

Personen-/Objektdetektion, Warnung in Gefahrenbereichen

Kamera- und Assistenzsysteme zur Kollisionsvermeidung
für mobile Arbeitsmaschinen und Nutzfahrzeuge

Bauwirtschaft, Rohstoffgewinnung, Recycling



aktualisierte AUSGABE 07/2026

Hinweis zur Nomenklatur:

Um möglicher Fehlinterpretation vorzubeugen, verwendet das Netzwerk seit 2026 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 in diesem Leitfaden dargestellten Lösungen und Informationen gelten im Wesentlichen für mobile Baumaschinen und Nutzfahrzeuge (im Leitfaden zusammenfassend auch „mobile Arbeitsmaschinen“ genannt), die im Baustellenbereich, in der Rohstoffgewinnung und in der Glas- und Keramikindustrie unterwegs sind.

Aufgrund ähnlicher Technik und vergleichbarer Gefährdungspotenziale sind die Informationen übertragbar. Hierzu bietet das Netzwerk branchenspezifische Leitfäden an (Übersicht der Leitfäden siehe Seite 57).

Der im Netzwerk erarbeitete Leitfaden

„Personen-/ Objektdetektion, Warnung in Gefahrenbereichen“ gibt einen Überblick über technische 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 erhöhten Kollisionsschutz beim Einsatz mobiler Arbeitsmaschinen sorgen.

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



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 konkreter Angebote, die sozialpartnerschaftlich getragen sind.

- ▶ www.inqa.de

Inhalt

1	Gefahrensituationen sicher erkennen	4
1.1	Gefährdungsbeurteilung „Sicht“, TOP-Prinzip	5
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°)	10
2.2.1	Rundumsicht aus der Vogelperspektive (Birdview)	12
2.2.2	Darstellung einer Rundumsicht aus Einzelansichten	13
2.3	Spiegelerersatzsysteme (Digitaler Außenspiegel)	14
2.4	Übertragungstechnologien von KMS	15
	Begriffserläuterungen (Hinweise zu Kapitel 3,4,5)	16
3	Personen- und Objektdetektion – Warn-/Assistenzsysteme	17
3.1	Ultraschallsysteme	18
3.2	Radarsysteme	20
3.3	LiDAR-Systeme	22
3.4	Transponder-/TAG-basierte Systeme	24
3.5	3D-Kamerasensoren	26
4	Akustische Warnsignale für Personen in der Umgebung	28
4.1	Breitband-Tonwarner	29
5	Intelligente Software, Künstliche Intelligenz für Warn-/Assistenz-/Schutzsysteme	30
5.1	Künstliche Intelligenz (KI)	31
5.1.1	Sichere und zertifizierbare KI	32
5.2	Personen-/Objektdetektion mittels künstlicher Intelligenz	34
5.2.1	Smartkamera für Personendetektion und Kollisionsvermeidung	36
5.2.2	Klassische Systeme im Vergleich zu KI-basierten Kameras	39
5.3	Nachrüstlösung zur Personendetektion für bestehende Kamera-Systeme	40
5.4	Vorausdenkende Assistenzsysteme	41
5.5	KI-basierte Lösung zur Kollisionsvermeidung und zum Unfallrisikomanagement	42
5.6	Chancen der Digitalisierung für den Arbeitsschutz bei mobilen Maschinen und stationären Anlagen – Praxisbeispiel	44
5.7	Aktive KI-Personendetektion mit Bremsassistent bei Rückwärtsfahrten (Radlader)	47
6	Allgemeine Grundlagen für die Beschaffung und den Betrieb	48
7	Regelwerke und Normen für Betreiber/Arbeitgeber, Hersteller, Beschäftigte	50
7.1	Ausblick Funktionale Sicherheit: Standards für KI in Safety-Anwendungen	53
8	Glossar, Abkürzungen	54
	Publikationen des Netzwerks	55
	Impressum, Bildquellennachweis, fachliche Unterstützung	56

1 Gefahrensituationen sicher erkennen



Sicht und Aufmerksamkeit

Beim Betrieb mobiler Maschinen ereignen sich immer wieder schwere Unfälle – auch mit Todesfolge – und Sachschäden, weil Personen oder Gegenstände im Gefahrenbereich nicht rechtzeitig erkannt werden.

Ursache ist schlechte oder fehlende Sicht des Fahrers mit weitreichenden Folgen:

- ▶ Störungen im Arbeitsablauf
- ▶ Stress für die Betroffenen
- ▶ Erhöhtem Unfallrisiko

▶ Erste Forderung: Für gute Sicht auf Arbeits- / Gefahrenbereiche sorgen!

Das Sichtfeld umfasst die Gesamtheit aller Richtungen nach vorn und den Seiten, in die der Fahrer/Bediener sehen kann.

Auch wenn in der Vergangenheit die Sichtverhältnisse bei mobilen Maschinen konstruktiv verbessert wurden, können konstruktionsbedingt außerhalb des Sichtfeldes des Fahrers sogenannte „tote Winkel“ verbleiben, d. h. Gefahrenbereiche, die vom Fahrerplatz aus nicht direkt einsehbar sind.

Reicht die direkte Sicht des Fahrers auf seinen Arbeitsbereich nicht aus, um dort Personen und Gegenstände sicher zu detektieren, sind vorrangig technische Maßnahmen, wie nachfolgend beschrieben, einzusetzen (siehe Gefährdungsbeurteilung Kapitel 1.1).

- ▶ **Vor der Bestellung und nach der Auslieferung einer neuen mobilen Maschine sowie bei der Miete oder dem Kauf einer vorhandenen Maschine ist daher unbedingt zu prüfen, ob die Sichtverhältnisse ausreichend sind. Bei unzureichenden Sichtverhältnissen sind zunächst technische Maßnahmen zu ergreifen (TOP-Prinzip siehe nächste Seite)!**



Gefährdungsbeurteilung ≠ Risikobeurteilung

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

Prävention ist die beste Unfallvermeidung

Führen Sie deshalb vor jedem Arbeitseinsatz – insbesondere auf neuen Baustellen/Einsatzorten – eine Gefährdungsbeurteilung Sicht durch.
Die Anforderungen an die Gefährdungsbeurteilung nach ArbSchG sind in der TRBS 1111 konkretisiert.

1.1 Gefährdungsbeurteilung „Sicht“, TOP-Prinzip

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. **Technisch:** Sichtverbessernde Einrichtungen wie Kamera-Monitor-Systeme einsetzen, die eine ausreichende Sicht gewährleisten. Auch prüfen, ob zusätzliche Warn-/Assistenzsysteme zur Personen-/Objektdetektion erweiterten Schutz bieten können (siehe unten).
2. **Organisatorisch:** Gefahrenbereiche definieren und kennzeichnen, Verhaltensregeln aufstellen (z. B. Aufenthaltsverbote, Einweiser, Sicherungsposten oder Abschränkungen) und deren Einhaltung kontrollieren, regelmäßige Unterweisungen über Gefahren und Schutzmaßnahmen durchführen.
3. **Persönlich:** Persönliche Schutzausrüstung (PSA), z. B. Warnwesten, als ergänzende Maßnahme bereitstellen und deren Benutzung sicherstellen.

Mit der 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

Ziel: Volle Sicht auf Fahrweg, Arbeits- und Gefahrenbereiche.



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

- Befinden sich die Spiegel an der richtigen Position? Dabei beachten: Spiegel und Monitore müssen im vorderen 180°-Sichtfeld des Fahrers angebracht sein.
- Reicht damit die Sicht aus? (siehe TIPP in der rechten Spalte)

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

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



Der Blick auf den Monitor ermöglicht die Überwachung des Gefahrenbereichs der mobilen Arbeitsmaschine.

Wenn technische Maßnahmen nicht ausreichen, ergänzend organisatorische Maßnahmen ergreifen, beispielsweise:

- In besonders unübersichtlichen Situationen (z. B. beim Auf-/Abladen oder bei fließendem Verkehr) Einweiser einsetzen! Diesen unbedingt vorher über die Zeichengebung instruieren.
- Generell klären: Können gefährdete Personen sicher aus (Gefahren-) Bereichen ausgesperrt werden?

TIPP: Checkliste für die vereinfachte Überprüfung des Sichtfelds

https://www.dguv.de/medien/fb-bauwesen/bilder/sicht_checkliste_0225docx.pdf

► **Zweite Forderung: Aufmerksamkeit des Fahrers ermöglichen**

Eine dauerhaft hohe Konzentration bei der Maschinenbedienung ist unmöglich. Auch die beste Sicht nützt nur, wenn der Fahrer die Gefahrenbereiche aufmerksam im Blick behalten kann. Nachlassende Konzentration verzögert seine Reaktion und erzeugt dadurch zusätzliche Risiken.

Mögliche Ursachen für Ermüdung und nachlassende Reaktionsfähigkeit:

- Hohe Arbeitsintensität, Zeit- und Termindruck
- Komplexe Aufgaben
- Mangelhafte Gefährdungsbeurteilung
- Ungünstige Witterung und Sichtverhältnisse
- Ergonomische Defizite
- Monotonie
- Lärm und dichte Verkehrslage
- Psychischer Stress

**Daher: Rechtzeitig vorbeugen und die Aufmerksamkeit des Fahrers stärken:
Sensorische Warnsysteme einsetzen, die die Kamera-Monitor-Systeme unterstützen.**



Foto oben: Ein Tag-basiertes System ermöglicht das Detektieren einer Person sogar hinter einem Schrotthaufen – hier mittels RFID-Technologie.

