



Whitepaper | Multikamerasystem für Flurförder- und Off-Road-Fahrzeuge

# Wie Bosch Unfallschutz und Arbeitsbedingungen im Off-Highway-Markt verbessert

Von Gabelstaplern und anderen Flurförderzeugen geht ein hohes Unfallrisiko aus. Das kamerabasierte Assistenssystem von Bosch für Gabelstapler entschärft besonders unfallträchtige Situationen, indem es die Rundumsicht um das Fahrzeug verbessert **und aktiv vor drohenden Kollisionen warnt.** Personen und andere Objekte im Umfeld des Gabelstaplers werden so besser geschützt und das Stressniveau des Fahrers reduziert.

## Einleitung

Flurförderzeuge sind als Arbeitsmittel in Logistik und Lagerhaltung nicht mehr wegzudenken. Allen voran Gabelstapler, die Anwendung mit der größten Verbreitung: Sie heben schwere Lasten, transportieren ihre Ladung in Produktionsanlagen, Lagerhallen und Fertigungstrecken von A nach B und lassen sich dabei problemlos durch noch so enge Regalreihen manövrieren. Das macht sie auch zu unentbehrlichen Helfern für die schnelle und effiziente Warenlogistik im Online-Handel, der durch das geänderte Verbraucherverhalten seit einigen Jahren einen Boom erlebt.

Während die Vorteile der Nutzung von Staplern offensichtlich sind, werden die Gefahren im Arbeitsalltag oft unterschätzt. Laut Informationen der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) wurden allein im Jahr 2020 mehr als 13.500 Unfälle mit Personenschaden gemeldet, an denen Gabelstapler beteiligt waren <sup>[1]</sup>. Bei einem Viertel der Staplerunfälle ist der Verletzte selbst gefahren, in 47 Prozent der Fälle wurde das Unfallopfer von einem Stapler angefahren, eingequetscht oder überfahren. Hinzu kommen unzählige Unfälle mit Sachschaden, die unnötig Zeit kosten und erhebliche Kosten verursachen.

Beim Fahren und Rangieren des Staplers müssen die Fahrer daher permanent das gesamte Umfeld des Geräts und zudem die Ladung auf der Gabel im Blick haben <sup>[2]</sup>. Laut Interviews mit Fahrern verunsichert sie das und setzt sie unter Dauerstress, der ihre Leistungsfähigkeit erheblich beeinträchtigt und oftmals in Fahrfehlern mündet. Auch führt das notwendige Absichern des gesamten Umfelds an schwer einsehbaren Stellen sowie der Ladung vermehrt zu zögerlichen Fahrmanövern, die die Produktivität des Staplerbetriebs schmälern.

Zu den nervlichen kommen körperliche Belastungen. Verursacht werden sie beispielsweise durch eine verkrampte Sitzposition oder durch das ständige Kopfdrehen nach links und rechts beim Rückwärtsfahren, um eine freie Sicht auf den Fahrweg zu haben. Bei den Fahrern kann das zu langwierigen gesundheitlichen Problemen und damit für Arbeitgeber zu erheblichen Ausfallzeiten führen. Dies ist insbesondere daher problematisch, da es aufgrund von Sprachbarrieren oder der erforderlichen Fachausbildung nicht einfach ist, geeignete Fahrer zu finden.

Zusätzlich zu den gesundheitlichen Folgen verursachen Unfälle erhöhten Dokumentations-, Aufklärungs-, Beseitigungs- und Nachschulungsaufwand im Betrieb. Um die Arbeitssicherheit beim Staplerbetrieb zu erhöhen, sind in vielen Unternehmen Einweiser vorgeschrieben, die die Staplerfahrer beim Rangieren während der Be- und Entladung unterstützen sollen. In der Praxis

