

Design und Demonstrationsaufbau eines optischen Systems mit Freiformfläche

Britta Satzer, Beate Mitschunas, Sebastian Stoebenau, Stefan Sinzinger

Fachgebiet Technische Optik, Institut für Mikro- und Nanotechnologien, Technische Universität Ilmenau

<mailto:stefan.sinzinger@tu-ilmenau.de>

Moderne Fertigungsverfahren bieten Möglichkeiten zur Herstellung beliebiger symmetriefreier Bauteilgeometrien mit optischer Oberflächenqualität. Diese an keine Symmetrie gebundenen Formen eröffnen neue Anwendungsfelder bzw. verbessern die Leistungsfähigkeit traditioneller optischer Anwendungen. Wir präsentieren das Design eines Head-up Displays (HUD) unter Einbeziehung einer Freiformfläche. Paraxiale Vorüberlegungen und Erkenntnisse aus der analytischen Bildfehlertheorie führen zu einem guten Startsystem.

1 Motivation

In dem HUD soll die Abbildung einer Anzeige über ein Spiegelsystem mit Spiegelung an der Windschutzscheibe so erfolgen, dass der Fahrer wie in Abb. 1 dargestellt ein virtuelles Bild vor der Fahrbahn sieht.

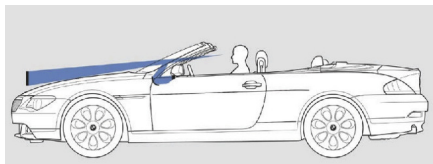


Abb. 1 Schema eines HUD [www.bmw.com]

2 Anforderungen an das Systemdesign

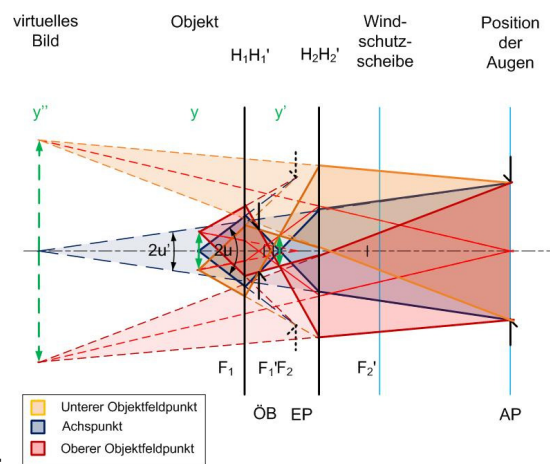
Damit das Auge nicht zwischen Fahrbahn und Anzeige umfokussieren muss, sollte das virtuelle Bild in mindestens 1 m Abstand zum Auge stehen. Der Fahrer soll das gesamte Bildfeld überschauen können. Daher liegt die Austrittspupille des Systems an der Stelle der Augen. Sie muss ausreichend groß sein, da die Position des Kopfes während der Fahrt leicht variiert.

Hierzu ist eine definierte Lage der Austrittspupille notwendig, die nur durch eine reale Öffnungsblende im System erreicht wird. Die vergrößerte Abbildung soll besser sein, als das menschliche Auge auflösen kann.

Zudem sind bereits bei der Simulation die fertigungsbedingt begrenzte Größe der Spiegelflächen, sowie der Bauraum im Auto zu beachten

3 Startsystem

In Abb. 2 ist im paraxialen Strahlenmodell die Abbildung an zwei aufgespaltenen Spiegelflächen dargestellt. Es ist daraus zu erkennen, dass der Durchmesser der Spiegelebene H_2H_2' durch die gewünschten Größen von Bild und Austrittspupille, festgelegt ist. Das paraxiale Modell zeigt, dass die zweifache Abbildung notwendig ist, um eine reale Blende einfügen zu können.



4

Abb. 2 Modell des paraxialen Strahlenverlaufes am brechenden System (aufgespaltenen Spiegelflächen)

Eine Abbildung an sphärischen Spiegeln ist durch die Faltung des Strahlenganges wie in Abb. 3 simuliert, stark verzerrt. Dies soll durch die Form der Spiegel ausgeglichen werden.

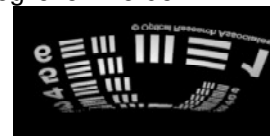


Abb. 2 Simulation der Verzerrung bei der Abbildung an verkippten sphärischen Spiegeln

In der Simulation verläuft der Lichtweg entgegen der Realität von Bild zu Objekt.

In Abb. 4 ist das Startsystem dargestellt, welches sich nach zahlreichen Simulationen verschiedener Systeme als geeignet erwiesen hat. Dort sind ein Paraboloid und ein Ellipsoid so angeordnet, dass ein Brennpunkt des Ellipsoids im Brennpunkt des Paraboloids liegt. Dadurch wird ein aus dem Unendlichen kommender Strahl zunächst in den Brennpunkt des Parabolspiegels abbildet und von dort weiter in den zweiten Brennpunkt des Ellipsoids. Das Startsystem liefert somit eine ideale Abbildung des Achspunktes in einem gefalteten Spiegelsystem.

In einer Bildsimulation (Abb. 3 rechts) ist jedoch zu sehen, dass das Bild für die Abbildung des Feldes noch sehr unscharf ist. Die Verzerrung ist dagegen deutlich geringer als im System mit sphärischen Spiegeln, wie in Abb. 2.

