



© Bosch

## 3-D-Displays für den Einsatz im Fahrzeugcockpit

Mit einer dreidimensionalen Darstellung lassen sich Informationen schneller erfassen als auf einem herkömmlichen Bildschirm. Im Automobilbereich bringt das einen erheblichen Sicherheitsgewinn: Durch die Tiefenwirkung der Anzeige nehmen Autofahrer wichtige Informationen – etwa von Assistenzsystemen oder eine Staumeldung – erheblich schneller wahr. Bosch stellt die Grundlagen der 3-D-Technik dar und demonstriert mögliche Anwendungsfelder.

### WERTVOLLE FAHRERUNTERSTÜTZUNG

Während Displays im Cockpit vor einigen Jahren noch Oberklassefahrzeugen vorbehalten waren, sind diese heute in allen Fahrzeugklassen in steigender Zahl und Größe ein selbstverständliches Ausstattungsmerkmal und Kernelement für die Mensch-Maschine-Interaktion (Human-Machine Interface, HMI). Displays unter-

stützen den Autofahrer und weitere Passagiere durch intuitive Anzeige- und Bedienkonzepte und sind für die Fahrzeughersteller ein nicht zu unterschätzendes Differenzierungsmerkmal gegenüber dem Wettbewerb. In einem Marktumfeld, das sich durch fortschrittliche Technologie definiert, dürfen 3-D-Displays nicht fehlen: Sie werden das Cockpit der Zukunft aufgeräumter und intuitiver gestalten und das Autofahren sicherer

### AUTOREN



**Dr. Michael Strecker** ist Experte in der Vorausentwicklung Optik bei der Robert Bosch Car Multimedia GmbH in Renningen.



**Sven Fabian** ist Experte in der Designentwicklung Optik und Mensch-Maschine-Interaktion bei der Robert Bosch Car Multimedia GmbH in Renningen.



**Bram Riemens** ist Systemarchitekt bei SeeCubic B.V., einer Tochtergesellschaft der StreamTV Networks Inc., in Eindhoven (Niederlande).

machen. Im Folgenden werden die Grundlagen dieser Technologie erklärt und ein Überblick über mögliche Anwendungsfelder und erfolgreiche Einsatzmodelle für das HMI-Design gegeben.

