

Double Tailoring eines Head-Up-Displays mit Korrektur der als Combiner verwendeten Windschutzscheibe

Julia Unterhinninghofen, Stefan Kaiser, Angelika Hofmann, Harald Ries

OEC AG, Lindwurmstr. 41, D-80337 München

<mailto:unterhinninghofen@oec.net>

Durch das simultane Maßschneidern von zwei Optikflächen („double tailoring“) kann z.B. die sphärische Aberration korrigiert und eine weitere Bedingung wie die Abbesche Sinusbedingung erfüllt werden. Wir setzen diese Methode zur Berechnung eines Head-Up-Displays ein, wobei die Form der als Combiner verwendeten Windschutzscheibe im Design berücksichtigt wird.

1 Maßschneidern (Tailoring)

Maßschneidern, d.h. die Berechnung einer Freiform-Optikfläche als Lösung der nichtlinearen Monge-Ampère-Differentialgleichungen [1], wird in der Beleuchtungsoptik routinemäßig eingesetzt. Dabei wird die Optikfläche so berechnet, dass sich für eine vorgegebene/bestimmte Quelle auf einer gegebenen Zielfläche eine definierte Lichtverteilung ergibt. Die Methode kann jedoch auch verwendet werden, um eine *definierte Richtungsverteilung* (und damit Wellenfront) der Strahlung zu erreichen, und kann so nicht nur für Beleuchtungs-, sondern auch für abbildende Aufgaben wie z.B. die exakte Korrektur von Aberrationen oder die Kompensation von Abbildungsfehlern anderer optischer Elemente, verwendet werden.

2 Double Tailoring

Eine Verallgemeinerung stellt das sogenannte Double Tailoring dar. Hierbei werden zwei Freiformflächen simultan berechnet, so dass nicht nur eine skalare Bedingung wie das Erreichen einer definierten Licht- oder Richtungsverteilung erfüllbar ist, sondern zwei Bedingungen gleichzeitig erfüllt werden können. Damit können die Freiformflächen z.B. so berechnet werden, dass einerseits eine definierte Bestrahlungsstärkeverteilung erreicht wird, zusätzlich dazu aber auch eine gegebene Richtungsverteilung der Strahlung erreicht wird. Dies kann z.B. verwendet werden, um einzukoppelnde Strahlung auf eine Fasermode anzupassen [2], aber auch zur Strahlformung („beam shaping“) bei Lasern [3].

Auch das Double Tailoring lässt sich in der abbildenden Optik einsetzen, wobei hier dann neben der Kompensation einer Aberration oder einer optischen Komponente eine weitere skalare Bedingung erfüllt werden kann – z.B. um weitere Abbildungsfehler zu kompensieren [4].

3 Beispielsystem: HUD mit Windschutzscheibe als Combiner

Als Anwendungsbeispiel betrachten wir ein Head-Up-Display (HUD), bei dem (wie für Automobil-HUDs üblich) das erzeugte Bild direkt auf die Windschutzscheibe und nicht auf einen durchsichtigen Schirm („Combiner“) davor projiziert wird. Die gegebene Form der Windschutzscheibe wird dabei im Design berücksichtigt, d.h. die beiden Freiformflächen werden simultan so maßgeschneidert, dass die Wellenfrontänderung durch die Windschutzscheibe kompensiert wird.

Da bei HUD-Systemen insbesondere die Unterschiede zwischen den Bildern des linken und rechten Auges sowie die Verzeichnung minimiert werden sollen, wählen wir die zwei zu erfüllenden Bedingungen beim Double Tailoring so, dass das System für den zentralen Feldpunkt verzeichnungsfrei wird: Wenn sowohl die sphärische Aberration am zentralen Feldpunkt korrigiert als auch die Sinusbedingung erfüllt ist, erhalten wir ein applanatisches System.

Der Aufbau dieses HUD-Beispielsystems ist in Abbildung 1 dargestellt. Es besteht aus dem Bildgeber (LCD-Panel), den beiden simultan maßgeschneiderten Freiformspiegeln sowie der als Combiner verwendeten Windschutzscheibe (Abbildung 1 zeigt einen Teil der eigentlich größeren Windschutzscheibe). Das virtuelle Bild befindet sich etwa 3 m vom Beobachter entfernt; die Augen des Beobachters liegen in einer „eye box“ der Größe 140 mm x 60 mm, wobei die Entfernung zwischen linkem und rechtem Auge 65 mm beträgt.

Für eine komfortable Nutzung des HUDs sind neben der Schärfe des Bildes insbesondere die Verzeichnung und die Dipvergenz/Konvergenz (d.h. die Unterschiede in den Winkeln, unter denen derselbe Feldpunkt vom linken bzw. rechten Auge gesehen wird) entscheidend.

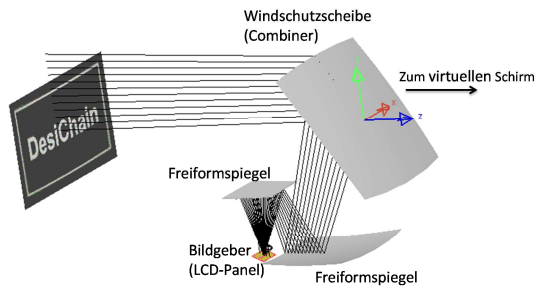


Abbildung 1 – HUD-System mit Bildgeber, simultan maßgeschneiderten Freiformspiegeln und Windschutzscheibe.