Ein sensorisches System warnt bei akuter Gefahr den Fahrer und schärft seine Aufmerksamkeit z. B. durch ein deutliches akustisches Warnsignal. Beim Blick auf den Monitor des Kamera-Monitor-Systems erhält der Fahrer Informationen darüber, wer oder was in seinem Arbeits- bzw. Gefahrenbereich aufgetaucht und gefährdet ist. Häufig ist eine Kamera bereits werkseitig auf der mobilen Maschine angebaut. Dann kann sinnvollerweise ein sensorisches System gegen nachlassende Aufmerksamkeit ergänzt werden.

► **Dritte Forderung: Maschinen „intelligenter“ machen**

Auch wenn klare Sicht gewährleistet ist und Warn-/Assistenz-/Schutzsysteme für bestmögliche Aufmerksamkeit und Sicherheit sorgen, verbleiben viele weitere Aufgaben beim Fahrer/Bediener, die weit über die Leistungen eines Assistenzsystems beim Rangieren oder Fahren hinausgehen (siehe auch Kapitel 5).

Beispiele für unterstützende Aufgaben, die mobile Maschinen „intelligenter“ machen:

- Vorbeugende Kollisionswarnungen
- Auswertung von kollisionsgefährdeten Bereichen (Hot Spots)
- Warnhinweise zum Betriebszustand der mobilen Arbeitsmaschine
- Spurhaltung-/führung
- Anzeige von Maschinendaten (Verbrauch, Leistung, Einsatzzeiten, Leerlaufzeiten)
- Zustandsmeldungen über Anbaugeräte
- Informationen für vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen
- Einhaltung von Sicherheitsvorschriften

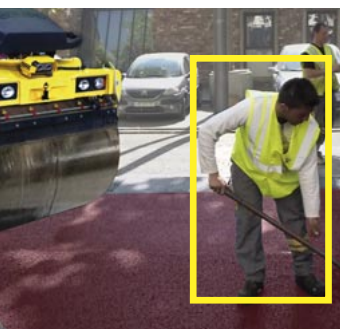


Foto oben: KI-basierte Systeme werden verstärkt auch zum Schutz von Personen in Gefahrenbereichen mobiler Maschinen eingesetzt.

Diese und weitere Aufgaben unterstützen Teilautomatisierungs- und Automatisierungsprozesse, die mit einer Kombination aus robuster Hardware und intelligenter Software realisiert werden. Hier spielen Kamera-/Sensorikdaten und Bildverarbeitungs-Technologien eine Schlüsselrolle.

Digitalisierung ist der Schlüssel zu „intelligenten“ Maschinen.

Bisher arbeiten Kamera- und Sensorsysteme meist unabhängig voneinander an derselben Aufgabe – wie der Detektion von Personen und Objekten in Gefahrenbereichen. Digitale Prozesse eröffnen hier völlig neue Lösungswege, indem sie die Informationen mehrerer integrierter Sensoren intelligent verknüpfen.

Dabei werden die parallel erfassten Messdaten von beispielsweise Kamera, Ultraschall und Radar zeitgleich ausgewertet. Diese Signalkombination steigert die Zuverlässigkeit der Gefahrenerkennung unter verschiedenen Umgebungsbedingungen erheblich.

Im Ernstfall wird so ein vordefinierter Systemeingriff ausgelöst: Um Personen effektiv zu schützen, greift die Maschine aktiv in das Fahrverhalten ein und stellt den sicheren Zustand wieder her – etwa durch ein automatisiertes Brems- oder Ausweichmanöver (siehe Kapitel 5).

Die Digitalisierung schafft damit das Fundament, um Maschinen intelligenter zu machen und gleichzeitig Geschäfts- und Arbeitsprozesse zu automatisieren. Zudem optimiert sie die gesamte Wertschöpfungskette.

Dieser technologische Wandel erfordert und treibt permanente Veränderungen voran – bis hin zu völlig neuen Formen der Zusammenarbeit.



Abbildung oben: Radlader mit KI-Kamera-Monitor-System zur Personendetektion im rückwärtigen Gefahrenbereich.



Functional Safety

Eine Beurteilung funktionaler Sicherheit erfolgt unter Berücksichtigung der allgemein anerkannten Regeln der Technik. Das oberste Ziel der „Funktionalen Sicherheit“ besteht darin, das Risiko einer Personengefährdung zu reduzieren.

Die Funktionale Sicherheit betrifft das Steuerungssystem mobiler Maschinen, von dem eine sicherheitsrelevante Funktion abhängt. Besonders relevant ist dies bei automatisierten Systemen zur Unfallvermeidung. Wird bei Gefahr aktiv in das Verhalten eines Systems eingegriffen, muss dies auf jeden Fall nach den Kriterien der Funktionalen Sicherheit bewertet und realisiert werden.

Cyber Security

Mit steigendem Vernetzungsgrad mobiler Maschinen und vor allem durch die zunehmende Öffnung vormals interner Daten-/Kommunikations-Netzwerke und Komponenten gewinnt zusätzlich Cyber Security an Bedeutung.

Die Gefahr eines Angriffs von außen und damit möglicherweise einhergehende Manipulationen von Software und Daten steigt. Dies kann gravierende Folgen für die Sicherheit haben. Cyber Security rückt damit in allen Ebenen und Phasen der Entwicklung und des Betriebs in den Fokus. Hauptziele von Cyber Security sind Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit von Daten und Software-Funktionen.

► **Functional Safety:**
Schutz des Menschen vor der Maschine (Arbeitsschutz); Konstruktive Maßnahmen, um Maschinen sicherer zu gestalten, damit sicherheitsgerichtete Steuerungen ihre Sicherheitsfunktionen zuverlässig erbringen können.

► **Cyber Security:**
Schutz der Maschine vor Angriffen durch Dritte; Absicherung von Informationstechnik in industriellen Anlagen, Maschinen und Systemen (vgl. VDMA Leitfaden Industrie 4.0 Security), siehe auch Cyber Security – im Glossar.

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.



Die Abbildung oben zeigt die Darstellung auf dem Monitor – am Beispiel eines Radladers.



Anwendungsbeispiel: die Heckkamera an einem Radlader ermöglicht den Einblick in den rückwärtigen Arbeitsbereich



Beim Einsatz von KMS beachten:

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

Direkte Sicht hat oberste Priorität!



Komponentenbeispiele:
Heavy-Duty Kameras,
wasserdichter Monitor

Systeme zur Sichtverbesserung und Gefahrenerkennung

Wer mit mangelhafter Sicht Fahrzeuge oder mobile Maschinen steuert, ist erheblichen psychischen Belastungen ausgesetzt.

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!



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

Unfälle und Gefährdungen durch Sichteinschränkungen vermeiden

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

Zur Sichtverbesserung und schnelleren Gefahrenerkennung beim Einsatz von mobilen Maschinen und Nutzfahrzeugen im Baustellenbereich haben sich Standard Kamera-Monitor-Systeme bewährt. Lassen Sie sich qualifiziert über Einsatzbereiche, Funktionsweise und Vorteile der Systeme durch einen Fachbetrieb beraten. Hierzu zählen umfassende Informationen über wichtige technische Anforderungen an KMS, wie zum Beispiel:

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

Bitte beachten Sie, dass das Verwenden von KMS dem Fahrer den Blick in schwer einsehbare Bereiche erleichtert bzw. ermöglicht – allerdings ohne ihn aktiv vor einer Kollision zu warnen. Für eine aktive Warnung des Fahrers ist der Einsatz eines Personen-/Objektdetektionssystems erforderlich (siehe Kapitel 3 und 5).



Über den Monitor hat der Fahrer Einblick in das Nahfeld seiner Maschine, kann eine gefährdete Person erkennen und auf die Situation reagieren.

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

Was sagt die DIN EN 1175 zur 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.

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 unterstützen.

► Bitte beachten:

Aufbauten sollten das Höhenmaß von 4 m nicht überschreiten (Durchfahrten, Abspannungen, elektrische Leitungen).



Bild oben: Rundumsicht-KMS bieten dem Bediener Übersicht für die nähere Umgebung. Ein rundum kontrollierbares Sichtfeld ermöglicht schnelles, präzises und stressfreies Arbeiten, auch z. B. bei Spezialanwendungen mit Volumenschaufel (siehe dazu auch DGUV-Publikation „FBHM-109: Radlader mit Leichtgutschaufel“).

Bild unten: Komponenten eines Rundumsicht-KMS, bestehend aus 4 Kameras, einem Monitor und einer Steuereinheit



Nachrüstung:

Ausgehend von einer Rückfahrkamera kann auf bis zu vier Kameras – bis hin zu einem Rundumsichtsystem erweitert werden.

► Von der Rück- zur Rundumsicht

Der Vorteil einer Rundumsicht liegt in der gleichzeitigen Darstellung aller relevanten Bereiche um die mobile Maschine herum: Der Fahrer erfasst mit Blick auf den Monitor alle Gefahrenbereiche des direkten Maschinenumfeldes.

Immer unter der Voraussetzung, dass der Fahrer/Bediener potenzielle Gefährdungen auf der Monitordarstellung auch im Stressfall schnell und deutlich erkennen kann!

