

Die Wahrnehmung der Fahrzeugumgebung verbessern

# Zentralisierte Sensorfusion

Fahrerassistenz- und frühe AD-Systeme verlassen sich in der Regel auf drei Sensormodalitäten: Radar, Lidar und Kameras – was jedoch teurer und energieaufwändig ist. Durch künstliche Intelligenz kann die VAI-Radarsoftware von Ambarella eine höhere Auflösung und Leistungsfähigkeit als herkömmliches Fahrzeugradar erzielen.

Steven Hong und Lazaar Louis

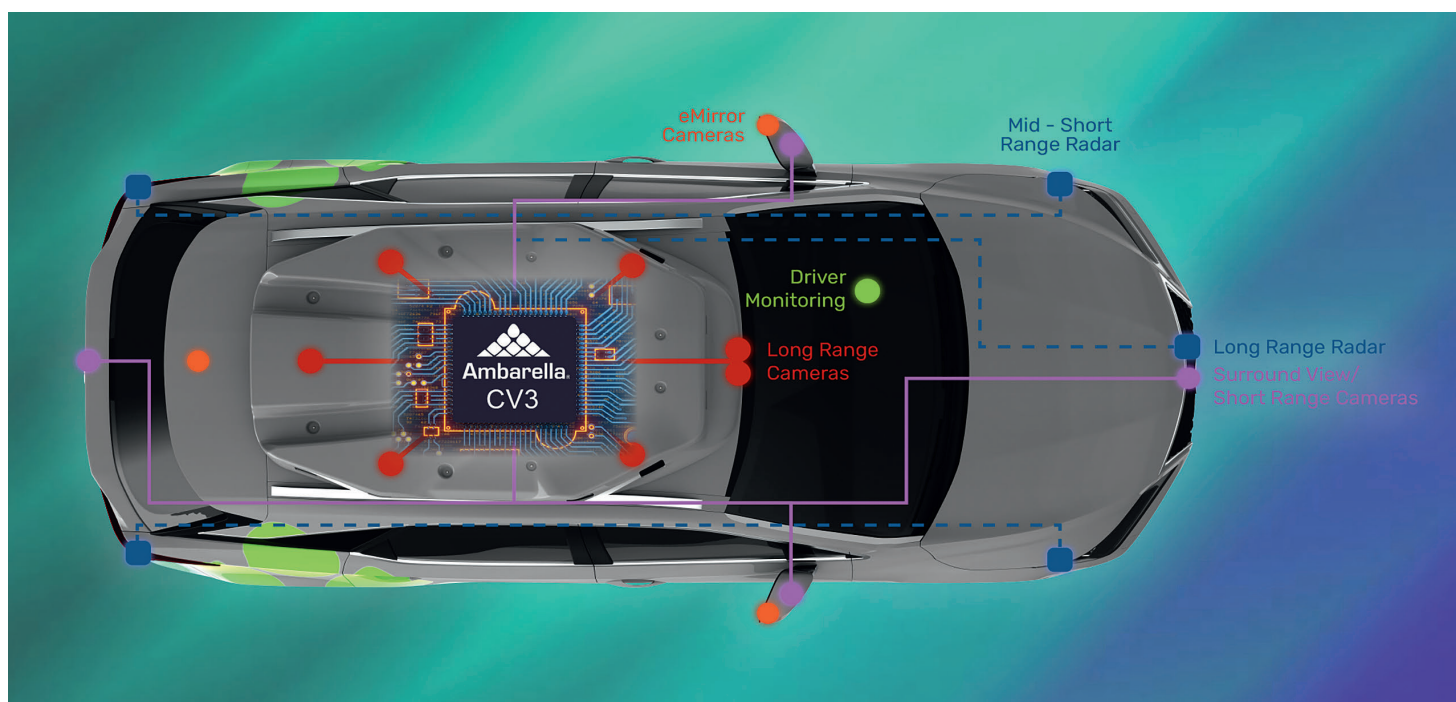
Sicherheit ist einer der Hauptgründe für die zunehmende Technik in Fahrzeugen, die den Fahrer zunächst dabei unterstützt, Gefahren wahrzunehmen und zu vermeiden, und diese Aufgabe schließlich vollständig übernimmt, sodass der Fahrer nur noch als Passagier fungiert. Laut einer Erhebung der National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) gehen über 90 Prozent der Verkehrsunfälle auf den Fahrer zurück. Es wird daher erwartet, dass die Verantwortung für die Sicherheit auf die Technik verlagert wird, um die Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmer erheblich zu verbessern.