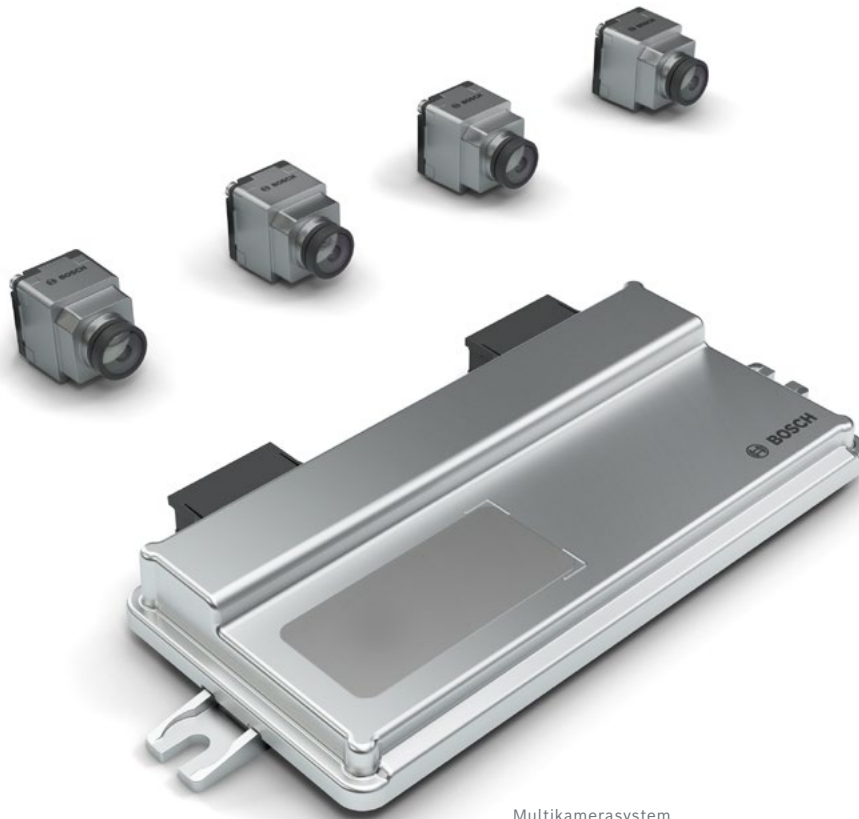
sind sie jedoch insbesondere in Stoßzeiten oftmals nicht immer direkt verfügbar, was lästige Wartezeiten und dadurch Kosten verursacht und den Stresslevel zusätzlich erhöht. Um diese Wartezeiten zu reduzieren, wird oftmals trotz eingeschränkter Sicht ohne Einweiser gefahren, was zu erhöhtem Unfallrisiko führt.

Wie viele Erfahrungen von Bosch in anderen Industriebereichen, etwa dem Nutzfahrzeugsektor, zeigen, können elektronische Assistenzsysteme einen entscheidenden Beitrag zur Verbesserung des Sicherheitsniveaus und zur Reduzierung der gesundheitlichen Belastungen für die Fahrer leisten und damit die Produktivität langfristig erhalten oder sogar steigern. Dazu müssen die Funktionen jedoch zielgerichtet so konzipiert und ausgelegt sein, dass sie dem Anwender bei der Ausübung seiner Tätigkeit nicht das Gefühl geben, ersetzt zu werden, sondern ihn sinnvoll entlasten und unterstützen. Das bedeutet beispielsweise, dass das System Gefahrensituationen richtig identifiziert und entschärft, Fehlwarnungen vermieden werden und die Bedienung einfach und intuitiv erfolgt.

## Branchenweite Zusammenarbeit

Um die Anforderungen an ein Assistenzsystem für Flurförderzeuge – und hier speziell für Gabelstapler, die von allen Anwendungen das größte Marktvolumen haben – gesamthaft erfassen und passende Assistenzlösungen entwickeln zu können, hat Bosch eine detaillierte Analyse potenzieller Problemsituationen durchgeführt. Mitgewirkt haben dabei unterschiedliche Verbände, Vertreter von Berufsgenossenschaften und Firmen, unter anderem des produzierenden Gewerbes, des Baustoff- und Getränkehandels, des Einzelhandels sowie aus dem Verleih- und Service-Geschäft.