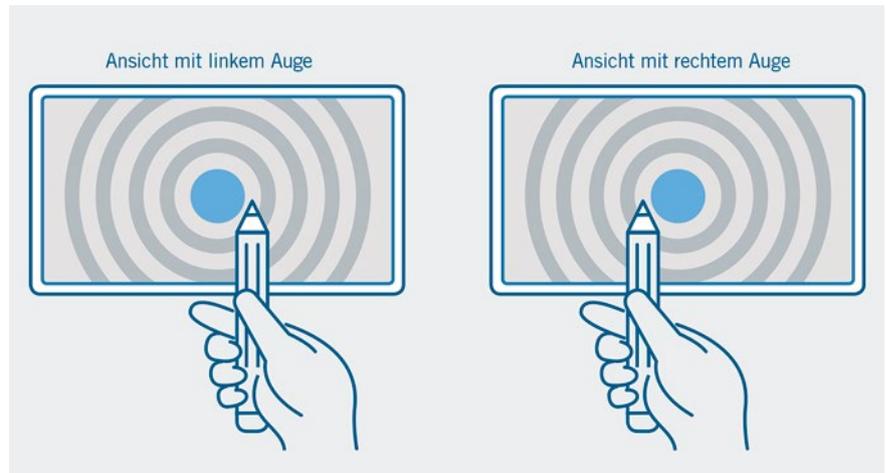
## MENSCHLICHE TIEFENWAHRNEHMUNG

Das menschliche Sehzentrum beinhaltet ein mentales Modell der dreidimensionalen Welt, wobei die Tiefenwahrnehmung durch unterschiedliche Tiefenkriterien stimuliert wird. Monokulare Kriterien, wie Bewegungsparrallaxe, Perspektive und bildhafte Informationen wie Schattenwürfe oder Farbgradienten stimulieren die Tiefenwahrnehmung im menschlichen Sehzentrum bereits durch die Bildinformation eines unabhängigen Auges oder bei der Betrachtung eines normalen 2-D-Displays. Darüber hinaus gibt es binokulare Kriterien, die beim Betrachten einer Szene mit beiden Augen wirken. Das wichtigste Kriterium ist dabei die sogenannte Stereopsis. Wie Stereopsis funktioniert, kann jedermann selbst erleben: Hält man einen Stift bei ausgestrecktem Arm vor einen Hintergrund (beispielsweise ein Bildschirm wie in **BILD 1**) und beobachtet ihn abwechselnd mit nur einem Auge, während das andere geschlossen ist, scheint der Stift horizontal hin- und herzuspringen. Bei einem geringen Abstand zum Hintergrund ist auch die Sprungweite gering. Die Sprungweite hängt also vom Abstand des Stifts zum Hintergrund ab. Dieser Effekt wird Parallaxe genannt und entsteht durch die unterschiedliche Perspektive auf das Objekt durch den Augenabstand. Die beiden Teilbilder des rechten und linken Auges (Stereobildpaare) werden im Sehzentrum schließlich zu einem Bild fusioniert.

3-D-Displays bieten eine technische Lösung zur Erzeugung dieser Stereobildpaare. Im Bild enthaltene Objekte sind proportional ihrer Tiefenposition horizontal verschoben, wodurch die Tiefenwahrnehmung stimuliert wird. Im Detail unterscheiden sie sich in der Umsetzung.

## AUTOSTEREOSKOPISCHE 3-D-DISPLAYS

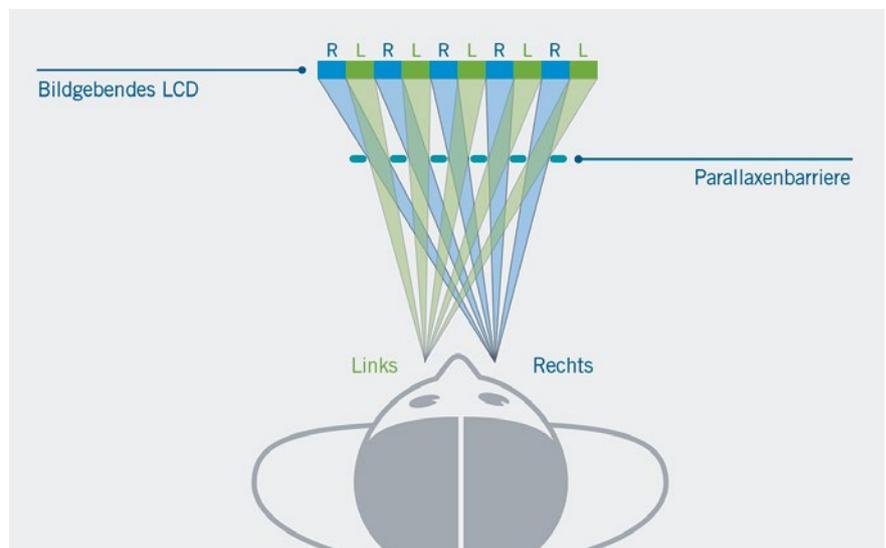
Die einfachste Lösung zur Stimulation von Tiefenwirkung bieten konventionelle 3-D-Displays, die ein linkes und ein rechtes Bild aussenden. Sie werden



**BILD 1** Parallaxische Verschiebung zwischen den Ansichten des linken und rechten Auges (© Bosch)

in Kombination mit einer Brille verwendet, die jeweils nur ein Bild pro Auge passieren lässt. Die Notwendigkeit spezieller Brillen ist offensichtlich ein wesentlicher Nachteil. Alternative Systeme, sogenannte autostereoskopische Displays, senden daher unterschiedliche Bilder in Abhängigkeit des Blickwinkels aus. Häufig werden die Stereobildpaare dabei mithilfe der Parallaxenbarrierentechnologie erzeugt, **BILD 2**. Solche Displays bestehen beispielsweise aus einer konventionellen, bildgebenden Flüssigkristallanzeige (Liquid Crystal Display, LCD) mit Farbfilter, auf der vorderseitig ein weiteres, monochromatisches LCD-Panel (die schaltbare Parallaxenbarriere) durch Bonding angebracht wird. Die Paralla-

