

## Mensch-Maschine-Schnittstelle

# Head-up Displays für mehr Sicherheit beim Fahren von Straßenbahnen

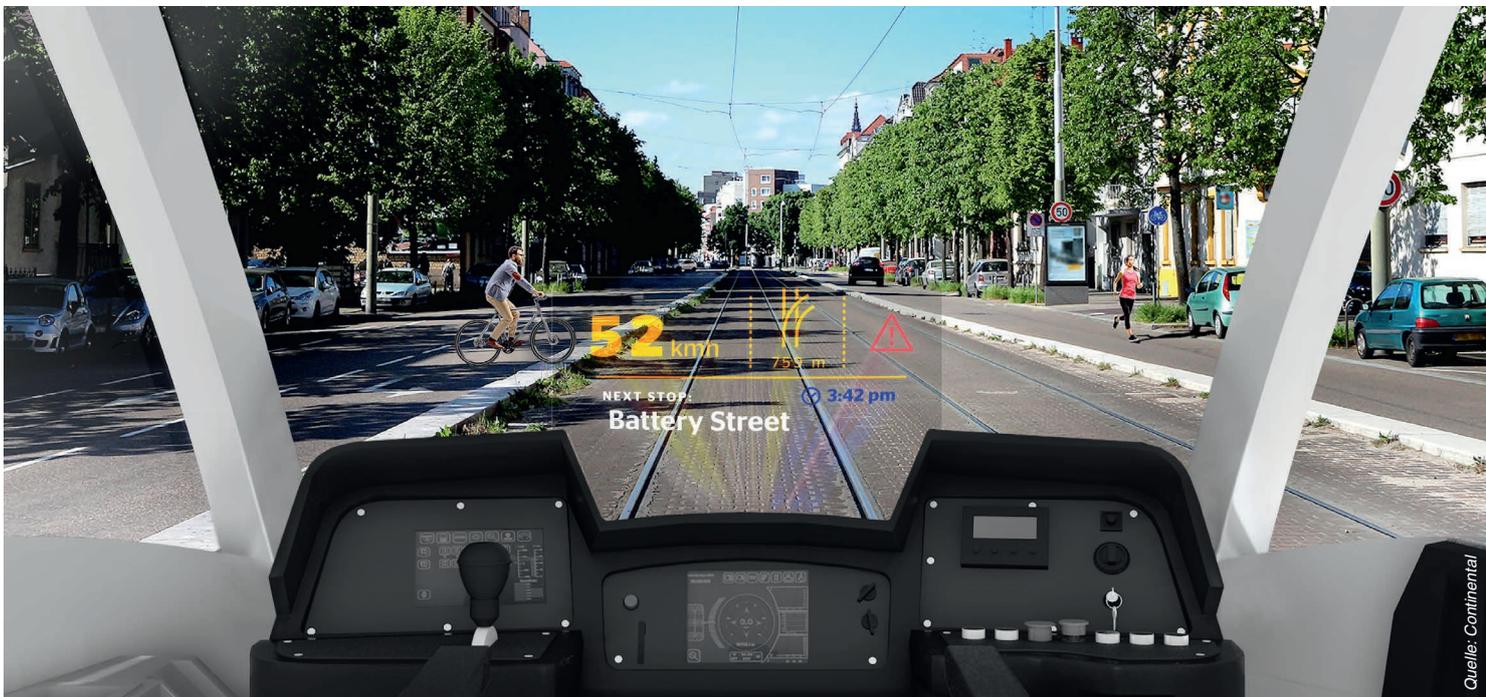


Abbildung 1:  
Beispielhafte Darstellung  
eines Combiner  
Head-up-Displays  
zur Fahrerunterstützung  
mit ausgewählten  
Informationen,  
Navigationshinweis  
und Warnmeldung

**Dr. rer. nat. Christian Trapp**, Senior Manager Interior Electronic  
Functions/Instrumentation & Displays, Continental Engineering Services

Wichtige Fahrinformationen auf einen Blick – ohne das Verkehrsgeschehen aus den Augen zu lassen: Das ist die Stärke eines Head-up Displays. Continental bringt aktuell eine Lösung in Serie, die zur Erstausrüstung und zur Nachrüstung von Straßenbahnen optimiert ist.



