Netzwerk Baumaschinen NRMM CV

Personen-/Objektdetektion, Warnung in Gefahrenbereichen

Kamera- und Assistenzsysteme zur Kollisionsvermeidung im Arbeitsbereich von Flurförderzeugen (FFZ)

Handel- und Warenlogistik

aktualisierte AUSGABE 07/2026

Hinweis zur Nomenklatur:
Um möglichen Fehlinterpretationen vorzubeugen, verwendet das Netzwerk seit 2026 vorzugsweise den Begriff **„Personendetektion"** anstelle des Synonyms **„Personenerkennung"**.
Die vorgestellten Systeme dienen dem Schutz vor Kollisionen. Dabei werden Daten anonym erfasst – es findet keine persönliche Identifikation statt.

Genderhinweis:
Zur leichteren Lesbarkeit wird in diesem Leitfaden überwiegend die männliche Sprachform verwendet. Selbstverständlich beziehen sich Personenbezeichnungen auf alle Geschlechter.

Das Netzwerk Baumaschinen NRMM CV unterstützt die Qualität und Wirtschaftlichkeit von Prozessen zur Verbesserung der Sicherheit im Gefahrenbereich von mobilen Maschinen (NRMM – Non Road Mobile Machinery) und Nutzfahrzeugen (CV – Commercial Vehicles).

Der Fokus liegt dabei auf der Personen- und Objektdetektion zur Kollisionsvermeidung. Zentrale Aufgabenstellungen hierzu werden mit den betroffenen Akteuren diskutiert und aus den Ergebnissen praxisgerecht aufbereitete Informationen und Leitfäden erarbeitet.

Die Erfahrungen aus Sichtfeldeinschränkungen bei Baumaschinen erweitert das Netzwerk auf mobile Arbeitsmaschinen verschiedenster Branchen – von der Land- und Forstwirtschaft über den Garten-/Landschaftsbau bis hin zur Rohstoffgewinnung, Industrie und Logistik.

Der im Netzwerk erarbeitete Leitfaden **„Personen-/Objektdetektion, Warnung in Gefahrenbereichen"** bietet einen Überblick zu technischen Maßnahmen wie zum Beispiel

- Kamera-Monitor-Systeme,
- Warn- und Assistenzsysteme,
- intelligente Software zur Objektdetektion,
- KI-basierte Anwendungen.

Diese Maßnahmen können den Fahrer/Bediener bei eingeschränkten Sichtverhältnissen unterstützen und für einen zuverlässigen Kollisionsschutz beim Einsatz von Flurförderzeugen (FFZ) sorgen.

Unternehmer, Führungskräfte, Betriebsräte, Sicherheitsfachkräfte (SiFas), Sicherheits- und Gesundheitsschutzkoordinatoren (SiGeKos), Sicherheitsbeauftragte (SiBes) und Fahrer/Bediener erhalten wertvolle Hinweise für ihre tägliche Praxis.

Die Informationen in diesem Leitfaden für Flurförderzeuge (= kraftbetriebene FFZ gemäß ISO 5053-1) behandeln hauptsächlich die sogenannten Gabel- bzw. Hubstapler.

INQA | INITIATIVE NEUE QUALITÄT DER ARBEIT

Gute Arbeitsbedingungen und wirtschaftlicher Erfolg gehören zusammen!
Das Netzwerk Baumaschinen NRMM CV agiert im Sinne der nationalen „Initiative Neue Qualität der Arbeit" (INQA) des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS). INQA als Praxisplattform für Arbeitsqualität und den Wandel der Arbeit begleitet Unternehmen mit Fachwissen, Praxiserfahrungen und einem breiten Netzwerk mit konkreten Angeboten, die sozialpartnerschaftlich getragen sind.

- www.inqa.de

Inhalt

Anwendungsbereich Flurförderzeuge (FFZ) 4

1 Gefahrensituationen sicher erkennen, Prozesse verbessern 5
1.1 Typische Gefährdungen 5
1.2 Gefährdungsbeurteilung „Sicht", TOP-Prinzip 6
1.3 Beispiele für Prozessverbesserungen 7

2 Sicht und Sichthilfsmittel – Kamera-Monitor-Systeme (KMS) 8
2.1 Standard Kamera-Monitor-Systeme 8
2.2 Rundumsicht Kamera-Monitor-Systeme (Surroundview von 270° bis 360°) 12
2.2.1 Rundumsicht aus der Vogelperspektive (Birdview) 13
2.2.2 Darstellung einer Rundumsicht aus Einzelansichten 14
2.3 Spiegelersatzsysteme (Digitaler Außenspiegel) 15
2.4 Übertragungstechnologien von KMS 16

3 Personen- und Objektdetektion – Warn-/Assistenzsysteme 17
3.1 Ultraschallsysteme 18
3.1.1 Ultraschallsysteme mit Safety-Zertifizierung 20

Empfehlungen aus VDI-Richtlinie 4482 – Assistenzsysteme für Flurförderzeuge 21

3.2 Radarsysteme 22
3.2.1 Radar mit Anfahrtstopp/Geschwindigkeitsreduzierung 24
3.3 LiDAR-Systeme 25
3.4.1 Funk-/Transponder-/Tag-Systeme 26
3.4.2 LPS-Tag-System mit cloudbasierter Datenanalyse-Plattform 28
3.5 3D-Kamerasensoren 30
3.6 Aktive Fußschutzleiste an Mitgängern,Fußschutz bei Fahrzeugen mit Plattform 31

4 Akustische und optische Warnsignale für Personen in der Umgebung 32
4.1 Akustische Warnung von gefährdeten Personen 32
4.1.1 Breitbandton-Warner 33
4.2 Optische Warnung von gefährdeten Personen 34
4.2.1 Truck Spot, **4.2.2** Blue Spot und Red Spot, **4.2.3** Red/Blue Warning Lines 35

5 Intelligente Software und Künstliche Intelligenz für Warn-/Assistenzsysteme 36
5.1 Künstliche Intelligenz (KI) 37
5.1.1 Sichere und zertifizierbare KI 38
5.2 Personen-/Objektdetektion mittels künstlicher Intelligenz 40
5.2.1 Smartkamera für Personendetektion und Kollisionsvermeidung 42
5.2.2 Klassische Systeme im Vergleich zu KI-basierten Kameras 45
5.3 KI-Personendetektion zur Kollisionsvermeidung und zum Unfallrisikomanagement 46
5.4 KI-basierte Kamera zur Personendetektion mit aktivem Bremseingriff (optional) 48
5.5 Automatisierungssoftware für mobile Maschinen 49

6 Allgemeine Grundlagen für die Beschaffung und den Betrieb 50

7 Regelwerke und Normen für Betreiber/Arbeitgeber, Hersteller, Beschäftigte 52

Begriffserläuterungen 56

Publikationen des Netzwerks 57

Impressum, Bildquellennachweis, fachliche Unterstützung 58

Anwendungsbereich Flurförderzeuge (FFZ)

Kraftbetriebene Flurförderzeuge (FFZ)

Dieser Leitfaden befasst sich mit Personen- und Objekt-detektionssystemen für selbstfahrende, kraft- bzw. motorangetriebene FFZ.

Aufgrund der hohen Unfall-zahlen bei Mitgänger-FFZ werden im Kapitel 3.6 technische Möglichkeiten vorgestellt, die das Gefährdungspotenzial für den Bediener reduzieren können.

Im Bereich der Intralogistik kommt eine Vielzahl an Flurförderzeugen zum Einsatz.
Für unterschiedliche Anwendungen stehen u. a. folgende FFZ-Typen zur Verfügung

- FFZ mit Hubeinrichtung wie Gabel-/Gegengewichtstapler, Schmalgang-, Container-, Teleskop-, Schubmaststapler, Mitnahmestapler
- FFZ ohne Hubgerüst, z. B. Schlepper, Plattformwagen, Kommissioniergeräte
- Neben FFZ mit Fahrersitz oder Fahrerstand spielen beim Materialtransport zunehmend auch fahrerlose Transportfahrzeuge/-systeme (FTF/FTS) eine wichtige Rolle

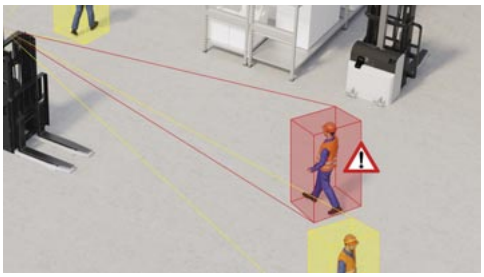
Das Be- und Entladen eines LKWs führt oft zu kritischen Situationen: Flurförderzeuge und Menschen arbeiten auf engem Raum, es geht hektisch und unübersichtlich zu. Im schlimmsten Fall kann das zu Sach- oder gar Personenschäden führen. Verladesituationen ebenso wie enge Platzverhältnisse in Lagern verlangen von allen Beteiligten höchste Aufmerksamkeit. Tote Winkel, schwer einsehbare Bereiche und Ablenkung durch Lärm sind ein permanentes Sicherheitsrisiko beim Einsatz von FFZ.

Anti-Kollisionssysteme – Systeme zur Personen- und Objektdetektion

Bild oben: Mitgänger-FFZ mit klappbarer Standplattform

Kollisionen beim Fahren und Rangieren von FFZ stellen ein erhöhtes Risiko für die Beschäftigten dar. Um Gefährdungen zu verringern, werden Anti-Kollisionssysteme bzw. Systeme zur Personen- und Objektdetektion installiert.
Hierzu werden je nach Gefährdungssituation vor Ort **die Umgebung**, **die Flurförderzeuge** und/oder **die Beschäftigten** mit Systemen ausgestattet, um beispielsweise

- **Sicht in nicht oder schwer einsehbare Bereiche zu ermöglichen,**
- **den Fahrer und/oder die gefährdete Person aktiv zu warnen,**
- **das Fahrzeug automatisch abzubremsen oder zu stoppen.**



Fahrer-Assistenzsysteme (FAS)

FAS bieten dem Fahrer Sicherheit, Effizienz und/oder Komfort. Der Fokus dieses Leitfadens liegt auf dem Sicherheitsaspekt der Kollisionsvermeidung.

Anti-Kollisionssysteme/Systeme zur Personen- und Objektdetektion zählen zu den Fahrer-Assistenz-systemen. Hierbei handelt es sich um elektronische Einrichtungen, die den Fahrer bei seiner Tätigkeit unterstützen.
Der Begriff reicht von reinen Sichthilfsmitteln über Systeme, die den Fahrer vor einer kritischen Situation warnen, bis hin zum automatischen Eingriff in die Steuerung und/oder den Antrieb des Fahrzeugs. Je nach Anwendungsfall sind Kombinationen aus unterschiedlichen FAS möglich/sinnvoll.

1 Gefahrensituationen sicher erkennen

Prozesse verbessern

Sicht und Aufmerksamkeit

Beim Betrieb von mobilen Arbeitsmaschinen, wie Flurförderzeugen, ereignen sich immer wieder Sachbeschädigungen und schwere, auch tödliche Unfälle, weil im Gefahrenbereich befindliche Personen und Objekte nicht rechtzeitig erkannt werden.

Schlechte oder fehlende Sicht verursacht

- Störungen des Arbeitsablaufs,
- Stress bei den Betroffenen und
- erhöhte Unfallrisiken.

1.1 Typische Gefährdungen

Gefährdungen durch mangelhafte Sicht

Mit Flurförderzeugen werden Lasten transportiert, geschoben und gezogen, bei vorhandenen Hubeinrichtungen auch aufgenommen, gehoben, abgesetzt, gestapelt und in Regale ein- und ausgelagert. Dabei besteht aufgrund von eingeschränkten Sichtverhältnissen die Gefahr, dass Personen oder Objekte nicht rechtzeitig erkannt werden.

Es kann insbesondere zu folgenden Gefährdungen durch Sichteinschränkungen kommen:

- Kollisionen des FFZ mit Personen oder Gegenständen bei Rangier- oder Fahrbewegungen (betrifft 2/3 aller Unfälle mit FFZ).
- Einquetschen von Personen durch das Transportgut, z. B. durch eingeschränkte Fahrersicht auf den Verkehrsweg oder aufgrund fehlender seitlicher Sicherheitsabstände.
- Zusammenstöße von FFZ mit anderen Fahrzeugen auf dem Betriebsgelände, insbesondere an Ausfahrten aus Lagerhallen oder in Kreuzungsbereichen.
- Schädigung des Muskel-Skelett-Systems des Fahrpersonals durch Zwangshaltungen, wie z. B. Kopfdrehung bei Rückwärtsfahrten.

- **Achtung: Stapler verfügen über ein besonders hohe Beschleunigungskraft. Der Vorgang des Anfahrens mit Elektroantrieben ist besonders risikobehaftet!**

Die DGUV-Statistik zeigt das hohe Gefährdungspotenzial. 2023 ereigneten sich:

- **18.491 meldepflichtige Unfälle mit FFZ (inkl. hand- und kraftbetriebene Mitgänger), davon**
- **6.240 mit Gegengewichtsstaplern, 704 mit Schubmaststaplern o. Ä., 229 mit Teleskopstaplern**
- **7 Unfälle endeten tödlich,**
- **294 führten zu dauerhafter Arbeitsunfähigkeit.**
- **In 46,6 % der Fälle wurde das Unfallopfer eingequetscht, an- oder überfahren.**

1.2 Gefährdungsbeurteilung „Sicht", TOP-Prinzip

FFZ dürfen nur gefahren werden, wenn der Fahrer ausreichende Sicht auf den Fahrweg hat oder eingewiesen wird (DGUV Vorschrift 68 §12). Zur Festlegung ggf. erforderlicher Maßnahmen ist die gesetzlich vorgeschriebene Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Neben einem wirkungsvollen Arbeitsschutz bringt die Umsetzung wirtschaftlichen Nutzen: weniger oder gar keine Arbeitsausfälle bei den Beschäftigten, weniger Beschädigungen von Maschinen und Material.

Die „TRBS 1111 – Gefährdungsbeurteilung" konkretisiert die Anforderungen der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV).

Die Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse für die Verwendung von Arbeitsmitteln wieder.

Ergibt die Gefährdungsbeurteilung, dass die direkte Sicht des Fahrers/Bedieners auf den Arbeitsbereich nicht ausreicht, um dort Personen und Objekte sicher zu erkennen, sind gemäß TOP-Prinzip vorrangig technische Maßnahmen festzulegen und umzusetzen. Hierarchie und Beispiele für Schutzmaßnahmen:

1. **T**echnisch: Mittel zur Sichtverbesserung, wie Kamera-Monitor-Systeme, die eine ausreichende Sicht gewährleisten. Auch prüfen, ob Warn-/Assistenzsysteme zur Personen-/Objektdetektion erweiterten Schutz bieten können (siehe unten).
2. **O**rganisatorisch: Gefahrenbereiche definieren und kennzeichnen, Verhaltensregeln aufstellen (z. B. Aufenthaltsverbote, Einweiser, Sicherungsposten oder Abschrankungen) und deren Einhaltung kontrollieren, regelmäßig über Gefahren und die einzuhaltenden Schutzmaßnahmen unterweisen.
3. **P**ersönlich: Persönliche Schutzausrüstung (PSA), z. B. Warnwesten als ergänzende Maßnahme bereitstellen und für deren Benutzung sorgen.

Mit einer Gefährdungsbeurteilung muss bereits vor der Auswahl und der Beschaffung eines Arbeitsmittels begonnen werden.

Die Anforderungen und Kriterien für die geplanten Einsatzbereiche sind dabei detailliert zu beschreiben und zu dokumentieren. Hierzu gehören z. B.:

- **Einsatzanforderungen**
- **Erfahrungen der Beschäftigten**
- **Stand der Technik bei Personen- und Objektdetektionssystemen**

Gefährdungsbeurteilung ≠ Risikobeurteilung

Die Gefährdungsbeurteilung durch den Arbeitgeber ist nicht zu verwechseln mit der Risikobeurteilung/Gefahrenanalyse des Herstellers!

Ziel: Volle Sicht auf Fahrweg, Arbeitsbereich und Gefahrenstellen.

Zuerst die Sitzeinstellung für den Fahrer optimieren. Dann prüfen, ob die direkte Sicht des Fahrers auf die Gefahrenbereiche der Maschine gewährleistet ist:

- Welche Spiegel sind montiert?
- Befinden sich diese an der richtigen Position? Spiegel und Monitore müssen im vorderen 180°-Sichtfeld des Fahrers angebracht sein.
- Reicht die Sicht aus?

Ist eine direkte Sicht nicht gegeben, folgende technische Maßnahmen/Lösungen einsetzen:

- Kamera-Monitor-System
- Rundumsicht-Kamerasystem
- Warn-/Assistenzsystem
- Intelligente, aktive Lösung

Wenn technische Maßnahmen nicht ausreichen, ergänzend organisatorische Maßnahmen ergreifen: In besonders unübersichtlichen Situationen (wie beim Auf-/Abladen, beim Wareneingang oder bei fließendem Verkehr) ggf. Einweiser einsetzen (siehe Seite 50). Vorher unbedingt mit diesem die Zeichengebung abstimmen. **Generell klären:** Können gefährdete Personen sicher aus bestimmten (Gefahren-)Bereichen ausgesperrt werden?

1.3 Beispiele für Prozessverbesserungen

Die Digitalisierung und Vernetzung von Warenwirtschaftssystem, Produktion, Fahrzeugen und Logistik beschleunigt sich. Zunehmende Automatisierungsgrade verändern die Arbeitsbedingungen gravierend. Für die Arbeitssicherheit entstehen neue Herausforderungen, aber auch innovative Lösungen, die die Unfallrisiken verringern können.

Assistenzsysteme und intelligente Software für FFZ ermöglichen Prozessverbesserungen bei gleichzeitiger Erhöhung der Sicherheit. Hierzu zählen beispielsweise:

- Automatische Funktionen wie: Positionierung von Gabelzinken, Containererkennung, Frachtdimensionierung (siehe DIN EN ISO 24134)
- Gestenerkennung (Fahrzeug folgt Maschine)
- Fahrzeugcheck via Smartphone (Zustandskontrolle vor Schichtbeginn inkl. Dokumentation, ggf. Visualisierung von Schäden; Fahrzeug wird nur freigeschaltet, wenn Check durchgeführt wurde)
- Echtzeitlokalisierung (Personen, Fahrzeuge, Güter)

Um Unfälle von FFZ mit Personen zu vermeiden, sind neben den technischen Schutzmaßnahmen auch die folgenden Schritte zur Prozessverbesserung zu beachten:

- Klare Regeln für den innerbetrieblichen Verkehr/Transport
- Trennung von Fahr- und Fußwegen, gute Sichtverhältnisse auf den Fahrwegen
- Eindeutige Beschilderung, Warnschilder
- Ausreichend breite Fahrwege und Seitenabstände zum FFZ
- Unterweisung der Beschäftigten
- Sicherung gefährlicher Stellen mittels Stoppstellen bzw. Zebrastreifen
- Betriebsanweisung mit allen Regeln und Schutzmaßnahmen für den Betrieb von FFZ
- Panorama- oder Kugelspiegel an unübersichtlichen Verkehrspunkten
- Angepasste Fahrgeschwindigkeit (reduziertes Motordrehmoment beim Anfahren)
- Ggf. Eingangskontrollen
- Einhaltung der Pausenzeiten

Wichtige Regelungen und hilfreiche Empfehlungen:

DIN EN ISO 24134:2018-12 „Flurförderzeuge – Zusätzliche Anforderungen für automatische Funktionen von Staplern“

VDI-Richtlinie 4482 „Assistenzsysteme für Flurförderzeuge“ (inkl. Informationen zur Sichtfeldmessung),
siehe Seite 21

DGUV Information 208-059 „Sicherer Umgang mit Teleskopstaplern“

2 Sicht und Sichthilfsmittel

Kamera-Monitor-Systeme (KMS)

2.1 Standard Kamera-Monitor-Systeme

Kamera-Monitor-Systeme (KMS) sind Hilfsvorrichtungen zur Verbesserung der Sicht im Arbeits- und Bewegungsbereich mobiler Maschinen. Sie unterstützen die Überwachung des Gefahrenbereichs vor, hinter und um eine mobile Maschine herum – sowohl bei Fahrbewegungen als auch bei Bewegungen der An- und Vorbaukomponenten.

Kombination aus Rückfahr- und Gabelträgerkamera am Gabelstapler

Darstellung von zwei Kamerabildern auf dem Monitor in der Dual-Ansicht (Split-Screen) – links: Kamera am Gabelträger zur Erleichterung der Lastaufnahme, rechts: Rückfahrkamera

Weitwinkelkamera zur Seitenbereichsüberwachung

Beim Einsatz von KMS beachten:

- KMS sind ausschließlich zur Überwachung des Nahbereichs um eine mobile Maschine herum einzusetzen!
- KMS sind nicht dazu vorgesehen, längere Fahrbewegungen mit der mobilen Maschine durchzuführen!

Rückfahrkamera und Monitor

Direkte Sicht hat oberste Priorität – ersetzt aber nicht den Einweiser!

Systeme zur Sichtverbesserung und Gefahrenerkennung

Wer mit mangelhafter Sicht Fahrzeuge/mobile Maschinen steuert, gefährdet andere und ist selbst psychischen Belastungen ausgesetzt.

Zur Sichtverbesserung und schnelleren Gefahrenerkennung beim Einsatz von FFZ und anderen mobilen Maschinen haben sich Standard Kamera-Monitor-Systeme bewährt.

Das Verwenden von KMS ermöglicht bzw. erleichtert dem Fahrer den Blick in schwer einsehbare Bereiche.

Hat der Fahrer keine direkte oder nur mangelhafte Sicht auf seinen Arbeitsbereich, kann eine Front-, Rückraum- und/oder Seitenbereichskamera Einblick in die verdeckte Gefahrenzone ermöglichen!

Unfälle und Gefährdungen durch Sichteinschränkungen vermeiden

Durch den Einsatz moderner Technik werden Arbeitsabläufe sicherer, ergonomischer und wesentlich effektiver.

Lassen Sie sich qualifiziert über Einsatzbereiche und Vorteile der Systeme durch einen Fachbetrieb beraten. Hierzu zählen umfassende Informationen über wichtige technische und optische Anforderungen an Kamera-Monitor-Systeme, wie zum Beispiel:

- Öffnungswinkel der Kamera
- Darstellungsqualität des Monitors, wie Auflösung, Kontrast, Farbechtheit
- Übertragungszeit der Bilddaten
- Äußere Einwirkungen
- Ausrichten von Kamera und Monitor

Bei der Nachrüstung unbedingt die Herstellerangaben der mobilen Maschine und des eingesetzten Kamera-Monitor-Systems beachten!

Ein kontrollierbares Sichtfeld für den Gefahrenbereich ermöglicht ein schnelleres, präziseres und sichereres Arbeiten.

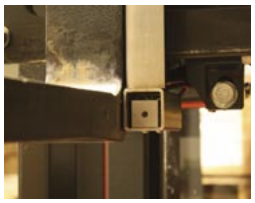
Vorgaben für die Monitorauswahl:
Laut DIN EN 1175 sollten Monitore bei einem Sichtabstand von bis zu 1 m mindestens eine Größe von 7 Zoll haben. Die gefährdete Person muss mindestens in einer Größe von 7 mm auf dem Monitor abgebildet werden (ISO 16001).

Empfehlung aus der Praxis:

- Aus ergonomischen und sicherheitstechnischen Gründen sollten Monitore **mindestens eine Größe von 10 Zoll** haben – bei einem Sichtabstand vom Fahrer zum Monitor von bis zu 1 m.

Anwendungen und Montagemöglichkeiten unterschiedlicher Kamera-Monitor-Systeme an einem FFZ

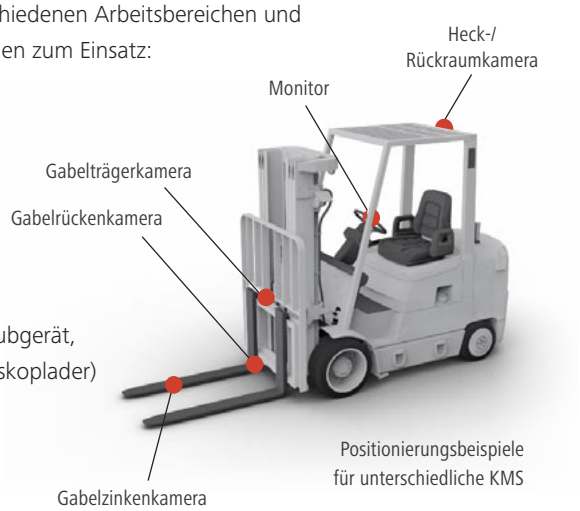
Beispiel Gabelrückenkamera:



Die Kamera mit Pinhole-Objektiv ist gut geschützt vor Stößen und Beschädigungen durch Gitterboxen oder Paletten. Dabei bietet sie freie Sicht auf beide Gabelzinken und erleichtert das Ein- und Auslagern von Waren.