xenbarriere wird streifenartig transparent und lichtundurchlässig geschaltet. Dadurch werden zwei ineinander verwobene Sichtbereiche auf dem bildgebenden LCD durch die leicht unterschiedlichen Blickrichtungen des linken und des rechten Auges erzeugt. Auf dem bildgebenden LCD werden zwei fast identische Bilder angezeigt, wobei die Objekte entsprechend ihrer Tiefe horizontal verschoben sind, was den Tiefeneindruck stimuliert. Auf die relative Änderung der Betrachterposition vor dem Display wird mit einer horizontalen Nachsteuerung des Parallaxenmusters reagiert. Für eine hohe Qualität der Anzeige ist es erforderlich, die Augenposition beziehungsweise die Blickrichtung des Betrachters durch



**BILD 2** Autostereoskopisches Display basierend auf Parallaxenbarriere (© Bosch)

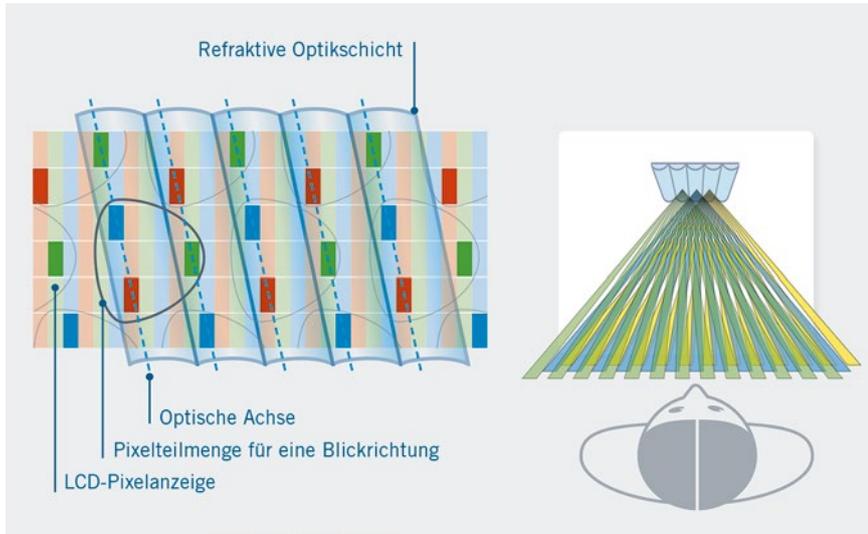


BILD 3 Autostereoskopisches Display basierend auf Multi-View-Technologie (© Bosch)

ein örtlich hochpräzises und echtzeitbasiertes Erkennungssystem der Pupillenbewegung (Eye-Tracking-System) zu verfolgen, was sehr hohe Anforderungen an das Systemkonzept stellt.

Neben der aufwendigen Technik ist ein wesentlicher Nachteil dieser Systeme, dass die Anzeige nur für den Beobachter optimiert ist, den das Eye-Tracking-System verfolgt. Wird ein solches Display beispielsweise in einem Kombiinstrument eingesetzt, ist die Anzeige auf den Fahrer abgestimmt, Passagiere, die aus anderen Winkeln auf das Display blicken, können jedoch keinen 3-D-Effekt wahrnehmen. Zudem erzeugt die dynamische Parallaxenbarriere für diese Betrachter oft als störend empfundene optische Effekte wie Bildflackern. Ein weiterer großer Nachteil ist die lichtblockende Funktionsweise der Barriere, resultierend in einer sehr hohen Leistungsaufnahme, um Helligkeitsverluste zu kompensieren.

**MULTI-VIEW-TECHNOLOGIE FÜR FAHRZEUGDISPLAYS**

Die fortschrittliche Multi-View-Technologie ermöglicht die Überwindung der Nachteile Eye-Tracking-basierter Systeme. Die „überschüssigen“ Pixel, die sich bei besonders hochauflösenden Displays ergeben, werden zur Erzeugung von Tiefe verwendet, statt diese zur Erhöhung der Auflösung jenseits der Auflösungsgrenze des menschlichen Auges einzusetzen.