Die Bildschärfe lässt sich an Hand der MTF bewerten; bei 50 Linienpaaren pro Grad beträgt diese 70 %, was einer sehr guten nominalen Bildqualität entspricht. Die Verzeichnung ist in Abbildung 2 oben dargestellt. Der zentrale Feldpunkt ist wie erwartet verzeichnungsfrei (dies ist ja gerade eine der Bedingungen, die beim Double Tailoring gefordert wurden), während sich für die äußeren Feldpunkte etwas höhere Werte (maximal 2.5 %) ergeben. Solche Verzeichnungen lassen sich im realen System durch gezielte Verzerrung des zu projizierenden Bildes („image warping“) gut kompensieren.

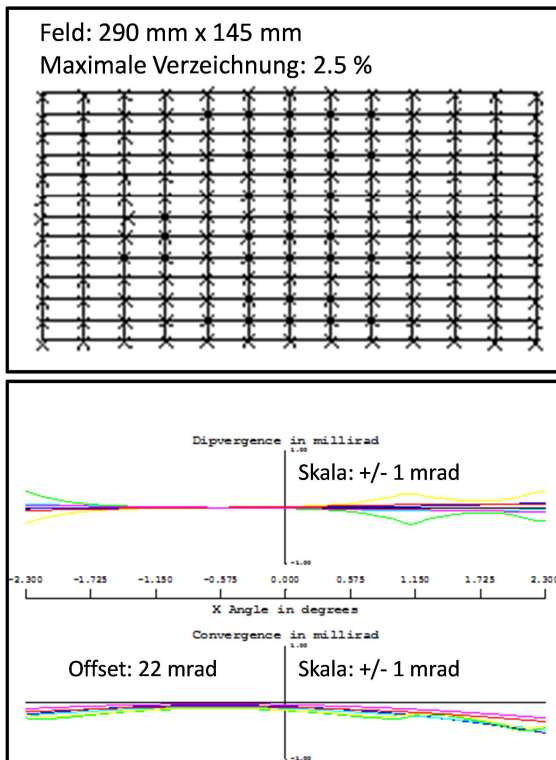


Abbildung 2 – Verzeichnung (oben) und Konvergenz/Dipvergenz (unten) im HUD-System. Die maximale Verzeichnung beträgt 2.5 %, sowohl Konvergenz als auch Dipvergenz liegen unter 0.6 mrad.

Konvergenz und Dipvergenz (vgl. Abbildung 2 unten) liegen beide unter 0.6 mrad, was für HUD-Systeme einen guten Wert darstellt.

4 Toleranzen

Bei Verwendung der Windschutzscheibe als Combiner besteht ein Problem darin, dass diese in der Produktion deutlich größeren Toleranzen unterworfen ist als typische optische Bauteile. Für eine gute Bildqualität sind insbesondere Neigungsabweichungen kritisch, da diese zu kleinräumigen Bildfehlern führen, die nur schwer zu korrigieren sind. Sie sollten daher unter 0.55 mrad für Perioden bis 15 mm liegen. Solche Fehler sind allerdings in der Fertigung für Windschutzscheiben untypisch, dort treten eher großräumige Formabweichungen auf, die sich durch Bildverarbeitung besser kompensieren lassen. Eine Toleranzierung von HUD-Systemen, ähnlich wie sie für Beleuchtungssysteme bereits routinemäßig durchgeführt werden kann [5], ist dennoch notwendig, um die Qualität der Systeme unter realen Bedingungen zu untersuchen.

Zusammenfassung

Das simultane Maßschneiden zweier Freiformflächen (Double tailoring) kann auch für Aufgaben aus der abbildenden Optik verwendet werden. Hier stellen wir ein Head-Up-Display vor, das aus zwei maßgeschneiderten Freiformflächen besteht. Dabei wurde die Double-tailoring-Methode so erweitert, dass eine weitere Fläche (hier die Windschutzscheibe) im Design berücksichtigt werden kann (Double tailoring durch eine Fläche hindurch). Das so berechnete System zeigt nominal eine sehr gute optische Funktion; die Einflüsse von Produktionstoleranzen insbesondere der Windschutzscheibe lassen sich grundsätzlich ebenfalls untersuchen.

Danksagung

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Projekts „DesiChain“ (FKZ 13N10861).

Literatur

- [1] H. Ries, J. Muschaweck, „Tailored freeform optical surfaces“, *J. Opt. Soc. Am A* **19**, 590 (2002)
- [2] H. Ries, R. Jetter, T. Weigel, K. Rickens, „Fertigung von Freiformflächen für das Darwin-Projekt mittels Ultra-Präzisions-Technologie (UPT)“, *Proc. DGaO* (2007)
- [3] H. Ries, „Laser beam shaping by double tailoring“, *Proc. SPIE* **5876**, 587607 (2005)
- [4] A. Hofmann, J. Unterhinninghofen, H. Ries, S. Kaiser, „Double tailoring of freeform surfaces for off-axis aplanatic systems“, *Proc. SPIE* **8550**, 855014 (2012)
- [5] A. Timinger, J. Unterhinninghofen, S. Junginger, A. Hofmann, „Tolerancing free-form optics for illumination“, *Proc. SPIE* **8170**, 8170006 (2011)