Straßenbahnen erleben einen Aufschwung, der durch die wachsende Bedeutung des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) und seiner hohen Umweltverträglichkeit im Vergleich zum Individualverkehr bedingt ist. Die Schiene genießt eine hohe Akzeptanz – auch und gerade innerstädtisch. Ablesbar ist das an der seit Jahren wachsenden Zahl von Straßenbahnbetrieben in Deutschland.

Gleichzeitig bringt dieser Trend Herausforderungen mit sich, denn Straßenbahnen auf niveaugleichen Schienen bewegen sich mitten im dichten öffentlichen Verkehrsgeschehen. Für die Fahrer\*innen bedeutet es eine hohe Anforderung, Autos, Fahrradfahrer\*innen und Fußgänger\*innen ebenso im Blick zu behalten wie wichtige Fahrdaten, Verkehrszeichen und Navigationshinweise. In einer Situation, in der es ohnehin schwierig für Straßenbahnbetreiber ist, Nachwuchs für den Fahrerstand zu finden – und ihn langfristig zu halten – kann das sogenannte Head-up Display (HUD) einen substantziellen Beitrag zur Verkehrssicherheit von Straßenbahnen und zur Entlastung des Fahrpersonals leisten.

### „Kopf hoch“ im Fahrerstand

Ursprünglich stammt die Technik des Head-up Displays aus der militärischen Anwendung im Kampfflugzeug, wo es dazu dient, andere Flugobjekte nicht durch Instrumentenablesung oder Ähnliches aus den Augen zu verlieren. Im Auto ist das HUD inzwischen als Sicherheits- und Ergonomiebeitrag vielfach in Serie.

Ein HUD ist wesentlich mehr als nur eine zusätzliche Anzeige im unteren Blickfeldrand des Fahrers (Abbildung 1). Das liegt an den optischen Besonderheiten eines echten HUD – etwa in Abgrenzung zu einem transparenten Display auf der Scheibe oder in einem

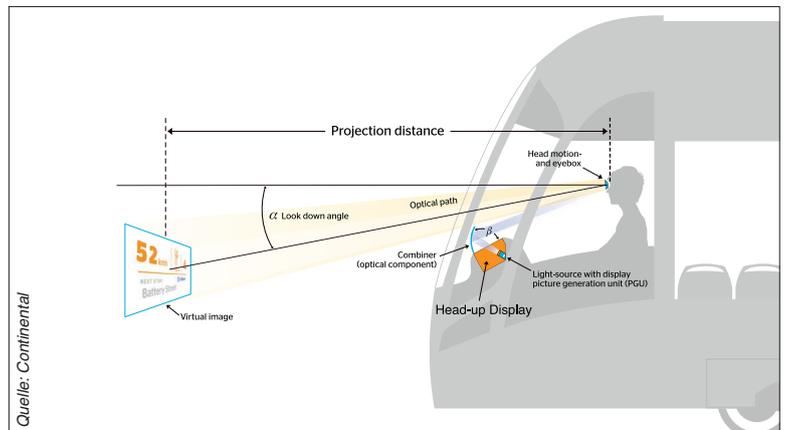


Abbildung 2: Strahlengang im Combiner Head-up-Display

gesonderten Bauelement. Einer der Hauptvorteile des HUD ist die Länge seines Strahlengangs (Abbildung 2). Anders als bei konventionellen Anzeigen in der Armaturentafel, wo die Sehentfernung beispielsweise rund 60 Zentimeter beträgt, erscheint die Anzeige eines HUD je nach Ausführung im Entfernungsbereich mehrerer Meter vor dem Fahrer.

Am Fahrerarbeitsplatz macht das einen enormen Unterschied: Ein HUD kann man ablesen und dabei weiter das Verkehrsgeschehen beobachten. Möglich ist das, weil die Schärfenebenen des Verkehrsgeschehens und des HUD für die Augen dicht beieinander liegen. Ganz anders bei konventionellen Anzeigen oder transparenten Displays auf der Scheibe: Hier müssen die Augen arbeiten, um sich an die wechselnde Sehentfernung anzugleichen. Diese Akkommodationsarbeit ist auf Dauer ermüdend, und sie erfordert Zeit. In dem kurzen Moment des Hin- und Herblickens kann der Mensch im Fahrerstand das Umfeld nicht mehr wahrnehmen.



