
Herausforderungen des optischen Designs für virtuelle und erweiterte Realität

Freiform-Optikdesign-Software und virtuelles Prototyping beschleunigen die Fortschritte bei der Markteinführung von AR- und VR-Headsets

Einführung

Es ist seit Jahren bekannt, dass asphärische und Freiformflächen die Leistungsfähigkeit eines optischen Systems verbessern können - in der Theorie. Doch in den letzten 30 Jahren haben Fortschritte in der optischen Fertigung und Messung asphärische und Freiformflächen von der Theorie zur Realität werden lassen.

Unternehmen der Optikfertigung zeigen, dass diese Optiken zuverlässig hergestellt werden können. Dies ermöglicht eine neue Erzeugung komplexer optischer Oberflächen, die die Technologiebranche revolutionieren und Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) Headsets ermöglichen.

Aufstrebende Technologien: Virtuelle und Erweiterte Realität

Virtual Reality und Augmented Reality werden oft im gleichen Satz genannt, aber diese beiden Technologien befinden sich in unterschiedlichen Entwicklungsstadien. Der Gartner Hype Cycle (siehe Bild 1) zeigt den Unterschied zwischen den beiden Stufen.

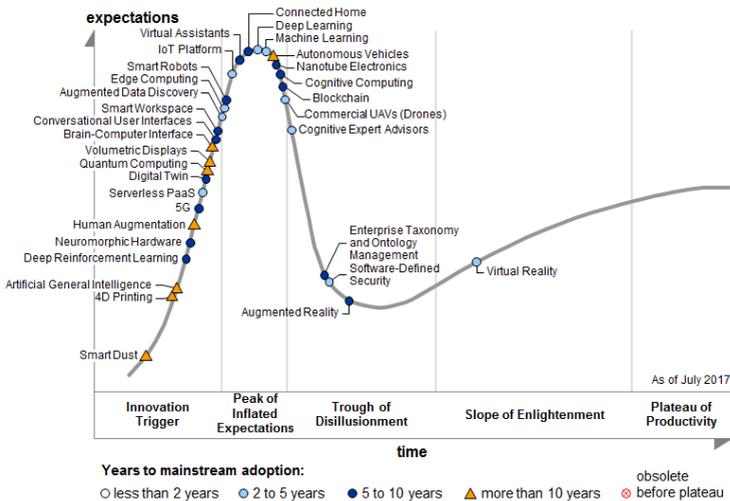


Bild 1. Der Gartner-Hype-Zyklus von August 2017 mit aufstrebenden Technologien von Gartner, Inc.

Laut Gartner ist der "Hype Cycle eine grafische Darstellung eines allgemeinen Musters, das mit jeder neuen Technologie oder anderen Innovation entsteht". Wie in Abb. 1 dargestellt, befindet sich AR in der Phase des Desillusionierungstiefs, während VR aus dem Tief heraus auf dem Weg zur Phase des Produktivitätsplateaus ist. Freiform-Optiken werden sowohl in VR- als auch in AR-Optiken verwendet. Obwohl das Design von Freiform-Optiken eine Herausforderung ist, bietet die AR einige besondere Herausforderungen.

Beispiel: Eine AR-Headset-Konstruktion

Bild 2 zeigt ein Beispiel für den optischen Aufbau eines AR-Headsets. Jedes Auge benötigt zwei Freiform-Prismen; ein vollständiges Headset verwendet vier Prismen. Das Licht vom Mikrodisplay wird über das Prisma A an das Auge weitergeleitet. Licht aus der realen Szene wird durch Prisma B und dann durch Prisma A an das Auge weitergeleitet. Am Auge sieht der Träger des Headsets das Mikrodisplay über die reale Szene gelegt.