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 und/oder eine gezielte Sicht auf einstellbare Bereiche.

Für eine optimale Nutzung sind u. a. die Qualität der Kameras und des Monitors entscheidend.



Darstellung der Rundumsicht an einem Dumper.

► Systemauswahl – Lösungen für verschiedene Anwendungen

Rundumsichtssysteme (auch als Surroundview- oder 360°-KMS bezeichnet) stehen in mehreren technischen Lösungsvarianten zur Verfügung – siehe grauer Kasten rechts. Die Unterschiede zeigen sich für den Fahrer/Bediener vor allem in der Art der Darstellung auf dem Monitor.

Bei der Auswahl des geeigneten Systems sind unbedingt die jeweiligen Anforderungen der Arbeitsbereiche zu beachten!

Wo und wie soll das System genutzt werden:

- **An welcher Art von Fahrzeug/mobiler Maschine?**
- **Für welche konkreten Arbeitseinsätze?**

In rauen Umgebungsbedingungen sollten, wie bei Standard-KMS, alle Komponenten außerhalb der Kabine (Kameras, Kabel, Steckverbinder) für die Reinigung mit Hochdruckreiniger geeignet, Kameras und Monitor erschütterungsfest ausgeführt sein (Heavy Duty, IP69K).

Technische Optionen:

- Ereignisgesteuerte Bildumschaltung für eine separate und vergrößerte Darstellung des jeweiligen Bereichs, z. B. Bildanzeige der Heckkamera bei Einlegen des Rückwärtsgangs.
- Optional, z. B.: Tag/Nachtschaltung des Monitors (manuell oder automatisch), Helligkeitsausgleich bei den Kameras, beheizbare Kameras.
- Zusätzlich können KMS-Systeme durch Sensoren ergänzt werden (siehe hierzu Kapitel 3 und 5).

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



Prinzip Rundumsicht-KMS



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. Kapitel 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. Kapitel 2.2.2)

Begriffserläuterung:

„**Echtzeit**“ beschreibt die Übertragung im Rahmen vorgegebener Latenzwerte.

„**Latenz**“ bezeichnet die zeitliche Verzögerung zwischen dem realen Geschehen vor der Kamera und der Anzeige auf dem Bildschirm.

Die Auswahl des geeigneten Systems hängt von der Art der mobilen Maschine bzw. des Fahrzeugs und dem jeweiligen Anwendungsfall ab.

Auf den folgenden Seiten werden diese Möglichkeiten zur Rundumsicht weiter erläutert. ►►►

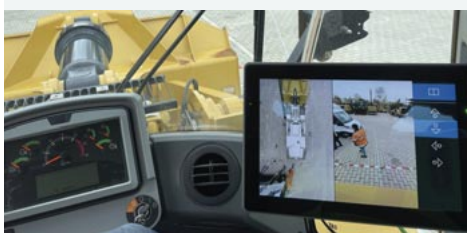


Foto links: Monitor eines Rundumsicht-KMS in der Fahrerkabine eines Radladers. Der Fahrer kann das Nahfeld rund um seine Maschine überblicken und gleichzeitig den rückwärtigen Bereich in der Großaufnahme beobachten.

2.2.1 Vier Kameras – Rundumsicht aus der Vogelpersicht (Birdview)



Komponentenbeispiele oben:
Monitor, Recheneinheit und
Kameras

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.**

Eine in das KMS integrierte Software entfernt Verzerrungen und „Fischaugen“-Effekte, die bei sehr großen Kamera-Öffnungswinkeln entstehen können. Die Software erzeugt ein klares, störungsfreies Bild mit Rundumsicht aus der Vogelperspektive.



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

Die drei Fotos links zeigen ein 360°-System an einem Dumper (Foto oben: Monitoransicht, Fotos darunter: montierte Kamera):

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

Das Praxisbeispiel Foto unten rechts zeigt die Monitoransicht eines 270°-Systems:

- ▶ Drei Weitwinkelkameras ermöglichen die Überwachung des Heck- und Seitenbereichs um die mobilen Arbeitsmaschine herum.
- ▶ Optional kann ergänzend eine vierte Kamera zur Überwachung z. B. von Ladung oder Anbauteilen installiert werden.



Positionierung der rechten
Seitenkamera eines
360°-Systems bei einem Dumper



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 bzw. zur Person hin ändert.

Bei Baggerarbeiten kann das Heben/Senken des Baggerarms zu Verfremdungen in der Darstellung führen. Hier kann ggf. eine zusätzliche Kamera, die bei einem Rechtsschwenk automatisch aktiviert wird, hilfreich sein.



Weitere Möglichkeiten: Spezifische Anforderungen, die sich aus dem Arbeitseinsatz bzw. der Art der mobilen Maschine und ihrer Anbauteile ergeben, können besondere Maßnahmen erfordern. So kann beispielsweise durch eine besondere Positionierung der Frontkamera auch über eine Volumenschaufel hinweg gesehen werden (dabei mit Aufbau eine Gesamthöhe von 4 m nicht überschreiten).

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 bei mobilen Arbeitsmaschinen wie Radladern, Bagger und den Lasteseln des Steinbruchs: Muldenkipper, Dumper und andere SKW (Schwerlastkraftwagen).



Bild 1: Darstellung der Sichtfelder eines Surroundview-KMS

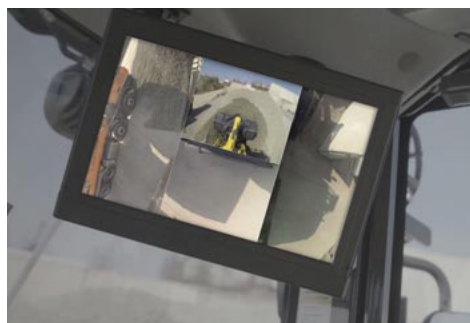


Bild 2: Monitorbeispiel für eine Splitscreen-Darstellung

Die Ansteuerung einzelner Kamera-Ansichten kann manuell oder auch über Fahrzeugsignale, wie z. B. Blinkersetzen oder Einlegen des Rückwärtsgangs, eingerichtet werden.

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
- ▶ 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 (je nach Maschinengröße können sich ggf. auch Kameras mit kleinerem Bildwinkel eignen)
- ▶ Einblendbare Führungslinien geben eine zusätzliche Orientierung
- ▶ Individuell einstellbare Auslöser für verschiedene Perspektiven
- ▶ Automatische, anwendungsspezifische Darstellung der Kameras – z. B. Sicht nach rechts beim Rechtsabbiegen
- ▶ Nachrüstbarkeit für unterschiedlichste Anwendungen optional möglich
- ▶ Integrierte Voreinstellung zur geeigneten Anordnung der Kamerabilder für unterbrechungsfreie Bildwiedergabe in Echtzeit
- ▶ Anpassbare Sichtbereiche und Abstände an Fahrzeugtyp und Anwendung



Komponentenbeispiele oben: Monitor mit Darstellung einer Rundumsicht aus vier Einzelansichten, daneben zwei Kameramodelle mit und ohne Heavy-Duty-Gehäuse.

Rundumsicht-KMS in verschiedenen Arbeitsbereichen



270°-/360°-KMS lassen sich für unterschiedliche mobile Maschinen, Nutzfahrzeuge und vielfache Aufgabenbereiche konfigurieren. Je nach Umgebung und Anwendung sind besonders robuste Kameras erforderlich.

2.3 Spiegellersatzsysteme

► „Digitaler Außenspiegel“

Am Fahrzeug montierte herkömmliche Außenspiegel bieten oftmals keine ausreichende arbeits- und bedarfsgerechte Unterstützung für den Fahrer, insbesondere bei großen unübersichtlichen Maschinen. Der Einsatz eines digitalen Spiegellersatzsystems – 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.**

Nachrüstung:

Digitale Spiegellersatzsysteme können an unterschiedlichen Fahrzeugarten im Off-Road-Bereich nachgerüstet werden.

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



Komponentenbeispiele:
zwei HD-Kameras und
ein lichtstarkes Display mit
Split-Screen-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.**

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.
- Außerdem: um 90° drehbares Display für eine anwendungsgerechte Anzeige.

Über eine Fernbedienung einstellbare Funktionen, wie beispielsweise:

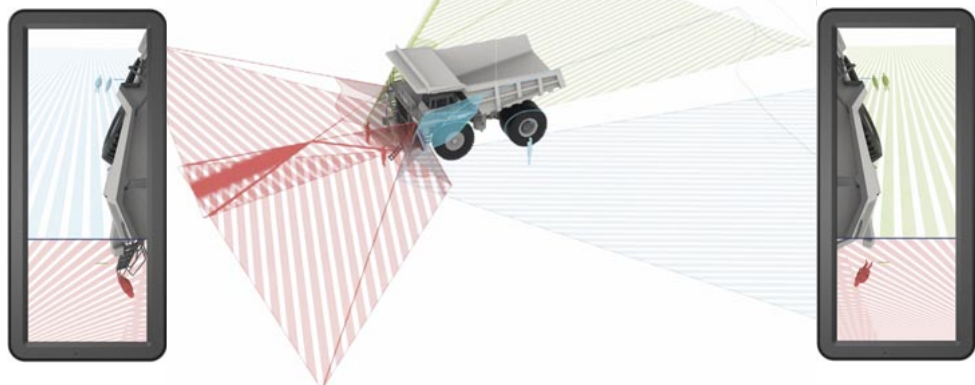
- Zoom für individuelle Bildausschnitte (dabei Vergrößerung in 10 Stufen)
- flexible Bildaufteilung (im Verhältnis 1:1 oder 2:3)
- einblend- und frei verschiebbare, farbige Hilfslinien zur Unterstützung der Abstandseinschätzung (beim Rangieren, Verladen, Manövrieren)



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).