Abbildung 3: Wirkung eines Combiner Head-up-Displays: Die Schärfenebenen von Anzeige und Verkehrsgeschehen liegen dicht beieinander (linke Bildhälfte), anders beim konventionellen Instrument (rechte Bildhälfte)

Abbildung 3 verdeutlicht, wie unscharf das Umfeld in der Peripherie des Sichtfeldes wird, wenn der Fahrer abwärts auf eine der Anzeigen in der Instrumententafel blickt (rechte Bildhälfte). HUD-Anzeige und Fahrradfahrer\*innen dagegen sind für das Auge gleichermaßen gut erkennbar (linke Bildhälfte).

Da Fahrer\*innen in einer Straßenbahn wegen der Umfeldkomplexität auf manchen Streckenabschnitten ständig eine wechselnde Sehentfernung bewältigen müssen, macht das HUD den Fahrerarbeitsplatz deutlich ergonomischer. Der zweite Hauptvorteil eines HUD ist seine Wirkung als Informationsfilter. Ein HUD dient dazu, ausgewählte und je nach Situation für die Fahraufgabe wichtige Informationen vorselektiert anzubieten. Wollte der/die Fahrer\*in diese Informationen in einem konventionellen Fahrerstand ohne HUD-Unterstützung ablesen, müssten dazu gleich mehrere Instrumente abgelesen werden, was die Zeit der Blickabwendung von der Umgebung verlängert.

Damit wirkt das HUD als ein System, das die Aufmerksamkeit des Fahrenden auf das Wesentliche lenkt und die Augen dort hält, wo sie hingehören: beim Verkehrsgeschehen. Hinzu kommt, dass ein echtes HUD eine sehr starke Lichtquelle besitzt, die unter allen herrschenden Umgebungslichtverhältnissen eine ablesbare Anzeige erzeugt. Eine automatische Helligkeitsnachführung sorgt stets für die passende Leuchtstärke und ein kontraststarkes Bild. Außerdem ist es beim HUD heute Standard, dass die Anzeige vollfarbig ist. Auch das dient dazu, Ergonomie und Sicherheit zu fördern, denn wirkungsvolle Signalfarben oder Farbwechsel leiten die Aufmerksamkeit des Fahrenden intuitiv an die richtige Stelle.

### Technische Umsetzung

Das von Continental Engineering Services wahlweise für die Nachrüstung und die Erstausrüstung von Straßenbahnen entwickelte Combiner-HUD basiert auf der Serienerfahrung im Automobileinsatz, wo Continental ein Pionier mit dieser Technik ist. Grundsätzlich lassen

sich HUD in zwei Versionen konstruieren: Entweder die Anzeige wird direkt in die Windschutzscheibe eingespiegelt und nutzt deren Reflexionsverhalten. Dieses Windscreen-HUD eignet sich nur zur Erstausrüstung und muss umfangreich an das jeweilige Fahrzeugmodell angepasst werden, unter anderem deshalb, weil die Form, Optik, und Neigung der Frontscheibe einen relativ großen Entwicklungsaufwand erfordern.

Deshalb hat sich mit dem sogenannten Combiner-HUD eine zweite Technologie etabliert, bei der die Anzeige in eine kleine transparente Kunstglasscheibe (= Combiner) mit exzellenten optischen Eigenschaften eingespiegelt wird, die Teil des optischen Systems ist. Dieses Combiner-HUD ist wesentlich wirtschaftlicher zu realisieren, weil der Strahlengang leichter beherrschbar ist, da alle Bestandteile in einem Modul integriert sind.

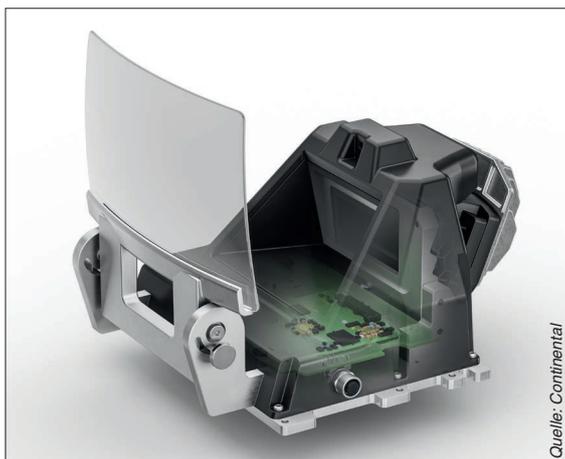
Wegen dieser Vorteile basiert das hier vorgestellte seriennahe Straßenbahn-HUD auf der Combiner-Technik und verfügt über bis zu 800 x 400 Pixel Auflösung. Abbildung 4 zeigt das komplette Modul. Es integriert die elektronische Steuerung, das eigentliche Display, die Lichtquelle und den Combiner in einer kompakten Einheit. Hinzu kommt eine Abdeckung, die störende Reflexionen verhindert. Im Hinblick auf die typischen Kleinserienanforderungen bei Straßenbahnen ist diese Rail-Lösung konsequent modular und skalierbar ausgelegt. Je nachdem, welche Anzeigengröße im Einzelfall gefordert ist, lassen sich die Einzelkomponenten durch definierte Schnittstellen und Optionen mit minimiertem Aufwand anpassen.