Bosch und Stream TV Networks Inc. sind vor Kurzem eine Partnerschaft

eingegangen, um die von diesem Unternehmen entwickelte, qualitativ hochwertige Multi-View-Technologie für den Einsatz der nächsten Generation von 3-D-Fahrzeugdisplays zu industrialisieren. Die Multi-View-Technik ermöglicht trotz Kopfbewegung vor dem Display ein angenehmes und als natürlich empfundenenes stereoskopisches Sehen und kommt ohne weitere Maßnahmen, wie Eye-Tracking-Systeme, aus. Damit ist sie auch nicht auf die Anzahl der Betrachter beschränkt. Wie in BILD 3 illustriert, kommt bei dieser Technik eine refraktive Optik auf dem LCD zum Einsatz, die für das Augenpaar eine ganze Anzahl an Ansichten über einen weiten Blickwinkelbereich generiert. Dabei lenkt die Optik die vom LCD emittierten Lichtstrahlen in horizontaler Richtung um,

anstatt sie zu blockieren. Die tatsächliche Richtung der Lichtstrahlen wird durch die Lage der Optik bezüglich der Sub-Pixel festgelegt. Dieser Effekt wird zur Generierung der einzelnen Ansichten genutzt, wobei die Bildinformation eines Pixels (Tripel aus R, G und B) auf örtlich nicht benachbarte Sub-Pixel verteilt wird (Rendering). Da es bei der Kombination der Sub-Pixel zur Generierung der Ansichten zahlreiche Freiheitsgrade gibt, ist ein geschickter Renderalgorithmus entscheidend, um ein qualitativ hochwertiges Multi-View-Display mit natürlichem Tiefeneindruck herzustellen.

**SYSTEMKONZEPT MULTI-VIEW-DISPLAY**

Für die Steuerung des Displays ist eine Multi-View-Renderfunktion erforderlich. Diese bedient sich detaillierter Informationen der Lage der Optik, um die Bild-daten auf Sub-Pixelebene an der richtigen Position anzuzeigen. Eingangsseitig wird der Renderfunktion durch die HMI-Anwendung ein gewöhnliches RGB-Bild zur Verfügung gestellt, das durch eine sogenannte Tiefenmap ergänzt wird. Auf diese Weise wird für jedes Pixel die Farbe sowie die Tiefe bezüglich der Bezugsebene definiert. Farben werden üblicherweise in einer Tiefe von 24 Bit, die Tiefenmap in 8-Bit-Graustufen (entsprechend 256 diskreten Ebenen) codiert und vorteilhafterweise nur in halber vertikaler beziehungsweise horizontaler nativer Auflösung übertragen. In BILD 4 ist der Signalpfad des Systems dargestellt.

Die Renderfunktion ist eine rechen-intensive Operation, die als lange Pixel-

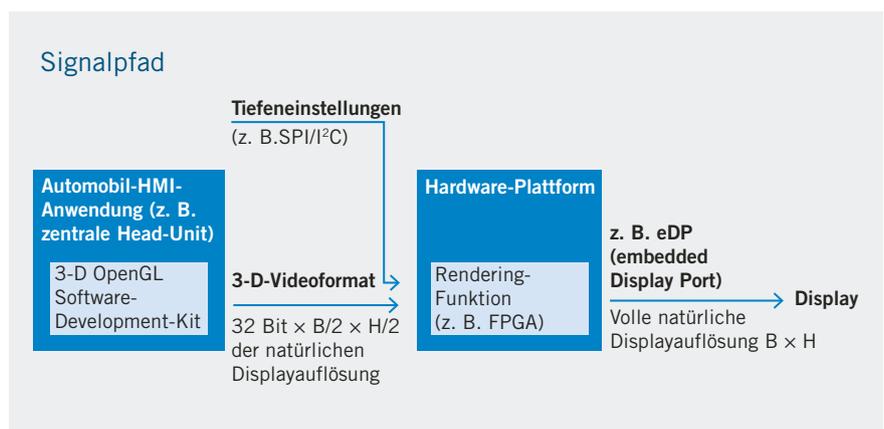


BILD 4 Vereinfachtes Systemkonzept in einer Automotive-Umgebung mit Zentralrechnerarchitektur (© Bosch)