Anwendungsbeispiel Muldenkipper: 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.

2.4 Übertragungstechnologien von KMS

Für analoge und digitale 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

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 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.

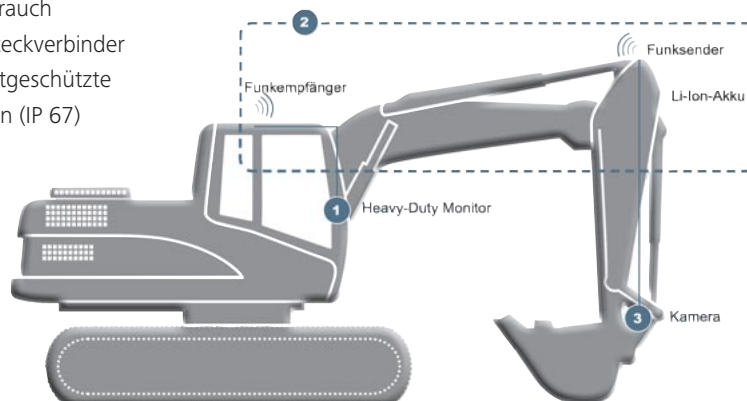
Der Einsatz digitaler Funksysteme zur kabellosen Bildübertragung ist z. B. gekennzeichnet durch:

- ▶ Keine Kabelverlegung an der Maschine
- ▶ Einsatzzeit von bis zu 28 Stunden
- ▶ Störungsunempfindlich durch Digitalfunk von 2,4 GHz; Funkstandard WiFi 5 (IEEE 802.11ac)
- ▶ Anwendbarkeit für alle Baumaschinenarten
- ▶ Einfache, flexible Montage
- ▶ Schock- und Vibrationsfestigkeit der kompletten Systemeinheit inklusive integriertem Akkubetrieb
- ▶ Geringer Stromverbrauch
- ▶ Robuster Industriesteckverbinder
- ▶ Wetter- und umweltgeschützte Systemkomponenten (IP 67)



Foto links:

Radlader mit Großvolumenschaufel, die die direkte Sicht nach vorn stark einschränkt – hier kann als technische Maßnahme ein KMS mit Funkanbindung eingesetzt werden.



Die Grafik zeigt Komponenten eines digitalen Funksystems zur kabellosen Bildübertragung.

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!

Daher ist nach aktuellem Stand ist eine Kabelverbindung vorzuziehen.

Begriffserläuterungen (Hinweise zu Kapitel 3, 4, 5)

► 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/pruefgrundsaeetze/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 Künstlicher Intelligenz.

Wichtig dabei zu wissen: Generell wird ein sogenanntes KI-System ausschließlich in der Trainingsphase angelernet. Für den realen Einsatz an der Maschine wird die KI „eingefroren“, das heißt, es erfolgt keine Verselbstständigung des Systems.



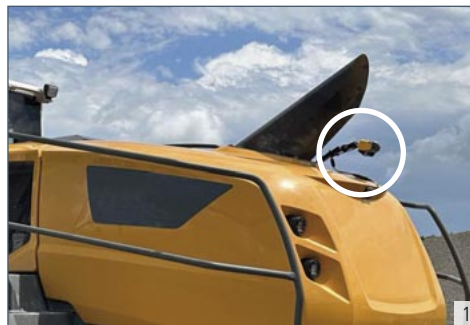
Personen- und Objektdetektion

Warn-/Assistenzsysteme

3

► 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.



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

► Einsatzbereiche nach Funktion

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



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)

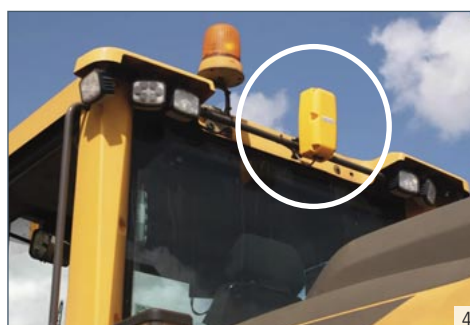
Je nach Anforderungsprofil und Gefährdungsbeurteilung (Kapitel 1.1) kommen unterschiedliche Sensorsysteme zum Einsatz, die nach ihren Funktionsprinzipien eingeteilt werden in z. B.:

- Ultraschallsysteme
- Radarsysteme
- LiDAR-Systeme
- Transponder-/TAG-basierte 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.



Für abgeschlossene Betriebsgelände/Baustellen mit Eingangs-/Personenkontrolle können sich funkbasierte Transponder-/TAG-Systeme eignen, die den Bediener des Fahrzeugs und die sich der Gefahrenzone nähernden Personen und Fahrzeuge warnen (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 Hindernisse, wie Personen und Gegenstände, mit einer sehr hohen Genauigkeit von bis zu 1 cm (abhängig von der 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 sehr präzisen Objekterfassung ermöglichen ein kontinuierlich überwachtes Annähern, beispielsweise beim Beladen von Dumpfern. Sinnvoll ist der Einsatz von Ultraschallsystemen bei beengten Platzverhältnissen, z. B. beim Einfahren in den öffentlichen Straßenverkehr.

In Abhängigkeit vom Arbeitsbereich und von der potenziellen 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.

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 1.1).

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.



Beispiele für Ultraschallsensoren zur Entfernungsmessung



Abbildungen oben: Ultraschallsensoren an einer Betonpumpe; unten: Ansicht im Monitor bei Kombination mit einem KMS



Beispiele für Komponenten eines Ultraschallsystems:



Sensoren, Steuereinheit, Signalgeber

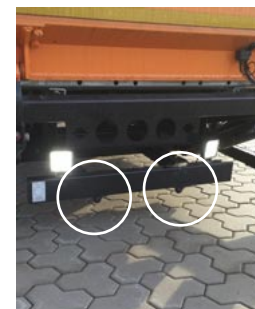
Beschaffungskriterien

Vor der Beschaffung ist ein Pflichtenheft mit den Einsatz-Anforderungen zu erstellen. Zu beachten sind u. a. folgende Merkmale:

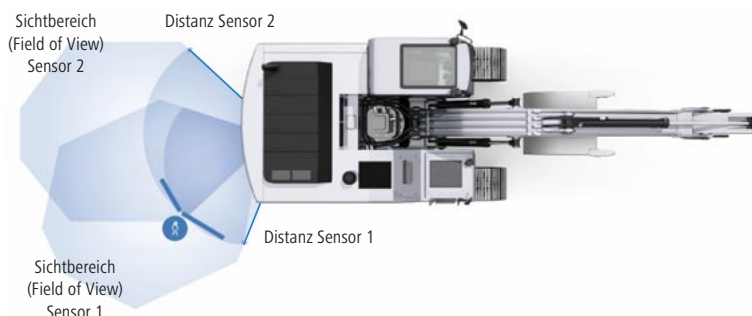
- ▶ **Material- & Lichtunabhängigkeit:** Erfassung auch von Glas, Flüssigkeiten und Folien unabhängig von Farbe/Glanz.
- ▶ **Messgenauigkeit:** Präzise Laufzeitmessung.
- ▶ **Umweltbeständigkeit:** Unempfindlich gegen leichten Schmutz, Staub und Feuchtigkeit.
- ▶ **Abstandswarnsystem:** Mehrstufig (Display + akustische Signale).
- ▶ **Konfiguration & Lernen:** Einstellbare Empfindlichkeit und automatischer Umgebungslernmodus.
- ▶ **Betriebsmodi:** Synchronisations-/Multiplex-Betrieb gegen gegenseitige Beeinflussung.
- ▶ **Ausfallsicherheit:** Integrierte Selbstdiagnose.



Beim Fahren und Rangieren in beengten Arbeitsbereichen können Ultraschallsysteme zu Kollisionen vermeiden.



Ultraschallsysteme bestehen aus mehreren Sensoren und einer Steuereinheit (ECU = Electronic Control Unit), siehe Bild rechts. Die ECU verarbeitet die von den Sensoren empfangenen Abstandsdaten. Der Datenaustausch erfolgt über die CAN-Schnittstelle (CAN = Controller Area Network).



Abbildungen oben: Zwei am Heck montierte Ultraschallsensoren detektieren den rückwärtigen Nahbereich des Baggers. In der Detektionszone befindliche Objekte werden von den Sensoren erkannt. Durch eine genaue Bestimmung der Objektposition im Raum wird der Bediener der Maschine noch besser bei der Identifikation von Gefahrensituationen unterstützt.

Ultraschallsysteme können die Arbeits-/Blindbereiche mobiler Maschinen und Fahrzeuge überwachen. Dabei arbeiten Ultraschallsensoren (systemabhängig) unter allen Witterungsbedingungen. 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 das Hindernis erkennen und besser lokalisieren.