Auf diese Weise wurde beispielsweise im Rahmen von Workshops, Veranstaltungen mit Fahrern, Beobachtungstagen in Betrieben und Einzelinterviews ermittelt, welche Arbeitssituationen bei der Gabelstaplernutzung besonders problembehaftet sind. Über alle Branchen hinweg nannten die Teilnehmer dabei das Rückwärtsfahren mit dem Stapler an erster Stelle. Sie bemängelten insbesondere schlechte Übersichtlichkeit und Ergonomie. An zweiter Stelle stand das langsame Fahren mit beladener Gabel und häufigen Richtungsänderungen, etwa beim Rangieren. In beiden Situationen lenken die notwendigen ständigen Blickrichtungswechsel vom Fahrgeschehen ab und vergrößern die Unfallgefahr. Das deckt sich auch mit Erhebungen der DGUV, nach der 55 Prozent der Unfälle bei Rückwärtsfahrt und sogar 98 Prozent bei langsamem Tempo erfolgen. 90 Prozent der Verletzten standen dabei zu nahe am Stapler, der erforderliche Sicherheitsabstand zum Gerät wurde also nicht eingehalten.



Multikamerasystem

Aus den Ergebnissen der Anforderungsanalyse sowie ergänzenden DGUV-Erhebungen zu Unfallverläufen, deren Häufigkeit und Schwere lassen sich drei besonders unfallträchtige Standardsituationen (Use-Cases) beim Betrieb von Gabelstaplern identifizieren. Erstens ist das das Anfahren beziehungsweise Fahren auf den oftmals engen Gängen und Wegen, wo die Gefahr einer Kollision mit Personen oder anderen Objekten besteht, zweitens werden in unübersichtlichen Kreuzungsbereichen zwischen den Regalreihen querende Personen oder Fahrzeuge übersehen und drittens kommt es zu Unfällen beim Rangieren während des Be- und Entladens, etwa wenn Paletten mit Ware in Regale oder LKW eingelagert werden.

Zusammengefasst muss ein Assistenzsystem, das Staplerfahrer wirksam bei ihrer Arbeit unterstützt, einerseits die generelle Rundumsicht um das Fahrzeug und speziell die Sicht auf den Fahrweg bei Rückwärtsfahrten oder Blindspots durch die Gabelbeladung verbessern und andererseits in den drei oben genannten Situationen durch aktive Warnhinweise zusätzlichen Unfallschutz bieten.

### Multikamerasystem

In einem von Bosch durchgeführten Benchmarkvergleich verschiedener Sensorkonzepte kristallisierte sich das optische Sensorsystem mit Kameras für die Anforderungen bei Gabelstaplern als besonders geeignet heraus. Bildarstellungs- und -aufbereitungsfunktionen lassen sich mit einem kamerabasierten System naturgemäß sehr viel besser umsetzen und vom

Bediener interpretieren als mit anderer Sensorik. Das Assistenzsystem von Bosch besteht aus vier kompakten Nahbereichskameras und einem Steuergerät, das eine 360°-Darstellung des aktuellen Fahrzeugumfelds erzeugt und dem Fahrer auf seinem Monitor im Cockpit anzeigt. Je nach aktueller Arbeitssituation kann der Fahrer zwischen unterschiedlichen Ansichten auf seinem Monitorbild schalten. Die Bildschirmdarstellung – ob Einzelansichten, 360°-Rundumsicht sowie Vollbild oder Splitscreen – lässt sich vom Fahrer konfigurieren, zudem schaltet das System in Abhängigkeit von der Fahrzeugbewegung automatisch in die passende Bildansicht, ohne dass der Fahrer diese aufwendig im Bedienmenü einstellen muss.

Die möglichen Betrachtungsmodi sind:

- ▶ 3D-Topview („BirdView“): Aus den Kameradaten berechnet das System eine Draufsicht auf das Fahrzeug von oben, sodass der Fahrer das gesamte Umfeld des Fahrzeugs einsehen kann. Bewegt sich das Fahrzeug, wandert auch das Monitorbild des Umfelds mit. Der Topview-Zoom (manuell und fahrgeschwindigkeitsabhängig) bietet einen automatischen Fokus zum zielgenaueren Manövrieren des Fahrzeugs an engen Stellen.
- ▶ Panorama-Ansicht: In diesem Modus wird der Sichtbereich der Front- oder Heckkamera auf 180° geöffnet, insbesondere hilfreich beim Rückwärtsfahren aus Rolltoren, da der Kameraöffnungswinkel größer als der des Fahrers ist und die Kamera früher aus dem Rolltor neigt als der Kopf des Fahrers.