pipeline betrachtet werden kann und in Echtzeit abgearbeitet wird. Tatsächlich verursacht die Funktion nur eine kleine Signalverzögerung, wie sie für den Aufbau weniger Bildzeilen benötigt wird. Ebenso übernimmt die Renderfunktion die Hochskalierung auf die native Displayauflösung. Typischerweise erfolgt die Implementierung in einem wiederprogrammierbaren Logik-Chip (Field Programmable Gate Array, FPGA) oder einer anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (Application-Specific Integrated Circuit, ASIC). Durch diese rein hardwarebasierte Umsetzung wird der zentrale Grafikprozessor mit dieser Rechenaufgabe nicht belastet, und es sind ferner keine externen Bildspeicher nötig.

Die Verwendung von Bild- und Tiefeninformation als Bildformat erlaubt die einfache Anpassung der angezeigten Tiefe auf die individuellen Bedürfnisse des Betrachters. So kann die angezeigte Tiefe durch den Fahrer oder systemseitig automatisiert über einen zusätzlichen, auf das Tiefensignal angewendeten Faktor von 0 bis 100 % eingestellt werden.

In **TABELLE 1** sind die wichtigsten Parameter für ein von Bosch entwickeltes, erfolgreich getestetes Displaydesign zusammengefasst. Ein so ausgelegtes Cockpitdisplay verfügt über eine ausgezeichnete optische Qualität und ist für Anwendungen im Automobilbereich umsetzbar.

Beispielhafte Systemeigenschaften	
LCD-Technologie	LTPS (Low-Temperature Poly-crystalline Silicon)
Diagonale und Aspektverhältnis	12,3 Zoll, 8:3, Querformat
Pixeldichte	420 ppi
Native Panelauflösung	4800 Pixel x 1800 Zeilen
Übertragenes HMI-Signal	2400 Pixel x 900 Zeilen
Luminanz	> 800 cd/m <sup>2</sup>
Betrachterabstand	0,6-0,9 m

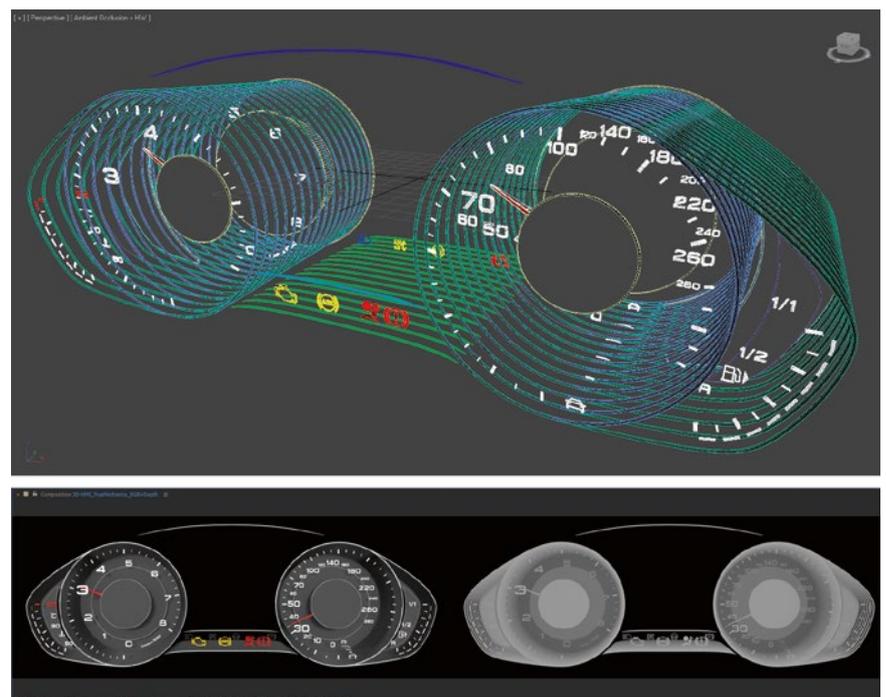
**TABELLE 1** Vorgeschlagene Spezifikationen für ein 3-D-Automobildisplay (© Bosch)