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

- ▶ Distanzfilter zum Ausblenden von Störelementen im Sichtfeld
- ▶ Sensitivitätsoptionen für optimale Einstellung auf der mobilen Maschine und deren Anwendung
- ▶ Intelligente Sende- und Filter-Algorithmen zur Vermeidung von Signal-Interferenzen oder zur Reduktion von externen Störeinflüssen

Das Thema safety-relevante Funktionen zur Umfelderkennung gewinnt zunehmend an Bedeutung. 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.

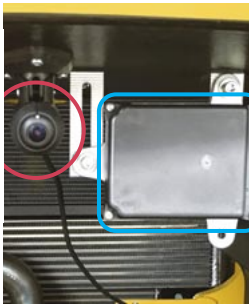
3.2 Radarsysteme

► Zuverlässige Warnung auch bei widrigen Sichtverhältnissen



Oberes Bild: Radarsensor an einer Baumaschine

Unteres Bild: Radarsensor (blau markiert) in Verbindung mit Rückfahrkamera (rot markiert)



Radarsysteme detektieren Personen und Objekte auch in rauer Umgebung sehr zuverlässig: dank ihrer hohen Resistenz bei Schmutz, Schlamm, Staub, Starkregen, Feuchtigkeit, Hitze, Kälte (optional ausgerüstet mit beheizbaren Sensoren), UV-Strahlen, Vibrationen und Sturm. Auch bei Dunkelheit, Nebel, Rauch und schlechten Sichtverhältnissen erfolgt eine zuverlässige Funktion.

Radarsysteme eignen sich hervorragend für den Einsatz auch bei schwierigsten Bedingungen auf Baustellen, im Bergbau, in der Land- und in der Forstwirtschaft.

► Objekte im 20m-Umfeld bei hoher Geschwindigkeit erkennen

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

► Mit einer sehr geringen Zeitverzögerung warnen

Warnsysteme mit Radarsensoren unterstützen den Fahrer mit einer sehr geringen Zeitverzögerung (50ms) bei der Objektdetektion. Sie helfen, Unfälle im Gefahrenbereich eines Fahrzeugs zu vermeiden und erleichtern das Rangieren und Rückwärtsfahren. Das gilt für Baumaschinen (Tiefbau, Steinbruch, Gleisbau, Bergbau) ebenso wie für Mobilkrane, land- und forstwirtschaftliche Fahrzeuge und Flurförderzeuge.

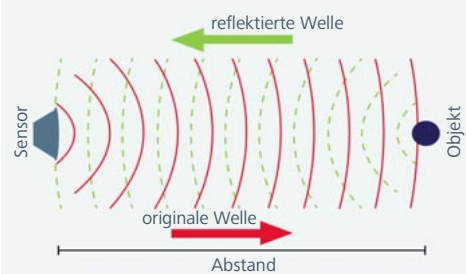
Radarsysteme umfassen in der Regel ein bis zwei Sensoren. Diese können gezielt dort angebracht werden, wo der jeweilige Gefahrenbereich der Maschine/des Fahrzeugs überwacht werden soll. Der Detektionsbereich unterteilt sich in mehrere Zonen, sodass der Bediener/Fahrer durch entsprechende Signale über 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 von schweren Maschinen und Nutzfahrzeugen. Je nach System sind sie direkt an ein KMS gekoppelt oder unabhängig davon einsetzbar.

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

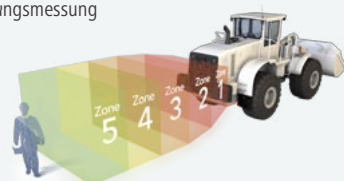
Prinzip Radar (elektromagnetische Wellen)



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



Beschaffungskriterien

Vor der Beschaffung ist ein Pflichtenheft mit den Einsatz-Anforderungen zu erstellen. Zu beachten sind u. a. folgende Merkmale:

- ▶ **Abstandswarnsystem:** Mehrstufig, inklusive genauer Objekt-Lokalisierung.
- ▶ **Detektions-/Warnbereiche:** Flexibel einstellbar.
- ▶ **Echtzeit-Erfassung:** Minimale Verzögerung bei der Objektdetektion (max. 50 ms).
- ▶ **Signalausgabe:** Akustisch und optisch.
- ▶ **Erweiterbarkeit:** Modular für Zusatzfunktionen (z. B. Rückfahralarm).
- ▶ **Filter:** gegen Bodenreflexionen (Clutter).
- ▶ **Selbstüberwachung:** Erkennung von Sensor-Blindheit/Verschmutzung.



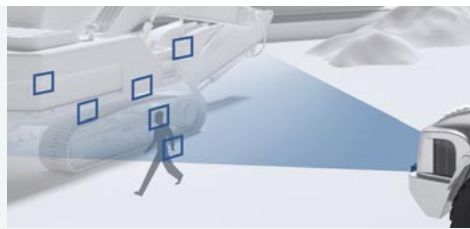
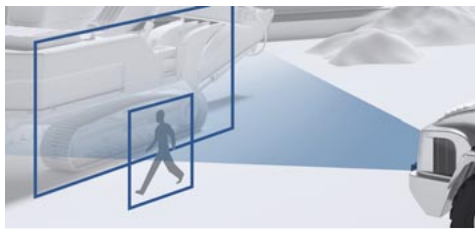
Radarsensoren können an unterschiedlichen mobilen Arbeitsmaschinen eingesetzt werden – an einem kleinen Kompaktlader (Foto oben) ebenso wie an einem großen Dumper.



Abbildung oben: Das Display in der Fahrerkabine signalisiert, ob und wie nah sich ein Objekt in der Gefahrenzone der Arbeitsmaschine befindet – und ob es sich nähert oder entfernt.

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

Funktionsweise Radarsysteme im Vergleich



Je nach Radartechnologie kann die Position eines erkannten Objektes 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. Die rechte Grafik verdeutlicht das Objekt-Clustering für detailliertere Umgebungsinformationen im Sichtfeld.



pulsierendes Signal

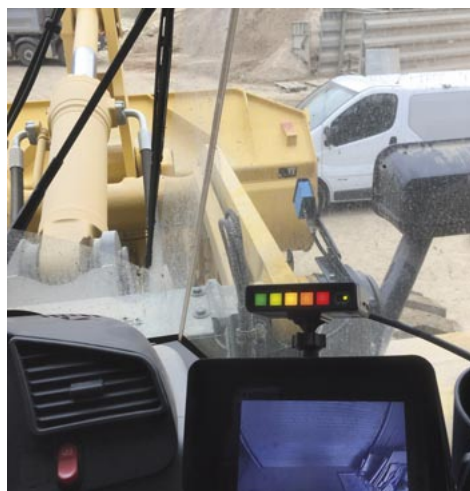


modulierendes Signal
(ermöglicht Objektverfolgung)

Feste und bewegliche Hindernisse detektiert der Radarsensor mit Hilfe von elektromagnetischen Impulsen. Es erfolgt eine aktive Warnung an den Bediener/Fahrer – als akustisches und/oder optisches Signal.

Der Bediener/Fahrer kann die sich verändernde Entfernung zwischen seiner Maschine und dem Objekt 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.



Kombination aus Radarsystem und KMS: Das Foto zeigt das Warndisplay des Radarsystems und auf dem Monitor des KMS in der Fahrerkabine.

Für den Off-Highway Bereich werden erste hochauflösende Radarsysteme (= „4D Radar“, „High Imaging Radar“) entwickelt. Diese liefern ein detailliertes räumliches Abbild des Umfelds und bieten eine zehnfach höhere Auflösung. Sehr nah beieinanderstehende Objekte können noch sicherer unterschieden werden (Trennfähigkeit). Die Position von Objekten kann mit zehnfach höherer Genauigkeit bestimmt werden, was u. a. eine sehr exakte laterale und axiale Messung ermöglicht, beispielsweise für eine automatisierte Spurführung.

3.3 LiDAR-Systeme

► Laserscanning für eine präzise Erfassung

LiDAR bzw. Ladar („Light/Laser Detection and Ranging“) liefert als Methode zur optischen Abstandsmessung mittels Laserstrahl sehr genaue Ergebnisse. Dabei ist die Detektion robust gegenüber den Lichtverhältnissen der Umgebung und kann selbst bei völliger Dunkelheit angewendet werden. Sie zeichnet sich aus durch:

- Große Messreichweite
- Große horizontale und vertikale Öffnungswinkel
- Sehr gute Auflösung

Je nach Qualität des Messverfahrens ist das System unempfindlich gegenüber Staub und Niederschlag.

► Datenfusion

Basierend auf einer Objektvermessung und -klassifizierung durch Laserimpulse sind die Signale des LiDAR-Systems direkt zur Personen-/Objektdetektion verwertbar. Mittels Software-schnittstelle kann eine Vielzahl von Parametern unmittelbar aufbereitet und visualisiert werden.

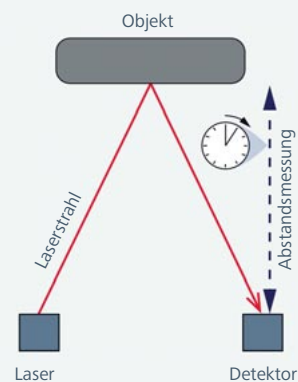
► Schlüsseltechnologie für Assistenzsysteme

LiDAR-Systeme finden Anwendung beispielsweise bei Umgebungserfassung und Objektdetektion in der Logistik, Robotik und Assistenzsystemen für Nutzfahrzeuge und Pkw. In der Entwicklung hoch automatisierter Fahrzeuge gelten sie als eine der Schlüsseltechnologien. Die permanente Weiterentwicklung der Systeme führt zum verstärkten Einsatz der LiDAR-Systeme in mobilen Arbeitsmaschinen, wie land- und forstwirtschaftlichen, Bau- und Bergbau-Maschinen. Entscheidend für die Anwendung im Offroad-Bereich ist die Robustheit des Sensors, bei dem äußere Einflüsse – wie beispielsweise Erschütterungen – keine Beeinträchtigung des Messergebnisses hervorrufen dürfen.