KMS unterstützen den Fahrer/Bediener in verschiedenen Arbeitsbereichen und Anwendungsfällen. Bei Flurförderzeugen kommen zum Einsatz:

- Rückraum-KMS
- Front-KMS
- Seitenbereichs-KMS
- Rundumsicht-KMS
- Gabelzinken-KMS
- Gabelrücken-KMS
- Gabelträger-/Mast-KMS (z. B. Innenmast, Hubgerät, Innenseite Palettenabschieber, Ausleger Teleskoplader)
- Kombinationen verschiedener KMS
- Kombinationen von KMS mit Sensorik (z. B. Ultraschall, Radar, etc.)



Positionierungsbeispiele für unterschiedliche KMS

KMS sind in verschiedenen Qualitäten und Ausführungen erhältlich, wie zum Beispiel:

- **Extrem robust bei Erschütterungen, chemischen Einflüssen, Staub und/oder Nässe**
- **Dicht bei Einsatz von Hochdruckreinigern**
- **Für kabelgebundene oder kabellose Übertragung**
- **Vereisungsschutz durch integrierte Heizung**
- **Geeignet für Nutzung im Kühlhaus und CA-/ULO-Lager**

Bei Arbeiten mit FFZ im CA-/ULO-Lager (Controlled Atmosphere/ Ultra Low Oxygen)**: Unbedingt die besonderen Anforderungen gemäß SVLFG-Broschüre GBG 7 „Sicherheit im Obstbau", Abschnitt Technische Regel 3 (TR3) Anhang beachten.**

Anwendungsbeispiel 1: Front-, Heck-, Seitenbereichs-KMS

Kamerasysteme zur Front- und Rückraumüberwachung unterstützen den Fahrer/Bediener bei der **Sichtverbesserung in Fahrgassen vor bzw. hinter dem FFZ**. Dadurch können das Unfallrisiko und der Stresspegel wesentlich gemindert werden.
Neben dem „erweiterten" Blick – auch in Bereiche, auf die ohne Hilfsmittel keine direkte Sicht möglich ist – bietet das KMS zusätzlich ergonomische Vorteile. Der Fahrer/Bediener kann den Arbeitsbereich einsehen, ohne sich ver- oder umdrehen zu müssen.

Gefahrensituation: Der Fahrer übersieht beim Rückwärtsfahren trotz Schulterblick die Person hinter dem Gabelstapler.

Abhilfe: Durch einen Blick auf den Monitor kann der Fahrer die Situation im rückwärtigen Arbeitsbereich einsehen.

Abhilfe: Nachträglich montierte Seitenbereichskamera an einem Teleskopstapler zur Einsicht in den Gefahrenbereich.

Anwendungsbeispiel 2: Gabelzinken-, Gabelträger-KMS

Das Transportieren, Ein- und Auslagern von großvolumigen und langen bzw. tiefen Ladungen erfordert höchste Präzision und Aufmerksamkeit. Am Gabelträger montierte Kameras und spezielle Zinkenkameras können dem Fahrer Sicht in die Fahrgasse, den Bereich vor dem Stapler auf die Gabelzinken und den Bereich unterhalb der Staplerladung geben. Das Handling von sperrigen Ladungsträgern wie beispielsweise Paletten im Hochregallager wird erleichtert.
Für noch mehr Sicherheit und Arbeitseffizienz sollte das Gabelzinken- und/oder Gabelträger-KMS zusätzlich mit einer automatisch aktivierbaren Rückfahrkamera kombiniert werden.

Mittels Gabelzinkenkamera hat der Fahrer/Bediener Sicht auf jeweiliger Höhe der Ladung.

Gabelträgerkamera für die indirekte Sicht nach vorn.

Mithilfe von Gabelzinken- und Gabelträgerkameras kann der Fahrer/Bediener den Arbeitsvorgang kontrollieren und dabei eine ergonomische Körperhaltung beibehalten.

Der Monitor zeigt dem Fahrer/Bediener die Aufnahme der Gabelträgerkamera.

Montage/Nachrüstung

Kamera-Monitor-Systeme lassen sich in der Regel unproblematisch nachrüsten. Dabei sind unbedingt die Herstellerangaben zu beachten. Für die Montage/Ausrichtung des Monitors gilt:

- Auf eine ergonomisch sinnvolle Positionierung des Monitors achten.
- Die direkte Sicht auf den Fahr-, Arbeits- und Gefahrenbereich nicht einschränken – der Monitor darf keine Bedienelemente verdecken.
- Eine direkte Sonneneinstrahlung auf den Monitor vermeiden.

Für die Ausrichtung der Kamera(s) und die Festlegung des optimalen Bildwinkels sind jeweils:

- die Art des Arbeitseinsatzes und
- die Umfeldbedingungen entscheidend.
- Die aus der Gefährdungsbeurteilung resultierenden Anforderungen müssen erfüllt werden.
- Bei Dachmontagen die zu passierenden Durchfahrtshöhen (z. B. bei Toren) beachten.

Akku- und Magnet-Lösung als Beispiel für eine besonders einfache, flexible Nachrüstung.

2.2 Rundumsicht Kamera-Monitor-Systeme

Rundumsicht von 270° bis 360° (Surroundview)

Weiterentwickelte Kamera-Monitor-Systeme ermöglichen Rundumsichten von 270° bis 360°. Ihr Einsatz kann die Arbeitsabläufe bei mobilen Maschinen wie FFZ unterstützen.

Monitordarstellung von 4 Kameras, die ein 360°-Live-Bild erzeugen. Der Bediener hat ein vollständiges, rundum kontrollierbares Sichtfeld für schnelles, präzises und stressfreies Arbeiten, Fahren und Manövrieren.

Von der Rück- zur Rundumsicht

Der Vorteil einer Rundumsicht besteht in der gleichzeitigen Darstellung aller relevanten Bereiche um das FFZ herum: Der Fahrer erfasst mit einem Blick auf den Monitor alle Gefahrenbereiche seines direkten Maschinenumfeldes.

Nachrüstung: Ausgehend von einer Rückfahrkamera kann auf bis zu vier Kameras für Rundumsicht erweitert werden.

Moderne Standardkomponenten ermöglichen bei entsprechender Anordnung und Anzeige der Kamerabilder 360°-Rundumsicht im Monitor. Individuell und anwendungsbezogen zeigen die Kamerabilder die zur Gefahrenerkennung erforderlichen Bereiche und bieten somit ein hohes Maß an Sicherheit.
Einzelne Kamerabilder können manöverbezogen als Vollbild oder Splitscreen (geteilter Bildschirm) angezeigt werden. Sie ermöglichen einen Blick um das gesamte Fahrzeug herum oder Sicht auf festzulegende, bestimmte Bereiche.

Zusätzlich können KMS-Systeme durch Sensoren ergänzt werden. Siehe Kapitel 3 und 5. →

Prinzip Rundumsicht-KMS

Die Bilder mehrerer Kameras bieten eine Rundumsicht.

Eine Echtzeit-Abbildung der Umgebung rund um die Maschine kann auf unterschiedliche Arten erfolgen – Grundlage bildet jeweils der Einsatz von 4 Kameras (bzw. je nach Anforderung 3 Kameras für eine 270° Darstellung):

1. Rundumsicht in Vogelperspektive:
Zeitgleich erzeugte Digitalbilder der Kameras werden per Video-Stitching weiterverarbeitet und zu einem 360°-Bild kombiniert. Der Monitor zeigt ein Bild aus der Vogelperspektive (2D-Top-View oder 3D-View) als Gesamtansicht oder wahlweise einzelne Ansichten im Splitscreen. (s. Kap. 2.2.1)

2. Rundumsicht aus 3-4 Einzelansichten:
Die Bilder von drei bis vier Standardkameras werden zu einer Rundumsicht arrangiert und auf dem Monitor neben-/übereinander angeordnet angezeigt. (s. Kap. 2.2.2)

Welches System geeignet ist, hängt von der Art des FFZ (z. B. Gabelstapler, Teleskopstapler) und dem konkreten Arbeitseinsatz ab.

Beispiel für ein Rundumsicht-KMS mit Sensorik: Der Fahrer/Bediener wird gewarnt, sobald sich eine Person oder ein Objekt im Gefahrenbereich befindet.

2.2.1 Vier Kameras – Rundumsicht aus der Vogelperspektive (Birdview)

In Echtzeit optimierte Bilder des KMS bieten Übersicht für ein noch sichereres Manövrieren bei niedrigen Geschwindigkeiten. An der mobilen Maschine – vorne, hinten und seitlich – montierte Ultraweitwinkel-Kameras zeigen die jeweilige Fahrzeugumgebung.
Die Bilder der Kameras werden über die Steuereinheit (ECU) zu einer Rundumsicht zusammengerechnet (Video-Stitching). Der Fahrer/Bediener kann mit einem Blick die Situation und die ggf. gefährdeten Personen und Objekte um sein Fahrzeug herum erkennen.

Komponentenbeispiele:
Monitor mit Splitscreen-Darstellung,
Recheneinheit und Kameras

Bitte beachten:
Die Kamera-Kalibrierung erfolgt auf Bodenniveau – Objekte/Personen, die höher als die Kalibrierungsebene der Kamera stehen, werden größer dargestellt, da sich der Kamerawinkel zum Objekt/zur Person ändert.

Eine integrierte Software entfernt Verzerrungen und Fischaugen-Effekte, die bei sehr großen Kamera-Öffnungswinkeln entstehen können. Dadurch wird ein klares, störungsfreies Bild mit Rundumsicht aus der Vogelperspektive auf dem Monitor erzeugt.

Die Anwendungsbeispiele verdeutlichen, wie die Sicht aus der Vogelperspektive („Birdview“) auf dem Monitor in der Fahrerkabine dargestellt wird.

Das Foto links stellt die Monitoransicht in der Fahrerkabine eines Teleskopstaplers dar:

- Das eingesetzte KMS vermittelt dem Fahrer eine realistische Rundumansicht.
- Neben der Rundumsicht kann der Fahrer sich im Vollbild- oder im Splitscreen-Modus gezielt einzelne Bereiche anzeigen lassen.

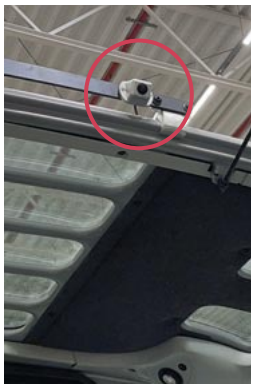


Bild oben: Am Stapler montierte Seitenkamera des 360°-KMS

Das untere Praxisbeispiel zeigt die am Heck eines Gabelstaplers angebrachte Weitwinkel-Kamera eines 270°-Systems:

- Das aus drei Kameras bestehende KMS ermöglicht eine Überwachung des Heck- und Seitenbereichs des Staplers.

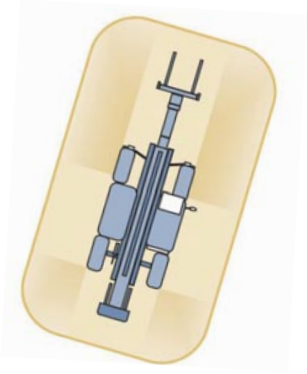


Bild oben: Schematische Darstellung einer Rundumsicht am Teleskopstapler

Optionale Erweiterung
Rundumsicht-Systeme können z. B. durch eine Gabelzinkenkamera und/oder durch Radar-/Ultraschallsensoren ergänzt werden.

2.2.2 Vier Kameras – Darstellung einer Rundumsicht aus Einzelansichten

Die Bilder von vier Standardkameras werden zu einer Rundumsicht zusammengestellt und auf dem Monitor neben-/übereinander angeordnet angezeigt. **Durch die flexible Anordnung der Kameras kann individuell auf die Fahrzeug-/Anwendungssituation reagiert werden.** Monitore mit Splitscreen-technik unterstützen die optimale Sicht um das FFZ herum.

Komponentenbeispiel:
Monitor mit Splitscreen-Darstellung,
Kamera mit und ohne Heavy-Duty-Gehäuse.

Systemeigenschaften

- Keine Kalibrierung und Recheneinheit notwendig
- Flexible Wahl von Öffnungswinkel und Montageposition der Kameras, damit alle Bereiche um das Fahrzeug herum einsehbar sind – auch an den Ecken
- Einblendbare Führungslinien geben eine zusätzliche Orientierung
- Automatische, anwendungsspezifische Darstellung der Kameras – z. B. Sicht nach rechts beim Rechtsabbiegen
- Nachrüstbarkeit für unterschiedlichste Anwendungen optional möglich
- 3 bis 4 Weitwinkel-Kameras zum Erfassen des gesamten Fahrzeugbereichs und der Umgebung; Öffnungswinkel von 100° bis 130° entsprechend der gewünschten Kameraposition und der Maschinengröße auswählbar
- Integrierte Voreinstellung zur geeigneten Anordnung der Kamerabilder für unterbrechungsfreie Bildwiedergabe in Echtzeit
- An Fahrzeugtyp und Anwendung anpassbare Sichtbereiche und Abstände
- Individuell einstellbare Auslöser für verschiedene Perspektiven

Die Ansteuerung einzelner Kamera-Ansichten (Splitscreen) kann manuell und/oder automatisch über Fahrzeugsignale, wie zum Beispiel Blinkersetzen oder Einlegen des Rückwärtsgangs, eingerichtet werden.

Die Aufnahmen der einzelnen Kameras zeigen zusammen auf dem Monitor angeordnet die Rundumsicht.

Rundumsicht-KMS in verschiedenen Arbeitsbereichen

270°-/360°-KMS lassen sich für unterschiedlichste FFZ, weitere mobile Arbeitsmaschinen, Nutzfahrzeuge und vielfache Anwendungen und Aufgabenbereiche konfigurieren.
Je nach Umgebung und Anwendung können besonders robuste Kameras erforderlich sein.

- **Leistungsorientierte Systemwahl: Für eine optimale Nutzung unbedingt auf die Qualität der Kameras und des Monitors achten!**

2.3 Spiegelersatzsysteme

Digitaler Außenspiegel

Am Fahrzeug montierte herkömmliche Außenspiegel bieten oftmals keine ausreichende arbeits- und bedarfsgerechte Unterstützung für den Fahrer. Der Einsatz eines digitalen Spiegelersatzsystems – auch als „digitaler Außenspiegel" bezeichnet – kann hier Abhilfe schaffen.
Dabei liegt ein besonderer Vorteil darin, dass die Kameras über einen großen Blickwinkel verfügen und flexibel genau so platziert werden können, dass der Gefahrenbereich vom Fahrer optimal einsehbar ist.

Komponentenbeispiele: zwei HD-Kameras und ein lichtstarkes Display mit Splitscreen-Anzeige

Geschützt vor äußeren Einflüssen, befinden sich die Displays (Monitore) innerhalb der Fahrerkabine, wo sie ergonomisch sinnvoll montiert werden können.
Displays und Kameras sind individuell auf die jeweilige Anwendung und die besonderen Erfordernisse einstellbar. Dabei liefern eine oder zwei hochauflösende Kameras pro Display die erforderlichen Aufnahmen des Gefahrenbereichs. Durch HDR-Funktion (= High Dynamic Range) **zuverlässig auch bei Gegenlicht, direkter Sonneneinstrahlung und Dunkelheit.**

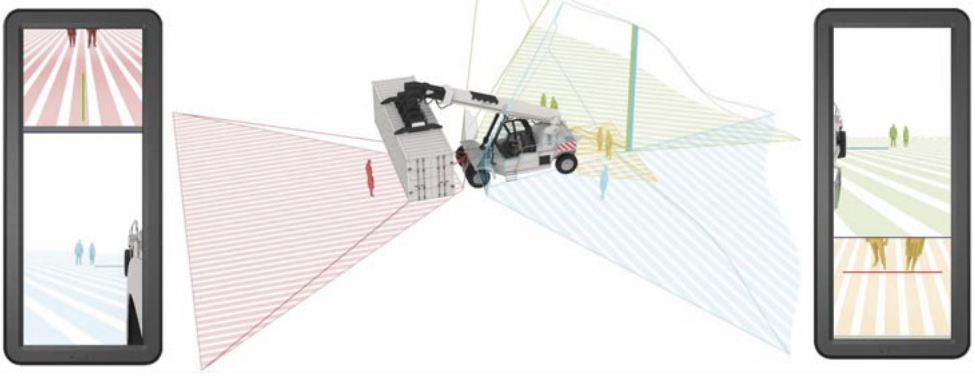
Nachrüstung:
Digitale Spiegelersatzsysteme können an FFZ und weiteren unterschiedlichen Fahrzeugarten im Off-Road-Bereich nachgerüstet werden.

Entspiegelte Displays und besondere Schutzlacke auf dem Kameragehäuse sorgen für eine zusätzliche Robustheit gegen Umwelteinflüsse.

Systemeigenschaften

Gestochen scharfe und reflexionsfreie Bilder der Umgebung durch:
- hochauflösende HD-Kameras mit
- HDR-Funktion für brillante Bildqualität auch bei schwierigen Lichtverhältnissen
- lichtstarke und reflexionsfreie Displays mit
- Sensor für Anpassung der Helligkeit an das Umgebungslicht
- um 90° drehbares Display für eine anwendungsgerechte Anzeige

Über eine Fernbedienung einstellbare Funktionen, wie beispielsweise:
- Zoom für individuelle Bildausschnitte (dabei Vergrößerung in 10 Stufen)
- flexible Bildaufteilung (im Verhältnis 1:1 oder 2:3)
- einblend- und frei verschiebbare, farbige Hilfslinien zur Unterstützung der Abstandseinschätzung (beim Rangieren, Verladen, Manövrieren)



Anwendungsbeispiel Reach-Stacker: Die Kamerabilder der Gefahrenbereiche werden in den digitalen Außenspiegeln angezeigt. Der Fahrer kann die für ihn relevanten Ansichten individuell einstellen und ergänzend farbige Hilfslinien einblenden lassen.

Drehbares Display

Je nach Anforderung kann zur Sicht auf die Gefahrenbereiche eine senkrechte oder waagerechte Ausrichtung des Displays gewählt werden – mit einer Bildaufteilung im Verhältnis 1:1 (siehe Abbildung oben) oder 2:3 (siehe Abbildung links).

2.4 Übertragungstechnologien von KMS

Für KMS-Anwendungen stehen verschiedene Möglichkeiten der Datenübertragung zur Verfügung:

- **Kabel:** Das Bild der Kamera wird über ein Videokabel an den Monitor übermittelt.
- **Funk:** Zwischen der Kamera und dem Monitor wird eine Digitalfunkstrecke (Sender und Empfänger) aufgebaut (siehe unten stehende Beschreibung).
  Bei einem „integrierten" Funksystem ist der Sender direkt in der Kamera und der Empfänger im Monitor integriert.
- **WiFi:** Das Bild der Kamera wird über einen angeschlossenen WiFi-Sender auf eine App übertragen, die auf einem Smartphone oder einem Tablet installiert wurde.

Kabellose digitale Bildübertragung

Nach aktuellem Stand ist eine Kabelverbindung vorzuziehen. Größere elektromagnetische Störquellen können ggf. Probleme bei der Funkübertragung verursachen. Kleinere Störungen werden durch das Frequenz-Strom-Verfahren ausgeglichen.

Fällt das KMS aus, ist die Arbeit zu stoppen!

In einigen Fällen lässt sich eine Verkabelung an der mobilen Maschine nur schwer umsetzen, z.B. durch eine enge Bauweise oder für Kabelbeschädigungen anfällige Umlenkpunkte.

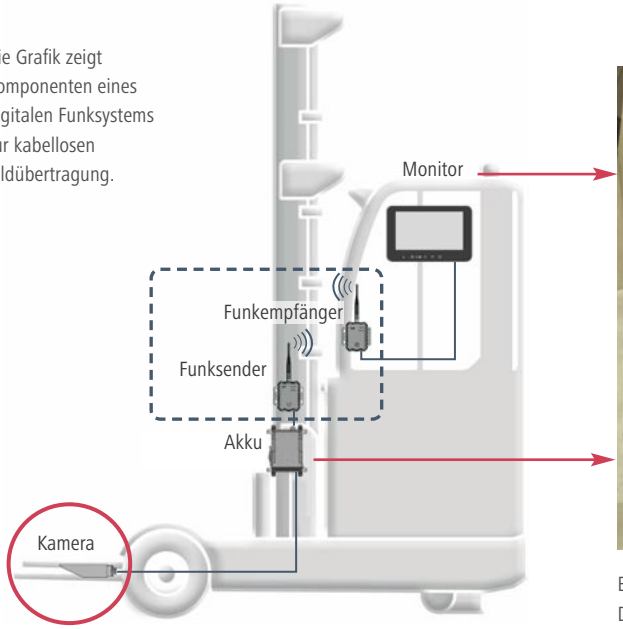
Digitale Funksysteme für die kabellose Übertragung von Bilddaten bieten mittels robuster Sender-/Empfänger-Einheiten praxisgerechte Alternativen. Kompakte Funkeinheiten senden digitale Signale einer Kamera schnell und ohne Verzögerung (ggf. mit geringen Latenzen) an einen Monitor.
Systemabhängig erlauben bis zu 10 parallel betriebene Gerätepaare eine hohe Flexibilität bei der Anpassung an unterschiedlichste Maschinen, Sichtprobleme und Montageanforderungen.

Bei der Auswahl auf ein System mit stabilem, störungsarmem sowie end-to-end-verschlüsseltem Digitalfunk achten.

Der Einsatz digitaler Funksysteme zur kabellosen Bildübertragung ist z. B. gekennzeichnet durch:

- Keine Kabelverlegung im Mast
- Einsatzzeit von bis zu 28 Stunden
- Störungsunempfindlichkeit durch Digitalfunk von 2,4 GHz; Funkstandard WiFi 5 (IEEE 802.11ac)
- Anwendbarkeit für alle Staplertypen
- Einfache, flexible Montage
- Schock- und Vibrationsfestigkeit
- Geringer Stromverbrauch
- Robuste Industriesteckverbinder

Die Grafik zeigt Komponenten eines digitalen Funksystems zur kabellosen Bildübertragung.



Beispiel für ein KMS mit kabelloser Bildübertragung, mit Digitalmonitor und Akku in der Fahrerkabine eines Staplers.

3 Personen- und Objektdetektion

Warn-/Assistenzsysteme

Gefährdungen dauerhaft erkennen!

Durchgehend konzentriertes Arbeiten kann durch ein Kamera-Monitor-System allein nicht gewährleistet werden. Bei nachlassender Konzentration können ergänzende Personen-/Objektdetektionssysteme den Fahrer/Bediener unterstützen.

Einsatzgebiete nach Funktion

Warn-/Assistenzsysteme unterstützen die Detektion von Personen und Gegenständen. Bei Arbeiten in schwer oder nicht einsehbaren Bereichen können zur Erhöhung der Sicherheit die Detektionssysteme für unterschiedlichste Arbeitsaufgaben und Gefährdungen konfiguriert werden.

Je nach Anforderungsprofil und Gefährdungsbeurteilung (Kapitel 1.2) kommen unterschiedliche Sensorsysteme zum Einsatz, die nach ihren Funktionsprinzipien eingeteilt werden in z. B.:

- **Ultraschallsysteme**
- **Radarsysteme**
- **LiDAR-Systeme**
- **Funk-/Transponder-/TAG-Systeme**
- **3D-Kamerasensoren**

Entscheidend für den Einsatz ist die anwendungsgerechte Auswahl und die Qualität des Systems. Für spezielle Aufgabenstellungen können weitere technische Lösungen eingesetzt werden – **lassen Sie sich von Ihrem Fachbetrieb beraten.**

1

2

3

4

Beengte Platzverhältnisse erfordern allerhöchste Aufmerksamkeit. Zudem kann bei langanhaltenden oder eintönigen Tätigkeiten die Konzentration des Fahrers/Bedieners nachlassen. Dies führt zu einem höheren Gefährdungspotenzial.

Hier können Personen- und Objektdetektionssysteme wirksam vorbeugen, beispielsweise mittels:

- intelligenter Personen-/Objektdetektion durch 3D-Kamerasensoren (Bild 1)
- Radarsystemen zur Rückraumüberwachung, optional mit ergänzender Kamerasicht (Bild 2)
- Ultraschallsensoren für eine flächendeckende Rückraum- und Seitenbereichsüberwachung (Bild 3)

Für abgeschlossene Betriebsgelände mit Eingangs-/Personenkontrolle eignen sich auch

- funkbasierte Transponder-/TAG-Systeme zur gegenseitigen Warnung der auf dem Betriebsgelände befindlichen Fahrzeuge und der gefährdeten Fußgänger (Bild 4).

3.1 Ultraschallsysteme

Sicher agieren in beengten Zonen

Beengte Platzverhältnisse fordern besondere Aufmerksamkeit vom Fahrer. Hier bietet das großflächige Detektieren von Hindernissen eine typische Aufgabenstellung für Ultraschallsensoren in mobilen Applikationen. Geraten Personen oder Objekte in den Erfassungsbereich der Sensoren, warnt z. B. ein akustisches Signal den Fahrer: sofortiges Stoppen ist möglich!