Als Feature kann der Fahrer die Trajektorie der Fahrspur mit Entfernungskennlinien als Manövrier- und Positionierungshilfe in das Displaybild einblenden. Diese Funktion unterstützt den Fahrer einerseits beim Fahren und Rangieren, andererseits aber auch bei einem Wechsel des Staplerbedienpersonals. In diesem Fall ist dem neuen Fahrer der vorher eingestellte Lenkwinkel oftmals nicht bekannt, sodass das Fahrzeug beim Anfahren abrupt die Richtung wechseln kann. Unfälle entstehen dann oft, wenn der Stapler eine Person touchiert, die im direkten Nahbereich des Fahrzeugs steht, etwa um den Transportauftrag mit dem Staplerfahrer zu besprechen, oder wenn der Stapler direkt in eine Regalreihe lenkt.

Darüber hinaus bietet das System eine virtuelle Kameranachschwenkfunktion. Dabei dreht das Kamerabild zum Beispiel bei der Frontsicht digital mit dem Lenkwinkel mit, um den für den Fahrer relevanten Sichtbereich besser einzufangen.

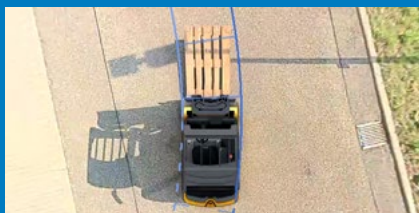
Bei der Erzeugung der Ansichten nutzt Bosch einen Hochleistungs-Grafikprozessor. Durch ihn wird insbesondere beim Stitching – also dem Zusammenfügen einer großen Ansicht aus den Einzelperspektiven der Kameras – im Bereich der Bildüberlappung eine hohe Bildqualität und -detailtreue erreicht. Im Staplerbetrieb führt das dazu, dass der Bediener keine Objekte im Monitorbild übersieht und Objekte am Übergang zwischen zwei Kamerabereichen nicht doppelt dargestellt werden.



## Sichtassistent

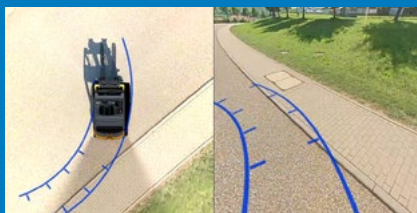
Je nach Arbeitssituation kann der Fahrer zwischen unterschiedlichen Ansichten auf seinem Monitorbild schalten

### 360°-Rundumsicht



3D Draufsicht

### Manöver- & Positionierungs-Hilfe



Dynamische Fahrspureinblendung in Abhängigkeit des Lenkwinkels mit Distanzindikatoren und Farbauswahl

### Panorama view



Panoramaansicht sieht mehr als der Fahrer mit seinem Sichtbereich

### Automatischer Draufsicht Zoom



Automatische Zoom-Funktion, um langsame Manöver in beengten Umgebungen zu vereinfachen

### Virtueller Kameranachschwenk



Digitales Schwenken der Kamera abhängig vom Lenkwinkel, ermöglicht dem Fahrer mehr des relevanten Bereichs zu überblicken

### Dynamisches Stitching



Umschaltung der Stitching-Linien in Abhängigkeit der Fahrtrichtung und dem Kameranachschwenk



### Automotive-Ethernet Schnittstelle



### Diagnose- und Kalibrierungs-Tool

Einfache und schnelle Kalibrierung durch den Kunden für verschiedene Fahrzeugvarianten möglich.

## Kollisionswarnung

Auf der Grundfunktion der Bilddarstellung baut die Kollisionswarnung des Assistenzsystems auf. Der Warnhinweis kann dabei beispielsweise durch eine deutlich sichtbare Farbmarkierung im Monitor, ein akustisches Signal oder eine haptische Rückmeldung über das Lenkrad erfolgen. Der Detektionsraum für die Warnfunktion ist jeweils auf das typische Bewegungsmuster des Fahrzeugs abgestimmt. Ein Warnhinweis wird nur ausgegeben, wenn das System die Situation als potenziell unfallkritisch einordnet.