5 Optimierung

Dieses Startsystem wird nun für die Abbildung eines Feldes optimiert, indem der Ellipsoid durch eine Freiformfläche ersetzt wird. Der Durchmesser des Strahlenbündels ist mit ca. 5 cm klein genug, um die Freiformfläche mittels Ultrapräzisionsfräsen mit einem vertretbaren Zeitaufwand von 60 h und einer maximalen Abweichung zur Simulation von 200 nm zu fertigen. Der Off-Axis-Parabolspiegel ist ein Zukaufteil.

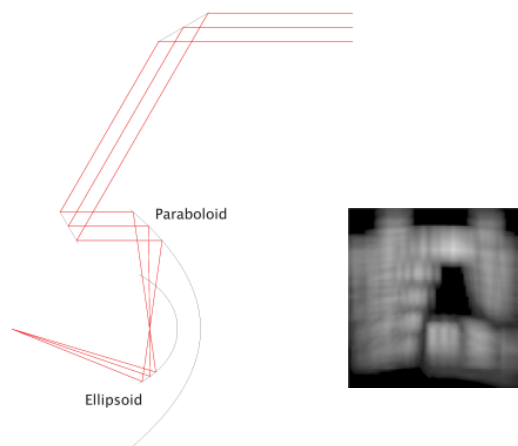


Abb. 3 links: Startsystem, rechts: Bildsimulation des Startsystems

Im Vergleich zu verschiedenen Beschreibungsformen der Freiformfläche (z.B. XY-Polynom oder B-Spline), erwies sich die Beschreibung durch ein Zernikepolynom als am günstigsten. Hiermit wurde in einer Optimierung ein System mit sowohl einer scharfen Abbildung als auch einer für ein HUD vertretbaren Verzerrung zu erreichen. (Abb.5)

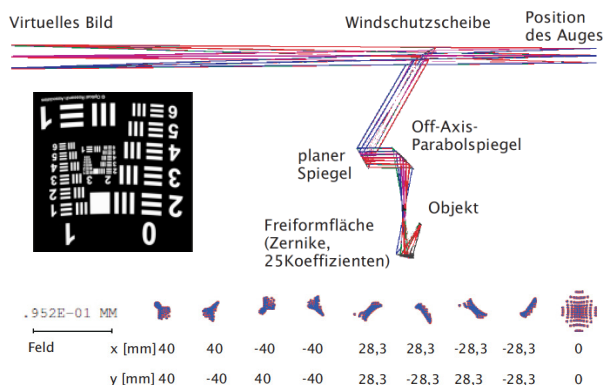


Abb. 4 Simulation: oben links: Abbildung, oben rechts: Ansicht, unten: Spotdiagramm

Zur Bewertung der Abbildungsqualität wurde die Spotgröße gewählt. Eine Beschreibung der Fläche mit 25 Polynomkoeffizienten erwies sich dabei als

zweckmäßig, da ein mit einer solchen Fläche optimiertes System nur halb so große Spotdurchmesser hatte, wie das gleiche System bei Verwendung einer Freiformfläche mit nur 16 Zernikekoeffizienten. Eine weitere Erhöhung der Zahl der Zernikekoeffizienten brachte jedoch keine nennenswerte Verbesserung.

Das so optimierte System und sein Spotdiagramm sind in Abb. 4 zu sehen

6 Der Demonstratoraufbau

Das simulierte HUD aus Abb. 4 wurde als Demonstrator hergestellt. Die Freiformfläche wurde durch Ultrapräzisionsfräsen (siehe Abb. 6) im ZMN gefertigt. Die Übergabe der Designdaten zwischen Optiksoftware und CAD/CAM-System erfolgte über das IGES Format.

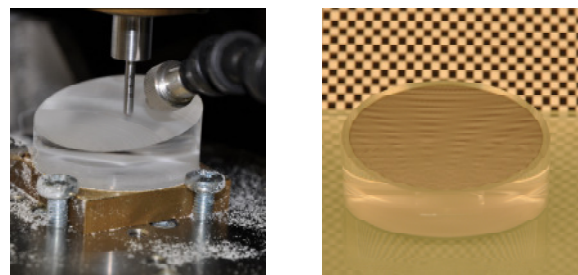


Abb. 6 links: Fräsen der Freiformfläche mit monokristallinen Diamantwerkzeugen, rechts: Freiformfläche

In Abb. 7 sind die Ergebnisse des Demonstrators abgebildet. Er löst Strukturen bis 0,069 mm auf. In Abb. 7 links ist die Verzerrung bei der Abbildung eines rechtwinkligen Gitters zu sehen. Das rote bzw. schwarze Viereck im Zentrum des Bildes kennzeichnet dabei den Bereich des Feldes, für den das System optimiert wurde. Damit stimmen die Ergebnisse von Simulation und Demonstrator gut überein.

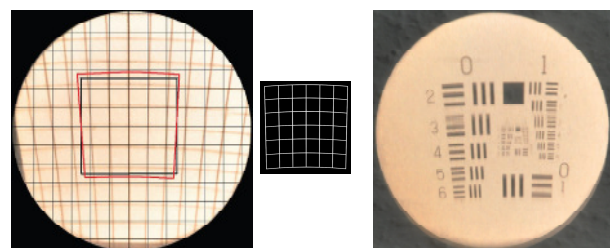


Abb. 7 links: Abbildung (braun) eines rechtwinkligen Gitters; mitte: Simulation; rechts: Abbildung eines Testmusters, Auflösung bis 0,069 mm

Literatur

- [1] B.Satzer, Diplomarbeit „Optische Simulation zum „Head-up-Display“ mit Freiformflächen und Demonstratoraufbau“ TU Ilmenau (2010)