Objekte mit hoher Präzision bei niedrigem Tempo detektieren

Ultraschallsensoren detektieren Objekte, wie Personen und Gegenstände, mit einer sehr hohen Genauigkeit von bis zu 1 cm (abhängig von Fahr-/Rangiergeschwindigkeit) im näheren Umfeld: bei Entfernungen bis zu 3 m (im Einzelfall sogar bei Entfernungen bis zu 9 m) Abstand vom Fahrzeug. Der Detektionsbereich kann anforderungsorientiert eingestellt werden.

Bewährt bei unterschiedlichsten Fahrzeugen in vielen Branchen

Ultraschallsysteme mit ihrer präzisen Objekterfassung ermöglichen ein kontinuierlich überwachtes Annähern, beispielsweise von Fahrzeugen oder Staplern an Übergabepunkte der stationären Fördertechnik.
Sinnvoll ist der Einsatz von Ultraschallsystemen bei beengten Platzverhältnissen, bei denen auch Personen beachtet werden müssen.
In Abhängigkeit vom Arbeitsbereich und von der Gefahrensituation stehen Abstandswarner auf Ultraschallbasis in unterschiedlicher Konfiguration zur Verfügung.

Je nach Anforderung (Fahrzeug-/Maschinenart, Arbeitsaufgabe und Umfeld) kommen:

- rückseitige,
- seitliche und/oder
- vorderseitige

Ultraschallsysteme zum Einsatz.

Komponenten eines Ultraschallsystems:

Sensoren, Steuereinheit, Signalgeber

ACHTUNG: Bei sehr hoher Verschmutzung durch Staub, bei Rauch und/oder Feuchtigkeit können Fehlmeldungen ausgelöst werden. Fehlalarme können die Bereitschaft, Warnmeldungen zu beachten, beeinträchtigen.
Daher immer Einsatzort und Aufgabengebiet prüfen und eine Gefährdungsbeurteilung Sicht durchführen (siehe Kapitel 1.2).
Sinnvoll: Einige Systeme erkennen Sensorverschmutzungen und weisen den Fahrer/Bediener darauf hin.

Prinzip Ultraschall (Ultraschallwellen)

Die Entfernung zum Objekt errechnet sich aus der Differenzzeit zwischen Senden und Empfangen eines Schallimpulses mit einer Frequenz von > 20 kHz (optimal 40 bis 60 kHz).

Ultraschallsysteme können mehrere Objekte gleichzeitig registrieren. Dabei kann zum Beispiel das am nächsten zur Maschine stehende Objekt per Display weiterkommuniziert werden. Sobald ein Objekt die Gefahrenzone verlässt, meldet das Display, dass sich ggf. noch weitere potenzielle Gefahren in einer Warnzone befinden.

Merkmale für Ultraschallsysteme

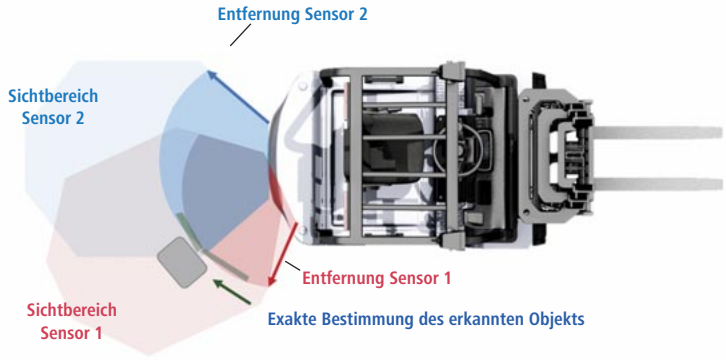
Bei der Beschaffung sollte u. a. auf die folgenden Ausstattungsmerkmale besonders geachtet und zuvor ein Pflichtenheft mit den spezifischen Vor-Ort-Anforderungen erstellt werden:

- Erfassung unabhängig von Materialfarbe, Transparenz, Glanz und Umgebungslicht (auch Glas, Flüssigkeiten, Folien)
- Hohe Genauigkeit durch Laufzeitmessung
- Unempfindlichkeit bei leichtem Schmutz und geringer Feuchtigkeit
- Mehrstufiges, auditives Abstandswarnsystem
- Messempfindlichkeit flexibel einstellbar
- Umgebungslernmodus zur Vermeidung von Fehlalarm
- Synchronisations- und Multiplex-Betrieb, Selbstdiagnose, visuelles Abstands-Display

Beim Fahren und Rangieren in beengten Lagerhallen können Ultraschallsysteme zur Kollisionsvermeidung beitragen.

Ultraschallsysteme bestehen aus mehreren Sensoren und einer elektronischen Steuereinheit (ECU = Electronic Control Unit), siehe Abbildung unten. Die ECU verarbeitet die von den Sensoren empfangenen Abstandsdaten.

Der Datenaustausch erfolgt über die CAN-Schnittstelle. (CAN = Controller Area Network)



Zwei am Heck montierte Ultraschallsensoren (Foto oben) detektieren den rückwärtigen Nahbereich des Gabelstaplers. In der Detektionszone befindliche Objekte werden von den Sensoren erkannt (Grafik Draufsicht Gabelstapler von oben).

Ultraschallsysteme können die Arbeits-/Blindbereiche von Flurförderzeugen überwachen. Dabei arbeiten Ultraschallsensoren (systemabhängig) unter allen Witterungsbedingen. Sie sind in der Lage, Objekte unabhängig von Farbe, Oberfläche und Umgebungseinflüssen zu erfassen.
Der Detektionsbereich kann in mehrere, einstellbare Gefahrenzonen unterteilt werden.
Einige Systeme ermöglichen die genaue Erfassung der Position eines erkannten Objektes im Raum.
Die nach jeweiliger Gefahrenzone unterscheidbaren Signale informieren den Bediener/Fahrer über den Abstand zum Objekt bzw. zur Person im Gefahrenbereich.
Über ein ergänzendes Kamera-Monitor-System erhält der gewarnte Fahrer optische Informationen über die Art eines Hindernisses: Dadurch kann er dieses erkennen und besser lokalisieren.

Ultraschallsysteme können über vielzählige Konfigurationsmöglichkeiten verfügen, wie z. B.:

- Distanzfilter zum Ausblenden von Störelementen im Sichtfeld
- Empfindlichkeitseinstellung zur Anpassung auf das jeweilige FFZ und dessen Anwendung
- Intelligente Sende- und Filteralgorithmen zur Vermeidung von Signal-Interferenzen oder zur Reduktion von externen Störeinflüssen

Das Thema safety-relevante Funktionen zur Umfelderfassung gewinnt zunehmend an Relevanz. Für den Off-Highway Bereich sind bereits erste Safety-Varianten nach der Maschinenrichtlinie (MRL) mit Performance Level D verfügbar.
Vorgaben hierfür regelt die EN ISO 13849.
Ultraschallsysteme mit safety-relevanten Funktionen siehe nächste Seite.

3.1.1 Ultraschallsysteme mit Safety-Zertifizierung

Sicheres Ultraschallsystem

Ultraschallsysteme für autonome mobile Roboter und Anwendungen in der Intralogistik decken mit bis zu zwölf Ultraschallsensoren einen weiten Detektionsbereich bis zu einer 360°-Rundumsicht ab. Je nach Konfiguration messen die Sensoren nur die reine Distanz (sichere Funktion) oder bieten zusätzlich eine Objektlokalisierung. Dazu bestimmt ein Algorithmus die Position des Objekts im Detektionsraum mithilfe der Triangulationsmethode. Diese beruht auf der Winkelmessung der Signale von zwei Sensoren mit überschneidendem Sichtfeld, die das gleiche Objekt erkannt haben.

Bild rechts: Beispielanwendung „Safe Stop" bei einem autonomen mobilen Roboter (AMR).

Funktionale Sicherheit:

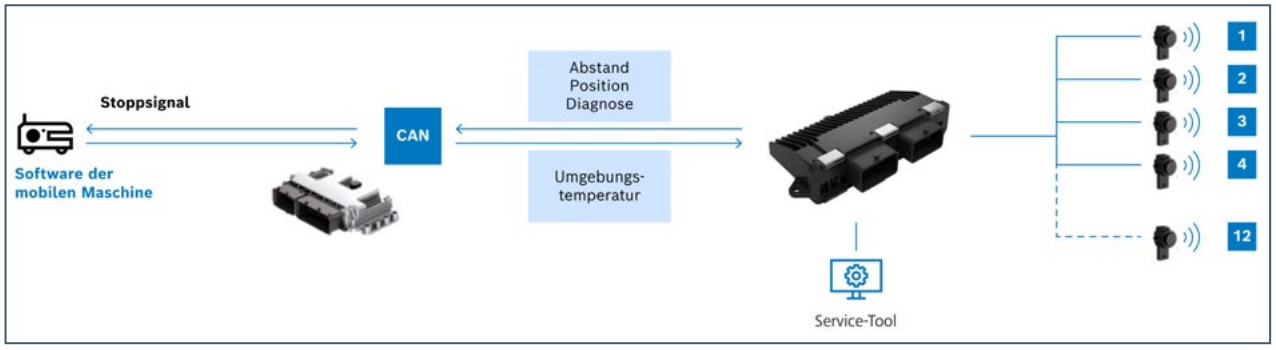
▶ Die **ISO 13849** bildet die Grundlage zur Bewertung der Sicherheit komplexer Maschinensteuerungen.

Durch eine Safety-Zertifizierung nach ISO 13849 mit Performance Level D kann das Ultraschallsystem einfach in das Sensor-Cluster eines Systems zur Umfelderkennung, das Anforderungen der Funktionalen Sicherheit erfüllen muss, integriert werden.

Hierzu zählen zum Beispiel Anfahrtskontrollen oder Notbremsfunktionen für langsam fahrende Maschinen. Um die Schnittstelle zwischen erkannten Objekten im Sensorsystem und dem Anhalten der Maschine zu schließen, wird an einem Safe-Stop-System gearbeitet.

Beispielanwendung Safe-Stop-System

Ziel des Konzepts ist, bei erkannten Hindernissen im Fahrweg ein Stoppsignal für die Fahrzeugsteuerung auszulösen. Maschinenhersteller können die anspruchsvolle Notbrems-Assistenzfunktion als abgesicherte und zuverlässige Basislösung einsetzen und sich auf die maschinenspezifische Integration konzentrieren.



Empfehlungen aus VDI-Richtlinie 4482 – Assistenzsysteme für Flurförderzeuge

Auszug: Hinweise für den Betreiber zur Auswahl und Einführung von Assistenzsystemen für FFZ

Vor dem Einsatz von Assistenzsystemen für FFZ sollte der Betreiber das gesamte innerbetriebliche Logistiksystem betrachten und genau definieren, welche Gefährdungen durch den Einsatz von Assistenzsystemen für FFZ reduziert werden sollen und können, und welche neuen Gefährdungen durch den Einbau und Einsatz ggf. entstehen können.

Die Richtlinie richtet sich an die Hersteller von Assistenzsystemen für FFZ, Hersteller von FFZ und die Betreiber.

Für die Auswahl und Integration des Assistenzsystems in die betrieblichen Abläufe hat sich in der Praxis die Funktion des Systemintegrators erwiesen. Bei diesem müssen die betrieblichen Informationen aus der Gefährdungsbeurteilung sowie die Informationen über Funktion und Einsatzgrenzen des gewählten Assistenzsystems zusammenlaufen.

Der Systemintegrator

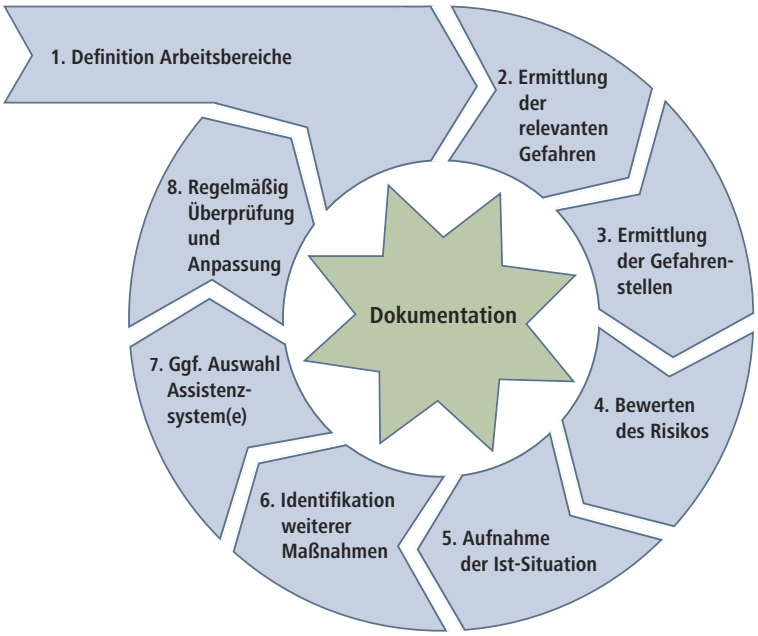
- kann ein Vertreter des Herstellers des FFZ oder des Assistenzsystems, der Betreiber oder ein beauftragter Dritter sein,
- prüft vor der Realisierung, ob im Anwendungsfall die betriebliche Gefährdungsbeurteilung den Einsatz eines Assistenzsystems zulässt oder ein Sicherheitssystem eingesetzt werden müsste,
- ist in der Lage, das Assistenzsystem optimal an den betrieblichen Abläufen auszurichten, die richtigen Montagepunkte für die Sensoren/Kameras festzulegen sowie ggf. die Funktionstests bei der Inbetriebnahme durchzuführen und die Maßnahmen zur Kalibrierung im Betrieb zu definieren.

Für den Einsatz eines Assistenzsystems gilt: Die Hersteller-Vorgaben

- **des Assistenzsystems und**
- **des FFZ sind unbedingt zu beachten!**

Der Betreiber sollte bei der Planung und Gefährdungsbeurteilung insbesondere darauf achten,

- dass die Gefährdungen aus vorhersehbarer Fehlanwendung des Assistenzsystems betrachtet und
- ggf. gegen diese Schutzmaßnahmen getroffen werden.



Die Grafik (aus VDI 4482 nachempfunden) veranschaulicht die **empfohlene Vorgehensweise zur Auswahl von Assistenzsystemen** für FFZ,

- orientiert am Schema zur Gefährdungsbeurteilung nach ArbSchG und der BetrSichV,
- führt zu einem genau definierten Pflichtenheft für das Assistenzsystem.

3.2 Radarsysteme

Radarsensor (auf dem Foto oben blau markiert) und Rückfahrkamera (rot markiert) ergänzen sich sinnvoll.

Zuverlässige Warnung auch bei widrigen Sichtverhältnissen

Auch in rauester Umgebung detektieren Radarsysteme Personen und Objekte sehr zuverlässig. Ihre hohe Resistenz gegenüber Schmutz, Staub, Schlamm, Starkregen, Feuchtigkeit, Hitze, Kälte (optional ausgerüstet mit beheizbaren Sensoren), UV-Strahlen, Vibrationen und Sturm ermöglicht auch bei schlechten Sichtverhältnissen wie Nebel, Dunkelheit und Rauch eine zuverlässige Funktion. Radarsysteme eignen sich hervorragend für den Einsatz in den Bereichen Logistik, Hafen- und Industrieanwendungen und bei schwierigen Bedingungen im Außenbereich, wie z. B. auf Baustellen und in der Land-/Forstwirtschaft.

Objekte im 20 m-Umfeld bei hoher Geschwindigkeit erkennen

Erkennungs- und Ortungsverfahren auf der Basis elektromagnetischer Wellen können auch bei Geschwindigkeiten von bis zu 20 km/h großflächige Detektionsbereiche bis zu Entfernungen von 20 m Abstand zum Fahrzeug sicher erfassen.

Mit einer sehr geringen Zeitverzögerung warnen

Warnsysteme mit Radarsensoren unterstützen den Fahrer mit einer sehr geringen Zeitverzögerung (50 ms) bei der Objektdetektion. Sie helfen, Unfälle im Gefahrenbereich eines Fahrzeugs zu vermeiden und erleichtern das Rangieren und Rückwärtsfahren.

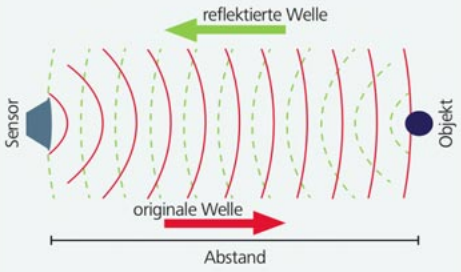
Radarsysteme können gezielt dort angebracht werden, wo der jeweilige Gefahrenbereich der Maschine bzw. des Fahrzeugs überwacht werden soll. Der Detektionsbereich unterteilt sich in mehrere Zonen, so dass der Bediener/Fahrer durch entsprechende Signale über den Abstand zum Objekt bzw. zur gefährdeten Person informiert wird – siehe Abbildung im Kasten unten rechts.

Ergänzt durch Kamera-Monitor-System besonders wachsam

Radar-Warnsysteme ermöglichen zusätzliche Sicherheit bei der Sichtfeldüberwachung. Je nach System können sie direkt an ein KMS gekoppelt oder unabhängig davon eingesetzt werden.

ACHTUNG: Unbedingt die Einsatzorte und Aufgabengebiete des Fahrzeugs prüfen und Gefährdungsbeurteilung durchführen: Unwegsames Gelände kann zu unnötigen Fehlalarmen führen.

Prinzip Radar (elektromagnetische Wellen)



Vom Radargerät als Primärsignal gesendete elektromagnetische Wellen werden in Lichtgeschwindigkeit vom Objekt reflektiert und als Sekundärsignal wieder empfangen. Aus der gemessenen Zeit zwischen Senden und Empfangen ergibt sich die Entfernung zum Objekt.

Radarsensor zur Entfernungsmessung

Merkmale für Radarsysteme

Bei der Beschaffung sollte u.a. auf die folgenden Ausstattungsmerkmale besonders geachtet und zuvor ein Pflichtenheft mit den vorgesehenen Einsatz-Anforderungen erstellt werden:

- Mehrstufiges Abstandswarnsystem
- Einstellbare Detektionsbereiche/-zonen
- Geringe Zeitverzögerung bei der Objektdetektion (50 ms)
- Akustisches und/oder optisches Warnsignal
- Erweiterbar für Zusatzanwendungen (wie zum Beispiel Rückfahralarme)
- Bodenreflexionsfilter und Verschmutzungserkennung zur Reduzierung von Fehlalarmen

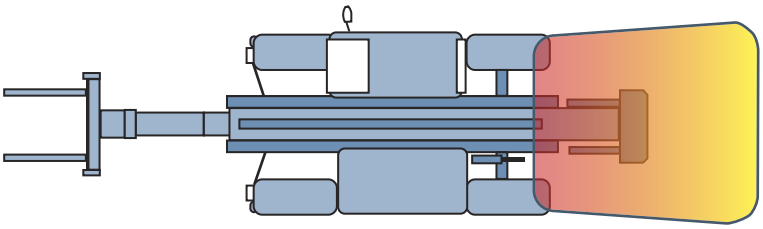
Radarsensoren sind robust gegenüber Außenbedingungen. Sie eignen sich auch bei rauer Umgebung, Regen und Dunkelheit.

Feste und bewegliche Hindernisse detektiert der Radarsensor mit Hilfe von modulierenden oder pulsierenden Wellen. Es erfolgt eine Warnung an den Bediener/Fahrer als akustisches und/oder optisches Signal.

Eine sich verändernde Entfernung zwischen Maschine und Objekt kann der Bediener/Fahrer erkennen:

- Eine schneller werdende Tonfolge signalisiert das Näherkommen der gefährdeten Person(en) bzw. der sich in der Gefahrenzone befindlichen Objekte.
- Die entsprechende visuelle Darstellung der Gefahrensituation erfolgt auf einem Display in der Fahrerkabine.

Anwendungsbeispiel: Das im Frontbereich montierte Radarsystem detektiert den Fahrweg des Containerstaplers. In der Detektionszone befindliche Objekte werden von den Sensoren erkannt.

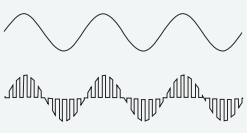


Anwendungsbeispiel: Am Heck montierter Radarsensor an einem Teleskopstapler mit Darstellung der Detektionszone des rückwärtigen Gefahrenbereichs.

Anzeigedisplay zur Warnung des Fahrers

Objektverfolgung (optional)

Die Position eines erkannten Objektes kann je nach verwendeter Radartechnologie exakt oder in Zonen ausgegeben werden. Modulierende Radarsensoren erlauben neben der Positionsbestimmung auch ein Tracking des Kollisionskurses der erkannten Objekte und die Unterscheidung von stehenden und sich bewegenden Objekten.



Zusätzliche Option: CAN-Bus-fähige Radarsysteme bieten eine Schnittstelle für einen möglichen aktiven Fahrzeugeingriff

3.2.1 Kollisionsvermeidung durch Radar mit Anfahrtstopp/Geschwindigkeitsreduzierung

Gerade das rückwärtige Anfahren birgt in einem extrem dynamischen Arbeitsumfeld ein hohes Kollisionsrisiko mit herannahenden Fahrzeugen oder noch folgenschwerer mit Personen, die sich zu Fuß durch die Halle oder auf dem Firmengelände bewegen und im gefährlichen Moment in eine andere Richtung blicken.

Zum gezielten Verhindern derartiger Unfallszenarien koppelt das Assistenzsystem eine Objekterkennung im Fahrweg des Staplers mit einer automatischen Tempo-Drosselung bis zum Stillstand bzw. mit einem Anfahrtstopp.

Das für Gegengewichtsstapler konzipierte System unterstützt somit den Fahrer/Bediener, der sich auf seinen Arbeitsvorgang konzentrieren kann, besonders auch bei hohem Zeitdruck und/oder monotonen Arbeitsabläufen.

Sicherheit in der Gefahrensituation: Enge Gänge, hohe Ware und dunkle Lichtverhältnisse im Lager erschweren die Sicht des Fahrers. Das Assistenzsystem detektiert den Kollegen hinter dem Stapler und bremst das Fahrzeug automatisch ab.

Dennoch bitte beachten: Assistenzsysteme sind keine Sicherheitssysteme. Die Verantwortung liegt beim Fahrer. Er muss weiterhin vorsichtig sein und sich umschauen.

Sicherheit beim Starten und Rückwärtsfahren

1. Das Assistenzsystem **detektiert statische und sich bewegende Objekte/Personen** hinter dem Stapler und
2. **warnt** den Fahrer/Bediener akustisch, optional auch visuell über das Display in der Fahrerkabine (in mehrstufiger Warnung).
3. Auch die im Gefahrenbereich befindliche Person wird durch ein akustisches Signal gewarnt (bei Bewegungserkennung im Stillstand, kein Dauerwarnton!).
4. Wird im Stillstand des Staplers eine Bewegung erkannt, **verhindert das Assistenzsystem das rückwärtige Anfahren**.
5. Angepasst an die jeweilige Situation **erfolgt bei drohender Kollision ein aktiver Bremseingriff in der Fahrt bis zum Stillstand**.

Zusätzlich zur automatischen Geschwindigkeitsreduzierung und Anfahrverhinderung im Gefahrenfall erhält der Fahrer eine Warnung auf dem Display, welche den Abstand und die Position des detektierten Objektes oder der detektierten Person anzeigt. Dies wird durch die farbliche Markierung des jeweiligen Bereiches hinter dem Stapler erreicht.

Keine Blockade!
Falls erforderlich, kann der Fahrer in engen Bereichen die Freigabetaste betätigen, um den Stapler ungehindert aus dem Stillstand zurücksetzen zu können.

Praxisgerecht anpassbares und zuverlässiges Assistenzsystem:

- Der Erfassungsbereich ist standardmäßig auf die Breite des Hecks ausgelegt und kann bei Bedarf individuell angepasst werden.
- Die Lichtverhältnisse der Umgebung sind für die Funktion des Systems nicht relevant.

3.3 LiDAR-Systeme

Aktive Kollisionswarnung für Gabelstapler

LiDAR-Systeme sind ebenfalls zum gezielten Vermeiden von Kollisionsunfällen einsetzbar. Hindernisse auf dem Fahrweg des Gabelstaplers werden zuverlässig detektiert. Warnkonzepte sorgen mit akustischen und visuellen Signalen in Echtzeit dafür, dass Fahrer auf eine mögliche Gefahr aufmerksam werden.

Anwendungsbeispiel: Unterstützung des Fahrers beim innerbetrieblichen Transport mit Sichteinschränkung durch Ladung.

LiDAR = „Light Detection and Ranging" liefert als Methode zur Abstandsmessung mittels Laserstrahl sehr genaue Ergebnisse.