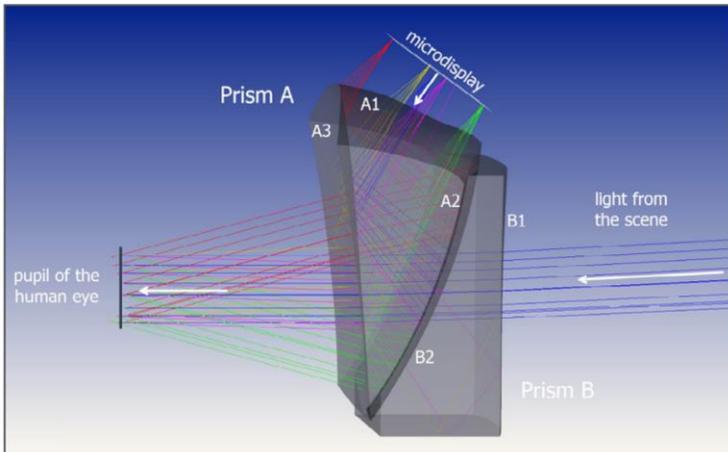


Bild 2. Ein optischer Entwurf für ein AR-Headset in OpticStudio. Das Prisma A hat drei Freiformflächen, die mit A1, A2 und A3 beschriftet sind. Prisma B hat zwei Freiformflächen, die mit B1 und B2 beschriftet sind.

Der Lichtweg durch das Prisma A ist komplex. Das Licht des Mikrodisplays durchdringt zunächst die Oberfläche A1. An der Oberfläche A3 wird der Strahl durch Totalreflexion (TIR) reflektiert und dann von der Oberfläche A2, die teilreflektierend beschichtet ist, reflektiert. Schließlich wird der Strahl des Mikrodisplays durch die Oberfläche A3 zurück zum Auge geleitet.

Der Lichtweg durch das Prisma A ist komplex. Das Licht des Mikrodisplays durchläuft zunächst die Oberfläche A1. An der Oberfläche A3 erfährt der Strahl eine Totalreflexion (TIR) und wird dann von der Oberfläche A2, die teilreflektierend beschichtet ist, reflektiert. Schließlich wird der Strahl des Mikrodisplays durch die Oberfläche A3 zurück zum Auge geleitet.

Die Oberfläche A1 im Prisma A ist normalerweise die komplexeste Freiform, da sie die einzige Oberfläche ist, die die reale Szene nicht beeinflusst. Durch die hohe Asymmetrie in der vertikalen Achse und die kurze Spurbreite reicht diese Freiformfläche nicht aus, um ein qualitativ hochwertiges Bild vom Mikrodisplay an das Auge zu

übertragen. Daher werden in diesem Beispiel, wie bei den meisten AR-Prismendesigns, Freiformflächen auf allen drei Oberflächen des Prismas A verwendet.

Das Prisma B wird benötigt, um einen Strahl ohne Abweichungen von der realen Szene zum Auge zu liefern. Die Oberfläche B2 des Prismas B ist eine Freiformfläche, die der Oberfläche A2 entspricht, sodass die beiden Prismen miteinander verklebt werden können. Die Oberfläche B1 muss eine Freiform sein, um Aberrationen, die durch Prisma A in die Szene eingebracht werden, zu korrigieren und ihre Ausrichtung so zu korrigieren, dass die Szene nicht von ihrer realen Position verschoben erscheint. Die Komplexität dieses optischen Designs ist ein Grund dafür, dass Gartner die AR-Technologie in die Phase der Ernüchterung versetzt.

Design für Headsetgröße und Gewicht

Eine der vorherrschenden Herausforderungen sowohl in der VR- als auch in der AR-Branche ist das Streben nach kleineren und leichteren Headsets.

Durch die Reduzierung von Größe und Gewicht der Headsets wird der Tragekomfort erhöht. Die Optikdesigner streben nach Designs, die extremere Freiformformen verwenden, um dünnere und leichtere Prismen zu erreichen. Die Designer experimentieren auch mit leichteren, höher indizierten Materialien und optischen Komponenten wie holographischen Linsen.

Systemgröße, Volumen und Gewicht können direkt berechnet und bei der Systemoptimierung eines Optikdesigns berücksichtigt werden. Softwarepakete für das optische Design unterstützen jetzt Dutzende von Freiformflächentypen, wie Bikonik, Toroide, Zernike-Polynome und Tschebyscheff-Polynome. Die in Bild 2 gezeigten Prismenflächen wurden mit einer erweiterten Polynom-Durchhanggleichung in Zemax OpticStudio entworfen, die bis zu 230 Terme in x- und y-Polynomen unterstützt.