Der Anschluss des Straßenbahn-HUD an die Bordelektronik kann wahlweise über einen CAN-Port oder über einen Ethernet Port erfolgen. Dabei kann das HUD entweder als intelligente Lösung ausgelegt sein, die auf Datenbasis Symbole und Anzeigen in der eigenen Elektronik erzeugt, oder das HUD kann mit geringer Rechnerkapazität ausgelegt sein und schleust in diesem Fall nur angelieferte Symbole und Inhalte zum Display durch.

Eine der technischen Stärken der Rail-Lösung ist die bewährte HUD-Lichtquelle, die eine enorme Umgebungslichtdynamik – von Dunkelheit bis zu grellem Sonnenlicht – bewältigen können muss, um die Anzeige ständig ablesbar zu halten. Diese Lichtquelle im Straßenbahn-HUD ist eine Eigenentwicklung, die sich im Auto bereits hunderttausendfach bewährt hat und ein virtuelles Bild mit einer maximalen Leuchtdichte von mehr als 10000 cd/m<sup>2</sup> (Candela/m<sup>2</sup>) erzeugt.

Wegen seiner modularen Bauweise und Anpassungsfähigkeit lässt sich das Straßenbahn-HUD auch nachträglich in Fahrerständen integrieren. Seine geringen Abmessungen machen eine Integration möglich, ohne dabei gültige Regularien für den Sichtbereich der Fahrer\*innen zu verletzen.

Abbildung 4: Das kompakte Combiner Head-up-Display für Straßenbahnen ist ein einbaufertiges Modul



## Das HUD als Basis für zusätzliche Sicherheitsfunktionen

Mit dem HUD werden Fahrer\*innen dabei unterstützt, stets aufmerksam den Verkehr zu beobachten. Gerade auf innerstädtischen Abschnitten, wo Fußgänger und Radfahrer die Schienen häufig queren – um die Bahn noch zu erreichen oder sie zu passieren – und wo Autofahrer sich leicht verschätzen, ob sie noch vor einer Straßenbahn einscheren können, hängt von der Geistesgegenwart der Fahrer\*innen in der Bahn viel ab.

Inzwischen dienen Fahrerassistenzsysteme dazu, diese Herausforderung besser zu meistern. Auch für solche Systeme bietet das HUD einen zentralen Vorteil: Als dynamischer Informationsfilter am ergonomisch bestmöglichen Ort macht es Warnmeldungen für die Fahrer\*innen in Blickrichtung sichtbar. Aber das ist erst der Anfang: Wenn ein HUD in der Straßenbahn verfügbar ist, kann es als Plattform für die Vernetzung mit weiteren Sicherheitsfunktionen dienen. Ein Beispiel ist eine auf den Fahrer gerichtete Kamera, die beispielsweise eine Blickabwendung durch Ablenkung erkennt. Geeignete Warnsignale an den Fahrer dienen dazu, seine Aufmerksamkeit zurück zur Verkehrssituation zu lenken. Das HUD bietet in solchen Schrecksekunden eine ergonomisch günstige Mensch-Maschine-Schnittstelle, um die Aufmerksamkeit des Fahrers zu lenken.

Das Potenzial dafür ist groß, denn auch eine Überwachung, welche die Bereiche links und rechts neben der Bahn erfasst, benötigt bei erkannten Objekten mit potenzieller Unfallgefahr eine Warnstrategie, die den Fahrer\*innen signalisiert, wo ihre Aufmerksamkeit erforderlich ist. Auch das ist eine denkbare Kombination mit dem HUD als erste Anlaufstelle für visuelle Hinweise (Abbildung 5). All das dient nicht nur dazu, erforderliche Notbremsungen rechtzeitig einzuleiten. Idealerweise gelingt es durch Unterstützung der Fahrer\*innen sogar, die Zahl der Notbremsungen zu reduzieren, da diese stets mit einem Risiko für stehende Passagiere verbunden sein können.