Schlüsseltechnologie für Assistenzsysteme

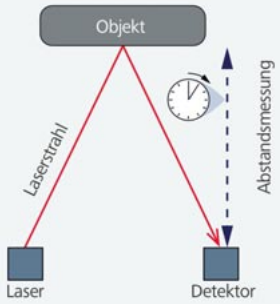
2D- und 3D-LiDAR-Sensoren eignen sich für die Umgebungserfassung, Lokalisierung und Kollisionsvermeidung. Eine kompakte Bauform und das Vorhandensein einer industriellen Schnittstelle ermöglichen die Integration in ein Fahrzeug. LiDAR-Systeme können nachgerüstet oder auch direkt in die Fahrzeugsteuerung integriert werden. LiDAR-Sensoren sind im Innen- und Außenbereich sowie auch bei Dunkelheit performant einsetzbar.

Effektives Warnkonzept

LiDAR-Sensoren, die am Flurförderzeug montiert sind, überwachen kontinuierlich die Umgebung hinter dem Fahrzeug. Je nach Montageposition der Sensoren ist auch eine Überwachung des Seitenbereichs möglich.

- Der vom 2D-LiDAR-Sensor abgetastete Überwachungsbereich kann in die Überwachungsfelder **1) „Warnung"** und **2) „Stopp"** unterteilt werden.
- Größe und Geometrien der beiden Überwachungsfelder können unterschiedlich sein und parametriert werden.
- Jedes Überwachungsfeld ist einem Schaltausgang des LiDAR-Sensors zugeordnet.
- Bei einer Objektdetektion in einem Überwachungsfeld wird das Schaltsignal an die Steuereinheit weitergegeben.
- **Die Steuereinheit verarbeitet die eingehenden Signale des 2D-LiDAR-Sensors und signalisiert entsprechende Ergebnisse wie „Objektdetektion innerhalb des Warnfeldes" oder „Objektdetektion innerhalb des Stoppfeldes" über die optischen und akustischen Signalgeber.**

Prinzip LiDAR (gepulster Laserstrahl)



Der Laser emittiert einen gepulsten – d. h. nicht kontinuierlichen, sondern in zeitlich begrenzten Portionen – abgegebenen Lichtstrahl, der vom Objekt reflektiert wird. Der reflektierte Strahl wird von einem Detektor empfangen und die Zeit zwischen Sendung und Empfang des reflektierten Lichtstrahls in eine Entfernungsangabe umgewandelt.
Der gepulste Laser besitzt eine höhere Leistungsdichte als ein Dauerstrichlaser. Die optische Leistungsdichte von LiDAR ist augensicher konzipiert (Laserklasse 1).

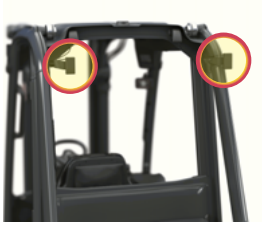
3.4.1 Funk-/Transponder-/TAG-Systeme

Ausstattung der Personen:

Die tragbare Personal-Unit warnt Personen durch Tonsignale, LED-Leuchten und Vibration vor nahenden Flurförderzeugen.

Hoher Tragekomfort:
Der Fußgängerwarngurt mit Personal-Unit passt bequem über Warnwesten.

Ausstattung der Fahrzeuge:



Sensoren erkennen die Units von Personen und Fahrzeugen im definierten Gefahrenbereich.

Die Fahrzeug-Unit warnt den Fahrer eines Flurförderzeuges durch LED-Leuchten und akustische Signale. Weiterentwickelte Lösung: Die Warneinheit wird nicht mehr zwingend als separates Gerät benötigt, sondern kann auch durch eine Anzeige der Warnungen direkt im Fahrzeugdisplay ersetzt werden (siehe Bild rechts).

Warnen sowohl Fahrer als auch Personen im Gefahrenbereich

Aktive Transpondersysteme auf Funkbasis warnen

- **den Bediener des Fahrzeugs und**
- **die sich der Gefahrenzone nähernden Personen und Fahrzeuge**

durch optische und/oder akustische Signale. Alle Beteiligten können rechtzeitig reagieren: der Stapler stoppen, die Personen den Gefahrenbereich verlassen.
Gewarnt werden alle Personen und Fahrzeuge, die mit einer Warneinheit ausgestattet sind.
Für die Nutzung funkbasierter Detektionssysteme eignen sich abgeschlossene Betriebsgelände bzw. Unternehmensbereiche mit Einlasskontrolle.

Detektieren von Personen – auch in verdeckten Bereichen

Funkwarnsysteme können Gefahrenbereiche von bis zu 25 m abdecken – auch bei höheren Geschwindigkeiten von bis zu 25 km/h.
Der gesamte Gefahrenbereich wird rundherum erfasst, eine eindeutige Zuordnung des Warnsignals über im Umkreis befindliche Personen möglich. **Durch die vollflächige Ausbreitung der Funkwellen wird auch eine von Hindernissen verdeckte Person sicher erkannt.**

Voraussetzungen für die sichere beidseitige Warnung

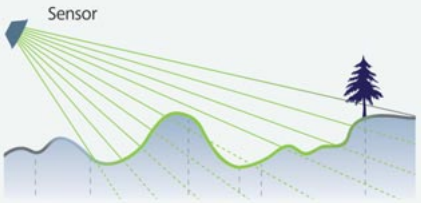
Abgeschlossener Bereich/Betriebsgelände, mit sichergestellter Ausstattung aller Personen und Fahrzeuge mit Warn-Tags:

- Jede Person muss eine **Personal-Unit/ Warneinheit Person** (Transponder/Tag) tragen.
- Jedes Fahrzeug muss mit einer **Truck-Unit/ Warneinheit Fahrzeug** ausgerüstet sein.

Detektieren auch bei schlechten Sichtverhältnissen

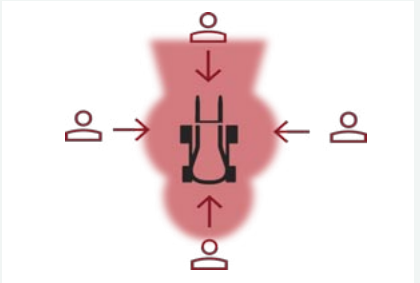
In Abhängigkeit des Abstands innerhalb einer frei konfigurierbaren Zone (siehe Bild unten) erfolgt die Warnung des Bedieners/Fahrers **und** der Person/en im Gefahrenbereich automatisch nach festzulegenden Kriterien.
Funkbasierte Rundumdetektion funktioniert auch bei schlechten Sichtverhältnissen, bei Nässe und bei Verschmutzung.

Prinzip Funk (elektromagnetische Wellen)



Bei Nutzung von **Niederfrequenz-Feldern**: Durchdringung; keine Reflexion; keine „blind spots"

Vom Sender ausgestrahlte Funkwellen werden in Raum- und Bodenwellen unterschieden. An der Erdoberfläche gebeugte Bodenwellen können sich auch in durch Hindernisse versperrte Bereiche ausdehnen.



Für die Zuverlässigkeit sorgt ein breitbandiges Funksignal im 4 GHz-Bereich (Ultra Wideband), das Störungen durch WiFi, Bluetooth oder RFID ausschließt.

Transponder: Bezeichnung aus Transmitter und Responder, also Sender und Empfänger.
TAG: Kurzbezeichnung für die Warneinheit/Unit eines Sender-Empfänger-Systems.

Merkmale für Funk-/Transponder-/Tag-Systeme

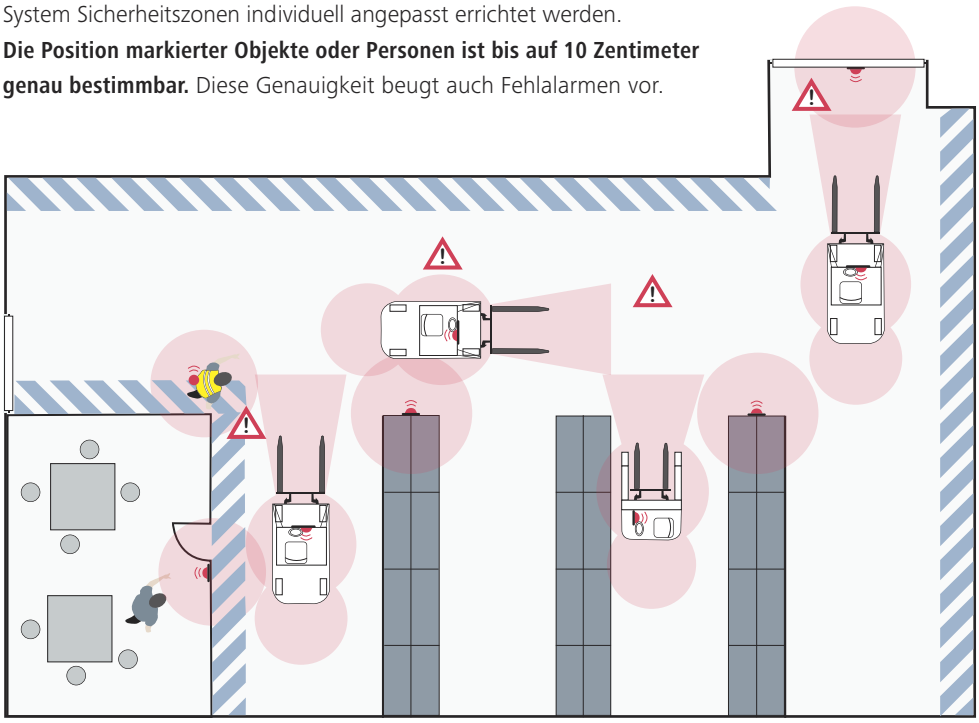
- Mehrstufiges Personen- und Fahrzeug-Detektionssystem
- Konfigurierbare Sicherheitszonen
- Fahrzeug zu Fahrzeug-Erkennung bis 25 m (abhängig von der Umgebung)
- Personen-Detektionsbereich bis 25 m
- Warnung von Personen und Fahrzeugen
- Anzeige zu Anzahl und Position der Personen im Gefahrenbereich
- Kein optischer Kontakt von Sensor zu Tag erforderlich
- Unabhängig von schlechter Sicht, z. B. durch verdeckende Ladung oder Umwelteinflüsse
- Flexible, schnelle Installation/Nachrüstung

Bei der Beschaffung u. a. oben genannte Ausstattungsmerkmale berücksichtigen. Zuvor ein Pflichtenheft nach Gefährdungsbeurteilung mit den vorgesehenen Einsatzanforderungen erstellen.

Aktive Assistenzsysteme können optional in die Fahrzeugtechnik eingreifen: So lassen sich z. B. Geschwindigkeitszonen definieren, in denen das System das Tempo des Fahrzeugs drosselt und den Fahrer darüber informiert. Dadurch können Unfälle zwischen Fahrzeugen und Personen im Produktions- oder Kommissionierbereich und an unübersichtlichen Kreuzungen vermieden werden.

Überwachte Schutzzone – Innovatives Assistenzsystem hilft, Gefahren frühzeitig zu erkennen

Überhöhte Geschwindigkeit, kreuzende Personen oder schlechte Sicht: Bei der Arbeit mit Gabelstaplern kann es aus unterschiedlichen Gründen zu Unfällen kommen. Tote Winkel, schwer einsehbare Bereiche und Ablenkung durch Lärm sind ein permanentes Sicherheitsrisiko in der Intralogistik. Für die festzulegenden Gefahrenbereiche können bei dem unten dargestellten System Sicherheitszonen individuell angepasst errichtet werden.
Die Position markierter Objekte oder Personen ist bis auf 10 Zentimeter genau bestimmbar. Diese Genauigkeit beugt auch Fehlalarmen vor.



Optional: Eine zusätzliche Kamera-Monitor-Lösung gibt dem Fahrer ein konkretes Bild vom in der Sicherheitszone aufgetauchten Hindernis – hier eine gefährdete Person.

Weitere Lösungen, wie z. B. intelligente Torsteuerungen (Bild unten) können zu einer zusätzlichen Sicherheit und Effizienz im Betriebsablauf beitragen.

Für eine passgenaue Sicherheit
Das System erhöht die Sicherheit im innerbetrieblichen Verkehr. Es schaut um Ecken und durch Wände, drosselt Geschwindigkeiten und lässt sich auf jedes Gefahrenszenario einstellen, verhindert Unfälle durch Sicherheitszonen.

Sender werden an Flurförderzeugen, Wänden, Regalen und direkt an den Mitarbeitern platziert und warnen in unterschiedlichen Gefahrensituationen durch Früherkennung: Sachschäden und mögliche Unfälle werden vermieden.

3.4.2 LPS-TAG-System – Lösung mit cloudbasierter Datenanalyse-Plattform

LPS-Lösung –
Komponenten im Fahrzeug:

Tablet mit SIM-Daten
Warnt den Fahrer des FFZ akustisch und visuell vor der Anwesenheit und Position einer gefährdeten Person.

In einer belebten Umgebung, in der sich Personen und Flurförderzeuge häufig begegnen, ereignen sich schnell Zusammenstöße – insbesondere durch tote Winkel oder unachtsames Verhalten.
Mit dem Fokus auf Produktionssteigerung erhöhen Unternehmen oftmals die Geschwindigkeit von Arbeitsprozessen, wodurch die Arbeitsbelastung und gleichsam auch die Unfallrisiken ansteigen.

Auf der LPS-Technologie basierende TAG-Systeme bieten hier eine sinnvolle Lösung:
Sie gewährleisten eine zentimetergenaue Detektion von Fußgängern – auch ohne direkte Sichtlinie zwischen Sensor und detektiertem Objekt.
Das System ermöglicht eine präzise Echtzeit-Risikobewertung, reduziert Fehlalarme und hebt das Sicherheitsniveau durch Optimierung der logistischen Abläufe. Es passt sich flexibel an unterschiedlichste Szenarien, Umgebungen und Fahrzeugtypen an, wodurch mögliche Schäden und Unfälle deutlich reduziert sowie insbesondere die Sicherheit der Personen erhöht werden kann.

LPS-Sensor
Der Sensor ermöglicht die genaue Lokalisierung der mit einem Tag ausgestatteten Person auf den Zentimeter genau.

Komponente für die Person:

Aktiver TAG
Der von den Fußgängern getragene Tag vibriert und leuchtet bei Gefahr.

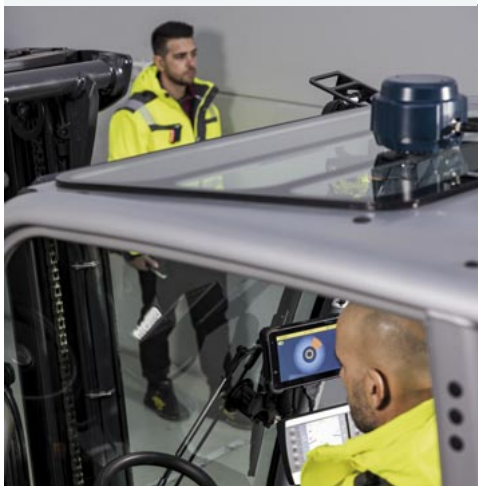
Eigenschaften des LPS-Tag-Systems

Das System
- warnt Fußgänger vor möglichen Gefahren durch herannahende Gabelstapler,
- alarmiert den Fahrer des Staplers vor einer drohenden Kollision und
- zeigt ihm die Anwesenheit und Position der Personen in Echtzeit auf dem Tablet an.

Um Hindernisse zu detektieren, die durch sperrige Lasten oder infrastrukturelle Einschränkungen entstehen können, ermöglicht die präzise und zuverlässige LPS-Technologie vorausschauende Maßnahmen wie beispielsweise die Reduzierung der Gabelstaplergeschwindigkeit.

Das System ist flexibel und kann auf zwei Arten konfiguriert werden:

LPS = Local-Positioning-System:
Ortungssystem zur Positionsbestimmung von Objekten



Das LPS in Aktion, installiert auf einem Gabelstapler. Durch die anschauliche visuelle Darstellung kann der Fahrer die Situation schnell erfassen.

- **Adaptiv-Modus:**
  Das System erfasst jedes Ereignis und bewertet dessen Risikoniveau nach einer adaptiven Logik, wobei es nur dann eine Warnung am Display anzeigt, wenn ein festgelegter Risikogrenzwert überschritten wird.

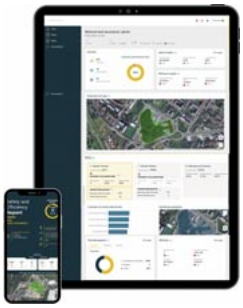
- **Standard-Modus:**
  Das System warnt vor Gefahren, indem es vordefinierte Bereiche nutzt: Dabei bietet es Warnbereiche sowohl für andere Fahrzeuge als auch für Personen. Der erforderliche Erfassungsbereich kann flexibel in seiner Größe sowie in seiner Form angepasst werden, wobei bis zu 6 Punkte modelliert werden können.

All-in-One
Für kleinere Fahrzeuge kann die LPS-Technologie in ein einziges Gerät integriert werden.

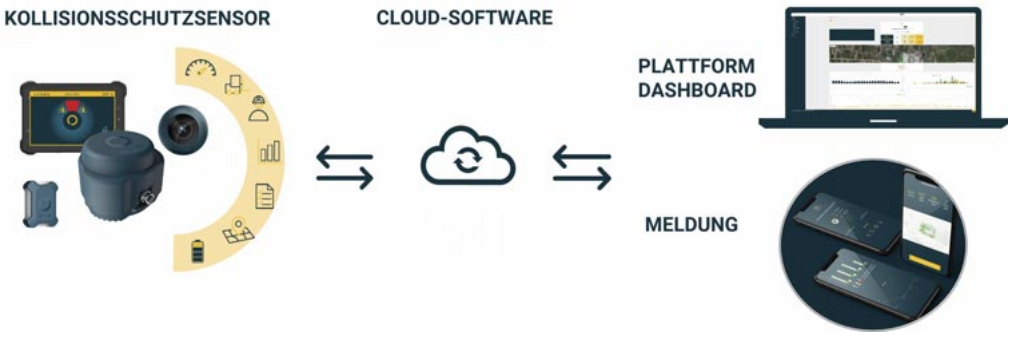
Integrierte Technologien für mehr Sicherheit im Lager

In Lager- und Logistikumgebungen, in denen Gabelstapler, FTS (fahrerlose Transportsysteme) und Mitarbeitende dieselben Arbeitsbereiche nutzen, sind Sicherheitslösungen erforderlich, die sich flexibel an komplexe und sich ständig verändernde Betriebsabläufe anpassen.
Die Kombination von TAG-basierten Systemen und KI-gestützten Kameras vereint die Vorteile einer präzisen Ortung mit denen der visuellen Erkennung. Dadurch können Personen und Fahrzeuge sowohl außerhalb des direkten Sichtfelds als auch in den unmittelbar einsehbaren Bereichen zuverlässig erkannt werden. Die Integration komplementärer Technologien überwindet die Grenzen einzelner Systeme, ermöglicht eine umfassendere Gefahrenabdeckung und bietet das höchstmögliche Sicherheitsniveau für Menschen, Fahrzeuge und betriebliche Prozesse.

Effektiver Workflow: Sicherheit und die Bedeutung der Datenanalyse



Die LPS-Technologie bietet präzise und hochwertige Daten, die dem Fahrer/ Bediener eine exakte Einschätzung der Risiken bei Interaktionen zwischen Fahrzeugen und Personen (V2P = Vehicle-to-Person) sowie zwischen Fahrzeugen (V2V = Vehicle-to-Vehicle) ermöglichen. Die von den Fahrzeugen gesammelten Daten werden in Echtzeit von einer leistungsstarken Cloud-Software verarbeitet. Diese liefert wichtige Informationen direkt an die Sicherheits- und Logistikverantwortlichen.
Mit übersichtlichen Dashboards, die Berichte, Benachrichtigungen und Präventionsalarme enthalten, können sowohl die Sicherheit als auch die Effizienz im Betrieb gesteigert werden. Die Daten werden zu wertvollen Informationen, die helfen, proaktiv zu handeln und Risiken zu minimieren.



LPS-Technologie

- Auf den **Zentimeter genaue** Erfassung
- **Modellierbare Form und Größe** des Bereichs oder anpassungsfähiger Modus
- Mögliche Verwaltung der Leistungen des Staplers (Relais) und des Systems
- Wiederaufladbares TAG - LED und mit Vibration

Einfache Installation

- Bestehend aus nur zwei Geräten am Stapler, ermöglicht es geringe Montagezeiten und -kosten.
- Möglichkeit, das System auf andere Fahrzeuge zu montieren (bei Fahrzeugstillstand, Vermietung oder Änderung des Fahrzeugparks, etc.)

Konnektivität

- **Direkte, zweiseitige** Datenübertragung in der Cloud-Plattform
- Datenspeicherung auf der Cloud-Plattform
- Kontinuierliche SW- und FW-Aktualisierung
- Fernbetreuung und -unterstützung

Datenanalyse

- Intuitives **Dashboard** mit **ESI-Berechnung**
- Verarbeitung, Analyse der gesammelten Daten und Berichterstattung **je nach Risikostufe**
- Visualisierung der Zeitfenster, Verfahren und am stärksten gefährdeten Bereiche sowie Flottenmanagement

3.5 3D-Kamerasensoren

Sensorik und Bildgebung vereint in einem System

3D-Kamerasensoren (in Kurzform als 3D-Kameras bezeichnet) bündeln die Funktionalitäten von Sensor und Kamera in einem System, das heißt:

- **Sie detektieren den Gefahren-/ Erfassungsbereich einer mobilen Maschine,**
- **übertragen zeitgleich die Kamerabilder auf den Monitor in der Fahrerkabine und**
- **warnen den Fahrer vor drohender Kollision.**

Stereokameras eignen sich u. a. zur Kollisionswarnung in verschiedensten Arbeitsbereichen – bis hin zu autonomen Logistikfahrzeugen. Sie sind robust und arbeiten schnell und zuverlässig.

3D-Erfassung für präzise Analyse und Objektklassifikation

Die Technologie von 3D-Kameras ermöglicht es, Umgebungen und Objekte räumlich zu erfassen, indem aus einer Aufnahme ein dreidimensionales Tiefenmodell berechnet wird. Dabei können sowohl das Volumen als auch die Position von Objekten im Detektionsbereich ermittelt werden. 3D-Kameras können eine hohe Auflösung liefern und große Reichweiten erfassen. Sie sind unempfindlich gegenüber Erschütterung und Witterung.

Merkmale für 3D-Kamerasensoren

Bei der Beschaffung sollte u. a. auf die folgenden Ausstattungsmerkmale besonders geachtet und vorher ein Pflichtenheft mit den spezifischen Vor-Ort-Anforderungen erstellt werden:

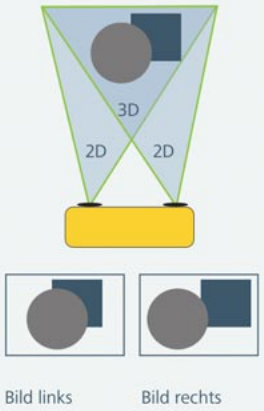
- Hohe Auflösung für Objekterkennung
- Ermöglicht permanent Sicht auf den Gefahrenbereich
- Konfigurierbare Detektion spezifischer Objekte (Objektklassen)
- Mehrstufiges Abstandswarnsystem mit einstellbaren Detektionszonen
- Konzipiert für den Einsatz auch in rauen Umgebungen (wasser- und staubdicht/ IP69K-Sensorkopf – und/oder für industrielle Anwendungen
- Akustische und optische Warnung

Zu den 3D-Kamerasensoren zählen neben Stereokameras auch weitere Kameratypen, wie Time-of-Flight- (ToF) und Strukturlicht-Kameras. Diese basieren auf unterschiedlichen physikalischen Prinzipien und sind jeweils für spezifische Anwendungszwecke geeignet.

Objektspezifische Detektion reduziert Fehlalarme

Über eine softwarebasierte Objektklassifizierung kann definiert werden, bei welcher Art von Objekten eine Warnung erfolgen soll. Passgenau zur jeweiligen Anwendung stuft das System dann alle anderen Objekte als nicht relevant ein. Eine Warnmeldung an den Fahrer/Bediener erfolgt nur dann, wenn eine Kollision mit einem Objekt der zuvor festgelegten Objektklasse (wie zum Beispiel „Personen") droht. **(Zu Software und Künstlicher Intelligenz/KI siehe Kapitel 5)**.

Prinzip 3D-Kamerasensoren (Typ: Stereokamera)



Die zeitgleichen Aufnahmen der beiden Kameralinsen werden – ähnlich wie beim menschlichen Sehen mit beiden Augen – zu einem 3D-Bild vereinigt und liefern somit die räumliche Information.
Aus der Verschiebung (Disparität) wird die Entfernung präzise berechnet.

