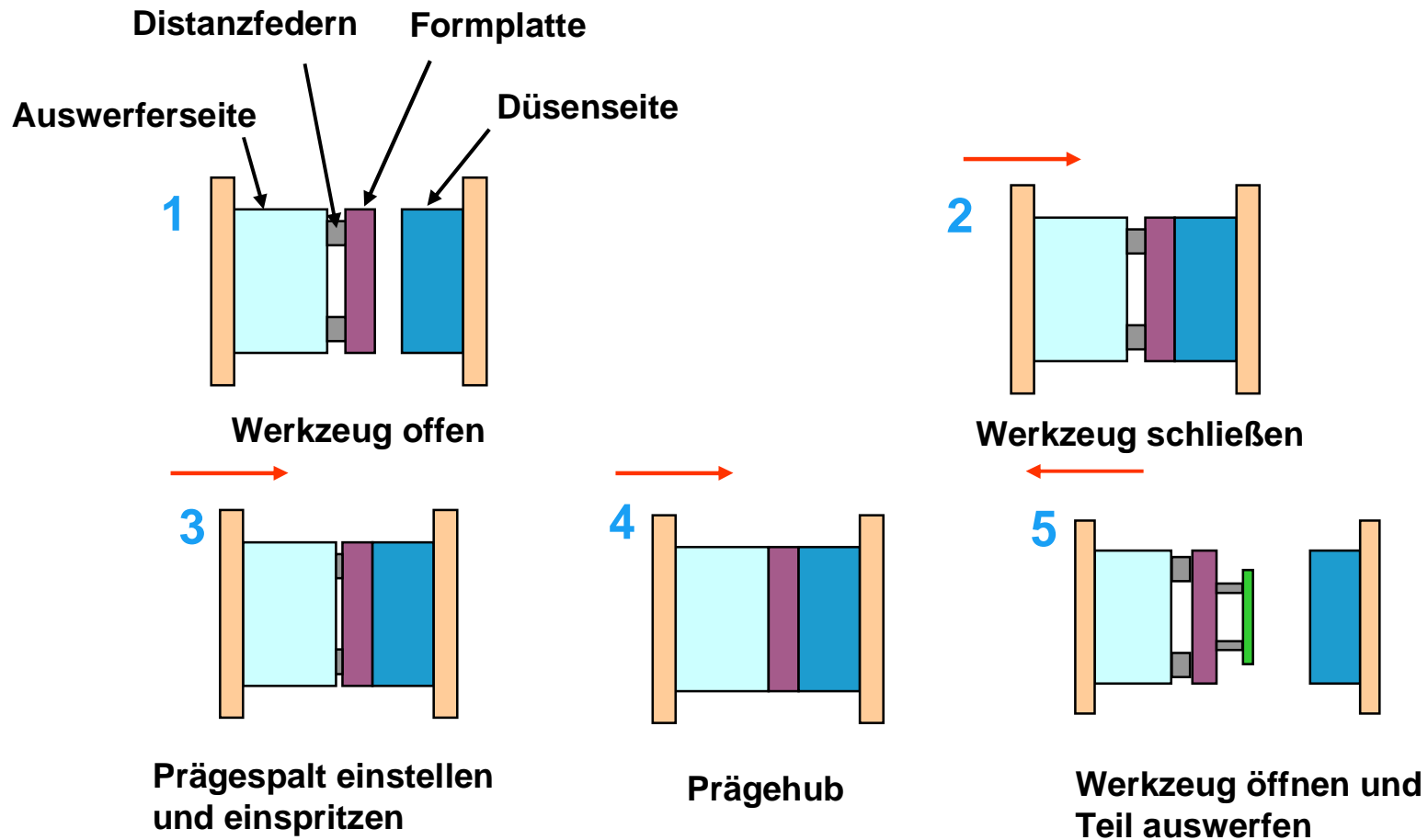
Anspruchsvolle Kunststoff - Optik