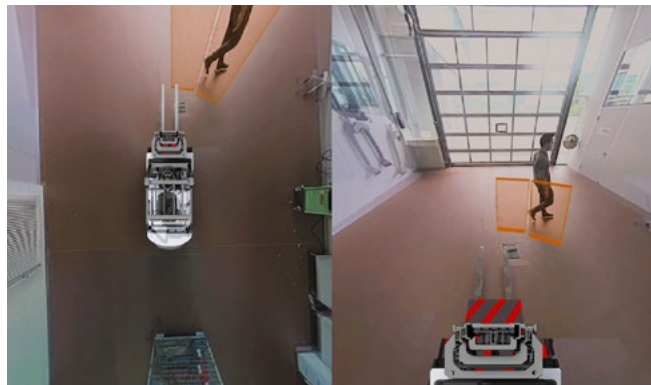
Beim ersten Use-Case für die Kollisionswarnung, der Fahrt in einem Gang oder entlang von Regalreihen, werden dem Gabelstaplerfahrer kniende, stehende und sich bewegende Personen vor und neben dem eigenen Fahrzeug angezeigt. Die Warnschwelle ist dabei einerseits von der Geschwindigkeit des Staplers und andererseits vom Lenkwinkel abhängig. Je nach Lenkwinkel des Staplers beträgt der Detektionsraum 2 bis 4 m. Diese Funktion ist standardmäßig ohne Zutun des Fahrers eingeschaltet, sobald er das Fahrzeug in Betrieb nimmt.

Erkennt das System durch einen Trigger, wie eine starke Geschwindigkeitsreduzierung des Gabelstaplers oder die Lokalisierung des Fahrzeugs im Lagerraum, die Annäherung an eine Einmündung, schaltet es in den Kreuzungsmodus. Hier erfolgt die Detektion zusätzlich auf kreuzende Personen oder Objekte bis 4 m Abstand zum eigenen Fahrzeug, sodass auch der zweite Use-Case sicher abgedeckt wird.

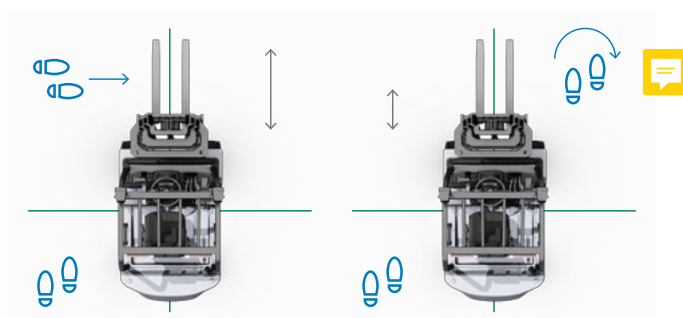
Die Warnfunktion während des Lagervorgangs – der dritte Use-Case – wird manuell durch einen Schalter oder automatisch eingeschaltet, wenn bei einer geringen Fahrzeuggeschwindigkeit bis 3 km/h der Hubmast bewegt wird. Die Funktion ist so ausgelegt, dass sie einen Gefahrenbereich von 4 m um das Fahrzeug abdeckt. Das System deaktiviert sich selbsttätig, wenn die Hubmastaktorik für mehr als 10 s nicht angesteuert oder die Geschwindigkeit von 3 km/h überschritten wird.

## Softwareentwicklung mit künstlicher Intelligenz

Kern der oben beschriebenen Kollisionswarnfunktionen ist eine leistungsstarke Software, die im Steuergerät des Assistenzsystems die Signale der vier Kameras auswertet. Erkennt das System eine Kollisionsgefahr, erfolgt die entsprechende Warnung. Für die Gabelstapleranwendung werden dazu zwei bei Assistenzsystemen bewährte Methoden, die Objekterfassung und die Objekterkennung, miteinander kombiniert. Bei der Objekterfassung entscheidet die Systemlogik anhand charakteristischer Bewegungen, ob ein Objekt für die Kollisionswarnung relevant ist oder nicht. Bei der Objekterkennung wird die Form des