3D-Kamerasensor/Stereokamera

3.6 Aktive Fußschutzleiste an Mitgängern

▶ Stoppt den Mitgänger bei Fußkontakt

Die Füße des Bedieners sind bei der Arbeit mit Mitgängern extrem gefährdet!

Fußschutzleisten an Mitgängern verringern das Verletzungsrisiko des Bedieners. **Einen noch effektiveren Schutz vor Fußverletzungen bietet die mit Sensoren ausgestattete aktive Fußschutzleiste.**

Eine integrierte Stopp-Funktion sorgt für wirksame Sicherheit am Arbeitsplatz. Die innovative Fußschutzleiste reagiert sofort, falls das Fahrzeug gegen den Fuß des Bedieners fährt und reduziert das Verletzungsrisiko erheblich.

Handgeführte Mitgänger-Flurförderzeuge werden auch in Kurzform als **„Mitgänger"** oder **„MFFZ"** bezeichnet.

Die Lösung steht in zwei Varianten zur Verfügung, als „STOP-Version" und als „STOP&GO-Version":

- **STOP-Version:** Das Fahrzeug stoppt unmittelbar, sobald der Sensor aktiviert wird.
- **STOP&GO-Version:** Bei Auslösen des Sensors setzt das Fahrzeug einige Zentimeter zurück, um sich vom Hindernis zu entfernen.

Die aktive Fußschutzleiste kombiniert fortschrittliche Sensortechnologie mit einem zuverlässigen Mechanismus. Sie ist einfach zu installieren und passt in jede Arbeitsumgebung – egal ob Lager, industrielle Anlagen, Supermärkte oder andere Betriebsumgebungen.

Bei Berührung der aktiven Fußschutzleiste stoppt das MFFZ umgehend und verhindert Fuß- oder Knöchelverletzungen. Mit der STOP&GO-Funktion springt der Mitgänger zusätzlich ein Stück zurück, um sich von dem Fuß des Bedieners zu entfernen.

Fußschutz bei Fahrzeugen mit Plattform

▶ Die Füße bleiben im sicheren Bereich

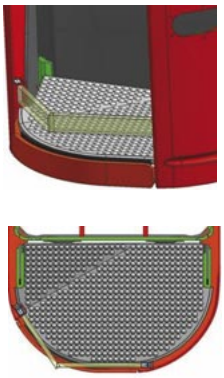
Die im unteren Rahmenbereich des Hubwagens angebrachte Lichtschranke erhöht die Sicherheit des Fahrers, indem sie sicherstellt, dass dieser stets mit seinen Füßen innerhalb der Fahrzeugkontur bleibt.

Die Lichtschranke überwacht den Rand der Fahrzeugplattform und verhindert das An- und Weiterfahren, falls ein Teil des Fußes über die Fahrzeugkante hinausragt.

Die Funktion basiert auf Lichtsensoren:

- Sobald die Füße des Bedieners über die Trittbrettkontur hinausragen und dadurch
- die Lichtschranke durchbrochen wird,
- erfolgt die Aktivierung des Systems.
- Das Fahrzeug wird automatisch abgebremst.

Solange die Lichtschranke unterbrochen ist, wird das Anfahren verhindert. Das führt dazu, dass der Fahrer während der Fahrt auf der Plattform innerhalb der Fahrzeugkontur stehenbleibt, was die Gefahr von Klemmungen zwischen Fahrzeug und Umgebung reduziert.



Die Grafiken zeigen Lage und Höhe der Lichtschranke (hellgrün), deren Unterbrechung die Bremsfunktion auslöst.

4 Akustische und optische Warnsignale für Personen in der Umgebung

4.1 Akustische Warnung von gefährdeten Personen

Weitere Lösungen zur Warnung gefährdeter Personen siehe Kapitel 3.4.1 Funk-/Transponder-/Tag-Systeme (bei abgeschlossenem Betriebsgelände mit Eingangskontrolle).

In vielen Einsatzbereichen von FFZ und anderen mobilen Arbeitsmaschinen ist es sinnvoll, dass nicht nur der Bediener/Fahrer vor Gefährdungssituationen gewarnt wird, sondern auch **Personen, die sich in der unmittelbaren Umgebung aufhalten**, die in den Gefahrenbereich hineinlaufen (wie zum Beispiel Arbeitskollegen oder Passanten) und die ohne Warnung in Gefahr geraten können.

Gezielt Aufmerksamkeit erzeugen

Zur Verbesserung der Wahrnehmbarkeit von mobilen Maschinen wie FFZ stehen unterschiedliche akustische Warner zur Verfügung, die entweder:

- bei Bewegung (z. B. bei Rückwärtsfahrten) permanent aktiviert sind oder
- situativ aktiviert werden, wenn z. B. ein Sensoriksystem mit intelligenter Software Personen/Objekte detektiert.

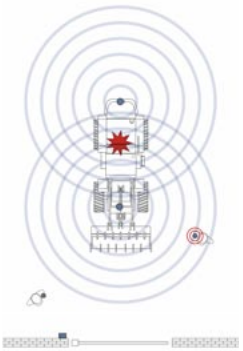
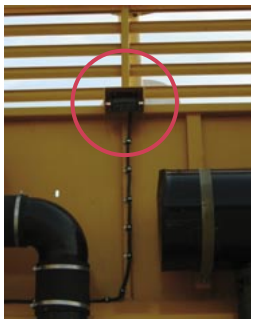


Bild oben: Grafische Darstellung eines Transpondersystems

Der erzeugte Alarmton wird als „Zischen“ oder „Piepen“ wahrgenommen und kann sich optional an die Umgebungslautstärke anpassen. Während „Zischer“ (Breitbandton-Warner) durch einen gerichteten Alarmton Personen warnen, die sich dem Gefahrenbereich nähern oder sich dort bereits befinden, werden Pieper in der gesamten Umgebung gehört. Daher ist Vorsicht geboten! „Pieper“ verursachen Lärmbelästigungen, die bei Beschäftigten und Anwohnern Ärger und Stress auslösen. Mögliche Folge: Desensibilisierung gegenüber dem Dauerpiepen – eine reale Gefährdung wird nicht mehr als solche eingeschätzt. Da der Piepton nur schwer lokalisierbar ist, müssen sich gefährdete Personen zunächst orientieren, aus welcher Richtung die Gefahr droht.



Je nach Arbeitseinsatz ist eine Kombination aus KMS und Breitbandton-Warner sinnvoll: Der Fahrer hat den Arbeits-/Gefahrenbereich im Blick, zusätzlich werden gefährdete Personen akustisch gewarnt.

Vorteile „Zischer“

- Nur in der Gefahrenzone wahrnehmbar
- Weites Frequenzspektrum
- Reduzierte Lärmbelästigungen für Umwelt
- Reduzierter Stress bei Beschäftigten und Nachbarschaft/Anwohnern
- Schnelle Lokalisierbarkeit
- Optional durch Sensor aktivierbar

Foto rechts: **Kombination aus Radar und Zischer**. Das Radarsystem **warnt den Fahrer** mittels akustischer und optischer Anzeige über Personen im Detektionsbereich. Der Breitbandton-Warner **warnt gefährdete Personen** in Fahrzeugnähe durch einen akustischen Alarm.

4.1.1 Breitbandton-Warner

Umgebung gezielt warnen – unnötige Lärmbelästigung vermeiden

Breitbandton-Warner verursachen weniger Lärmbelästigung.
Eindringlich alarmierende Zischsignale werden dort gehört, wo es darauf ankommt: im direkten Gefahrenbereich der mobilen Maschine.

Für die Beschäftigten, Anwohner und Passanten reduziert sich der (Dauer-)Stress durch schrille Pieptöne.
Der Bediener/Fahrer wird nicht dazu verleitet, das Warnsystem auszuschalten, um seine Nerven zu schonen. Es besteht eine geringere Gefahr für eine Desensibilisierung gegenüber Warnsignalen.

Richtung der Gefahrenquelle schnell erfassen

Breitbandton-Frequenzen vermitteln eine Richtungsinformation an das Ohr und ermöglichen dem Hörer hiermit eine bessere Lokalisierung des Tons. So erhält er Zeit, der Gefahr auszuweichen.

In vielen Bereichen einsetzbar

Sinnvolle Einsatzbereiche von Breitbandton-Warnern sind Flurförderzeuge, Teleskopstapler, Nutzfahrzeuge, weitere mobile Arbeitsmaschinen wie Gepäckfahrzeuge auf Flughäfen und land- oder forstwirtschaftliche Maschinen.

Entsprechend der vielfältigen Einsatzbereiche kommen unterschiedliche Modelle von Breitbandton-Warnern zum Einsatz.

Die Anforderungen an Teleskopstapler in geschlossenen Lagerhallen oder Scheunen sind anders zu beurteilen als beispielsweise an Gabelstaplern in Produktionsumgebungen oder auf einem Flughafen – und ebenfalls anders als an Mitnahmestaplern, die in stark frequentierten innerstädtischen Bereichen Baustoffe entladen.

Prinzip Breitbandton

Breitbandrauschen – auch als „weißes" Rauschen bezeichnet – entsteht durch die Komposition mehrerer Frequenzen.
Es wirkt als verdeckender Schall, indem Tonimpulse im Rauschen „verschwinden".

Durch entsprechendes Einstellen der Schallpegelverhältnisse wird die Mithörschwelle auf das benötigte Niveau gesetzt.

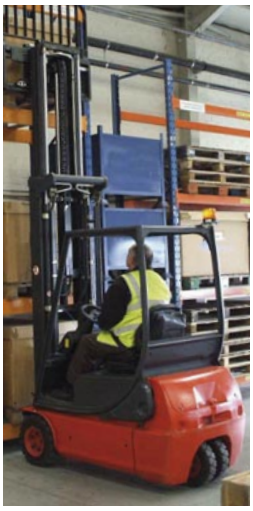
Signifikant für die menschliche Wahrnehmung des so erzeugten Tons sind die
- räumliche Begrenzung und
- eine schnelle Lokalisierbarkeit.

Als Warnton eingesetzt kann das Breitbandrauschen so eingestellt werden, dass sich die Lautstärke an den Geräuschpegel der Umgebung anpasst.

Breitbandton-Warner

Technische Optionen:

Bei der Auswahl des geeigneten Systems spielt u.a. der Lärmpegel in der Umgebung eine Rolle. Für einige Anwendungsbereiche empfiehlt sich daher eine automatische Anpassung der Warnton-Lautstärke: Die Warnintensität erhöht sich, sobald dies erforderlich ist.



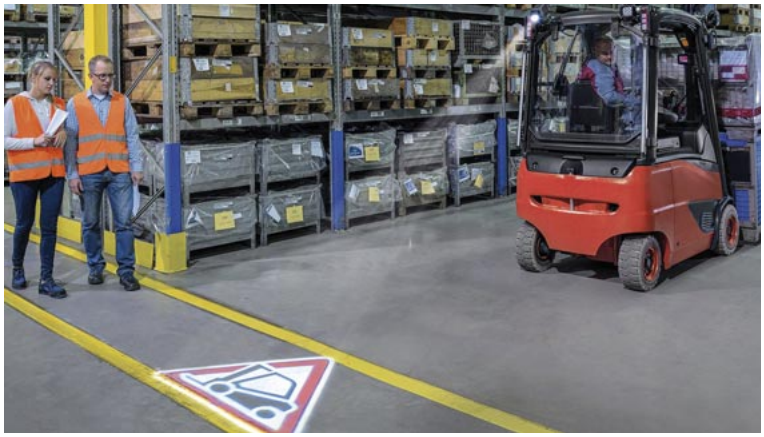
Breitbandton-Warner unterstützen Gabelstaplerfahrer beim sicheren Rangieren und Fahren.

Durch das breite Frequenzspektrum kann eine Person in der Gefahrenzone sofort lokalisieren, aus welcher Richtung das Geräusch kommt, ob und wie schnell die Gefahr sich weiter nähert.

4.2 Optische Warnung von gefährdeten Personen

Fahrweg-Warneinrichtungen

Unübersichtliche Bereiche wie enge Regalgänge und schwer einsehbare Kreuzungen erschweren es Fußgängern, einen sich nähernden Stapler rechtzeitig zu sehen.



Mit dieser Lösung haben Flurförderzeuge ihr Warnschild immer und überall dabei und entschärfen aufmerksamkeitsstark gefährliche Situationen – auch an schwer einsehbaren Kreuzungspunkten.

Das projizierte Warnschild fährt bei Rückwärtsfahrten voran.

Einfache Nachrüstung an Gegengewichts- und Schubmaststaplern: Der Truck Spot ist ab Werk und als Nachrüstsatz erhältlich.

4.2.1 Truck Spot – immer dabei

Optische Warnsignallösungen wie der sogenannte Truck Spot kündigen das nahende FFZ durch ein eindeutiges und vorausgehendes Lichtsignal an. Statische Warnschilder erhöhen zwar die Achtsamkeit und warnen vor möglichen Gefahren, sind aber in der konkreten Situation nicht immer eine Hilfe. Mit dem Truck Spot hat das Flurförderzeug sein Warnschild immer und überall dabei und entschärft brenzlige Situationen, bevor sie entstehen.

Stärkere Warnwirkung
Am Rahmen des Fahrerschutzdaches montiert, projiziert das Warnlicht ein eindeutiges Signalzeichen hinter dem FFZ auf den Fußboden und warnt Fußgänger und andere Fahrzeuge: Mit kräftigen Kontrastfarben sorgt das projizierte großformatige Warnschild für eine starke Alarmwirkung, die bei den Gefährdeten sofort ankommt und verstanden wird.

Erst das Warnschild, dann der Stapler
Im Abstand von rund vier Metern projiziert der Spot ein rot-umrandetes Gefahrendreieck mit Staplersymbol auf den Boden. Bei Rückwärtsfahrt schickt das Fahrzeug dieses Zeichen voraus und zeigt so klar die Fahrtrichtung des Staplers an. An Ecken und Einfahrten können kreuzende Fußgänger und Staplerfahrer frühzeitig reagieren. Der Spot ist so montiert, dass Passanten und andere Fahrer nicht geblendet werden.

Gefahrendreieck
Motiv, Größe und die Bewegung des Symbols erregen eine sofortige Aufmerksamkeit: Personen weichen automatisch zurück!

Form und Farbe sind bewusst gewählt:
Auf der ganzen Welt wird das rote Gefahrendreieck auf weißem Grund intuitiv verstanden.

Prinzip optisches Warnsignal

1. Visuelle Lösung: Lichtspots und Projektionen funktionieren rein visuell und sind für alle Beteiligten prägnant und klar verständlich. Daher werden sie auch in lauten Arbeitsumgebungen wahrgenommen, ohne selbst den Geräuschpegel zu erhöhen oder zu irritieren. Das bringt zusätzliche Sicherheit.

2. LED-Technologie: überzeugt durch eine hohe Langlebigkeit mit einer Einsatzdauer von mehr als 20.000 Stunden.

4.2.2 Blue Spot und Red Spot

Laute Geräusche lenken ab, sie können wichtige Warnsignale übertönen. Das kann gefährliche Unfälle auf dem Werksgelände verursachen. Fahrwegwarneinrichtungen in Form von signalfarbenen Lichtspots ermöglichen eine wirkungsvolle optische Warnung für Fußgänger und erhöhen im Fahrwegbereich, auch an unübersichtlichen Kreuzungen, die Sicherheit im Betrieb.
Das LED-Licht projiziert einen sich mit dem Stapler bewegenden blauen oder roten Warnpunkt direkt auf den Fußboden. Dadurch werden Fußgänger und andere Staplerfahrer vor herannahenden Fahrzeugen gewarnt und die Aufmerksamkeit auf den fahrenden Stapler gelenkt.

Die Praxis bestätigt eine hohe Akzeptanz bei Fahrern/Bedienern und den Personen im Umfeld des Staplers.

Nicht zu übersehen

Der Spot besteht aus zwei blendfreien, lichtstarken LED-Leuchten. Diese sind so einstellbar, dass sie entweder konstant leuchten – oder sich dynamisch beim Fahren einschalten. Sowohl vorwärts als auch rückwärts fährt der Licht-Spot dem Stapler voraus und ist für alle deutlich erkennbar.

Frühzeitige Ankündigung: Der vorauseilende auf den Boden projizierte blaue oder rote Warn-Spot ist kontraststark – ohne zu blenden – und lässt den Kollegen Zeit zum Ausweichen.

Systemeigenschaften

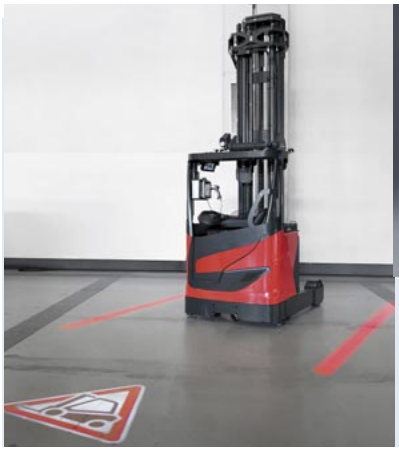
- LED-Licht mit rotem oder blauem Licht-Spot oder mit blauem Richtungspfeil
- IP69K-Schutzklasse für den Einsatz im Freien und für Hochdruckreinigung
- Einfache Anbringung am Fahrerschutzdach: Rahmen mit universeller Halterung
- LED-Technologie für eine blendfreie hohe Lichtstärke bei geringem Stromverbrauch
- Hohe Lebensdauer durch sehr niedrige Betriebstemperatur
- Robust und unempfindlich gegenüber Erschütterungen und Vibrationen

Auch die Lichtspots und projizierten Warnlinien sind ab Werk und zur Nachrüstung erhältlich. So können auch bestehende Flotten mit optischen Warnsignalen ausgestattet werden.

4.2.3 Red/Blue Warning Lines

Für mehr Sicherheit im Seitenbereich des Staplers: auf den Boden projizierte rote (optional blaue) Lichtstreifen auf beiden Seiten des Fahrzeugs markieren wichtige Sicherheitszonen.
Durch einen Mindestabstand werden potenzielle Gefahrenbereiche neben dem Stapler deutlich visualisiert, um Personen davon abzuhalten zu dicht an den Stapler heranzutreten.

Die Warning Lines können neben roten auch mit blauen Lichtstreifen verwendet werden. Somit eignet sich diese Technologie für eine Vielzahl von Anwendungen und Umgebungen.



Je nach Einsatzbereich kann es sinnvoll sein, verschiedene optische Warneinrichtungen am Stapler anzubringen, wie links im Bild Warning Lines plus Truck Spot, um für noch mehr Sicherheit im Arbeitsablauf zu sorgen.

5 Intelligente Software, Künstliche Intelligenz

für Warn-/Assistenzsysteme

Digitalisierung, KI-Lösungen, vernetzte Systeme dringen in die Praxis. Das Entwicklungstempo ist dabei sehr hoch. Dies gilt insbesondere für Lösungen zur Personen- und Objektdetektion mit Eingriff und zur Automatisierung.

Die Informationen dieses Kapitels beziehen sich insbesondere auf KI bei der Entwicklung von Personen-/Objektdetektionssystemen.

Während analoge Systeme, entsprechend ihrer anforderungsbedingten Spezifikationen, unabhängig voneinander an gleichen Aufgaben wirken, treiben digitalisierte Prozesse eine Vernetzung/Datenfusion komplexer Lösungen voran.

Digitale Prozesse können Informationen von mehreren Sensoren integrieren:

Die parallel erfassten Messdaten von z. B. einer Kamera, einem Ultraschallsensor und einem Radarsystem werden zeitgleich ausgewertet. Die Überlagerung der Sensorsignale steigert die Zuverlässigkeit in der Erkennung von latenten und akuten Gefahrensituationen in unterschiedlichen Umgebungsszenarien.
Mit dem Ergebnis kann ein vorher definierter Systemeingriff ausgelöst werden – zum Beispiel ein Brems- oder Ausweichmanöver, um erkannte Personen zu schützen und das System wieder in einen sicheren Zustand zu bringen.

Digitalisierung schafft die Grundlage, um

- **KI-basierende Algorithmen einzusetzen,**
- **Maschinen „intelligenter"** und
- **sicherer zu machen** sowie eine
- **zunehmende Automatisierung von Geschäfts- und Arbeitsprozessen** zu nutzen.

▶ **KI-Einsatzbeispiel „Unfallschwerpunkte durch Data Analytics" erkennen:**

▶ **Neben der Unterstützung des Fahrers können mittels Deep Learning auch Unfallschwerpunkte (Hotspots) erkannt werden.**

▶ **Bei Detektion von Beinahe-Kollisionen werden Datum, Uhrzeit und GPS-Position des FFZ erfasst.**

▶ **Abhängig von der Datenmenge und deren Speicherzeit, können Hotspots ermittelt und präventive Maßnahmen eingeleitet werden (z. B. verbesserte Einsehbarkeit und/oder Einbremsen des FFZ).**

▶ KI (Künstliche Intelligenz)

Oberbegriff für SW-Programme zur Simulation von kognitiven Fähigkeiten und menschlicher Intelligenz (Wahrnehmen, Lernen, Anpassen, Schlussfolgern, Agieren) für die Automatisierung.

▶ ML (Maschinelles Lernen/Machine Learning)

Teilgebiet der KI; Algorithmen, die aus großen Datenmengen Muster erlernen, diese laufend optimieren und Lösungen eines bestimmten Problems finden (ohne dass der Lösungsweg explizit programmiert wurde). Beispiel: aus angelernten Bilddaten Objekte detektieren, eindeutig erkennen und klassifizieren.

▶ Deep Learning

**Deep Learning als Teilgebiet der KI basiert auf künstlichen neuronalen Netzen mit vielen Schichten. Diese Netze lernen automatisch komplexe Merkmale aus großen Datenmengen, ohne dass jedes Merkmal manuell definiert werden muss.
Dadurch können in Bereichen der Bilderkennung oft Ergebnisse erzielt werden, die menschlicher Leistung sehr nahekommen und potenziell sogar übertreffen.**

5.1 Künstliche Intelligenz (KI)

Aufgaben schnell, präzise und automatisiert lösen

Künstliche Intelligenz (KI) beschäftigt sich als Teilgebiet der Informatik mit der Simulation menschlicher Intelligenz und kognitiver Fähigkeiten (Kompetenz, Informationen aus der Umwelt wahrzunehmen und zu erkennen), um „intelligentes" Verhalten bei Maschinen und Fahrzeugen zu ermöglichen.

Künstliche Intelligenz nutzt große Datenmengen, um **schnell und automatisiert fundierte Entscheidungen zu treffen**. Algorithmen verarbeiten und analysieren dabei die gesammelten Erfahrungen, merken sich relevante Erkenntnisse und lernen durch **Versuch und Irrtum**. Auf diese Weise kann das System **aus erkannten Fehlern lernen, sich kontinuierlich weiterentwickeln und seine Leistung eigenständig verbessern** (siehe Kasten rechts).
Als Ziel für eine jeweilige KI wird die Fähigkeit angestrebt, dass die Maschine in ihrem Handlungsfeld auf alle möglichen Herausforderungen reagieren kann, sich intelligent (der Situation angepasst) verhält. Dabei können KI-basierende Steuerungen weitestgehend selbstständig mit ihrer Umwelt agieren und Entscheidungen treffen. Sie müssen beispielsweise **im Notfall eine gefährdete Person sicher detektieren und Schutzmaßnahmen wie z. B. Bremsen einleiten**.

Hinsichtlich der Betriebssicherheit wird hier juristisches Neuland betreten, wenn es z. B. darum geht, die **Rahmenbedingungen von KI-Systemen zu bewerten**.

Eingefrorene KI:
**Generell wird ein sogenanntes KI-System zur Personen-/Objektdetektion in der Trainingsphase angelernt – beispielsweise mittels Machine Learning.
In der Betriebsphase, das heißt beim Einsatz der Maschine, erfolgt keine weitere Verselbstständigung des Systems. Man spricht von „eingefrorener KI".**

Neuronale Netze

Während klassische Programmierung mit manuell erstellten Anweisungen Kontrollstrukturen definiert und diese bewusst einpflegt, ersetzt ein KI-System die manuell erstellten Programmierungsabschnitte durch selbstgelernte neuronale Netzstrukturen.

Neuronale Netze gehören zu den leistungsfähigsten Verfahren der künstlichen Intelligenz. Sie lernen aus Trainingsdaten komplexe Zusammenhänge, die für den Menschen nicht ohne weiteres nachvollziehbar sind. Neuronale Netze können Muster erkennen und durch Erhebung von Daten im Betrieb in einer nachgelagerten Trainingsphase verbessert werden. Ein Spezialfall ist der Einsatz mehrerer Netze, die sich gegenseitig in dieser Trainingsphase verbessern. Ein KI-System zur Personen-/Objektdetektion ist mit Sensoren ausgestattet, von denen angenommen wird, dass diese die benötigten Daten zur Weiterverarbeitung und zum Weiterlernen erfassen können.