Einleitung

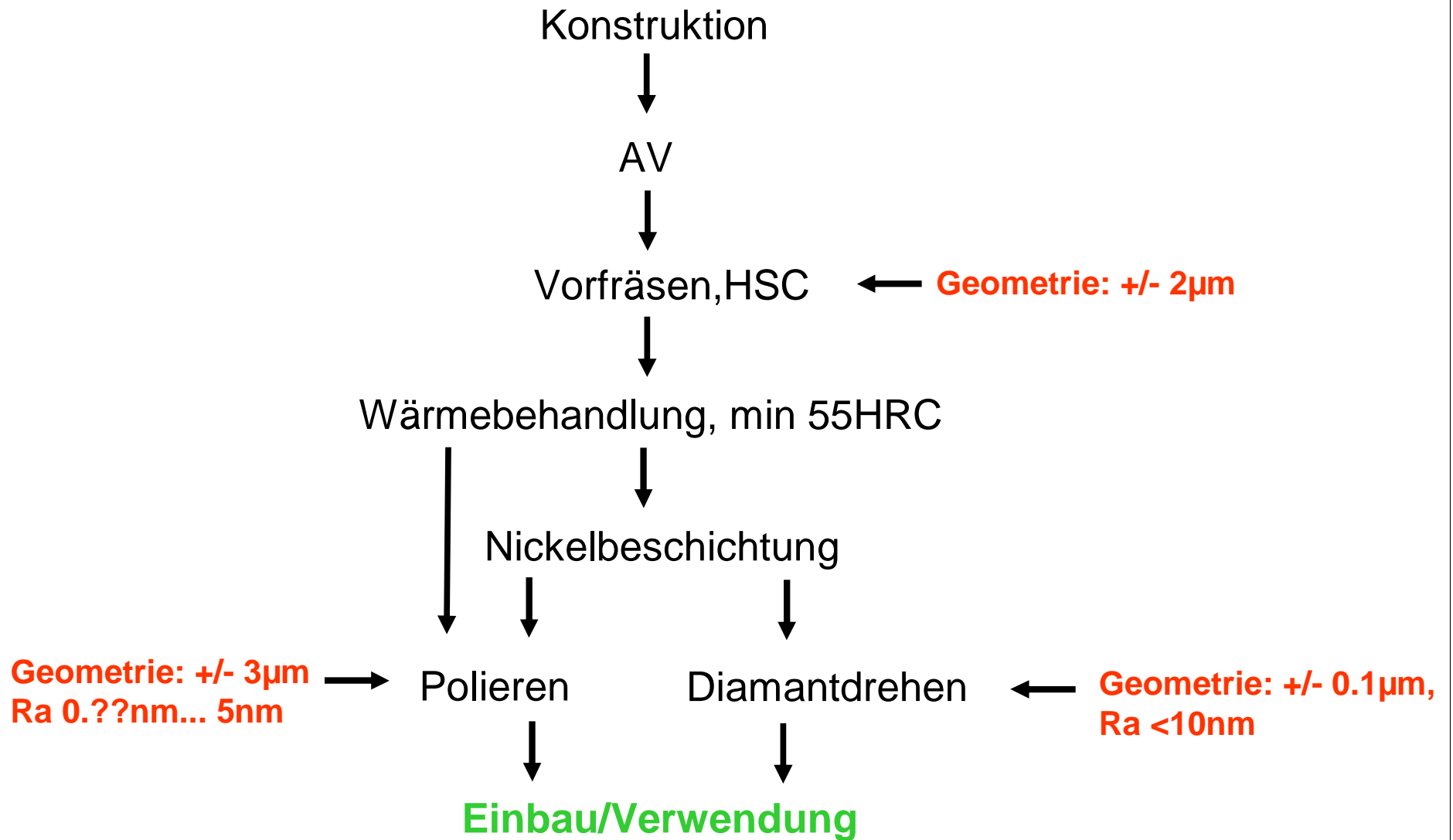
Designbeispiel Head Up Display:

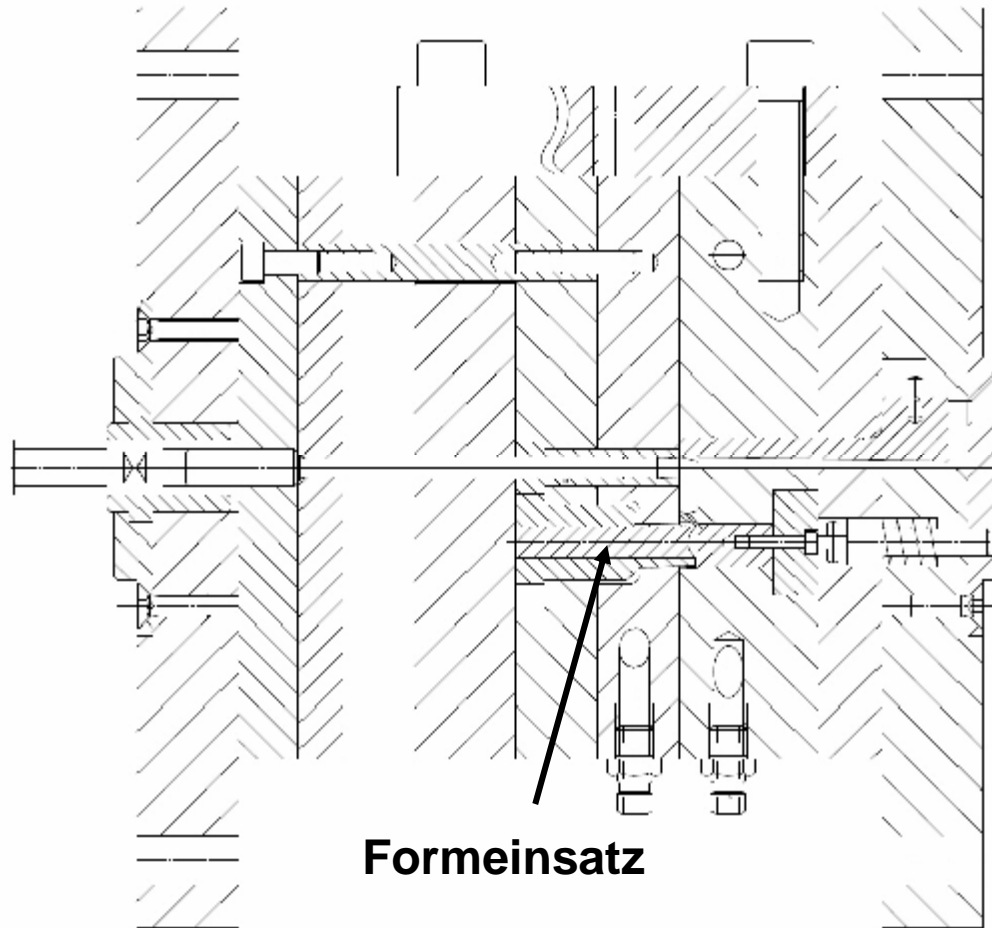
**Fertigungstechnik: Abformung und
Werkzeugtechnik**

Zusammenfassung



- Ø höchste Formgenauigkeit, geringste Eigenspannungen
- Ø erfordert sehr präzise schließende Spritzmaschinen
- Ø liefert reproduzierbare Ergebnisse