Um den Fahrer zu unterstützen oder Entscheidungen für ihn zu treffen, muss das Fahrerassistenzsystem (Advanced Driver Assistance System, ADAS) in der Lage sein, die Umgebung des Fahrzeugs – und so weit wie möglich im Voraus – bei allen Licht- und Wetterbedingungen zu erfassen. Aktuell kommen dafür drei wesentliche Techniken zum Einsatz: Radar, Lidar und Kameras/Bildsensoren. Derzeit wird mit Ultraschallsensoren eine vierte Technik ausschließlich zum Parken und Rangieren im Nahbereich eingesetzt.

Jede Technik hat ihre eigenen Stärken und Schwächen (**Bild 1**, [1]). Kame-

ras eignen sich gut für Winkelmessungen und für das Lesen von Geschwindigkeitsbegrenzungsschildern. Lidar ist eine relativ teure Technik, wird aber von etlichen Automobilherstellern und -Zulieferern für die Messung von größeren Entfernungen und für seine hohe Auflösung geschätzt. Allerdings sind sowohl Kameras als auch Lidar unter realen Bedingungen wie schlechtem Wetter oder verschmutzten Sensoren unzureichend – Bedingungen, die die Leistungsfähigkeit eines Radars nicht beeinträchtigen.

Die Sicherheit im Straßenverkehr wird in Zukunft von den Fähigkeiten der Sensoren abhängen. Um sicherzustellen



	SHORT RANGE RADAR	LONG RANGE RADAR	LIDAR	ULTRASOUND	VIDEO CAMERA	3D-CAMERA	FAR IR CAMERA
RANGE MEASUREMENT < 2m	0	0	0	++	-	++	-
RANGE MEASUREMENT 2..30m	+	++	+	-	-	0	-
RANGE MEASUREMENT 30..150m	n.a.	++	+	--	-	-	-
RANGE MEASUREMENT < 10 deg	+	+	++	-	++	+	++
RANGE MEASUREMENT > 30 deg	0	-	++	0	++	+	++
ANGULAR RESOLUTION	0	0	++	-	++	+	++
DIRECT VELOCITY INFORMATION	++	++	--	0	--	--	--
OPERATION IN RAIN	++	+	0	0	0	0	0
OPERATION IN FOG OR SNOW	++	++	-	+	-	-	0
OPERATION IF DIRT ON SENSOR	++	++	0	++	--	--	--
NIGHT VISION	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	0	++

++ : Ideally suited	- : Only possible with large additional effort
+ : Good Performance	-- : Impossible
0 : Possible, but drawbacks expected;	n.a. : Not applicable

Bild 1: Vergleich der verschiedenen ADAS-bezogenen Sensorsysteme © BMW

len, dass Fahrzeuge, die über ADAS verfügen, die Umgebung unter allen Bedingungen genau erfassen und alle Arten von Hindernissen erkennen, wird die Sensorfusion genutzt: Sobald die Rohsignale der einzelnen Sensoren verarbeitet sind, werden sie kombiniert, um ein Gesamtbild der Fahrzeugumgebung zu erhalten.