Optische Kollisionswarnung auf dem Fahrzeugmonitor



Use-Case 1: Anfahren beziehungsweise Fahren auf Gängen und Wegen

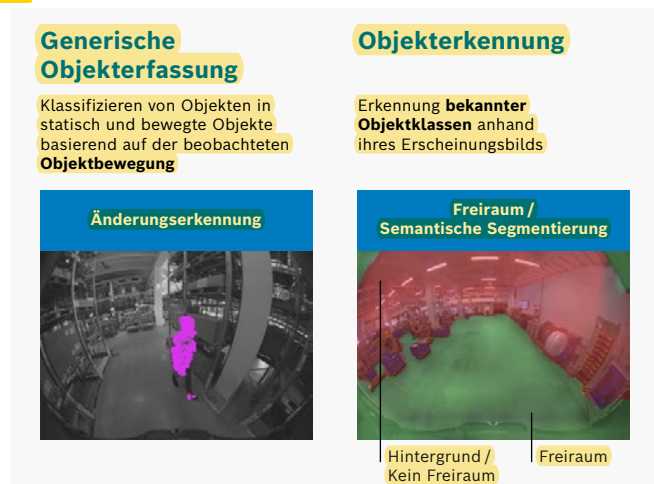


Use-Case 2: Kreuzungsbereich



Use-Case 3: Be- und Endladen

Objekts automatisch mit gespeicherten Bildmustern abgeglichen. Das übernehmen sogenannte neuronale Netze, eine Softwarearchitektur aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz, die auf die Wiedererkennung spezifischer optischer Muster trainiert werden. Die Verschmelzung der beiden Messprinzipien sorgt dafür, dass die drei Situationen mit potenziell kritischem Unfallrisiko durch die Kollisionswarnung vollständig abgedeckt und beispielsweise sowohl stehende als auch bewegte Objekte erfasst werden.



Kombination von Objekterfassung und die Objekterkennung für die Kollisionswarnfunktion

### Anwendungsspezifische Systementwicklung

Bosch legt Assistenzsysteme und -funktionen für Flurförderzeuge, aber auch für andere Industrie- und Off-Highway-Anwendungen wie beispielsweise Bau-, Agrar- und Kommunalfahrzeuge, maßgenau auf die jeweiligen Anforderungen aus. Dazu wurde ein flexibel einsetzbarer und kombinierbarer Sensorbaukasten mit Ultraschall-, Radar- und Kamerasystemen entwickelt. Bei Gabelstaplern bieten sich aufgrund des besonderen Einsatzprofils vor allem Multikamerasysteme an. Sie verfügen über eine hervorragende Bildwiedergabe für die Monitorarstellung und sehr gute Detektionswerte im Nahbereich um das Fahrzeug für die Warnfunktionen. Bei anderen Flurförderzeugen wie beispielsweise den Hubarbeitsbühnen, nutzt Bosch Ultraschallsensoren zur Arbeitskorb Absicherung von Blindbereichen. Seit Anfang 2022 ist das neue 24-V-Ultraschallsensor-System für die Nahfeldüberwachung des Arbeitsbereichs in zwei Ausführungen auf dem Markt. Auch wenn sich die Hardware der beiden 24-V-Systeme gleicht, gibt es Unterschiede bei der Verarbeitung der Sensordaten und damit beim Funktionsumfang. Während das einfachere System nur die reine Distanz zu einem Hindernis misst, bietet die Highend-Lösung zusätzlich eine Objektlokalisierung.

Radarsysteme bieten einen extrem weiten Detektionsbereich bis zu 160m, sodass auch entfernte Objekte zuverlässig erkannt werden. Das prädestiniert sie für Off-Highway-Anwendungen wie Baumaschinen oder Landwirtschaftsfahrzeuge, die bei ihrer Arbeit große Flächen abdecken.

Für alle Assistenzsysteme von Bosch gilt, dass sie sich problemlos in die Fahrzeugelektronik integrieren lassen. Im Bereich der Flurförderzeuge unterstützt das Kommunikationsprotokoll dazu beispielsweise schon heute künftige Elektronikschnittstellen, deren Standardisierung aktuell mit Hochdruck vom Verein Deutscher Ingenieure (VDI) und den Herstellern betrieben wird<sup>[3]</sup>.