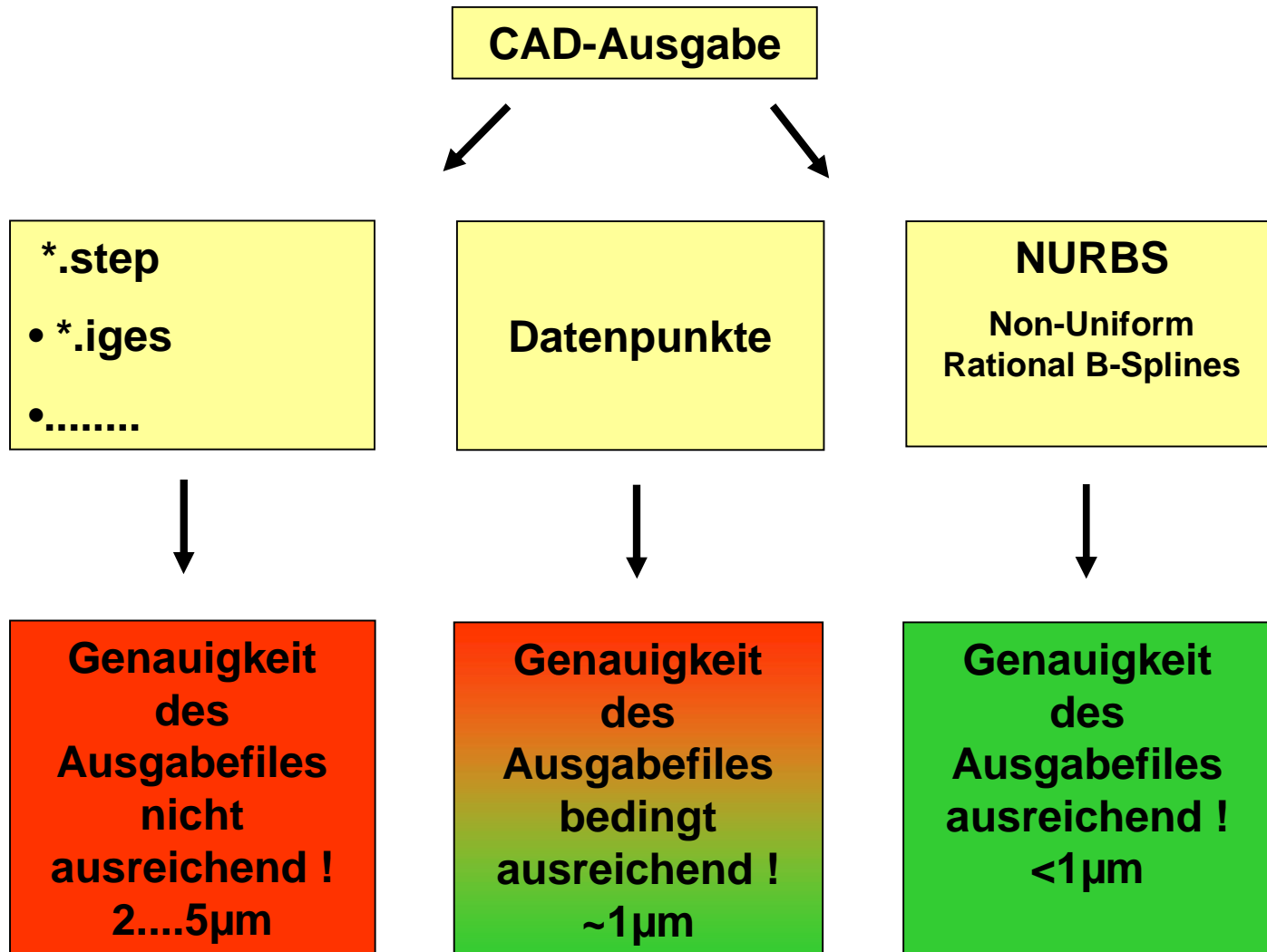


Formeinsatz



- | | |
|--------------------------|--|
| Typ. Durchmesser: | (1) 2....100mm |
| Form | : asphärisch
sphärisch
Freiform |
| Material | : Stahl +Nickel |
| Formfehler | : <0.5µm |
| Rauigkeit | : < 20nm Ra |





Zerspanung mit geometrisch bestimmter Schneide:

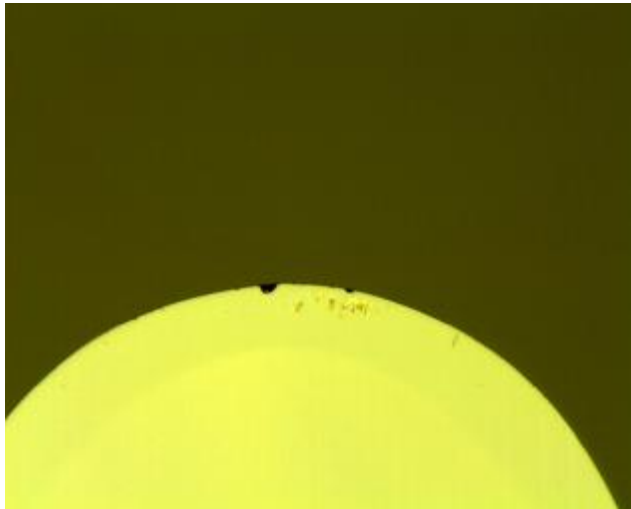
- CBN
- PKD Diamant
- monokristallines SiC
- CVD Diamant
- Naturdiamant