LiDAR-Sensoren können auch in rauer Umgebung wie beispielsweise Steinbrüchen eingesetzt werden.

Prinzip LiDAR (gepulster Laserstrahl)



Der Laser emittiert einen gepulsten – d. h. nicht kontinuierlich, sondern in zeitlichen Portionen – abgegebenen Laserstrahl, 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.

Im Gegensatz zu einem Dauerstrichlaser besitzt der gepulste Laser eine höhere Leistungsdichte.

Die optische Leistungsdichte von Lidar ist augensicher konzipiert (Laserklasse 1).



3.4 Transponder-/TAG-basierte Systeme – LPS-/RFID-Technologie



Begriffserläuterung:

TAG = Kurzbezeichnung bzw. englischer Begriff für die Warneinheit bei einem Sender-Empfänger-System.

Komponentenbeispiele:



Sensor zur Detektion im Erfassungsbereich rund um das Fahrzeug/die mobile Maschine, ausgestattet mit LPS-Technologie (Local Positioning System).



Touchscreen-Tablet in der Fahrerkabine zur Konfiguration aller Parameter mit optionaler Netzwerk-Verbindung (siehe nächste Seite unten).



Tragbare Warneinheit/TAG

Auf Baustellen, in Tunneln und Steinbrüchen wo Baumaschinen und Fahrzeuge (SKW) mit sperriger Ladung eingesetzt werden, ist die Sicht der Fahrer erheblich eingeschränkt – und das Risiko von Kollisionen zwischen Fahrzeugen und Fußgängern sowie zwischen Fahrzeugen untereinander hoch. Tag-basierte Systeme (auch als Transpondersysteme bekannt) können hier die Sicherheit entscheidend verbessern. Sie ermöglichen es, auch über Hindernisse hinweg, mit Tags (= Erkennungs-/Warn-einheiten) ausgestattete Personen und Fahrzeuge zu detektieren, selbst wenn kein direkter Sicht-Kontakt zwischen Sensor und Tag besteht.

► Warnung bei Annäherung

Tag-basierte Systeme warnen, sobald sich ein Fahrzeug und Personen zu nahe kommen. Sie bieten dem Fahrer/Bediener zwei Arten von Alarmen mit unterschiedlichen Erfassungsintervallen: **Vorwarnung** und **Warnung**.

Die optischen und akustischen Alarme ermöglichen es, die Anwesenheit und Position der **mit aktiven Tags ausgerüsteten** Mitarbeiter in Gefahrensituationen in Echtzeit anzuzeigen und so die kritischen Umstände aufgrund schlechter Sicht zu entschärfen.

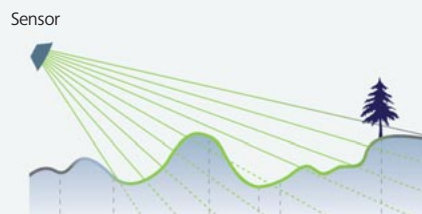
Betritt eine Person einen Gefahrenbereich,

- wird der **Fahrer/Bediener** mit einer optischen und akustischen Warnung darauf aufmerksam gemacht. Er sieht auf dem Display in der Fahrerkabine, wo genau sich die Person befindet.
- **Zusätzlich** wird der **Fußgänger** vom Tag gewarnt, das im Fall einer Gefahr vibriert und aufleuchtet.

► Voraussetzungen für eine beidseitige Warnung

- **Abgeschlossener Bereich**/Betriebsgelände mit Einlasskontrolle (zum Beispiel Einzäunung plus Pfortner).
- Jedes Fahrzeug muss mit einer **Warneinheit „Fahrzeug“** ausgerüstet sein.
- Jede Person muss eine **Warneinheit „Person“** (Transponder/TAG) tragen.

Prinzip Funk (elektromagnetische Wellen)



Tag-basierte Systeme nutzen Funkwellen, die sich als gebeugte Bodenwellen auch in verdeckte, nicht einsehbare Bereiche ausdehnen können.

LPS – Local Positioning System ist dabei eine hochpräzise Ortungstechnologie zur Positionsbestimmung mit Zentimetergenauigkeit – selbst in komplexen Umgebungen und über tote Winkel hinaus. Sie nutzt wiederaufladbare Tags, die den Bediener im Gefahrenfall durch Vibration und LED-Signal warnen.

Die Erfassungsbereiche lassen sich sowohl in ihrer Form (mit bis zu 6 frei definierbaren Punkten) als auch in ihrer Größe vollständig konfigurieren und an jedes betriebliche Layout anpassen.

Durch kontinuierliche Überwachung von Abständen und Interaktionen zwischen Personen und Fahrzeugen misst das System das Risikoniveau in Echtzeit und liefert objektive Daten, um Sicherheit, Prozesse und betriebliche Effizienz nachhaltig zu verbessern.

Beschaffungskriterien

- ▶ **Erkennung von Personen und Fahrzeugen**, auch außerhalb des direkten Sichtfelds und hinter toten Winkeln.
- ▶ **Zuverlässige Leistung** auch bei Staub, Schlamm, Regen und schlechten Sichtverhältnissen.
- ▶ **Keine direkte Sichtverbindung** zwischen Sensor und TAG erforderlich.
- ▶ **Flexibel konfigurierbare Sicherheitszonen**, angepasst an Arbeitsbereiche und Bauphasen.
- ▶ **Sofortige Warnmeldungen** für Fahrer und Personen durch akustische, optische und Vibrationssignale.
- ▶ **Integration in Baumaschinen** zur automatischen Geschwindigkeitsreduzierung oder zum Maschinenstopp.
- ▶ **Gleichzeitige Erkennung mehrerer Personen** innerhalb des Gefahrenbereichs.
- ▶ **Einfache Installation und schneller Wechsel** zwischen Maschinen und Geräten – ohne bauliche Änderungen.
- ▶ **Reduzierung des Unfallrisikos** bei Rangier-, Rückwärtsfahr- und Materialtransportvorgängen.



Die TAG-tragende Person wird vom Sensor erkannt. Neben einer akustischen Warnung erhält der Fahrer auch eine schnell interpretierbare Visualisierung der Situation auf seinem Tablet in der Fahrerkabine.

▶ Integrierte Technologien für mehr Sicherheit auf der Baustelle

Auf Baustellen erfordert Sicherheit Systeme, die sich an dynamische und sich ständig verändernde Einsatzbedingungen anpassen können.

Die Kombination von Tag-basierten Systemen und KI-gestützten Kameras vereint die Vorteile einer präzisen Ortung mit denen der visuellen Erkennung.

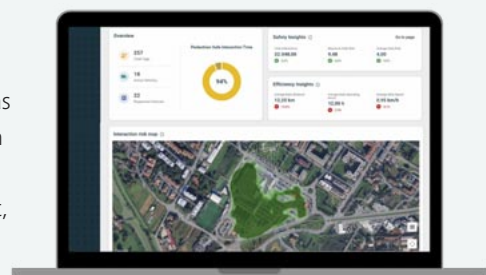
Dadurch können Personen und Fahrzeuge sowohl außerhalb des direkten Sichtfelds als auch in den unmittelbar einsehbaren Bereichen zuverlässig erkannt werden. Dieser komplementäre Ansatz verbessert den Schutz der Beschäftigten und reduziert das Kollisionsrisiko bei sämtlichen Baustellenarbeiten.



▶ LPS-TAG-System mit cloudbasierter Datenanalyse-Plattform

Die Erfassung und Analyse von Daten macht Sicherheit zu einem aktiven Instrument für das Baustellenmanagement. Die von den Erfassungssystemen gewonnenen Informationen werden in Echtzeit verarbeitet und über intuitive Dashboards, Heatmaps der kritischsten Bereiche sowie Analysen der Interaktionen zwischen Maschinen und Personen dargestellt.

Dadurch erhalten Verantwortliche einen vollständigen Überblick über das gesamte Baustellengeschehen, können besonders kritische Situationen identifizieren, deren Entwicklung im Zeitverlauf überwachen und auf Basis objektiver Daten fundierte Entscheidungen treffen, um Sicherheit, betriebliche Effizienz und die Koordination der Arbeitsabläufe nachhaltig zu verbessern.



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.

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

► Objektspezifische Detektion reduziert Fehlalarme

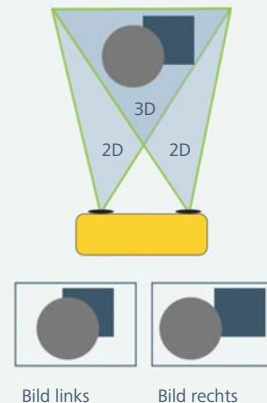
Über eine softwarebasierte Objektklassifizierung kann definiert werden, bei welcher Art von Objekten eine Warnung erfolgen soll. Passgenau zur jeweiligen Anwendung stuft das System dann alle anderen Objekte als nicht relevant ein. Eine Warnmeldung an den Fahrer/ Bediener erfolgt nur dann, wenn eine Kollision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



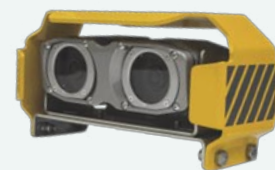
Bild unten: 3D-Kamerasensor im Off-Road-Bereich. Der Fahrer/ Bediener wird vor der drohenden Kollision gewarnt und sieht im Monitor der Fahrerkabine die gefährdete Person, die sich hinter der Maschine befindet.