### ERZEUGUNG VON 3-D-HMI-INHALTEN

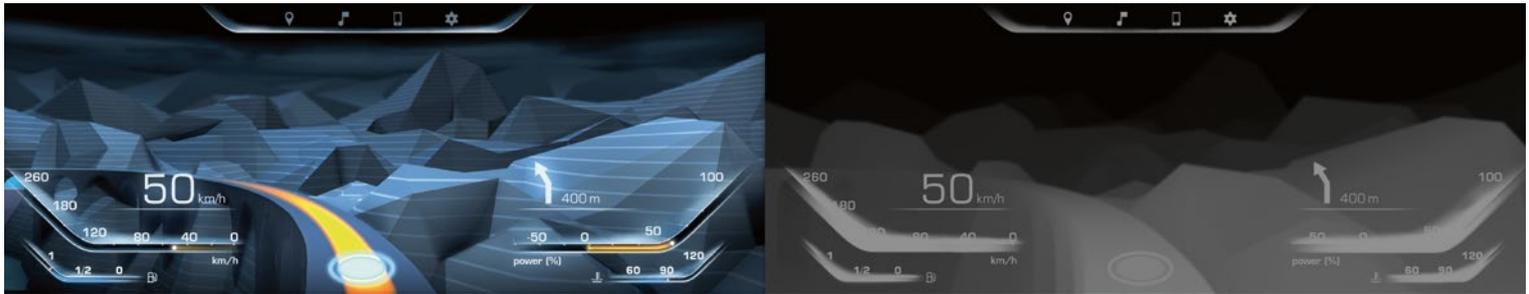
Für die Erzeugung von Inhalten bei Multi-View-Systemen gibt es grundsätzlich zwei Varianten: entweder durch die Erzeugung einer 3-D-Szene mithilfe mehrerer räumlich verteilter Kameras aus unterschiedlichen Blickrichtungen, die durch einen softwarebasierten Ansatz auf die Pixel gerendert wird, oder – wie in der hier vorgestellten Lösung – durch Erzeugung genau eines RGB-Bilds sowie der dazugehörigen Tiefenmap.

Ein großer Vorteil dieses Ansatzes ist, dass für die Bilderzeugung keine virtuellen (oder auch realen) Kameras notwendig sind, sondern mit 2-D-basier-

ten Kreativwerkzeugen wie beispielsweise Adobe Photoshop oder Adobe After Effects gearbeitet werden kann. Für die Erstellung von prototypischen Inhalten kann die Tiefenmap daher „von Hand gemalt“ werden. Idealerweise setzt man jedoch auch hier bereits klassische 3-D-Animationswerkzeuge ein, wie Autodesk 3ds Max. Einerseits können solche Programme die Tiefeninformation automatisch generieren, andererseits bewegt man sich bereits in einer virtuellen 3-D-Welt, so wie sie auch später als Basis für die Produktion von Serien-HMIs dient. Im **BILD 5** wird gezeigt, wie aus einer 3-D-Szene mithilfe des 3-D-Werkzeugs das RGB-Bild und die dazugehörige Tiefenmap erstellt wurden.



**BILD 5** Werkzeugkette für die Erzeugung prototypischer 3-D-HMI-Inhalte mit Standardwerkzeugen: Szene eines virtuellen 3-D-Clusters (oben, Autodesk 3ds Max) und RGB-Bild und Tiefenmap gerendert aus der 3-D-Szene (unten, als After-Effects-Komposition) (© Bosch, Adobe After Effects, Autodesk 3ds Max)



**BILD 6** Aufteilung des 3-D-HMIs in Vorder-, Mittel-, und Hintergrund (links) und Staffelung der Tiefen durch Graustufen (rechts) (© Bosch)

Das Erzeugen prototypischer Inhalte ist besonders in der frühen Designphase entscheidend. Konzepte können direkt am 3-D-Display auf die gewünschte Tiefenwirkung validiert werden – lange bevor die aufwendige Entwicklung von Serien-HMIs gestartet wird. Auch populäre Echtzeitplattformen (Realtime Engines) wie Unity werden mit einer direkten Anbindung an das 3-D-Display unterstützt. Die Design- und Validierungsphase kann aufgrund der Ähnlichkeit der Softwareumgebung somit technisch sehr nahe an die Serienentwicklung herangeführt werden. Hierfür standardmäßig eingesetzte Entwicklungsumgebungen (zum Beispiel Candra) können bereits das erforderliche RGB-Bild nebst Tiefenmap liefern.