zunehmende Qualität

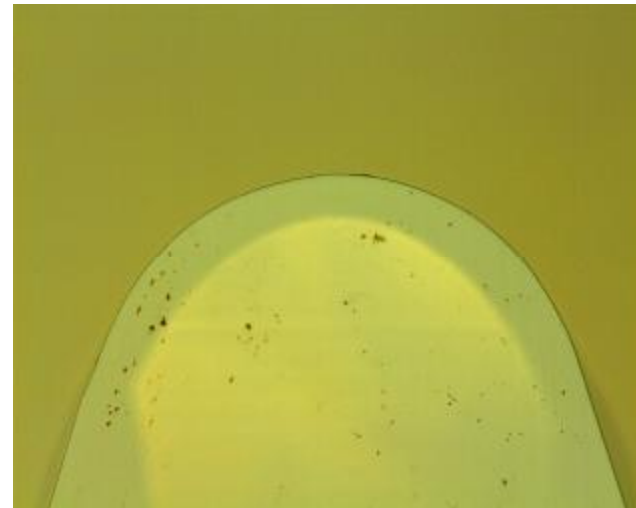
Wichtig:

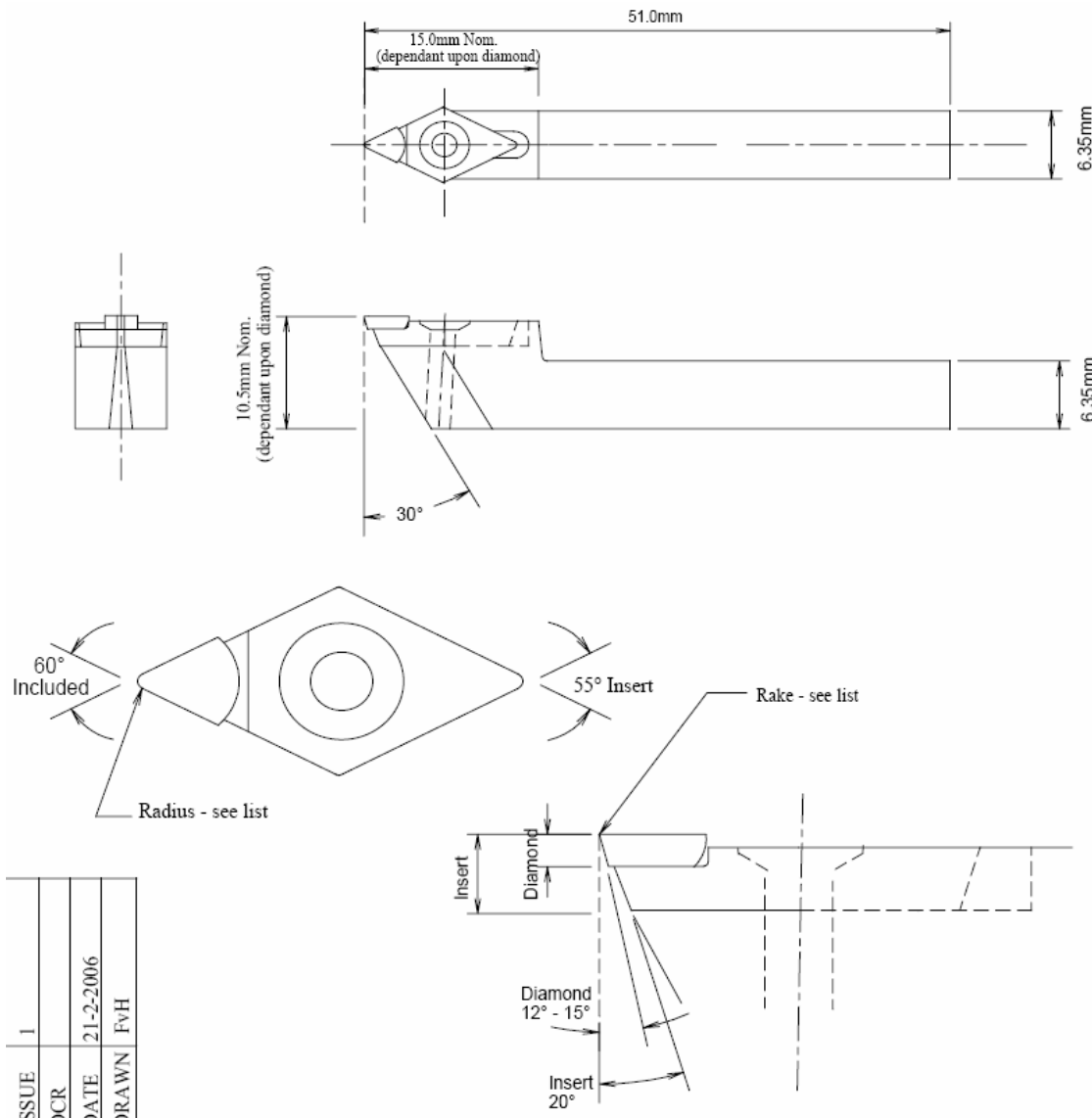
Werkzeugfinisch



+

definierte Werkzeuggeometrie

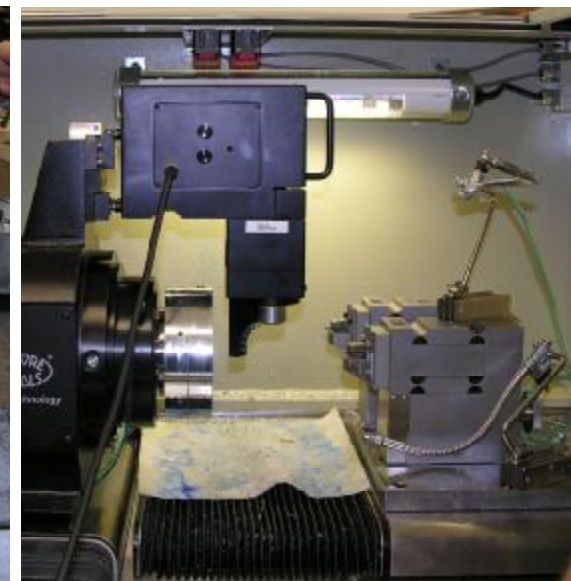