Eine besondere und für die Personen- und Objektdetektion relevante Anwendung der KI ist die sogenannte Machine Vision.
Machine Vision erfasst und analysiert visuelle Informationen mit 2D- und 3D-Sensoren (welche auch Kameras sein können) und wird häufig mit dem menschlichen Sehvermögen verglichen, da sie einer Maschine quasi ermöglicht, „sehen" zu können.
Ziel ist, die so erfassten visuellen Informationen für Schlussfolgerungen nutzen zu können.

KI-Systeme sind von ihren Daten abhängig

Zum Anlernen bedienen sich KI-Systeme umfangreicher Daten (siehe Seite 39) verschiedener Herkunft:

- den **Stammdaten** (der bereits vorhandenen, gewachsenen Datenlage),
- den **Metadaten** (mit Informationen über Daten aus anderen Quellen) und
- den im KI-Systemeinsatz gesammelten **neuen Daten**.

**Data Transparency:
Anbieter sicherheitsrelevanter KI-Systeme sind verpflichtet, die Quellen ihrer Daten transparent darzustellen.
Die Verwendung von vortrainierten öffentlich verfügbaren KI-Modellen als Basis fällt somit aus.**

5.1.1 Sichere und zertifizierbare KI

Ein sicheres KI-System bedarf neben der sicheren KI auch eine sichere Hardware- und Softwareumgebung.

Für aktive Assistenzsysteme mit Eingriff in die Fahrzeugbeschleunigung oder Bremse sowie für die Automatisierung von Arbeitsprozessen an Maschinen und gelenkten Fahrzeugen nimmt die KI zunehmend eine zentrale Rolle ein.
Klassische Ansätze für die Qualifizierung der getroffenen Entscheidung stoßen auf das Problem, dass die Entscheidung einer KI nicht auf transparenten Algorithmen basiert, sondern auf das Einbeziehen von Millionen Parametern, die über einen Trainingsprozess bestimmt wurden.

In einer **Black Box** verarbeiten KI-Algorithmen große Datenmengen, bringen diese in Verbindung und ziehen daraus definierte Schlüsse. Obwohl die Ziele für die Datenein- und -ausgabe bekannt sind, können die Verarbeitungsschritte innerhalb des Systems oft nicht erklärt werden, da sie quasi in einer schwarzen Kiste stattfinden, in die nicht hineingeschaut werden kann. Der User bekommt eine Lösung, erfährt aber nicht wie diese erreicht wird.
Das Ziel ist, die Entscheidungen der KI transparent zu machen. Über eine nachvollziehbare Schnittstelle erfährt der Nutzer, warum eine bestimmte Entscheidung getroffen wurde und wie sicher sich die KI dabei verhält.

Dies erschwert die Vorhersage einer KI-Entscheidung (Black-Box-Ansatz, siehe Text links außen). Für die Qualifizierung dieser Zuverlässigkeit müssen Ansätze gefunden werden, die eine statistische Aussage über das Verhalten einer KI ermöglichen. Neben dem EU AI Act (KI-VO/Verordnung über KI) entstehen erste Normen und Normentwürfe, die den Einsatz einer sicheren KI beschreiben.
Aus diesem lassen sich zusammenfassend z. Zt. 6 wichtige Qualitätskriterien ableiten:

Qualitätskriterien einer sicheren KI (Auszug gemäß Art.10 KI-VO, Einsatz von Hochrisiko-KI-Systemen)

1. Fairness & Bias

Die Ergebnisse des KI-Modells müssen auf einer fairen und verzerrungsfreien Entscheidungsfindung beruhen (Bias = Verzerrungen). Dies erfordert eine gleichverteilte Repräsentation des beabsichtigten Anwendungsfalls im Trainingsdatensatz (z. B. Geschlecht, Alter, Nationalität, Verdeckungen, etc.).

2. Transparenz & Erklärbarkeit

Die Transparenz muss sicherstellen, dass eine Entscheidung (z. B. eine erkannte Person) auf Merkmalen basiert, die eine Person definieren (wie Kopf, Arme, Beine und nicht beispielsweise anhand der Farbe der Kleidung).

3. Datenmanagement & Qualität

Die Leistungsfähigkeit eines KI-Modells wird über die verwendeten Trainingsdaten definiert. Daraus ergeben sich hohe Qualitätsanforderungen an die gewonnenen Daten, um die Anwendungsfälle und Anforderungen des Kunden abzudecken. Darüber hinaus müssen insbesondere Daten, die einen Personenbezug enthalten, gemäß der DSGVO gehandhabt werden.

4. Zuverlässigkeit & Sicherheit

Der KI-Entwicklungsprozess muss einem definierten Ablauf folgen (MLOps = Machine Learning Operations, siehe Text links unten) und Qualitätsmerkmale erfüllen. Der Betrieb des KI-Systems muss zudem auf zuverlässiger und unterbrechungsfreier Hard- und Software erfolgen.

5. Performance & Funktionalität

Ein KI-System muss die definierten Erkennungsraten unter den spezifizierten Rahmenbedingungen erreichen, die für diesen spezifischen Anwendungsfall definiert wurden.

6. Robustheit & Sicherheit

Alle Schritte der Modellerstellung müssen vor Cyber-Angriffen geschützt werden.
Darüber hinaus muss die KI so robust wie möglich ausgelegt werden, um unter anderem mit absichtlichen Täuschungen umgehen zu können.

MLOps
(Machine Learning Operations) sind eine Kernfunktion des Machine Learning Engineering. Diese legen den Schwerpunkt auf die Prozessoptimierung bei der Überführung von Machine-Learning-Modellen in die Produktion sowie auf deren anschließende Wartung und Überwachung.

Betrachtung eines kompletten Systems

Die Erfüllung der KI-Qualitätskriterien erfordert neben hohen organisatorischen Anforderungen, wie der Implementierung von entsprechenden Prozessen und einem darauf ausgerichteten Qualitätsmanagement, auch ein hohes Maß an Dokumentation und einen sehr hohen Aufwand für die Validierung.
Über definierte Testdatensätze, die möglichst umfassend und genau den Parameterraum des angestrebten Einsatzes der KI beschreiben, kann eine Nachweisführung gelingen.

Abbildung rechts:
SAFE AI Ethernetkamera mit umfangreichen Hard- und Software Safety Features sowie einem sicheren KI-Personennetz.

Ein „KI-Personennetz" bezeichnet ein internes, abgesichertes neuronales Netzwerk / KI-Modul, das speziell zur Detektion von Personen optimiert ist – ohne dass Rohdaten oder Modelle unsicher verarbeitet werden.

Für die Qualifizierung einer KI-Kamera und letztlich auch deren Zertifizierung muss das gesamte System, bestehend aus KI-Modell, Hard- und Software betrachtet werden. Hieraus darf keine Gefahr ausgehen. Es muss gewährleistet sein, dass sowohl die Funktion des KI-Modells als auch die Kommunikation zum Fahrzeug funktional sicher erfolgt.

Welche Daten sind relevant?

Zum Trainieren von z. B. Machine Learning Modellen benötigen wir Trainingsdaten, Validierungsdaten und Testdaten.

Trainingsdaten lernen das neuronale Netz an. Über den Trainingsdatensatz werden die Gewichte des Netzes schrittweise angepasst, d. h. das Netz lernt aus diesen Daten.

Validierungsdaten werden während des Trainingsprozesses genutzt, um die Loss-Function (Verlustfunktion) zu minimieren. Mit diesem Datensatz wird die bereits erreichte Performance gemessen und idealerweise noch vorhandene Schwächen ermittelt, z. B. kniende Personen werden nicht mit hoher Konfidenz erkannt. Im nächsten Trainingslauf kann dann auf diese Merkmale (auch als Corner Cases bezeichnet) hin weiter trainiert werden, bis das Netz insgesamt eine hohe Konfidenz erreicht hat.
(Ergänzende Information siehe rechte Spalte)

Testdaten werden nach Ende des Trainings für die Verifikation herangezogen. Sie dienen der externen, unabhängigen Testung des neuronalen Netzes und kommen typischerweise vom Kunden oder einer Zertifizierungsstelle. Der Algorithmus kennt diese Daten nicht.

Welche Datenmenge wird benötigt?

Die Datenmenge hängt von mehreren Parametern und der Heterogenität des Anwendungsfalls ab.

Mit jedem Parameter wächst die Datenmenge um eine Dimension und erreicht schnell eine Anzahl von über einer Million.
Am Beispiel der Personendetektion wird klar, dass bereits für einen kleinen Teil der denkbaren Parameter, zum Beispiel Sichtwinkel, Rotation, Verdeckung, Geschlecht, Bekleidung, Pose, Umgebungsverhältnisse wie Licht, Regen, Schnee, etc. hunderttausende Bilder erforderlich werden. Mit jedem weiteren Parameter steigt die Anzahl der möglichen Kombinationen um eine Dimension.

Da es in der Praxis schwer sein wird, alle Kombinationen des Parameterraums abzudecken, werden vermehrt synthetische Daten verwendet, die durch moderne Rendering-Software bereits sehr nah an reale Daten herankommen.

Zumindest für die Validierung oder das Testing eignen sich synthetische Daten und es kann nachgewiesen werden, dass der sogenannte „Reality Gap" (Lücke zwischen Bildern aus der realen Welt und synthetischen Bildern) sehr gering ist.

Der Validierungsdatensatz muss die sogenannte ODD (Operational Design Domain) gleichverteilt repräsentieren, um sicherzustellen, dass der Trainingsprozess zu einem sinnvollen Ergebnis führt. Während des Trainings werden diese Daten unter anderem dazu genutzt, um herauszufinden, ob sich das KI Modell über die Trainings-Epochen hinweg verbessert.

Die Konfidenz beschreibt, wie sicher ein Modell bei seinen Vorhersagen ist.
Zum Beispiel könnte ein KI-Modell bei der Bildklassifikation vorhersagen, dass ein Bild mit 90% Konfidenz eine Katze zeigt. **Konfidenzwerte helfen, die Unsicherheit eines Modells zu verstehen, um beispielsweise zu entscheiden, ob man einer Vorhersage vertrauen kann, oder ob zusätzliche Überprüfung nötig ist.**

5.2 Personen-/Objektdetektion mittels künstlicher Intelligenz (KI)

Kamerabasierte Kollisionswarnung

360°-Rundumsichtsystem mit Objekterkennung durch angelernte neuronale Netze

Systemkomponenten: Ethernet-Kameras, Recheneinheit und Touchmonitor

Die Kamerasysteme mit integrierter Kollisionswarnung basieren auf der Anwendung von künstlicher Intelligenz (in der Trainingsphase). Mithilfe sogenannter künstlicher neuronaler Netze werden verschiedenste Objekte durch Kamerabilder erkannt und klassifiziert.

Neuronale Netze lernen durch eine große Anzahl an Beispielbildern bestimmte Objektklassen anhand ihres Aussehens zu identifizieren. Dies können beispielsweise Personen und Objekte im Einsatzbereich der FFZ sein. Die Anzahl der benötigten Beispiele zum Anlernen/Trainieren des Systems hängt dabei vom gewünschten Anwendungsfall ab. Mit dieser entsprechenden Anzahl an Beispielbildern lassen sich auch Personen und Objekte in anderen Branchen und Anwendungsfällen erfassen.
Das angelernte neuronale Netz kann dadurch in Echtzeit die statischen und dynamischen Objekte im Kamerabild erkennen und deren Position bestimmen (Beispiele für Systemkomponenten s. Abbildung links)**.**

Klassifizierung bei KMS

Vor besonders gefährdeten Personen oder Objekten wird der Fahrer spezifisch akustisch und/oder visuell gewarnt.
Um die Rate unnötiger Fehlalarme zu minimieren wird er hingegen vor nicht angelernten Objektklassen, wie Schildern, Regalen und sonstigen statischen Objekten nicht gewarnt.

Die am FFZ montierten und damit bekannten Kamerapositionen werden herangezogen, um eine ausreichend genaue Entfernungseinschätzung abzugeben, die eine rechtzeitige Warnung möglich macht. Voraussetzung dafür ist ein einmaliger Kalibriervorgang bei Montage der Kameras.

In Zusammenarbeit mit einer Recheneinheit und implementierter Anwendungs-Software kann ein KMS zu einer aktiven Sicherheitsunterstützung für den Fahrer werden.
Das KMS erkennt die klassifizierten Objekte und Personen im Kamerabildausschnitt – siehe Abbildungen rechts und in linker Spalte.

Der Fußgänger wird vom System detektiert, als Person klassifiziert und durch gelbe Rahmenlinien deutlich markiert.

Visualisierte Warnzonen im Nahbereich der Maschine definieren, ab wann das System detektierte Objekte und Personen als gefährdet einstuft und den Fahrer alarmiert. Die Warnzonen können flexibel und individuell konfiguriert werden.

Das System kann anwendungsfallspezifisch auf weitere neue Objektklassen angelernt bzw. trainiert werden, sodass die KMS-Lösung in vielen unterschiedlichen Branchen und Bereichen eingesetzt werden kann.

In Kombination beispielsweise mit Radar-/ Ultraschallsensoren oder Stereokameratechnologien können weitere Verbesserungen zur Detektion von Objekten oder Personen erreicht werden.

Sicherheit mit Deep-Learning-Technologie

Kamerabasierte Kollisionswarnung durch eingebettete (embedded) KI findet ein immer größeres Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten bei unterschiedlichen mobilen Arbeitsmaschinen und Nutzfahrzeugen in verschiedenen Bereichen und Umgebungen.

Überall dort, wo sich Personen/Objekte in dynamischen Prozessen befinden, besteht ein besonders hohes Gefährdungspotenzial. Neben Klassifizierung und Positionsbestimmung von detektierten Objekten kann die eingebettete KI zusätzlich Bewegungsverläufe errechnen und drohende Kollisionen vorhersehen.

Intelligente Bewegungserkennung

Durch die über Deep-Learning-Prozesse speziell entwickelte KI werden die Bilder der Kamerasensoren ausgewertet und der zukünftige Bewegungsverlauf der gefährdeten Objekte errechnet. Parallel dazu wird u. a. auch die Bewegungsrichtung des eigenen Fahrzeuges bestimmt. Überschneiden sich die beiden Vektoren/Bewegungslinien, warnt das System den Fahrer vor einer Kollisionsgefahr.

Erweiterter Detektionsbereich

Der Detektionsbereich der Kamera kann durch eine integrierte KI deutlich erweitert werden, sodass z. B. auch Objekte/Personen seitlich der Fahrzeugfront und sogar in der zweiten Reihe, wie beispielsweise hinter parkenden Autos, detektiert werden.

Je nach System und Anwendung kann die KI-Software direkt in den Sensor oder in eine zwischengeschaltete Steuerbox appliziert werden.

Bild oben:
Intelligente Kamera – Beispiel einer Ethernetkamera mit Personen-/Objektdetektion direkt auf der Kamera ohne zusätzliche Hardware.

Anwendungsbeispiel Teleskoplader

Die intelligente Kamera liefert HD-Bilder von den kritischen Bereichen. Dabei erkennt die integrierte Deep-Learning-Technologie Personen wie Fußgänger und Radfahrer und sendet in Echtzeit Alarmsignale an den Fahrer.

Die KI-Kamera kann direkt an handelsübliche Monitore angeschlossen werden. Beim Anbringen des Monitors ist darauf zu achten, dass dieser nicht das direkte Sichtfeld des Fahrers/Bedieners beeinträchtigt (Kapitel 1.2 Gefährdungsbeurteilung).

Weitere Systemeigenschaften

- KI-basierte Kamerasysteme funktionieren auch bei eingeschränkten Lichtverhältnissen,
- sind anwendbar für verschiedene Fahrzeugtypen und einfach zu montieren und
- können leicht durch Softwareupdates aktualisiert werden.
- Die Nutzung der CAN-Signale des Fahrzeugs
- und Customizing des Systems sind möglich.

KI-Kameras werden in unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt – auch in rauer Umgebung wie Landwirtschaft oder Baustellen und auch dort, wo viele ungeschützte Personen unterwegs sind, wie im öffentlichen Straßenverkehr.

5.2.1 Smartkamera für Personendetektion und Kollisionsvermeidung

Die Smartkamera (Kamera mit applizierter Software) wurde speziell für den Einsatz in Flurförderzeugen und weiteren mobilen Arbeitsmaschinen und entwickelt. Durch den Einsatz moderner neuronaler Netze detektiert das System zuverlässig Personen im überwachten Bereich und unterstützt so die Erhöhung der Arbeitssicherheit.

Kernfunktionen

1. Personendetektion mittels neuronaler Netze (KI)

Zuverlässige Detektion von Personen in Echtzeit

- Robuste Funktion auch unter anspruchsvollen Umgebungsbedingungen

2. Intelligentes Tracking

Das intelligente Tracking sorgt für eine durchgängige und verlässliche Verfolgung detektierter Personen – auch in dynamischen und anspruchsvollen Arbeitssituationen.

- **Stabile und kontinuierliche Visualisierung**
  Ein speziell optimierter Tracking-Algorithmus gewährleistet eine gleichmäßige Darstellung detektierter Personen und erhöht so die Übersichtlichkeit für den Bediener.
- **Maximale Detektionskontinuität**
  Kurzzeitige Sichtunterbrechungen werden intelligent überbrückt, sodass Personen auch bei teilweiser Verdeckung zuverlässig im System verbleiben.
- **Hohe Performance bei Bewegung**
  Selbst schnelle Bewegungen oder wechselnde Richtungen werden präzise erfasst und nachverfolgt – für maximale Sicherheit im Arbeitsumfeld.
- **Verlässliches und konsistentes Warnverhalten**
  Durch die kontinuierliche Objektverfolgung werden Warnmeldungen deutlich stabiler und nachvollziehbarer ausgelöst, wodurch Fehlinterpretationen reduziert werden.

3. Warnkonzept

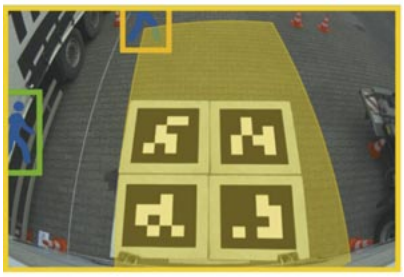
Zweistufiges Warnkonzept

- Konfigurierbare Überwachungszonen
- Visuelle Warnung in zwei frei definierbaren Sicherheitszonen
- Unterschiedliche Warnstufen je nach Annäherung an die Maschine

Externe Akustische Warnung

- Ansteuerung externer Summer
- Einstellbare Lautstärke am externen Warnsystem
- Möglichkeit zur Deaktivierung der akustischen Warnung
- Anpassung an unterschiedliche Einsatzumgebungen

Die Abbildungen unten zeigen die Warnszenarien
linkes Bild – optische Anzeige, ohne Warnung: Person nähert sich dem Gefahrenbereich;
mittleres Bild – **Warnstufe 1**: Eine Person bewegt sich in den Gefahrenbereich;
rechtes Bild – **Warnstufe 2**: Eine Person befindet sich im Gefahrenbereich, es besteht unmittelbar Kollisionsgefahr!



Konfiguration und Bedienung

Einfache Konfiguration über eine integrierte Weboberfläche

Die komplette Konfiguration erfolgt komfortabel über eine integrierte Weboberfläche. Dort können Kameraparameter sowie die visuellen und akustischen Warnfunktionen individuell eingestellt werden.

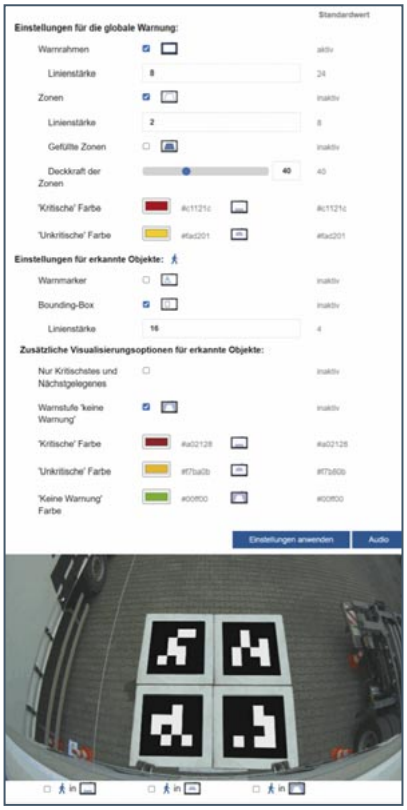


Bild oben: Weboberfläche (Ausschnitt) für die Einstellung der relevanten Kameraparameter und Warnoptionen.

Optimierte Bildqualität durch flexible Kameraeinstellungen

Für eine zuverlässige Personenerkennung unter unterschiedlichen Einsatzbedingungen bietet die Smartkamera umfangreiche Einstellmöglichkeiten. Über die integrierte Weboberfläche können beispielsweise Belichtungszeit (Exposure), Verstärkung (Gain) sowie weitere Bildparameter einfach angepasst werden.
Eine optimale Abstimmung dieser Parameter kann die Detektionsrate und Stabilität der KI-Anwendung deutlich verbessern – insbesondere bei wechselnden Lichtverhältnissen, Gegenlicht, Dämmerung oder starkem Sonnenlicht. Dadurch lässt sich die Leistung der Personendetektion gezielt an die jeweilige Einsatzumgebung anpassen.

Flexible Netzwerkkonfiguration

Die Smartkamera bietet verschiedene Möglichkeiten zur Anpassung der Netzwerk- und Streamingparameter. Dadurch kann die Bildqualität für Service-, Diagnose- oder Visualisierungszwecke optimiert werden, ohne die verfügbare Netzwerkbandbreite unnötig zu belasten.

- Anpassbare Streamingparameter
- Optimierung von Bildqualität und Bandbreitenbedarf entsprechend der Anwendung
- Reduzierung der Netzwerklast bei gleichzeitig hoher Bildqualität

Serienintegration und Skalierung

Effiziente Serienintegration

Ein besonderer Vorteil für OEMs und Integratoren ist die Möglichkeit, erstellte Konfigurationen zu exportieren und auf weitere Systeme zu übertragen. Dadurch können identische Einstellungen schnell und fehlerfrei auf mehrere Maschinen ausgerollt werden.
Zusätzlich können vorkonfigurierte Einstellungen bereits während der Produktion auf die Kameras aufgespielt werden. Dies reduziert den Inbetriebnahme-Aufwand erheblich und ermöglicht eine schnelle Installation ohne manuelle Einzelkonfiguration vor Ort.

Flexible Integrationsmöglichkeiten

Die Smartkamera kann sowohl als sofort einsatzbereite Komplettlösung als auch als Entwicklungsplattform geliefert werden. Für kundenspezifische Anwendungen stehen auf Wunsch ein Board Support Package (BSP) oder ein Software Development Kit (SDK) zur Verfügung. Dadurch können Kunden die Kamera nahtlos in ihre eigenen Systeme integrieren und individuelle Funktionen realisieren.

Kundenspezifische KI-Modelle

Neben der standardmäßigen Personendetektion besteht die Möglichkeit, neuronale Netze gemeinsam mit dem Kunden an spezifische Anforderungen anzupassen und zu trainieren. So können beispielsweise weitere Objekte, Gefahrenquellen oder anwendungsspezifische Szenarien erkannt werden. Dies ermöglicht maßgeschneiderte KI-Lösungen für unterschiedlichste Einsatzbereiche im Maschinen- und Anlagenbau.

Edge AI – Autarke Verarbeitung

Die Smartkamera verarbeitet sämtliche Bilddaten und KI-Algorithmen direkt auf dem Gerät. Das neuronale Netz läuft vollständig auf der integrierten Hardware der Kamera („Edge AI"), sodass keine externe Recheneinheit oder Cloud-Anbindung erforderlich ist.

Vorteile der autarken Lösung

Abbildungen oben: Varianten der Smartkamera mit separatem oder integriertem Anschluss für die Stromzufuhr

Kurze Reaktionszeiten
- Die Bildauswertung erfolgt direkt in der Kamera ohne zusätzliche Datenübertragung.

Hohe Systemverfügbarkeit
- Die Funktionalität ist unabhängig von Netzwerkverbindungen oder externen Servern.
- Das System bleibt auch bei Verbindungsunterbrechungen vollständig einsatzfähig.