**Lässt sich die Sensorik verbessern?**

Eine höhere Verkehrssicherheit wird untrennbar mit verbesserter Sensorik und der anschließenden Verarbeitung der Sensordaten verbunden. Viele gehen davon aus, dass das Fahrzeug-Radar dem Luft- und Raumfahrt-Radar ähnlich ist, doch der Unterschied ist erheblich. Das derzeitige Fahrzeug-Radar ist auf einen günstigen Preis ausgelegt und bietet daher eine deutlich geringere Auflösung und ein begrenztes Sichtfeld, sodass man sich stärker auf andere Sensoren verlassen muss.

Die gängige Meinung ist, dass für ein empfindlicheres Radarsystem viel mehr Antennen erforderlich sind, während die Auflösung in Wirklichkeit tatsächlich von der Höhe der Apertur abhängt. Bisherige Radarkonstruktionen haben stets größere Öffnungen mit mehr Antennen unterstützt. Dieser konventionelle und relativ unausgereifte Ansatz treibt die Kosten, den Formfaktor und den Stromverbrauch – jede An-

tenne erfordert einen Leistungsverstärker – in die Höhe und erzeugt riesige Datenmengen, die lokal am Systemrand (Edge) verarbeitet werden müssen. Durch Ansätze mit künstlicher Intelligenz (KI) lässt sich nun die Radarempfindlichkeit verbessern, was die herkömmliche Herangehensweise in Frage stellt.

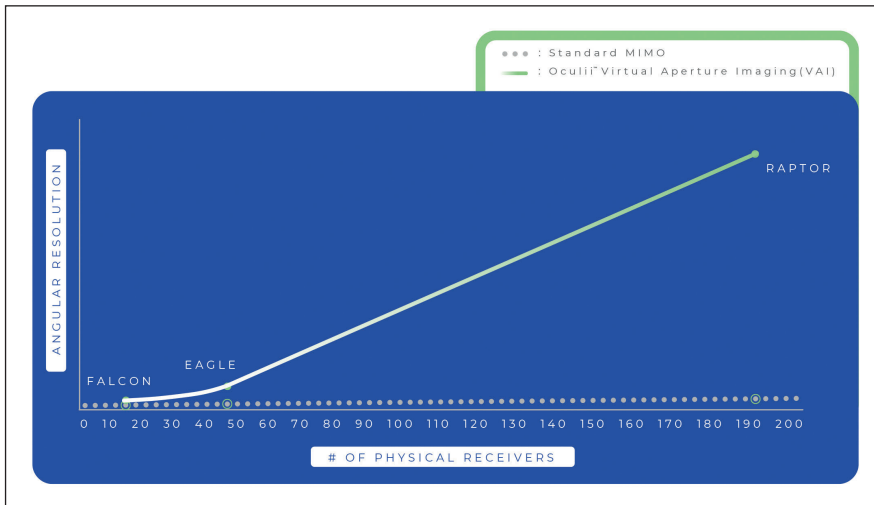
Traditionell verwendet Radar feste Modulationstechniken, die je nach Modulationsschema zu Kompromissen zwischen Entfernungsauflösung, Dopplerauflösung und zu verarbeitenden Daten führen. Durch die intelligente Anwendung von KI verwendet die Virtual-Aperture-Imaging-Software Oculii von Ambarella jedoch eine dynamische Wellenform, die sich an die Umgebung anpasst.

Durch die Unterstützung eines „Sparsified Array“ kann Virtual-Aperture-Imaging (VAI) eine weitaus höhere Winkelauflösung mit viel weniger Antennen erreichen als der herkömmliche Ansatz für Fahrzeugradar (Bild 2). Dadurch erübrigen sich die oben erwähnten Kompromisse, ein genaueres System steht bereit, und die Notwendigkeit einer großflächigen Antenneninstallation verringert sich. Das Ergebnis ist eine bessere Auflösung in einem kleineren Formfaktor, weniger Energieverbrauch und geringere Kosten. VAI leistet einen erheblichen Beitrag zur Sicherheit, weil die geringere Komplexität und die niedrigeren Kosten es Fahrzeugherstellern