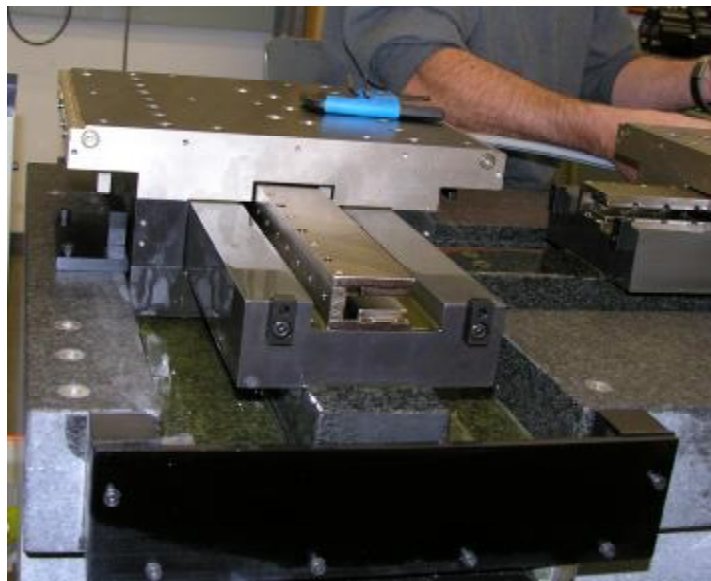




- Schneidenradius
- Keilwinkel
- Spanflächenwinkel
- Freiwinkel
- Formfehler
- Spanflächenfinish
- Schneidenfinish
- Schneid-Kantenschärfe