### Zusammenfassung und Ausblick

Von Gabelstaplern und anderen Flurförderzeugen geht ein hohes Unfallrisiko aus. Beim Fahren und Rangieren des Staplers müssen die Fahrer daher permanent das gesamte Umfeld des Geräts und zudem die Ladung auf der Gabel im Blick haben. Das setzt sie unter Dauerstress und kann zu gesundheitlichen Problemen führen. Das Multikamerasystem von Bosch für Gabelstapler entschärft besonders unfallträchtige Situationen, indem es die Rundumsicht um das Fahrzeug und speziell die Sicht auf den Fahrweg bei Rückwärtsfahrten oder Blindspots durch die Gabelbeladung verbessert. Dazu wird ein 360°-Darstellung des aktuellen Fahrzeugumfelds erzeugt und dem Fahrer auf seinem Monitor angezeigt. Je nach aktueller Arbeitssituation kann der Fahrer zwischen unterschiedlichen Ansichten auf seinem Monitorbild schalten. Darüber hinaus bietet das Assistenzsystem eine wirksame Warnfunktion vor drohenden Kollisionen mit Personen oder anderen Objekten im Umfeld des Fahrzeugs. Die technische Konzeption der Assistenzfunktion ist das Ergebnis einer fundierten Anforderungsanalyse, für die Bosch eng mit unterschiedlichen Verbänden, Firmen und Vertretern von Berufsgenossenschaften zusammengearbeitet hat. Dabei wurden drei charakteristische, besonders unfallträchtige Fahrscenarien identifiziert und daraus entsprechende Use-Cases für die Warnfunktion abgeleitet. Im Entwicklungsprozess wurden diese dann als Softwarefunktion im Steuergerät des Multikamerasystems abgebildet. Einerseits ist das das Anfahren beziehungsweise Fahren auf Gängen und Wegen, andererseits das Überqueren von Kreuzungen im Lagerbereich und zudem das Rangieren bei Lagervorgängen. Damit bietet das System eine perfekte Rundumsicht und einen wirksamen Schutz vor Kollisionen. Personen und andere Objekte im Umfeld des Gabelstaplers werden so besser geschützt und der Stressniveau des Fahrers bei der Bedienung reduziert. Neben dem Multikamerasystem runden Radar- und Ultraschallsysteme die Off-Highway-Rundumsensorik von Bosch ab.

## Literaturhinweise

- [1] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (Hrsg.): Statistik Arbeitsunfallgeschehen 2020. Online: <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/4271>, aufgerufen am 10. April 2022
- [2] Berufsgenossenschaft Holz und Metall (Hrsg.): Gabelstapler. Online: <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/310>, aufgerufen am 10. April 2022
- [3] VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik (Hrsg.): VDI 4482: Assistenzsysteme für Flurförderfahrzeuge. Online: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4482-assistenzsysteme-fuer-flurfoerderzeuge>, aufgerufen am 10. April 2022

## Weitere Infos

[www.bosch-mobility-solutions.com](http://www.bosch-mobility-solutions.com)

Die Bosch Engineering GmbH ist eine 100-prozentige Tochter der Robert Bosch GmbH mit Hauptsitz in Abstatt bei Heilbronn. Als Systementwicklungspartner der Automobilindustrie bietet das Unternehmen seit 1999 Entwicklungsdienstleistungen für den Antriebsstrang, Sicherheits-, Komfort- sowie E/E-Systeme vom Konzept bis zur Serie. Mit den Vorteilen erprobter Großserientechnik von Bosch entwickelt der Elektronik- und Software spezialist maßgeschneiderte Lösungen für vielfältige Einsatzgebiete von Personenkraftwagen über Nutzfahrzeuge, Off-Highway-Anwendungen bis hin zu Schienen- und Freizeitfahrzeugen, Schiffen und industriellen Anwendungen. Zudem bündelt die Bosch Engineering GmbH alle Motorsportaktivitäten der Bosch Gruppe.



Erfahren Sie mehr  
über OHW Lösungen



Bosch Mobility Solutions  
auf LinkedIn

### **Bosch Engineering GmbH**

Robert-Bosch-Allee 1  
74232 Abstatt  
Deutschland  
Tel. +49 7062 911-02

[www.bosch-engineering.com](http://www.bosch-engineering.com)