Möglich wird das, weil das HUD in einem intelligenten Verbund mit Fahrerassistenzsystemen dazu beitragen kann, die zur Verfügung stehende Zeit zwischen dem Erkennen einer Gefahr, der Wahrnehmung und richtigen Interpretation der Situation durch die Fahrer\*innen sowie die adäquate Reaktion zu verlängern. Schon wegen des langen Anhaltewegs einer Straßenbahn sollte dieses Ziel weiterverfolgt werden. Das wiederum dient auch dazu, die Zahl an für die Fahrer\*innen seelisch belastenden Unfallgeschehen zu senken.

Da man aktuell leider beobachten muss, dass viele innerstädtische Fußgänger\*innen deutlich mehr Aufmerksamkeit ihrem Smartphone widmen als dem Verkehrsgeschehen um sie herum, steigt die

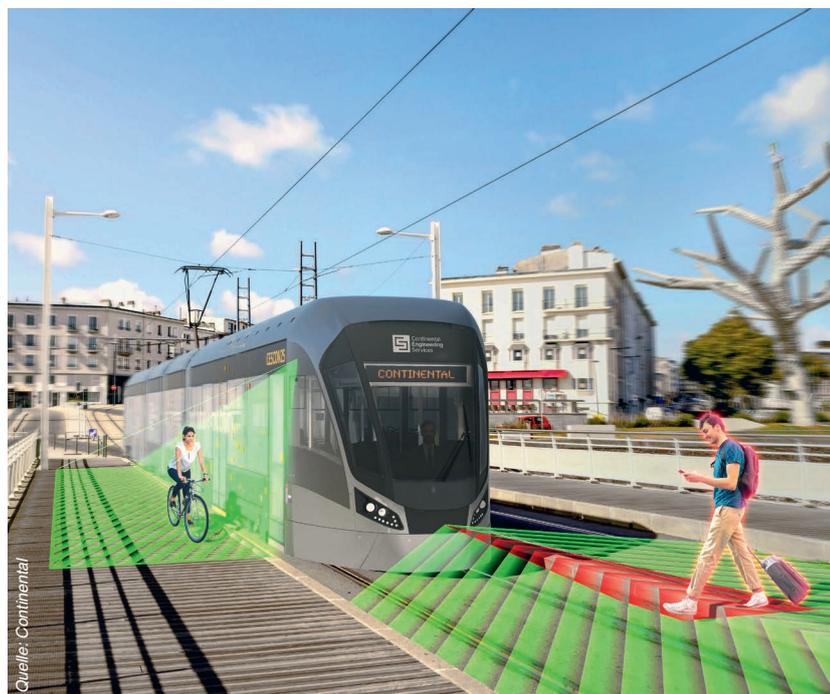


Abbildung 5:  
Überwachung des  
Fahrfelds seitlich  
und voraus

Verantwortung der Fahrer\*innen für den Schutz schwächerer Verkehrsteilnehmer\*innen. Das HUD ist ein wertvoller Baustein, um die Fahrer\*innen in dieser Situation technisch bestmöglich zu unterstützen.

## Ausblick

Das HUD macht den Arbeitsplatz im Fahrerstand einer Straßenbahn einerseits attraktiver, andererseits erhöht diese Form der selektiven Anzeige die Sicherheit im ÖPNV. Mit einer wirtschaftlichen Combiner-HUD-Lösung, die gezielt für die Anwendung in Straßenbahnen auf der technischen Grundlage von bewährten Serienprodukten für das Auto optimiert wurde, steht eine neue visuelle Schnittstelle zur Verfügung, die sich als Bestandteil zur intelligenten und ergonomisch günstigen Vernetzung mit Fahrerassistenzsystemen anbietet. ■

### Lesen Sie auch

#### **Der Führerraum von Triebfahrzeugen der Zukunft**

Deine Bahn 8/2021

#### **Auswirkungen der Digitalisierung auf den Triebfahrzeugführer**

Deine Bahn 3/2020