ermöglichen, Radar in größerem Umfang in den Fahrzeugen einzusetzen. Man kann sogar behaupten, dass der Einsatz von VAI die Notwendigkeit von Lidar in Fahrzeugsensorsystemen überflüssig macht – was die Kosten noch weiter senkt, weil Lidar eine sehr teure Technik ist. Außerdem reduziert die geringere Zahl an Antennen die zu verarbeitende Datenmenge erheblich. Dadurch kann die Verarbeitung zusammen mit den Kameradaten zentral erfolgen, was zahlreiche Vorteile mit sich bringt.

**Zentralisierte Datenverarbeitung**

Während Kameradaten in der Regel zentral verarbeitet werden, ist das bei Radar derzeit nicht der Fall, weil die riesigen Datenmengen Gigabytes an Bandbreite erfordern würden. Stattdessen werden Radardaten vor Ort (Edge) verarbeitet und dann über Sensorfusion mit den Kameradaten kombiniert. Leider gehen bei diesem Ansatz mehr als 95 Prozent der wertvollen Rohdaten verloren. Durch die gesteigerte Verarbeitungsleistung zentralisierter Prozessoren und die geringere Datenmenge, die von mehreren Radarsystemen nun durch die KI-basierten dynamischen Wellenformen von Oculii übertragen werden, ist die zentralisierte Datenverarbeitung für die Radarerfassung mittlerweile rentabel geworden. Ein Beispiel für moderne zentralisierte Prozessoren, die sich als Basis einer



**Bild 2: Die Oculii-Software von Ambarella erzielt eine höhere Auflösung mit weniger Antennen.**

© Ambarella

Sensorfusionsarchitektur einsetzen lassen, sind die KI-Domänencontroller CV3 von Ambarella. Diese skalierbare, energieeffiziente Serie von System-on-Chip-Bausteinen (SoCs) bietet eine Verarbeitungsleistung von bis zu 500 eTOPS. Basierend auf der eigenen CVflow-KI-Engine und mit bis zu 16 Arm-Cortex-A78AE-CPU-Cores ermöglicht der CV3 auch eine zentralisierte Single-Chip-Verarbeitung für die Multi-Sensor-Erfassung – einschließlich hochauflösender Bildverarbeitung, Radar, Ultraschall und Lidar als Deep-Fusion für mehrere Sensortypen. Dieser Ansatz unterstützt ADAS- und Level-2+- bis Le-