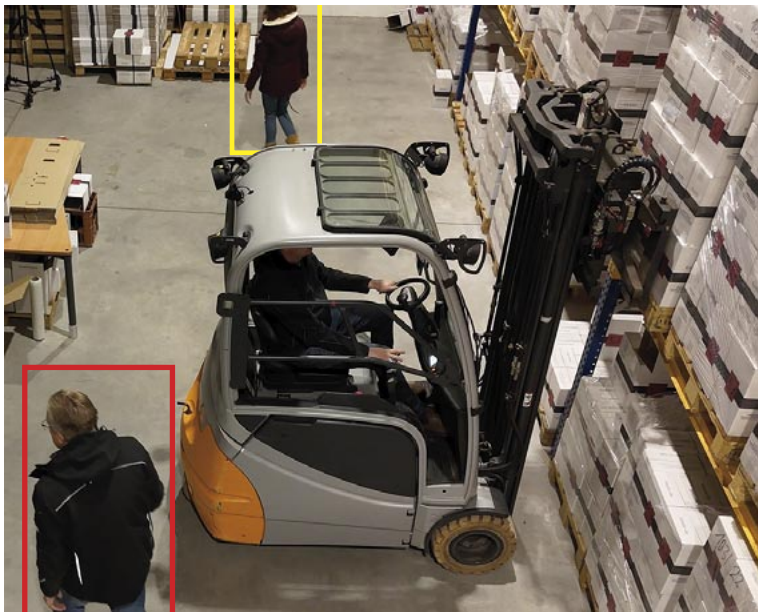
Reduzierter Integrationsaufwand
- Keine zusätzliche Hardware für die KI-Auswertung erforderlich.
- Einfache Integration in bestehende Maschinenkonzepte

Datenschutz und Datensicherheit
- Bilddaten müssen nicht an externe Systeme oder Cloud-Dienste übertragen werden.
- Sensible Daten bleiben innerhalb des Systems.

Skalierbarkeit
- Jede Kamera arbeitet eigenständig und kann ohne zentrale Recheneinheit betrieben werden.
- Mehrere Kameras lassen sich flexibel in einer Maschine oder Flotte einsetzen.

Geringere Systemkosten
- Wegfall zusätzlicher Industrie-PCs oder KI-Beschleuniger.
- Reduzierter Verkabelungs- und Wartungsaufwand.

Abbildungen unten: Die Smartkamera erkennt die unmittelbare Gefährdung der Person, die in den rückwärtigen Fahrweg des Staplers hineinläuft und warnt den Fahrer vor der drohenden Kollision. Sie zeigt dem Fahrer auch an, dass sich die zweite Person im Gefahrenbereich vom Stapler entfernt.



Die Kombination aus integrierter KI-Verarbeitung, Personendetektion, Tracking und flexibler Konfiguration macht die Smartkamera zu einer leistungsfähigen und wirtschaftlichen Lösung für moderne Flurförderzeuge und weitere mobile Arbeitsmaschinen.

Da die KI-Verarbeitung direkt auf der Kamera erfolgt, ist die Erkennungsleistung unabhängig von der Übertragungsqualität des Videostreams. Selbst bei reduzierter Bandbreite arbeitet die KI weiterhin mit den lokal verfügbaren Bilddaten und gewährleistet eine zuverlässige Detektion und Warnung.

5.2.2 Klassische Systeme im Vergleich zu KI-basierten Kameras

Kamera-Monitor-Systeme dienen dem Fahrer/Bediener als Sichthilfsmittel. Zunehmend kommen Kamerasysteme mit Personendetektion zum Einsatz. Diese vereinen die visuelle Überwachungsmöglichkeit des Gefahrenbereichs mit einer gezielten Warnung vor drohenden Kollisionen mit Personen (ggf. auch mit definierten Objekten). Bei ihrer Entwicklung spielt Künstliche Intelligenz (KI) eine entscheidende Rolle.

Grafik oben: Darstellung einer Personendetektion im rückwärtigen Gefahrenbereich eines Gabelstaplers durch die am Heck angebrachte KI-Kamera.

Klassische Systeme zur Personendetektion

Regelbasierte Algorithmen:
Klassische Systeme zur Personendetektion nutzen oft einfache, regelbasierte Verfahren, die auf fest definierten Algorithmen und Schwellenwerten basieren. Sie arbeiten häufig mit traditionellen Bildverarbeitungstechniken wie Kanten- oder Farbmuster-Erkennung.

Begrenzte Anpassungsfähigkeit:
Diese Systeme sind eingeschränkt flexibel und müssen für jede neue Situation manuell angepasst werden. Bei plötzlich auftretenden Veränderungen in der Umgebung oder unerwarteten Szenarien sind sie fehleranfälliger.

Geringere Genauigkeit:
Klassische Systeme sind weniger robust gegenüber Variationen in der Darstellung von Personen, wie z. B. unterschiedlichen Posen, Kleidungsstücken oder Beleuchtungsbedingungen.

Einfachere Funktionalität:
Sie bieten in der Regel nur grundlegende Erkennungsfunktionen ohne tiefere Analyse oder zusätzliche Informationen.

Klassische Systeme sind in der Regel starrer und bieten eine geringere Detektionsgenauigkeit, da sie auf fest programmierte Algorithmen angewiesen sind.

KI-basierte Kameras zur Personendetektion

KI-basierte Kameras, die für die Personendetektion genutzt werden, unterscheiden sich von klassischen Systemen hauptsächlich in der Art und Weise, wie die Detektion durchgeführt wird:

Intelligente Algorithmen:
KI-basierte Kameras verwenden maschinelles Lernen und Deep Learning, insbesondere neuronale Netzwerke, um Personen zu detektieren. Sie lernen aus großen Datenmengen und können somit komplexe Merkmale wie unterschiedliche Posen, Gesichtsausdrücke, Kleidung und Umgebungsbedingungen interpretieren.

Höhere Genauigkeit:
KI-basierte Kameras bieten eine hohe Genauigkeit bei der Personendetektion, selbst unter schwierigen Bedingungen wie z. B. schlechten Lichtverhältnissen, Teilverdeckungen oder variierenden Blickwinkeln.

Erweiterte Funktionen:
Dadurch können diese Kameras zusätzliche Informationen extrahieren, wie beispielsweise Geschlecht und Aktivitäten – und weiterführende Analyseergebnisse liefern.

KI-basierte Kameras zur Personendetektion bieten eine fortschrittliche, flexible, genaue Lösung, indem sie maschinelles Lernen nutzen.

5.3 KI-Personendetektion zur Kollisionsvermeidung und zum Unfallrisikomanagement

System Hauptkomponenten:

Sensor, Smart-Farbdisplay und akustische Warnleuchte

Das am Gabelstapler montierte System detektiert Personen, warnt den Fahrer und vermeidet Fehlalarme.

Vernetzte KI-Personendetektion zur Vermeidung von Kollisionen mit mobilen Arbeitsmaschinen

In der Intralogistik arbeiten Mensch und Maschine oft in derselben Umgebung eng nebeneinander. Diese gleichzeitige Aktivität erzeugt ein hohes Kollisionsrisiko zwischen Fahrzeugen und Personen, das nach wie vor die Ursache vieler Unfälle ist.

Das kompakte, robuste System zur Personendetektion ist einfach zu installieren. Die KI-Kamera detektiert und lokalisiert Personen in Echtzeit und in jeder Körperhaltung (egal ob stehend, hockend oder in partieller Sicht), um Kollisionen mit Fahrzeugen wie z. B. Gabelstaplern zu vermeiden.

Ein Smart-Farbdisplay bzw. eine Warnleuchte mit Buzzerfunktion alarmiert den Fahrer durch optische und akustische Signale, sobald eine Person in der definierten Gefahrenzone heck- oder frontseitig detektiert wird. Unter Einsatz von KI hat das System gelernt, Personen von Objekten klar zu unterscheiden und daraufhin nur relevante Warnmeldungen auszugeben. **Fehlalarme werden vermieden, was zu einer hohen Fahrerakzeptanz führt**.

Abbildung oben: Der Sensor überwacht den Bereich in seinem Sichtfeld – auch im toten Winkel des Gabelstaplers – und erkennt jede Körperhaltung.

Die direkte Sicht des Fahrers ist erheblich eingeschränkt!

Das System sieht auch in tote Winkel und alarmiert den Fahrer, z. B. über eine kniende Person.

Das Dashboard der vernetzten Lösung bietet Zugang zu relevanten Metriken / KPIs und Hotspot-Karten, um die Fahrzeugflotte zu überwachen und die Sicherheit und Produktivität der Standorte zu verbessern.

Sicherheits- und Produktivitätsanalysen

Die **integrierte Cloud-basierte IoT-Flottenmanagementlösung** (Internet of Things) unterstützt den Betrieb darin, die Produktivität zu verbessern und die Sicherheit von Menschen in der Nähe von Maschinen wesentlich zu erhöhen. Das Unfallrisiko kann um ein Drittel reduziert werden.

Mittels GPS- und 4G-Verbindung bietet ein Dashboard den Zugriff auf relevante Metriken, Fotos und Hotspot-Mapping, um datengesteuerte Entscheidungen zu treffen. Es zeigt z. B. die Fahrzeuge mit dem größten Gefährdungspotenzial an und ermittelt, wann und wo das Unfallrisiko am höchsten ist.

Eine Checkliste bietet darüber hinaus einen Überblick über den Prüfstatus der Maschine (siehe rechte Seite) und detaillierte Informationen zu Kollisionen, inkl. Standort und Fotos, um Schadensquelle, beteiligte Fahrzeuge und Personen sowie die Schwere der Auswirkungen zu analysieren. Arbeitssicherheits- und Standortleiter erhalten die Möglichkeit, die Sicherheit im Unternehmen täglich proaktiv zu verbessern und die Wirksamkeit der präventiven Maßnahmen permanent zu überwachen.

Fahrzeug-Sicherheitscheck vor dem Start

Der Bediener hat die Möglichkeit, vor dem Starten seines Fahrzeugs eine Checkliste auf einem Tablet zu erstellen. Dieses Kontrollinstrument verstärkt die Personensicherheit, verbessert die Verfügbarkeitsrate von Maschinen und optimiert die Wartung. Die Checkliste ist als eigenständige Lösung oder als Ergänzung zur Antikollisionslösung „Fußgängerdetektion" erhältlich.

Vor dem Start leitet die Checkliste den Bediener durch eine Reihe von Fragen, um die Sicherheit und ordnungsmäßige Funktion der Maschine zu überprüfen. Die Antworten werden direkt in der Cloud gespeichert – und im Falle einer Nichteinhaltung oder Fehlfunktion der Maschine wird der Service benachrichtigt und der Start der Maschine kann eingeschränkt oder verhindert werden.

Die Fragen der Checkliste sind vielfältig, anpassbar und decken wichtige Aspekte ab, wie beispielsweise den Reifenzustand, das Erkennen von Flüssigkeitslecks und die Konformität der Gabel mit den Spezifikationen.

Automatische Geschwindigkeitsbegrenzung in Risikobereichen

Diese Lösung ermöglicht die automatische Begrenzung der Geschwindigkeit von Fahrzeugen, die in Risikobereiche einfahren, z. B. Bereiche mit hoher Fahrzeug-/Fußgängerkoaktivität, enge Gänge, gefährliche Kreuzungen, Türen, etc.
Sobald ein Fahrzeug diese Risikobereiche verlässt, wird die normale Geschwindigkeit automatisch wieder hergestellt, was einen flüssigen Ablauf des Betriebs ermöglicht.

Abbildung oben: Beispiel einer Geschwindigkeitsbegrenzung

Sobald alle Kontrollen ordnungsgemäß durchgeführt wurden, kann das «sichere» Fahrzeug gestartet werden.

Vermeidung von Fahrzeug-/Hinderniskollisionen

Die Lösung geht über die Fußgängerdetektion hinaus: Sie detektiert und lokalisiert neben Personen auch spezifische Hindernisse um Fahrzeuge herum (z. B. Betonpfeiler, Rolltore) und sorgt so für eine umfassende Vermeidung von Kollisionen.

Das Unfallrisiko durch Kollisionen mit bestimmten Hindernissen (z. B. Stützpfeiler im Lager) wird minimiert.

Vermeidung von Aufprallschäden

Das System macht Kollisionen sichtbar und nachvollziehbar. Ausgestattet mit einem Inertialsensor erkennt und lokalisiert es Stöße in Echtzeit und übermittelt kritische Daten an eine cloudbasierte IoT-Lösung. Es ermöglicht die Nachverfolgung jedes Aufpralls und gibt den genauen Ort, die Detektionszeit, die beteiligten Fahrzeuge und die Schwere des Aufpralls an. Darüber hinaus werden visuelle Belege wie Fotos und Videoaufnahmen der Vorfälle für eine eingehende Analyse bereitgestellt.

Durch die Katalogisierung und Bewertung jeder Auswirkung können Unternehmen schwerwiegendere Probleme verhindern, das Risiko von Sachschäden deutlich reduzieren und die allgemeine Sicherheit verbessern.

Präzise Erkennung von Fahrzeugaufprallen (z. B. Stöße gegen einen Pfosten/ein Regal/eine Palette usw.).

5.4 KI-basierte Kamera zur Personendetektion mit aktivem Bremseingriff (optional)

Kollisionen zwischen Personen und Gabelstaplern stehen im Lagerbetrieb nach wie vor an oberster Stelle der Unfallarten mit schwerwiegenden Folgen. Um gezielt diese Unfälle mit Personenschäden zu verhindern, kann das KI-basierte Kamerasystem wertvolle Unterstützung leisten:

In Echtzeit unterscheidet das System Menschen von anderen Hindernissen und warnt den Fahrer mehrstufig vor einem drohenden Zusammenstoß mit einer oder mehreren Personen.

Die künstliche Intelligenz der Kamera registriert Fußgänger in Fahrzeugnähe und ist speziell auf Personen in Arbeits- und Schutzkleidung trainiert und optimiert.

Da das System ausschließlich Menschen detektiert, wird der Arbeitsfluss des Fahrers nicht durch unnötige Alarme gestört. Das Risiko, dass eine Warnung ignoriert wird, ist somit gering.

Die KI-Kamera detektiert die Personen hinter dem Stapler. Das System gibt sofort eine Warnung aus und reduziert die Fahrgeschwindigkeit.

Automatische Geschwindigkeitsreduzierung bei Kollisionsgefahr

Sobald der Fahrer die Zündung betätigt, wird das Assistenzsystem aktiviert.

Die Warnfunktion des Systems kann zusätzlich mit einer zonenabhängigen Geschwindigkeitsreduzierung kombiniert werden. Dadurch wird der Stapler bei Personendetektion automatisch verlangsamt. Die erforderlichen Erkennungszonen lassen sich individuell an das jeweilige Fahrzeug und die Anforderungen vor Ort anpassen.

Sicher in jeder Umgebung

Die Videobilder des überwachten Bereichs werden in Echtzeit auf den Monitor in der Fahrerkabine übertragen und die Warnmeldungen dort direkt eingeblendet.

Durch das staub- und wasserdichte Kameragehäuse arbeitet das Assistenzsystem auch bei schwierigen Umfeldbedingungen zuverlässig – z. B. in besonders trockener oder feuchter Arbeitsumgebung.

Obwohl die meisten Unfälle im rückwärtigen Bereich des Staplers passieren, kann je nach Arbeitsumgebung und -aufgabe der Unfallschwerpunkt auch bei Vorwärtsfahrten liegen.

Das Assistenzsystem wird daher in zwei unterschiedlichen Ausführungen angeboten: als Reverse- und als Front-System – jeweils mit spezifisch anpassbaren Warnzonen und Arten der Tempodrosselung.

Das System funktioniert auch ohne Monitor. Dann werden im Gefahrenfall Fahrer und Fußgänger über den fahrzeugintegrierten Lautsprecher gewarnt.

Nachrüstung und Erstausrüstung

- Die KI-Kamera kann leicht nachgerüstet werden und bietet auch ohne Bremseingriff eine sinnvolle Unterstützung.
- Das System inklusive aktivem Bremseingriff ist sowohl in der Erstausrüstung als auch für ältere Stapler verfügbar.

5.5 Automatisierungssoftware für mobile Maschinen

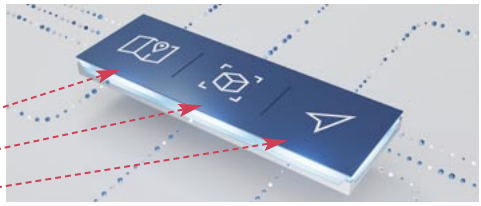
Unterstützung für Maschinenhersteller

Mit einer neu entwickelten Softwareplattform lässt sich die Automatisierung von mobilen Maschinen schnell, einfach und effizient realisieren. Das Softwarekonzept für die Automatisierung vereinfacht die Entwicklung von Assistenz- und Autonomiefunktionen für mobile Arbeitsmaschinen, sowohl für kleinere und mittlere wie auch für große Hersteller. Durch den Zugang zu dieser Plattform können sich Maschinenhersteller auf den Kern ihrer Entwicklungsleistung konzentrieren, während große Teile der Autonomiefunktionen über den Plattformanbieter zugeliefert werden.

Modulare Softwareplattform für schnelle und einfache Entwicklung

Die Softwareplattform ist modular aufgebaut und bietet unter anderem die drei Hauptelemente

- **zur Lokalisierung und Kartierung,**
- **zur Hinderniserkennung sowie**
- **zur Fahrwegberechnung (Navigation)**



Mit diesen Hauptelementen werden alle Kernfunktionalitäten für eine vollständige Maschinenautomatisierung abgebildet. Dabei können die Softwaremodule entweder als abgestimmtes Paket oder einzeln in die Steuerungssoftware der Maschine integriert werden.
Die Softwareplattform basiert auf langjähriger Expertise aus den Entwicklungen für den Automobilbereich sowie einer Forschung und Vorausentwicklung dediziert für Off-Highway Anwendungen. Dadurch konnte sie mit einer besonders präzisen und effizienten Erfassung der Umgebung, zuverlässiger Signalauswertung und intelligenter Navigationsfunktion aufgebaut werden.
Das Verhalten der Maschine und ihrer Interaktion mit der Umwelt lässt sich dabei individuell festlegen. Die jeweiligen Parameter der Automatisierungssoftware lassen sich flexibel an die spezifischen Anforderungen der Anwendung anpassen. In Abhängigkeit vom jeweiligen Arbeitsprozess kann so beispielsweise vor Hindernissen gestoppt und auf eine Freigabe durch einen Operator gewartet werden, genauso wie Hindernissen ausgewichen und hinter diesen zum ursprünglichen Pfad zurückgekehrt werden kann.

Große Freiheiten der Software auch beim Hardwarekonzept

Abhängig von den Einsatzbedingungen können
1.) Radarsensoren,
2.) Ultraschallsensoren,
3.) GNSS-Empfänger als Empfänger für globale Navigationssatellitensysteme**,**
4.) LiDAR-Sensoren und
5.) andere Sensoren
in das System integriert werden.
Standardisierte Schnittstellen basierend auf dem Betriebssystem ROS 2 (Robot Operating System 2) erleichtern die Integration der Softwaremodule in die Softwarearchitektur der Maschine.

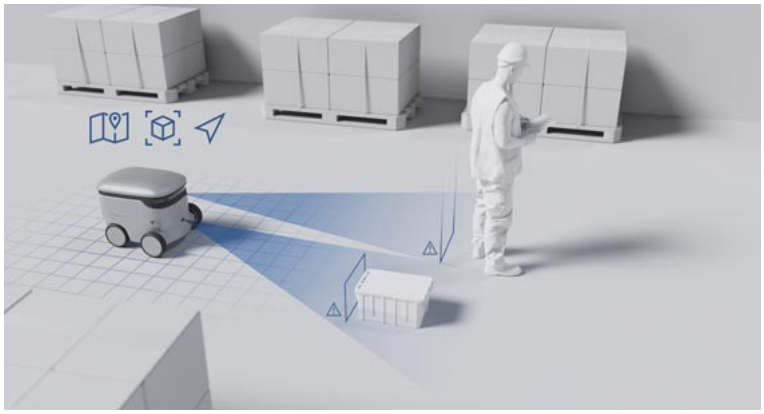


Abbildung unten:
Der Roboter navigiert selbstständig, detektiert Objekte auf seinem Fahrweg und vermeidet Kollisionen mit diesen.

6 Allgemeine Grundlagen
für die Beschaffung und den Betrieb

Für die Konfiguration eines Systems zur Personen- und Objektdetektion stets die jeweiligen Angaben des Herstellers beachten – und einen Fachbetrieb beauftragen!

Potenziale und Grenzen technischer Hilfsmittel

Reicht die direkte Sicht des Fahrers nicht aus, um die Sicherheit zu gewährleisten, müssen vorrangig technische Mittel bzw. technische Maßnahmen (vgl. TRBS 2111 Teil 1, Ziffer 3.2.1 Abs. 3 und 4) zur Verbesserung der Sicht, wie zum Beispiel Kamera-Monitor-Systeme (KMS), eingesetzt werden.

Kamera- und Assistenzsysteme (Warn-/Sensorsysteme) sind technische Hilfsmittel zum Detektieren von Personen und Objekten im Gefahrenbereich von mobilen Maschinen/Nutzfahrzeugen. Diese Systeme unterstützen die Überwachung des Nahbereichs um die mobile Maschine herum – bei Maschinenbewegungen, ggf. auch bei Bewegungen der Anbaukomponenten. Optische und akustische Systeme können zusätzlich Personen im Gefahrenbereich warnen.

ACHTUNG:

- Die Systeme sind nicht dazu bestimmt, Fahrbewegungen ohne Sicht durchzuführen!
- Sie sind insbesondere zur Überwachung des Gefahrenbereichs um eine Maschine herum vorgesehen.
- Anzeigen, Kamerabilder, Warnsignale müssen für den Fahrer eindeutig und überschaubar bleiben – drohende Gefährdungen sofort erkannt werden können.

Betriebsbereitschaft

Warn- und Sensoriksysteme müssen ebenso wie das Kamera-Monitor-System beim Start der mobilen Arbeitsmaschine ordnungsgemäß funktionieren. Eine Funktionskontrolle ist daher vor Arbeitsbeginn zwingend erforderlich.

Nachrüstung: Montagepunkte wählen, montieren, ausrichten

Die Festlegung des optimalen Montageortes und die einsatzgerechte Ausrichtung von Kamera, Sensor und Monitor/Display hängen von mehreren Faktoren ab, zum Beispiel:

- Einsatzort, Einsatzbedingungen und daraus resultierendem notwendigen Erfassungsbereich gefährdeter Personen/Objekte,
- der Konstruktionsweise und den ergonomischen Anforderungen an das FFZ.

Einweiser

Ist keine ausreichende Sicht (weder direkt, noch mittels technischer Maßnahmen wie Spiegel, KMS, Sensorik) möglich, sind Einweiser erforderlich!
Nur wenn durch die Benutzung von geeigneten Einrichtungen, wie KMS oder Assistenzsystemen eine uneingeschränkte Überwachung des Fahrwegs gewährleistet ist, darf auf den Einweiser verzichtet werden.
Wenden Sie sich bei Fragen an die für Ihren Betrieb zuständige Berufsgenossenschaft/Unfallkasse.

Prüfungen durch die „zur Prüfung befähigte Person“

Die „zur Prüfung befähigte Person“ im Sinne der Betriebssicherheitsverordnung (§ 2 (6) BetrSichV) verfügt durch ihre Berufsausbildung, Berufserfahrung und zeitnahe berufliche Tätigkeit über die erforderlichen Fachkenntnisse zur Prüfung der Arbeitsmittel verfügt.

Die nachträgliche Montage eines KMS, Warn- und Sensoriksystems ist eine prüfpflichtige Änderung der mobilen Maschine. Daher muss nach der Montage das System durch eine **zur Prüfung befähigte Person** geprüft werden. Gemäß TRBS 1201 „Prüfungen und Kontrollen von Arbeitsmitteln ...“ sind im Rahmen der Prüfung durch die befähigte Person eine sogenannte „Ordnungsprüfung“ sowie eine „technische Prüfung“ durchzuführen.

Bei der **Ordnungsprüfung** wird zum Beispiel festgestellt, ob

- erforderliche Unterlagen vorhanden und schlüssig sind,
- die technischen Unterlagen mit der Ausführung übereinstimmen und
- die erforderlichen Prüfparameter festgelegt sind (Prüfumfang, Prüffristen).

Im Rahmen der **technischen Prüfung** werden die sicherheitstechnisch relevanten Merkmale des Systems auf Zustand, Vorhandensein und ggf. Funktion mit geeigneten Verfahren geprüft. Hierzu gehören zum Beispiel

- die äußere oder innere Sichtprüfung und
- die Funktions- und Wirksamkeitsprüfung.

Sicht- und Funktionskontrolle durch den Bediener/Fahrer

Vor Beginn jeder Arbeitsschicht überprüft der Bediener/Fahrer

- die Funktion und die Wirksamkeit der Bedienungs- und Sicherheitseinrichtungen,
- Spiegel, KMS-, Warn- und Sensoriksysteme auf Vollständigkeit, Funktion, richtige Einstellung und Sauberkeit.

Während des Betriebes ist das FFZ

- vom Bediener/Fahrer auf den betriebssicheren Zustand und auf augenfällige Mängel zu beobachten.
- Festgestellte Mängel sind sofort dem Vorgesetzten mitzuteilen. Bei einem Wechsel des Bedieners/Fahrers auch dem ablösenden Mitarbeiter.
- Mängel zur Sicherheit dokumentieren!
- **Bei Mängeln** an KMS, Warn- oder Assistenzsystemen, die die Betriebssicherheit gefährden, ist der Betrieb des FFZ bis zur Beseitigung der Mängel einzustellen.