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

Beschaffungskriterien

Vor der Beschaffung ist ein Pflichtenheft mit den Einsatz-Anforderungen zu erstellen. Zu beachten sind u. a. folgende Merkmale:

- ▶ **Hohe Bildauflösung:** Detailreiche Erfassung für zuverlässige Objekterkennung.
- ▶ **Bereichsüberwachung:** Permanente Echtzeit-Sichtabdeckung des Gefahrenbereichs.
- ▶ **Objektklassifizierung:** KI-gestützte Unterscheidung spezifischer Objektklassen (z. B. Personen/Hindernisse).
- ▶ **Abstandswarnsystem:** Mehrstufig, mit einstellbaren Detektionszonen.
- ▶ **Robuste Bauweise:** Für raue Industrie- und Outdoor-Einsätze (Sensorkopf IP69K).
- ▶ **Signalausgabe:** Akustische und optisch.



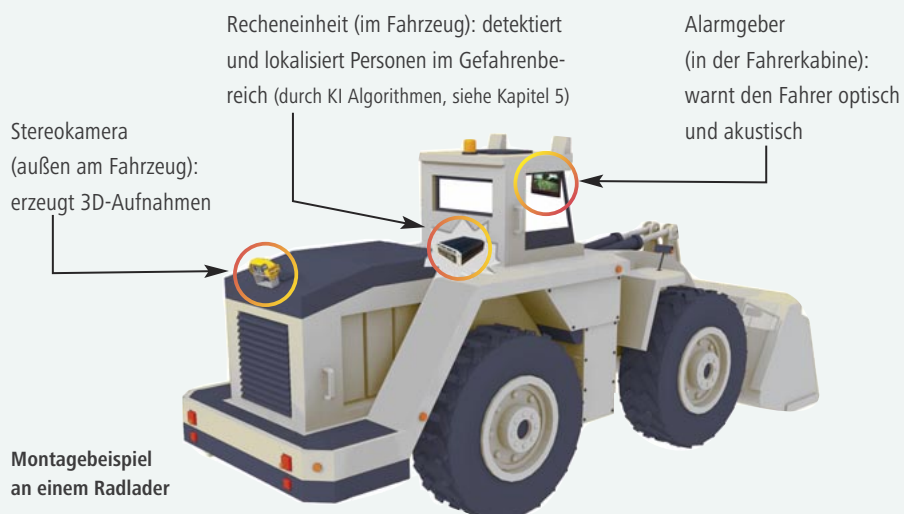
3D-Kamerasensoren/Stereokameras werden auf Baustellen an großen Maschinen, wie beispielsweise Kettenbagger (Foto oben) eingesetzt.

Stereokameras sind für den Nahbereich und je nach Optik auch für größere Reichweiten einsetzbar.

Sie sind robust gegenüber Vibrationen und starken Temperaturschwankungen (-40° bis +75°C), blendendes Licht, Matsch, Schnee, Nebel.



Die Grafiken zeigen Stereokameras an unterschiedlichen mobilen Arbeitsmaschinen.



Montagebeispiel an einem Radlader

Auf den jeweiligen Bedarf abgestimmte Optionen und Konfigurationen ermöglichen den kompatiblen Einsatz von Stereokameras in nahezu allen Typen von mobilen Arbeitsmaschinen/Industriefahrzeugen (wie Radlader, Bagger, Gabelstapler, Teleskopstapler etc.).

4 Akustische Warnsignale für Personen in der Umgebung

Warnung von gefährdeten Personen

In vielen Einsatzbereichen mobiler Maschinen 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 Personen und die ohne Warnung in Gefahr geraten können.

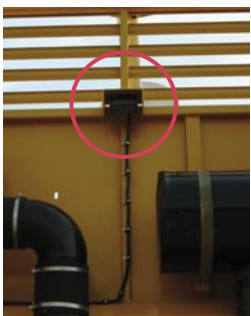
► Gezielt Aufmerksamkeit erzeugen

Zur Verbesserung der Wahrnehmbarkeit von mobilen Maschinen 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 (siehe Kapitel 5).

Akustische Warnsignale ersetzen nicht die Sicht auf den Fahr- und Arbeitsbereich!

Je nach Arbeitseinsatz ist eine Kombination aus KMS und Breitbandton-Warner sinnvoll (siehe Foto unten). Damit hat der Fahrer den Arbeits-/Gefahrenbereich im Blick – und zusätzlich werden gefährdete Personen akustisch gewarnt.



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 tatsächlich drohende 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.

Vorteile „Zischer“

- Nur in der Gefahrenzone wahrnehmbar (weites Frequenzspektrum)
- Keine Lärmbelästigungen gegenüber Dritten
- Kein Stress bei Beschäftigten/Anwohnern
- Keine Desensibilisierung
- 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, während der Breitbandton-Warner gefährdete Personen in unmittelbarer Fahrzeugnähe durch eine akustische Warnung auf die Gefahr des sich nähernden Fahrzeugs aufmerksam macht.



4.1 Breitbandton-Warner

► Umgebung gezielt warnen – störende Lärmbelastigung vermeiden

Breitbandton-Warner verursachen weniger Lärmbelastigung als „Pieper“. Die eindringlich alarmierende Zischsignale werden gezielt dort gehört, wo es darauf ankommt: im direkten Gefahrenbereich der mobilen Maschine.

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

► Die Richtung der Gefahrenquelle schnell erfassen

Breitbandton-Frequenzen vermitteln eine Richtungsinformation an das Ohr – hiermit ermöglichen sie der gefährdeten Person eine bessere Lokalisierung des Tons. So erhält diese Zeit, der Gefahr auszuweichen.

► In vielen Bereichen und an unterschiedlichen Maschinen einsetzbar

Sinnvolle Einsatzbereiche von Breitbandton-Warnern sind Baustellenfahrzeuge und mobile Baumaschinen, Lkw, schwere Kraftwagen beim Einsatz in Steinbrüchen oder Recyclinganlagen, land- und forstwirtschaftliche Fahrzeuge, ebenso Straßenwalzen und Straßenfertiger, Gepäckfahrzeuge auf Flughäfen,.

Entsprechend der vielfältigen Einsatzbereiche sind verschiedene Modelle von Breitbandton-Warnern im Einsatz.

Steinbruchumgebungen sind anders zu beurteilen als Arbeiten im städtischen Bereich. Gleiches gilt für die unterschiedlichen Anforderungen an Teleskoplader in Lagerhallen, Scheunen, Produktionsumgebungen – bis hin zu Entsorgungs-/Recyclingszentren und Bauhöfen.

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

Breitbandton-Warner alarmieren gefährdete Personen eindringlich. Sie schalten sich z.B. ein, sobald sich das Fahrzeug in Bewegung setzt. Weitere Lösungen sind je nach Modell konfigurierbar, z.B. bei Einlegen des Rückwärtsgangs.

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.

Weitere Lösungen zur Warnung von gefährdeten Personen in speziellen Arbeitsbereichen s. Kapitel 3.4 Tag-basierte Systeme (Voraussetzung: abgeschlossenes Betriebsgelände mit Eingangskontrolle).

5 Intelligente Software, Künstliche Intelligenz für Warn-/Assistenz-/Schutzsysteme

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.

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.

Digitale Prozesse können Informationen von mehreren Sensoren integrieren:

Digitalisierung schafft die Grundlage, um

KI-Einsatzbeispiel
„Unfallschwerpunkte durch Data Analytics“ erkennen:

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

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

▶ Neben der Unterstützung des Fahrers können mittels Deep Learning auch Unfall-schwerpunkte (Hotspots) erkannt werden.

▶ Bei der Detektion von Beinahe-Kollisionen werden z. B. Datum, Uhrzeit und GPS-Position der mobilen Maschine erfasst.

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

▶ KI (Künstliche Intelligenz)

Oberbegriff für SW-Programme zur Simulation kognitiver Fähigkeiten und menschlicher Intelligenz (Wahrnehmen, Lernen, Anpassen, Schlussfolgern, Agieren) und zur 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 eindeutig detektieren 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-/Objekt-detektion

► in der Trainingsphase angelernt – beispielsweise mittels Machine Learning.

► In der Betriebsphase, das heißt beim Einsatz der Maschine in der Praxis, 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 33) 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**. (Siehe dazu rechte Spalte oben.)

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.



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

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.

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.

5.1.1 Sichere und zertifizierbare KI

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.

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.

► 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“ (d.h. die 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 Objektdetektion durch angelernte neuronale Netze



Systemkomponenten: Ethernet-Kameras, Recheneinheit und Touchmonitor

Die Kamerasysteme mit integrierter Kollisionswarnung basieren auf der Anwendung von künstlicher Intelligenz. 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 Bereich einer Baumaschine 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 Kollisionen mit Personen oder klassifizierten Objekten wird der Fahrer akustisch und/oder visuell gewarnt.