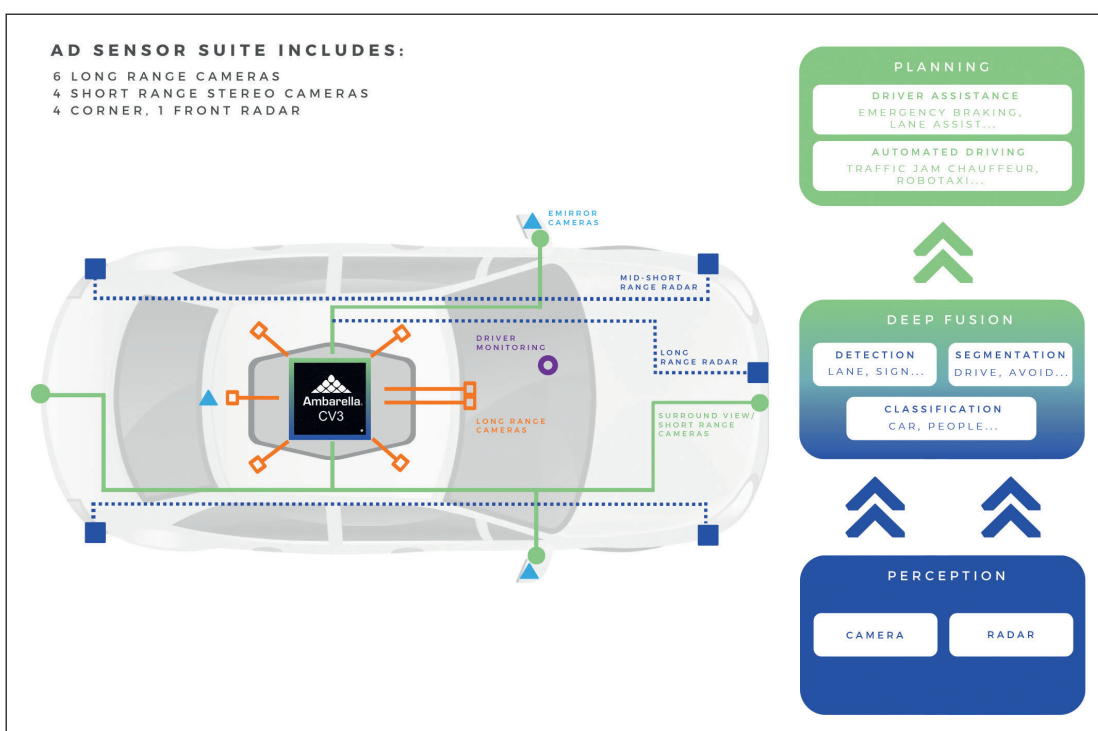
vel-4-Systeme für autonomes Fahren mit ausgezeichneter Umgebungswahrnehmung bei allen Lichtverhältnissen, Wetter- und Fahrbedingungen.

Durch die gleichzeitige Unterstützung von bis zu 12 physischen oder 20 virtuellen Kameras kann ein einziger CV3 das gesamte Sensorkpaket verarbeiten, das bei typischen L2+-Einsätzen zehn Kameras, fünf Radarmodule und zahlreiche Ultraschallsensoren umfasst. Zentral verarbeitete, CV3-basierte Perception-Stacks bieten Leistungsfähigkeit und Skalierbarkeit sowie Deep-Fusion auf niedrigem Niveau, indem sie Rohdatenströme von Kameras und Ra-

dar verarbeiten. Dadurch lassen sich Daten auf eine viel aussagekräftigere Weise fusionieren. Durch den Wegfall der Edge-Verarbeitung sinken die Kosten für Radarsensormodule erheblich, weil sie nur noch die HF-MMIC- und SerDes-ICs enthalten. Aufgrund der geringeren Kosten können mehr Radarmodule im gesamten Fahrzeug, einschließlich dem Innenraum, zum Einsatz kommen. Ein zusätzlicher Vorteil besteht darin, dass der zentrale Prozessor das Bereitstellen und Verteilen von Over-the-Air-Updates (OTA) erheblich vereinfacht.

Der zentralisierte Ansatz passt das Gleichgewicht zwischen Radar- und Kameraverarbeitung während der Fahrt an, um unabhängig von Wetter, Lichtverhältnissen oder Umgebung die beste Leistungsfähigkeit zu erzielen. So kann bei Regen mehr Gewicht auf die Daten der Radarsensoren gelegt werden, während in einer belebten städtischen Umgebung, in der mehr Struktur in der Ansicht erforderlich ist, die Kameradaten Vorrang haben.

Während Edge-verarbeitende Systeme im Fahrzeug per Definition monolithisch verbaut sind, lässt sich ein zentral gesteuertes System je nach Standort, Straßenverhältnissen und Szenarien bereitstellen. Auf der Autobahn geht es vor allem darum, Daten vor dem Fahrzeug zu sammeln; während in einer