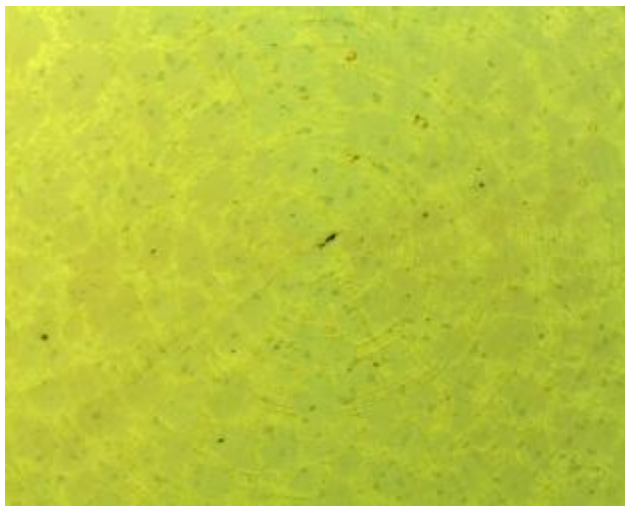
Maschinentechnik:

- Stabilität (termisch+mechanisch) + Dämpfung
- Präzision
- Bedienbarkeit: Programmierung etc....
- integrierte Meßsysteme für Tools und Bauteil
- "Slow-Servo" Funktionalität

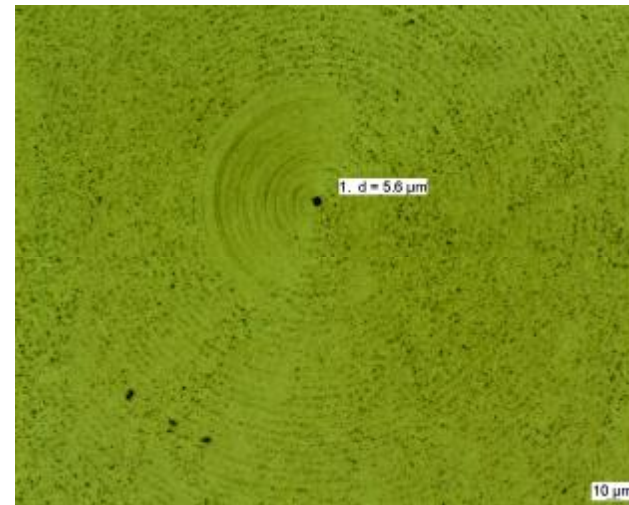


Zerspant werden überwiegend Nicht-Karbid-Bildner:

- Aluminium
- Nickel (überwiegend als Schicht auf Stahleinsatz)
- Neusilber
- Bronze
- Großer Wunsch: direkte Zerspanung von Stahl, dies spart die Nickelschicht



Materialkorngrenzen



Verunreinigungen, z.B. Carbide

Mikrozerspanung mit definierter Schneide ist derzeit das Verfahren der Wahl zur Herstellung hochpräziser Formwerkzeuge ohne Politur

Ein optimales Ergebnis erfordert z.B.:

- optimale Justage des Werkzeugs in Höhe und Lage zur Drehachse, z.B. durch integrierten Interferometer
- integrierte Bauteilmeßtechnik, z.B. zur Korrektur von Radienfehlern des Diamanten
- optimal gewählte Bearbeitungsparameter, z.B. Vorschub, Drehzahl
- geeigneter Schneidenradius
- höchste Qualität der Schneidkante
-

Defizite gibt es aus unserer Sicht derzeit im Wesentlichen in:

- der Bedienbarkeit der Maschinen
- der eingeschränkten WZ-Materialwahl (diamantbedingt)
- der eingeschränkten Werkzeuggeometrie (bedingt durch das Diamantgitter)
- Bestimmung der Schneidkantenschärfe/Werkzeugverschleiß

Anspruchsvolle Kunststoff - Optik

Einleitung

Designbeispiel Head Up Display:

Fertigungstechnik: Abformung und
Werkzeugtechnik

Zusammenfassung

HUD-Design

- ∅ Optik Design komplexer HUD-Systeme ist beherrscht
- ∅ HUD müssen hinsichtlich Kosten, Bauraum und Performance optimiert werden
- ∅ die verfügbare Displaytechnologie ist für HUD entscheidend

Präzisions-Kunststoffoptik und deren Herstellung

- ∅ Weiterentwicklung verfügbarer Kunststoffe
- ∅ Weiterentwicklung von Formenbaumaterialien
- ∅ Optimierung der WZ-Maschinenteknik
- ∅ Metrologie muß in Bedienung vereinfacht werden