Polynomkoeffizienten höherer Ordnung sind erforderlich, um Aberrationen zu korrigieren, aber die erhöhte Anzahl optimierbarer

Parameter hat zwei Nachteile: erhöhte Optimierungszeit und Komplexität des Optimierungsparameterraumes. Sequentielles Raytracing in OpticStudio ist bereits sehr rechenintensiv. In einem komplexen Parameterraum ist es jedoch wahrscheinlicher, dass der Optimierer in lokalen Minima gefangen wird. Aus diesem Grund muss ein Designer, der Freiformen verwendet, die Anzahl der Parameter, die während der Optimierung frei variieren können, sinnvoll begrenzen. Auch Optimierungswerkzeuge zur Vermeidung lokaler Minima, wie z.B. Hammer oder die globale Suche in OpticStudio, sind sinnvoll.

Fortschrittliche Software-Analysewerkzeuge sind ebenfalls entscheidend für die Verbesserung des AR-Prismendesigns. Zweidimensionale Diagramme des Oberflächendurchgangs, werden für die Visualisierung komplexer Oberflächenformen benötigt. Die Plots müssen mit hoher Abtastung erzeugt werden, damit Freiformflächen mit höheren Ortsfrequenzen genau dargestellt werden.

Auch Diagramme der Oberflächenkrümmung und -neigung sind nützlich, wie z.B. die Oberflächenkrümmung und die 2D-Universalplot-Analysen in OpticStudio. Während der Herstellung werden viele Freiformflächen interferometrisch mit einem computergenerierten Hologramm (CGH) geprüft. Die Auflösung des CGHs begrenzt die maximal mögliche Neigung der Freiformfläche (abzüglich ihrer Best-Fit-Sphäre). Die Designer müssen diese Neigungsbeschränkung bei der Optimierung der Freiformflächen anwenden. Das AR-Headset-Beispiel hat eine Symmetrieebene, aber viele Freiformsysteme haben keine. Analysen der Systemleistung, wie z.B. die Analyse der Effektivwertfleckgröße im Vergleich zum Feldwinkel, können nicht länger mit Annahmen über die axiale Symmetrie arbeiten - die Systemleistung muss über einen vollen Bereich von Feldpunkten in zwei Dimensionen geprüft werden. Darüber hinaus kann die Systemleistung erheblich und nichtlinear mit der Feldposition variieren, so dass es entscheidend ist, dass das Sichtfeld ausreichend abgetastet wird. Aus diesem Grund hat OpticStudio die Anzahl der zulässigen Feldpunkte auf über 200 erhöht.

Projizierte Bilder

Bei den meisten AR-Systemen muss das virtuelle Bild mit einer realen Szenerie überlagert werden. Für einige Anwendungen, wie z.B. ein Head-Up-Display, das eine Instrumentenanzeige in einem Auto zeigt, ist die genaue Position des projizierten Bildes in der realen Welt nicht entscheidend.

Bei anderen AR-Anwendungen muss die Position des projizierten Bildes genau kontrolliert werden. Dies wird oft durch das Hinzufügen einer Kamera an der Außenseite des Headsets erreicht, die die Welt aufnimmt und analysiert, um zu bestimmen, wo das projizierte Bild erscheinen soll.

In allen Fällen müssen sowohl das projizierte Bild als auch das Bild der realen Welt scharf und unverzerrt sein. Softwarepakete für das optische Design müssen es dem Designer ermöglichen, die Systemleistung für beide Pfade gleichzeitig zu bewerten und beide Pfade bei einer Optimierung zu berücksichtigen. In OpticStudio geschieht dies mit Hilfe mehrerer Konfigurationen, wobei für jeden Strahlengang eine Konfiguration verwendet wird. In der Merit-Funktion, die für die Optimierung verwendet wird, können Targets für RMS-Fleckgröße, Verzerrung und Strahlführung für beide Strahlengänge berücksichtigt werden.

Überlegungen zum Streulicht

Ein weiteres schwieriges Problem ist die Minimierung des Streulichts bei AR-Headsets, damit der Benutzer keine Ermüdung der Augen erfährt. Bild 3 zeigt ein Beispiel für ein Streulichtmuster, das im Beispiel des AR-Headsets das Auge erreichen würde.