**Bild 3: Der CV3-SoC von Ambarella bietet Verarbeitung für den gesamten AD-Stack.**

© Ambarella

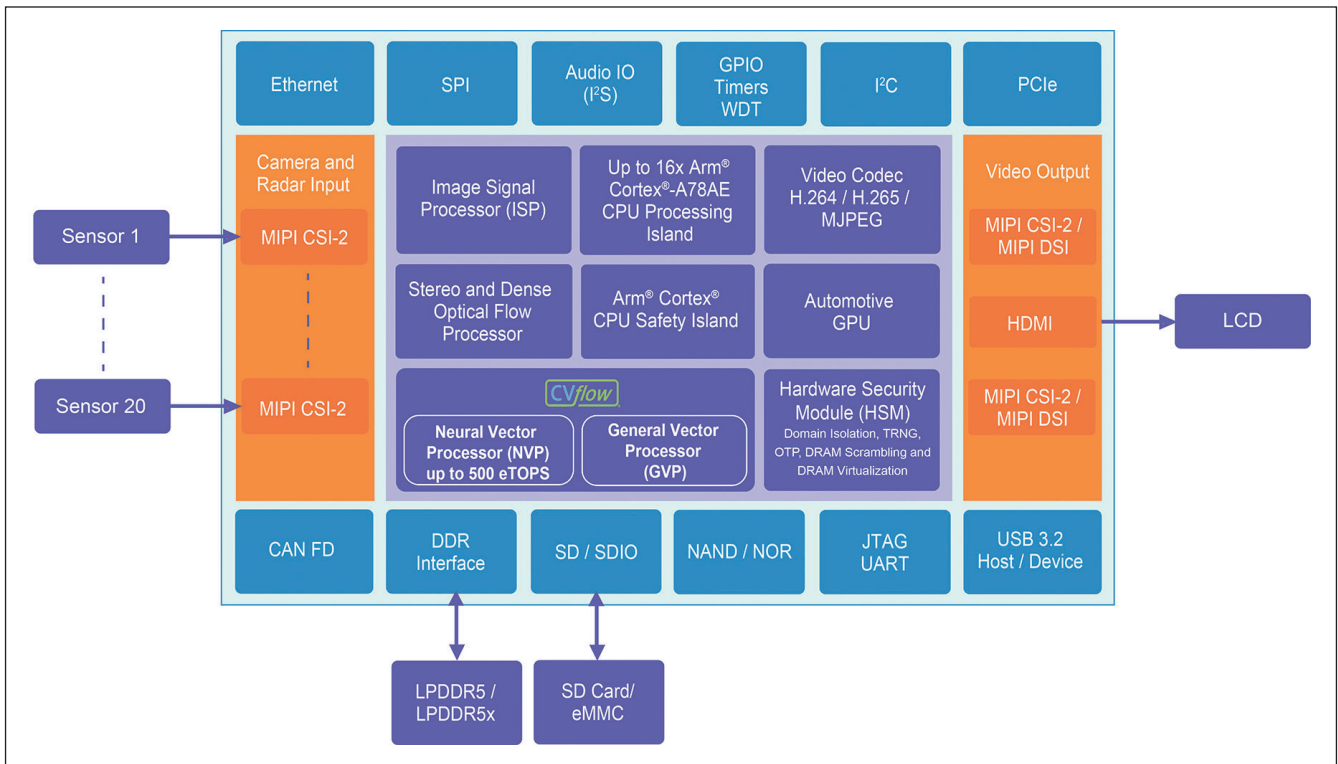


Bild 4: Blockdiagramm des CV3-SoC von Ambarella © Ambarella

Stadt der Blick in die Richtung, in die das Fahrzeug abbiegen wird, wichtiger ist. Eine Bereitstellung auf diese Weise erfordert weniger Prozessorressourcen und einen geringeren Stromverbrauch bei gleichzeitig maximierter Umgebungswahrnehmung und Sicherheit.

**Stack für autonomes Fahren**

Zusätzlich zu den kritischen Komponenten für Sensorik und Deep Fusion gibt es ein weiteres Element, das der Stack für autonomes Fahren (Autonomous Driving, AD) mitbringen muss: die Wegplanung.