## GESTALTUNGSREGELN

Bei der Gestaltung von 3-D-HMIs ist es erfahrungsgemäß nicht erforderlich, alle 256 verfügbaren Ebenen gleichzeitig zu nutzen. Für einen überzeugenden Tiefeneindruck genügt es, die Inhalte innerhalb weniger Ebenen anzulegen, wobei diese jedoch eine klare Staffelung aufzeigen sollten. Wie in **BILD 6** gezeigt, sind die Tiefen einer 3-D-Szene über die Staffelung der Ebenen durch deutliche Sprünge der Helligkeitswerte im Graustufenbild erkennbar.

Eine etablierte Herangehensweise ist die grundlegende Anordnung der 3-D-Szene in Vorder-, Mittel- und Hintergrund – vergleichbar dem Aufbau eines klassischen Bühnenbilds. Im Vordergrund können so priorisierte Fahrerinformationen, wie die Geschwindigkeit und Manöver- oder Warnsymbole, angezeigt werden. Der Mittelgrund eignet sich zur Darstellung von zusätzlichen, staffelbaren Informa-

tionen, etwa von Assistenzsystemen (Abstands- und Spurhalteassistenten), dreidimensional angelegten Navigationskarten oder Elementen einer Menüauswahl. Den Hintergrund bilden stimmungsgebende, dekorative Elemente, passend zum aktuellen Kontext. Hierfür eignen sich landschaftliche Darstellungen wie Berge und Himmel oder städtische Umgebungen.

Über die Staffelung der Ebenen hinaus hat sich in der Praxis der Einsatz bildhafter Tiefenkriterien für einen angenehmen Tiefeneindruck als zielführend erwiesen. Schatten, perspektivische Darstellungen, Änderung von Helligkeit und Farbsättigung über die Tiefe oder auch das gezielte Hinzufügen von Unschärfe unterstützen die Erzeugung eines natürlichen, widerspruchsfreien, also dem mentalen Modell entsprechenden Tiefeneindrucks.

Im Gegensatz zu eher statischen Szenen spielen die 256 Ebenen ihren Vorteil insbesondere bei Animationen beziehungsweise bewegten Inhalten aus. Dies kann beispielsweise bei der Priorisierung von Informationen wie Warnhinweisen genutzt werden, indem diese aus dem Hintergrund kontinuierlich animiert in den Vordergrund treten.

## AUSBLICK

3-D-Displays im Cockpit eignen sich, um fahrerzentrierte HMIs inhaltlich besser zu organisieren und relevante Informationen situationsbedingt schneller erfassbar zu machen. Darüber hinaus sieht Bosch die Möglichkeit, dass 3-D-Displays zukünftig beispielsweise als Weiterentwicklung 2-D-basierter digitaler Außenspiegelsysteme die Fahrsicherheit weiter erhöhen, indem sie die Tiefenabschätzung der angezeigten Umgebung verbessern. Die Ausle-

gung des Systems erlaubt es hierbei auch, reale und virtuelle Inhalte zu überlagern (Mixed Reality). Dadurch können zum Beispiel in kritischen Situationen Objekte im Spiegel mittels Bildanalyse erkannt und hervorgehoben werden.

Neben den funktionalen Aspekten übt das gesteigerte Seherlebnis beim Betrachter eine besondere Faszination aus. So können 3-D-Displays auf langen Fahrten den Genuss von 3-D-Filmen ermöglichen und sich als eine wertvolle Bereicherung der Ausstattung autonomer Fahrzeuge erweisen.



**READ THE ENGLISH E-MAGAZINE**  
Test now for 30 days free of charge:  
[www.ATZelectronics-worldwide.com](http://www.ATZelectronics-worldwide.com)