Unterweisungen

Unterweisungen müssen sich vor Ort nach den unterschiedlichen Einsatzbedingungen und den verwendeten Systemen richten. Dabei müssen auch der Anwendungsbereich und die Grenzen der Systeme erläutert und der Umgang damit festgelegt werden!

- Bei der Verwendung technischer Hilfsmittel sind Fahrer/Bediener über die bestimmungsgemäße Verwendung und die erforderlichen Maßnahmen zur Einstellung, Kontrolle der Funktionstüchtigkeit und Wartung zu unterweisen.
- Bei Transponder-/Tagsystemen ergänzend Verhaltensregeln für Fahrer/Bediener und alle weiteren Personen am Einsatzort (eingezäunt, mit Eingangskontrolle) aufstellen, die Einhaltung kontrollieren und durchsetzen – siehe. Kapitel 3.4.

Aufgabe des Arbeitgebers

Der Arbeitgeber ist verantwortlich, dass alle Arbeitsmittel – einschließlich mobiler Maschinen und Fahrzeuge – regelmäßig geprüft werden. Es muss sichergestellt sein, dass die Arbeitsmittel ordnungsgemäß montiert sind einwandfrei und sicher funktionieren. Die Prüfung darf ausschließlich von Personen durchgeführt werden, die dafür qualifiziert und befähigt sind.

Weitere nützliche Informationen:

- **Unterweisungsnachweis „Betrieb von Gabelstaplern“ (BGHM)**
- **VDI Richtlinie 2511** – Flurförderzeuge – Regelmäßige Prüfung, Mindestanforderungen
- **VDI Richtlinie 3568** – Maßnahmen und Werkstatteinrichtungen zur Instandhaltung von FFZ

Arbeitsschutzgrundsätze stets beachten, z. B.:

- **Organisation und Abgrenzung der Verantwortung verbindlich festlegen (wer ist für welche Aufgaben konkret verantwortlich? – siehe § 13 ArbSchG).**
- **Einhaltung überwachen,**
- **Unterweisungen nutzerverständlich in den entsprechenden Sprachen durchführen, nachvollziehbar dokumentieren – siehe § 12 ArbSchG, § 81 BetrVG, § 4 DGUV Vorschrift 1.**
- **Sicherstellen, dass niemand gefährdet wird, ggf. sind Einweiser einzusetzen!**
- **Qualifizierung der Beschäftigten prüfen, ermöglichen und einfordern – siehe TRBS 1116.**

7 Regelwerke und Normen

Betrifft Betreiber/Arbeitgeber

- **ArbSchG** – Arbeitsschutzgesetz
- **BetrSichV** – Betriebssicherheitsverordnung
- **TRBS 1111** – Gefährdungsbeurteilung
- **TRBS 1112** – Instandhaltung
- **TRBS 1116** – Qualifikation, Unterweisung und Beauftragung von Beschäftigten für die sichere Verwendung von Arbeitsmitteln
- **TRBS 1151** – Gefährdungen an der Schnittstelle Mensch-Arbeitsmittel – Ergonomische und menschliche Faktoren, Arbeitssystem
- **TRBS 1201** – Prüfungen und Kontrollen von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen
- **TRBS 1203** – Zur Prüfung befähigte Personen
- **TRBS 2111** Teil 1 – Mechanische Gefährdungen – Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen beim Verwenden von mobilen Arbeitsmitteln
- **EmpfBS 1113** – Beschaffung von Arbeitsmitteln
- **EmpfBS 1114** – Anpassung an den Stand der Technik bei der Verwendung von Arbeitsmitteln
- **DIN 15185-2** – Flurförderzeuge – Sicherheitsanforderungen – Teil 2: Einsatz in Schmalgängen

Bei Einsatz im öffentlichen Verkehrsbereich:

- **StVO** – Straßenverkehrs-Ordnung
- **StVZO** – Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
- **DGUV Vorschrift 68** – Flurförderzeuge
- **DGUV Information 208-004** – Gabelstapler
- **DGUV Information 208-030** – Personenschutz beim Einsatz von FFZ in Schmalgängen
- **DGUV Information 208-031** – Einsatz von Arbeitsbühnen an FFZ mit Hubmast
- **DGUV Information 208-053** – Mensch und Arbeitsplatz – Physische Belastungen
- **DGUV Information 208-059** – Sicherer Umgang mit Teleskopstaplern
- **DGUV Grundsatz 308-001** – Qualifizierung und Beauftragung der Fahrerinnen und Fahrer von Flurförderzeugen außer geländegängigen Teleskopstaplern
- **DGUV Grundsatz 308-008** – Ausbildung und Beauftragung der Bediener von Hubarbeitsbühnen
- **DGUV Grundsatz 308-009** – Qualifizierung und Beauftragung der Fahrerinnen und Fahrer von geländegängigen Teleskopstaplern

- **TRBS 2111 Teil 1** – Auszug:
  3.2 Technische Maßnahmen unter 3.2.1:

(3) Der Arbeitgeber hat technische Maßnahmen zur Vermeidung oder, wenn das nicht möglich ist, zur Reduzierung der Gefährdung von Beschäftigten durch Anfahren, Überfahren oder Quetschen durch mobile Arbeitsmittel aufgrund unzureichender Sichtverhältnisse [...], insbesondere beim Rückwärtsfahren, zu treffen.

(4) Solche Maßnahmen können z.B. sein:
- Einsatz von KMS, 360°-Kamera-Systemen, [...]
- Warnung der Bediener [...] durch Systeme zur Erkennung von Personen oder Hindernissen, [...]

Technische Regeln/ Richtlinien des VDI, z.B.:

- **VDI 2398** – Einsatz von Gabelstaplern im öffentlichen Straßenverkehr
- **VDI 3578** – Anbaugeräte für Flurförderzeuge
- **VDI 3589** – Auswahlkriterien für die Beschaffung von FFZ
- **VDI 4288** – Assistenzsysteme für Flurförderzeuge
- **VDI 4464** – Betrieb von Flurförderzeugen mit RFID-Komponenten

Weitere Unterlagen und Informationen, z .B.:

- BG BAU Baustein B 218 – Teleskopstapler
- BGHW-Wissen FFZ im Straßenverkehr: Zulassung
- BGHW-Kompakt M4 – Umgang mit FFZ
- VDI-Handbuch Technische Logistik - Band 2: Flurförderzeuge

VDI-Richtlinie 4482 – Assistenzsysteme für Flurförderzeuge (siehe Seite 21) beschreibt u.a.:

- Klassifizierung von Assistenzsystemen für Flurförderzeuge
- Funktionen und Komponenten eines Assistenzsystems für Flurförderzeuge
- Allgemeine Anforderungen an Assistenzsysteme und deren Komponenten
- Anforderungen an die Schnittstelle Logik Assistenzsystem – Steuerung
- Hinweise zur Einführung und Auswahl von Assistenzsystemen für FFZ für den Betreiber

Betrifft Hersteller

- **MRL** – EU-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG
- **ProdSG** – Produktsicherheitsgesetz
- **9. ProdSV** – 9. Verordnung zum ProdSG („Maschinenverordnung")

Hinweis zur MRL (2006/42/EG)**:**
Die EU-Maschinenrichtlinie (MRL) wird durch die neue **EU-Maschinenverordnung (MVO)** abgelöst. Diese neue Verordnung (EU) 2023/1230 ist ab 20.01.2027 für das Inverkehrbringen von Maschinen anzuwenden. Sie gilt für alle EU-Mitgliedstaaten unmittelbar, die Umsetzung über eine nationale Verordnung (9. ProdSV) entfällt.

- **ISO 5053** – Industrial trucks – Vocabulary
  – 1: Types of industrial trucks
  – 2: Fork arms and attachments
- **DIN EN 1175** – Sicherheit von FFZ – Elektrische/elektronische Anforderungen
- **DIN EN 1459-1** – Geländegängige Stapler – Sicherheitstechnische Anforderungen und Verifizierung
- **DIN EN ISO 3691** – Flurförderzeuge - Sicherheitstechnische Anforderungen u. Verifizierung
- **DIN EN 12895** – Flurförderzeuge – Elektromagnetische Verträglichkeit
- **DIN EN 16307** – Flurförderzeuge – Sicherheitsanforderungen und Verifizierung
- **DIN EN 16842** – Kraftbetriebene Flurförderzeuge – Sichtverhältnisse – Prüfverfahren und Verifikation

- **UN ECE R46** – Einrichtungen für indirekte Sicht und deren Anbringung
- **UN ECE R10** – Elektromagnetische Verträglichkeit (Funkentstörung)
- **EN 300 328** – „Funkrichtlinie" – Breitband-Übertragungssysteme

Anforderungen Funktionale Sicherheit, z. B.:

- **DIN EN ISO 13849** – Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen
- **DIN EN ISO 12100** – Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung

Anforderungen an IT-/Cyber-Sicherheit, z. B.:

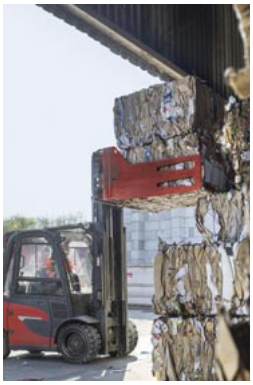
- **DIN EN IEC 62443** – Sicherheit für industrielle Automatisierungssysteme

Ergonomie

- **DIN EN 894** – Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen
- **DIN EN ISO 6385** – Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen
- **DIN EN ISO 7731** – Ergonomie – Gefahrensignale für öffentliche Bereiche und Arbeitsstätten – Akustische Gefahrensignale
- **DIN EN ISO 10075** – Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung
- **ISO 11429** – Ergonomie – System akustischer und optischer Gefahren- und Informationssignale
- **DIN EN ISO 15008** – Straßenfahrzeuge – Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und Assistenzsystemen
- **DIN EN ISO 26800** – Ergonomie – Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte
- **DIN EN 61310** – Sicherheit von Maschinen – Anzeigen, Kennzeichen und Bedienen
- **DGUV FBVW-201** – Gefährdungen der Augen durch blaues Licht bei LED-Beleuchtung
- **BAG-Faktenblatt** – LED-Lampen

DIN EN ISO 24134 : 2018-12
Flurförderzeuge – Zusätzliche Anforderungen für automatische Funktionen von Staplern
Sicherheitstechnischen Anforderungen an Stellteile und Steuerungssysteme für automatische Funktionen von FFZ:

- Lenkung (unter Ausschluss einer direkten mechanischen Führung)
- Fahrbewegungen
- Hub und Senkvorgänge
- Lastmanipulationen (wie Drehen, Ausschieben, Schwenken, Neigen, Festhalten)
- Kombination und/oder aufeinanderfolgende Bewegungen der genannten Arten



Abkürzungen:

DIN – Deutsche Norm
EN – Europäische Norm
ISO – Internationale Norm (International Organization for Standardization)

TRBS – Technische Regeln für Betriebssicherheit
BekBS – Bekanntmachungen zur Betriebssicherheit
EmpfBS – Empfehlungen zur Betriebssicherheit

DGUV – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.
VDI – Verein Deutscher Ingenieure e.V.
BAG – Bundesamt für Gesundheit der Schweizerischen Eidgenossenschaft

Betrifft Beschäftigte

Bitte beachten:
Auch beim Einsatz von Assistenzsystemen liegt die Verantwortung grundsätzlich beim Bediener / Fahrer. Bei Problemen den Vorgesetzten informieren.

- **ArbSchG**

§ 15 Abs. 1 Satz 1 – Arbeitnehmer sind verpflichtet, nach ihren Möglichkeiten sowie gemäß der Unterweisung und Weisung des Arbeitgebers für ihre Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit Sorge zu tragen.
§ 15 Abs. 1 Satz 2 – Arbeitnehmer sind verpflichtet, nach ihren Möglichkeiten sowie gemäß der Unterweisung und Weisung des Arbeitgebers auch für die Sicherheit und Gesundheit der Personen zu sorgen, die von ihren Handlungen oder Unterlassungen bei der Arbeit betroffen sind.
§ 16 Abs. 1 – Arbeitnehmer haben dem Arbeitgeber jede von ihnen festgestellte unmittelbare erhebliche Gefahr für die Sicherheit und Gesundheit unverzüglich zu melden.

- **Überlastungsanzeige** steht jedem Mitarbeiter offen, der in irgendeiner Hinsicht überfordert ist bzw. sich überfordert fühlt. Grundlagen siehe u. a. § 618 BGB, allgemeines Zivilrecht § 241 Absatz 2 BGB, Arbeitsschutzrecht § 15 und § 16 Absatz 1 ArbSchG. Kann der Arbeitnehmer also erkennen, dass er aus eigener Kraft seine Leistungen nicht mehr so erbringen kann, dass Schäden oder Rechtsverletzungen ausgeschlossen werden können, muss er dies seinem Arbeitgeber unverzüglich melden. Dieser ist dann wiederum verpflichtet, Abhilfe zu schaffen. Der Arbeitnehmer wird aber durch eine solche Überlastungsanzeige nicht aus seiner Verantwortung entlassen! Er muss im Rahmen des für ihn Möglichen und Zumutbaren alles tun, um Schäden zu verhindern.

- **Unterstützungspflicht:** Die Arbeitnehmer haben gemeinsam mit dem Betriebsarzt und der Fachkraft für Arbeitssicherheit den Arbeitgeber darin zu unterstützen, die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Beschäftigten bei der Arbeit zu gewährleisten und seine Pflichten entsprechend den behördlichen Auflagen zu erfüllen – siehe § 16 Abs. 2 ArbSchG.

- **Anzeigerecht (und -pflicht):** Sind Arbeitnehmer auf Grund konkreter Anhaltspunkte der Auffassung, dass die vom Arbeitgeber getroffenen Maßnahmen und bereitgestellten Mittel nicht ausreichen, um die Sicherheit und den Gesundheitsschutz bei der Arbeit zu gewährleisten, und hilft der Arbeitgeber darauf gerichteten Beschwerden von Beschäftigten nicht ab, können sich diese an die zuständige Behörde wenden – siehe § 17 Abs. 2 ArbSchG.

Pflichten des Arbeitnehmers (Fahrers/Bedieners)

- Nur beauftragte Beschäftigte dürfen den Gabelstapler benutzen.
- Betriebsanleitung des Herstellers und Betriebsanweisung beachten.
- Täglich vor Einsatzbeginn den Gabelstapler auf erkennbare Mängel überprüfen.
- Gabelstapler mit Mängeln, die die Sicherheit beeinträchtigen, dürfen nicht in Betrieb gesetzt oder weiter betrieben werden.
- Mängel am Gerät sind umgehend dem Arbeitgeber oder dem Vorgesetzten zu melden.
- Vorhandene Rückhaltesysteme benutzen.
- Gabelstapler nur vom Steuerplatz aus bedienen.
- Beschäftigte und andere Dritte dürfen durch den Gabelstapler nicht gefährdet werden.
- Gabelstapler und deren Anbaugeräte nicht überladen bzw. überlasten.
- Keine zusätzlichen Gegengewichte anbringen.

- **Lasten nur so laden und transportieren, dass diese nicht herabfallen oder sich verschieben können!**

- **Für die Kollegen gilt: Nicht im Gefahrenbereich der Maschine aufhalten!**

III / 8c

Begriffserläuterungen

Personendetektion/ Personenerkennung

Die Begriffe „Personendetektion" und „Personenerkennung" werden im vorliegenden Kontext synonym verwendet. Die vorgestellten Systeme zur Personendetektion bzw. Personenerkennung dienen dem Schutz vor Kollisionen von mobilen Arbeitsmaschinen mit Personen. Dabei werden Daten anonym erfasst – es findet keine persönliche Identifikation statt.

Warn-/ Assistenzsystem für mobile Arbeitsmaschinen

Ein Assistenzsystem ist ein Unterstützungssystem für die Benutzer mobiler Maschinen, maschineller Aufbauten auf Fahrzeugen und Nutzfahrzeugen, das zu Fahr- und sonstigen Bedienungsaufgaben eine assistierende Funktion leistet bzw. Fehlern und Fehlverhalten bei Fahr- und Bedienungsaufgaben entgegenwirken soll. Detaillierte Informationen siehe GS-BAU-70 – Grundsätze für die Prüfung und Zertifizierung von sicherheitsrelevanten Assistenzsystemen an Maschinen und Nutzfahrzeugen. (https://www.dguv.de/medien/dguv-test-medien/_pdf_zip_doc_ppt/pruefgrundsaetze/bau/gs-bau-70_2026-02.pdf)

Künstliche Intelligenz (KI)

Zur Funktion o. g. Systeme kommen speziell entwickelte Software-Algorithmen zum Einsatz. Zunehmend basiert die angewendete Software auf Methoden der Künstlichen Intelligenz.
Wichtig dabei zu wissen: Generell wird ein sogenanntes KI-System ausschließlich in der Trainingsphase angelernt. Für den realen Einsatz an der Maschine wird die KI „eingefroren", das heißt, es erfolgt keine Verselbstständigung des Systems.

Nutzen Sie unsere Demonstrationsmöglichkeiten der unterschiedlichen Systeme auf Ihren Veranstaltungen wie Hausmessen, Weiterbildungsveranstaltungen, Kongressen... Setzen Sie sich direkt in Verbindung mit: info@netzwerk-baumaschinen.de

Publikationen des Netzwerks

Kollisionsvermeidung beim Einsatz von mobilen Arbeitsmaschinen und Nutzfahrzeugen:

Hinweis:
Seit 2026 verwendet das Netzwerk vorzugsweise den Begriff „Personendetektion" anstelle des Synonyms „Personenerkennung". Die zuvor herausgegebenen Publikationen sind unter der Bezeichnung „Personenerkennung" zu finden und werden sukzessive aktualisiert.

Personen-/Objektdetektion, Warnung in Gefahrenbereichen

Kamera- und Assistenzsysteme für mobile Arbeitsmaschinen und Nutzfahrzeuge

- Version: **Bauwirtschaft, Rohstoffgewinnung, Recycling**
- Version: **Flurförderzeuge (FFZ) – Handel- und Warenlogistik**
- Version: **Land-, Forstwirtschaft (LoF) und Kommunalbereich**

Assistenzsysteme zur Kollisionsvermeidung

für schwere Nutzfahrzeuge und Busse – nach GSR (II)

- Fahrzeugsicherheit im EU-Straßenverkehr

Praxisleitfäden für
Betreiber,
Beschäftigte,
Hersteller und
Aufsichtspersonen

Download unter:
www.netzwerk-baumaschinen.de

Impressum

Bildnachweis, fachliche Unterstützung

Netzwerk Baumaschinen NRMM CV

Seit mehr als 15 Jahren unterstützen die Mitglieder des Netzwerks die Entwicklung zum Stand der Technik bei der Personen- und Objektdetektion/ -erkennung bei mobilen Arbeitsmaschinen und Nutzfahrzeugen für nahezu alle Einsatzbereiche: Baustellen, Land- und Forstwirtschaft, Rohstoffindustrie, innerbetrieblicher Transport/Intralogistik und im Straßenverkehr.

Das Netzwerk ist überall dort aktiv, wo es gilt, Kollisionen und Unfälle zwischen Mensch, Maschine und Material zu vermeiden. Neben Herstellern und Zulieferern engagieren sich Fachleute aus Wissenschaft und Forschung, Arbeitsschutz- und Marktaufsichtsbehörden sowie Berufsgenossenschaften, Unfallkassen und Gewerkschaften.

Weitere Informationen und Leitfäden des Netzwerkes stehen auf der Homepage zur Verfügung: www.netzwerk-baumaschinen.de

Wir bedanken uns für das zur Verfügung gestellte Bildmaterial bei:

Titel: VBG/ Karin Heyer, Netzwerk Baumaschinen; S. 2: BGHW; S. 4: SVLFG, Luis Technology GmbH; S. 5: Motec GmbH; S. 6: Mekratronics GmbH, Netzwerk Baumaschinen; S. 7: VBG/ Karin Heyer, Netzwerk Baumaschinen; S. 8: Mekratronics GmbH, Motec GmbH, Brigade Electronics (EU) B.V.; S. 9: Motec GmbH, Brigade Electronics (EU) B.V., Mekratronics GmbH; S. 10: Mekratronics GmbH, Motec GmbH, Netzwerk Baumaschinen, Luis Technology GmbH, Brigade Electronics (EU) B.V.; S. 11: Luis Technology GmbH, Motec GmbH; S. 12, 13: Luis Technology GmbH, Brigade Electronics (EU) B.V., Motec GmbH; S. 14: Mekratronics GmbH, Linde Material Handling GmbH, Netzwerk Baumaschinen; S. 15: Mekratronics GmbH; S. 16: Motec GmbH, Luis Technology GmbH; S. 17: Arcure Blaxtair SA, Motec GmbH, Bosch Engineering GmbH, Linde Material Handling GmbH; S. 18: Brigade Electronics (EU) B.V., Bosch Engineering GmbH; S. 19: Netzwerk Baumaschinen, Bosch Engineering GmbH; S. 20: Bosch Engineering GmbH; S. 22: Motec GmbH, Brigade Electronics (EU) B.V., Mekratronics GmbH; S. 23: Bosch Engineering GmbH, Netzwerk Baumaschinen, Brigade Electronics (EU) B.V., Motec GmbH, Mekratronics GmbH; S. 24: Linde Material Handling GmbH; S. 25: SVLFG; S. 26: Linde Material Handling GmbH, Netzwerk Baumaschinen; S. 27: Linde Material Handling GmbH, Mekratronics GmbH; S. 28, 29: Advanced Microwave Engineering S.r.l.; S. 30: Arcure Blaxtair SA; S. 31: Linde Material Handling GmbH; S. 32, 33: Brigade Electronics (EU) B.V.; S. 34, 35: Linde Material Handling GmbH; S. 38, 39: Luis Technology GmbH; S. 40: Luis Technology GmbH, Arcure Blaxtair SA; S. 41: Luis Technology GmbH, Mekratronics GmbH, Brigade Electronics (EU) B.V.; S. 42-44: Motec GmbH; S. 45: Luis Technology GmbH; S. 46, 47: Arcure Blaxtair SA; S. 48: Linde Material Handling GmbH; S. 49: Bosch Engineering GmbH; S. 50: Brigade Electronics (EU) B.V., Palfinger GmbH; S. 51: VBG/ Karin Heyer; S. 53: Linde Material Handling GmbH; S. 55, 56: Netzwerk Baumaschinen; S. 57: RT-Systemtechnik GmbH, Netzwerk Baumaschinen.

Mit freundlicher Unterstützung durch Aufnahmen vor Ort bei:
Kindelbrücker Obstbau eG (S. 10, 19, 55); Cees de Regt, Gülitz (S. 10); Erzeuger-Genossenschaft Neumark e.G. (S. 14).

Fachliches Netzwerk Baumaschinen NRMM CV der Initiative Neue Qualität der Arbeit (INQA)

Die Initiative Neue Qualität der Arbeit ist eine durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) geförderte Initiative von Bund, Ländern, Sozialversicherungsträgern, Gewerkschaften, Stiftungen und Arbeitgebern.

In Zusammenarbeit mit:

BG BAU – Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft
BGHM – Berufsgenossenschaft Holz und Metall
BGHW – Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik
BG RCI – Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie
BG Verkehr – Berufsgenossenschaft Verkehrswirtschaft Post-Logistik Telekommunikation
BMAS – Bundesministerium für Arbeit und Soziales
Hochschule Osnabrück – Labor für Intelligente Sensorsysteme
IG BAU – Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt
KAN – Kommission Arbeitsschutz und Normung
SVLFG – Sozialversicherung Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau
UK NRW – Unfallkasse Nordrhein-Westfalen
VBG – Verwaltungs-Berufsgenossenschaft
VDGAB – Verein Deutscher Gewerbeaufsichtsbeamter e.V.
Liechtenstein: Amt für Volkswirtschaft Fürstentum Liechtenstein
Österreich: AUVA – Allgemeine Versicherungsanstalt

Koordination, Konzeption und Gestaltung:

fact3 network e.K.
Wilhelmshöher Allee 262, D-34131 Kassel
Fon: +49 561 81041-11
info@netzwerk-baumaschinen.de
www.netzwerk-baumaschinen.de

Weitere Medien des Netzwerks unter:

https://www.netzwerk-baumaschinen.de

Genderhinweis: Für eine bessere Lesbarkeit wird in diesem Leitfaden die männliche Sprachform verwendet.
Sämtliche Ausführungen beziehen sich selbstverständlich auf alle Geschlechter.

Trotz Sorgfalt und Aufmerksamkeit, mit denen das Netzwerk die Informationen zusammenstellt, kann es dazu kommen, dass Inhalte nicht vollständig, richtig oder aktuell sind. Das Netzwerk und fact3 network übernehmen keine Haftung und keine Garantie für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Angaben. Änderungen vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung durch das Netzwerk Baumaschinen NRMM CV und fact3 network e.K.

Stand 07/2026