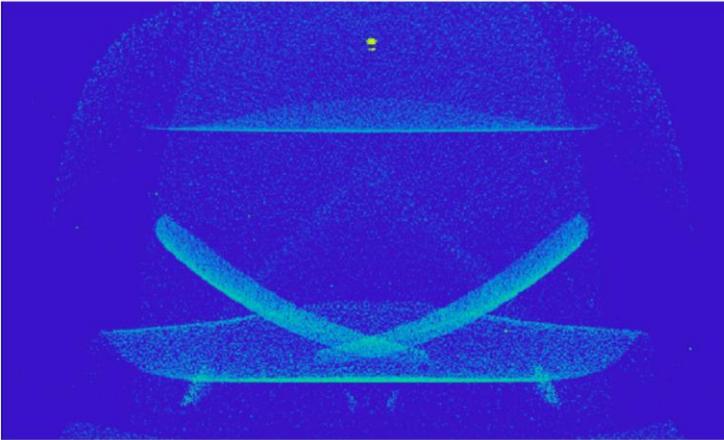


Bild 3. Ein Detektor in OpticStudio, der Streulicht zeigt, welches das Auge im AR-Prismendesign entsprechend Bild 2 erreichen könnte.

Einige problematische "Hotspots" sind in der Analyse zu sehen. Das Streulichtmuster kann durch viele Dinge beeinflusst werden, einschließlich des Designs der Freiformflächen, der verwendeten Oberflächen und Beschichtungen, des Designs und der Materialien des Headset-Gehäuses und der Lichtverhältnisse in der realen Szene. Die bei der Streulichtanalyse verwendete Optikdesign-Software muss all diese Effekte berücksichtigen.

Der nichtsequenzielle Modus in OpticStudio unterstützt die Streulichtanalyse. Optikdesigner können Oberflächen veredeln und beschichten, CAD-Modelle des Gehäuses in das System importieren und verschiedene Beleuchtungsarten verwenden. Durch die Optimierung der Freiformflächen und der Systemgeometrie kann die Streulichtmenge, die das Auge erreicht, minimiert werden. Die Lösung von Streulichtproblemen erfordert eine enge Abstimmung zwischen den optischen und mechanischen Modellen. Tatsächlich erfordert die Markteinführung eines jeden Produkts eine enge Abstimmung zwischen Optikern, Mechanikern, Struktur- und Werkstoffingenieuren.

Hochentwickelte Software-Tools fördern diese Koordination und arbeiten an der Vereinheitlichung der unterschiedlichen Software-Tools, die von jeder Disziplin verwendet werden. Maschinenbauingenieure können beispielsweise mit LensMechanix mechanische Komponenten um Optiken herum entwerfen, die aus OpticStudio geladen wurden, und dann bewerten, wie sich diese Teile auf die optische Leistung des Systems auswirken. LensMechanix ist Teil der Zemax Virtual Prototyping Software-Suite, die es Optikern und Mechanikern ermöglicht, einen virtuellen Prototyp eines gesamten Systems während der Designphase eines Produkts zu erstellen und so die Zeit bis zur Markteinführung zu verkürzen.

AR-Innovationen am Horizont

Veränderungen in der Fertigungstechnik, der Messtechnik und der Software ermöglichen eine neue Generation von optischen Freiformflächen und beeinflussen die Geschwindigkeit, mit der AR- und VR-Produkte auf den Markt kommen. Es gibt jedoch noch immer Design-Herausforderungen, die bewältigt werden müssen, damit die VR/AR-Technologie zum Mainstream wird. Branchenexperten sind sich einig, dass wir es schaffen werden - und auch wenn AR die Phase der Ernüchterung noch nicht überwunden hat, wird das optische Design für AR in den nächsten Jahren wahrscheinlich einige bedeutende Innovationen erleben.

Referenzen

1. Siehe <https://goo.gl/pN6qeF>.
2. Siehe <https://goo.gl/QbauQQ>.
3. Siehe <https://goo.gl/HFTmtx>.

Originalveröffentlichung:

ZEMAX-eGuide „Optical design challenges in virtual and augmented reality“,

Autoren: Erin Elliott ist Ingenieurin für optische Forschung und Prototyping, Kristen Norton ist Produktmanagerin für OpticStudio und Michael Humphreys ist leitender Optikingenieur, alle bei Zemax, Kirkland, WA.

Übersetzung und redaktionelle Bearbeitung: Dr.-Ing. Anna Prenzel