Basierend auf der wahrgenommenen Umgebung und dem Szenario unterstützt der CV3 in ADAS-Systemen den Fahrer bei der Entscheidungsfindung (Bild 3), zum Beispiel durch Spurrwarnung/-assistent und autonome Notbremsung (Autonomous Emergency Braking, AEB). Mit fortschreitender Technik hin zum autonomen Fahren wird die Entscheidungsfindung immer ausgefeilter, weil das System Hindernisse erkennt und klassifiziert sowie feststellt, ob sie beweglich oder statisch sind. Anhand dieser Informationen kann das System dann einen sicheren Weg durch das Hindernis planen – oder Ausweichmaßnahmen ergreifen, wenn es keinen sicheren Weg gibt. Die Kombination aus VAI und zentraler Verarbeitung erhöht die Sicherheit enorm – aber

auch der CV3 ist für die Sicherheit des Gesamtsystems von entscheidender Bedeutung, weil dieses sich in hohem Maße auf ihn verlässt.

Der CV3-SoC (Bild 4) ist ASIL-B-fähig und bietet Lock-Step-Sicherheitsinsel, die das Sicherheitsintegrationslevel auf ASIL-D hebt, wie es für AD-Anwendungen erforderlich ist. Darüber hinaus ermöglicht ein On-Chip-Hardware-Sicherheitsmodul (HSM) die Isolierung verschiedener Domänen und die sichere Software-Bereitstellung über Sicherheitsfunktionen wie Domänenisolierung, TRNG, OTP, DRAM-Scrambling und DRAM-Virtualisierung.

**Fazit**

Die heute und in Zukunft in Fahrzeuge eingebaute Technik soll die Verkehrssicherheit erheblich verbessern, indem das Fahrzeug allmählich dem menschlichen Fahrer als größter Risikofaktor die Kontrolle abnimmt. Bisher haben sich ADAS und frühe Systeme für autonomes Fahren auf Radar, Lidar und Kameras verlassen. Das ist jedoch ein teurer und energieaufwändiger Ansatz. Durch den Einsatz von KI kann die VAI-Radar-Software von Ambarella eine weitaus höhere Auflösung und Leistungsfähigkeit als herkömmliches Fahrzeug-Radar erzielen – ohne dass ein ganzer Wald von Antennen eingesetzt werden muss. Das verbessert die Wahrnehmung

der Fahrzeugumgebung, während die Kosten, der Platzbedarf und der Stromverbrauch verringert werden und in vielen Fällen der Einsatz von teurem LiDAR überflüssig wird. Die geringen Datenmengen des VAI-Systems ermöglichen eine zentralisierte Deep-Fusion, bei der sich Radar- und Kamera-Rohdaten für eine bessere Umgebungswahrnehmung kombinieren lassen. Darüber hinaus kann das System die Zuweisung der Sensorverarbeitung im laufenden Betrieb neu konfigurieren, um sie an die Lichtverhältnisse und Wetterbedingungen anzupassen – basierend auf den Stärken der einzelnen Sensortypen. Gleichzeitig lässt sich die Verarbeitungsleistung für jedes Szenario dynamisch an die wichtigsten Bereiche rund um das Fahrzeug zuweisen. ■ (eck)

[www.ambarella.com](http://www.ambarella.com)

**Quellenverzeichnis**

[1] [www.researchgate.net/publication/26438589\\_Automotive\\_Radar\\_and\\_Lidar\\_Systems\\_for\\_Next\\_Generation\\_Driver\\_Assistance\\_Functions](http://www.researchgate.net/publication/26438589_Automotive_Radar_and_Lidar_Systems_for_Next_Generation_Driver_Assistance_Functions)



**Dr. Steven Hong** ist Vice President und General Manager Radar Technology bei Ambarella in Santa Clara, Kalifornien. © Ambarella



**Lazaar Louis** ist Director Automotive Marketing bei Ambarella, Santa Clara, Kalifornien. © Ambarella