Um die Rate unnötiger Fehlalarme zu minimieren wird er hingegen vor nicht angelernten Objektklassen, wie zum Beispiel Schildern und sonstigen statischen Objekten nicht gewarnt.

In Zusammenarbeit mit einer Recheneinheit und implementierter Anwendungs-Software kann ein KMS zu einer aktiven Sicherheitsunterstützung für den Fahrer werden.

Das KMS erkennt die zuvor klassifizierten Objekte und Personen im Kamerabildausschnitt – siehe Abbildungen rechts und links.



Der Fußgänger wird vom System detektiert, als Person klassifiziert und – je nach Entfernung/ Gefährdung – durch grüne, gelbe oder rote Rahmenlinien deutlich markiert.



Abbildung oben – Anwendungsbeispiel Personendetektion:

Die am Radlader 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.

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.

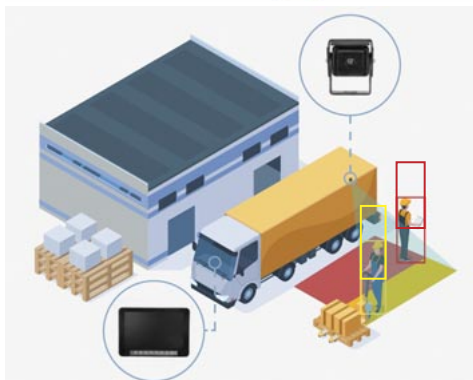
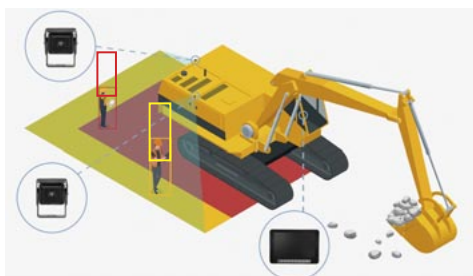
► Sicherheit mit Deep-Learning-Technologie

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.



Bilder oben: Smarte Personendetektion durch KI-Kameras in unterschiedlichen Anwendungsbereichen und Fahrzeugen.



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.

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 so rauen Umgebungen wie in Steinbrüchen oder auf Baustellen (Bild links).



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 Radlader:

Die robuste Kamera liefert HD Bilder von kritischen Bereichen wie Rückraum, etc. (siehe Foto oben). Das Kamera-Monitor-System ist mit einer Objekterkennung ausgestattet (siehe Grafik unten).

Die Warnungen können je nach Kundenanforderung auf vielfältige Weise ausgegeben werden.

5.2.1 Smartkamera für Personendetektion und Kollisionsvermeidung



Die Smartkamera (Kamera mit applizierter Software) wurde speziell für den Einsatz in Baumaschinen und weiteren mobilen Arbeitsmaschinen 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.

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

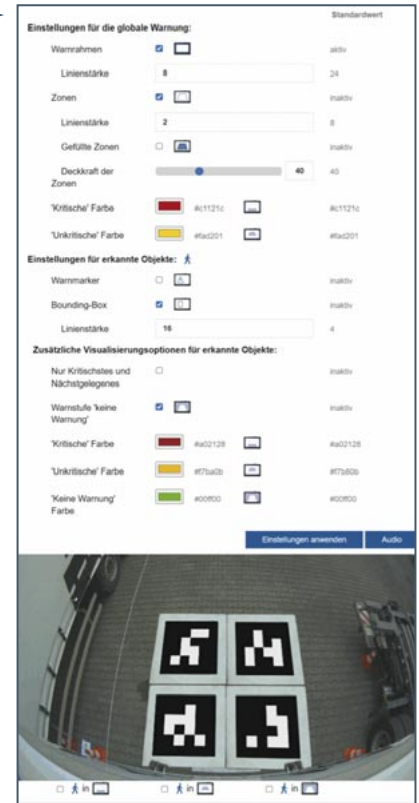


Bild oben: Weboberfläche (Ausschnitt) für die Einstellung der relevanten Kameraparameter und Warnoptionen.

► 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

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 verbleiben 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.



Optionale Varianten:
Smartkamera mit separater
oder integrierter Stromzufuhr

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



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.

► 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.



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

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 Nachrüstlösung zur Personendetektion für bestehende Kamera-Systeme

Kamerabasierte Erkennungssysteme bieten nachweislich einen erheblichen Sicherheitsgewinn für Baumaschinen. Aber: die Kosten für den Austausch ganzer Systeme in einer Flotte waren bisher ein großes Hindernis für ihre Einführung.

Mit Nachrüstlösungen können Fuhrparkmanager bestehende Kameras um die Technologie zur Personendetektion erweitern und optimale Sicherheit zu geringeren Kosten und mit minimalem Installationsaufwand erreichen.

Systemeigenschaften



- ▶ Erweitert ein Standard-Kamerasystem mit Funktionen zur Personenerkennung, ohne dass die vorhandenen analogen Kameras, Kabel oder Monitore ersetzt werden müssen.
- ▶ Verringert die Umweltbelastung – durch den Wegfall des Austauschs von Monitoren, Kameras oder Kabeln wird die Menge an Elektronikschrott reduziert.
- ▶ Kosteneffizienz - minimale Installationszeit und keine Neukonfiguration des Systems bedeuten, dass Fahrzeuge ohne lange Ausfallzeiten aufgerüstet werden können.
- ▶ Breite Markteignung - einsetzbar in vielen Fahrzeugtypen und Fahrzeugmodellen.

Plug & Play

- ▶ Die Nachrüstlösung verwendet vorhandene Verkabelung,
- ▶ ermöglicht eine schnelle Installation mit minimaler Betriebsunterbrechung und
- ▶ ist kompatibel mit bis zu zwei analogen Kameras.

KI-Box zur Nachrüstung analoger Kameras mit Personendetektion



KI-Box Rückseite:
Anschlüsse für Stromversorgung, Warnsignalübertragung, Kamera und Monitor

KI-Box Vorderseite:
Statusanzeige und USB-Anschluss

Die KI-Box wird mit der bestehenden Verkabelung verbunden und ermöglicht den analogen Kameras, Personen innerhalb eines konfigurierbaren Erfassungsbereichs zu detektieren und den Fahrer zuverlässig zu warnen, bevor es zu einer möglichen Kollision kommt.

5.4 Vorausdenkende Assistenzsysteme

► Mehr Sicherheit durch erweiterte Algorithmen

In gängigen Assistenzsystemen wird im Zuge der Objekterkennung geprüft, ob sich ein Objekt innerhalb einer definierten **Zone** befindet. Ist dies der Fall, erfolgt eine **visuelle und/oder akustische Warnung an den Fahrer**. Die Kombination aus **Objektdetektion**, **Object Tracking** und **Bewegungsvorhersage** verbessert die Möglichkeit der Assistenzsysteme weiter.



Moderne kamerabasierte Assistenzsysteme nutzen nicht nur die Objekterkennung, sondern analysieren auch die Bewegung und zukünftige Positionen erkannter Objekte.

► Objektverfolgung

Fortschrittliche Algorithmen erfassen zusätzlich **Merkmale der Objekte**, wie Form, Größe, Struktur oder Farbe. Dadurch können einzelne Objekte über mehrere Einzelbilder hinweg eindeutig wiedererkannt **und verfolgt** werden. Dieses Verfahren, als **Object Tracking** bezeichnet, erstellt eine **Bewegungshistorie** der Objekte relativ zur Maschine. Das System erkennt, ob sich eine Person auf das Fahrzeug zu bewegt, sich entfernt oder parallel bewegt. Gegenüber rein positionsbasierten Systemen ermöglicht dies eine **präzisere Gefahrenbewertung**.



Relativbewegung:
Die Bewegung eines Objekts in Bezug auf ein anderes Objekt, zum Beispiel die Bewegung einer Person im Verhältnis zu einer Maschine.

► Bewegungsvorhersage

Auf Basis der Objektverfolgungsdaten kann ein weiterer Algorithmus die **zukünftige Relativbewegung** von der Maschine und erkannten Objekten vorhersagen. Typischerweise werden Zeiträume von bis zu **einigen Sekunden** berücksichtigt, wobei die Dauer im Assistenzsystem **konfigurierbar** ist. Die Vorhersage erlaubt es, potenzielle Gefahren **frühzeitig zu erkennen**, noch bevor ein Objekt die Warnzone betritt. Gleichzeitig werden unnötige Warnungen vermieden, wenn sich Fahrzeug und Person **voneinander entfernen**.



Die Bewegungsvorhersage verschafft dem Fahrer und der Maschine wertvolle Reaktionszeit, um auf drohende Gefahren zu reagieren. Unnötige Warnungen werden vermieden, wenn sich Objekte vom Fahrzeug entfernen.

► Nutzen der verfügbaren Zusatzalgorithmen

Die Kombination aus **Objekterkennung**, **Object Tracking** und **Bewegungsvorhersage** verschafft der Maschine und dem Fahrer **mehr Zeit zur Reaktion bei drohenden Gefahren** und reduziert unnötige **Warnungen**. Dies erhöht die **Sicherheit** und **Zuverlässigkeit** moderner kamerabasierter Assistenzsysteme deutlich und unterstützt den Fahrer in Stresssituationen, gefährliche Situationen **frühzeitig zu erkennen** und zu vermeiden.



5.5 KI-basierte Lösung zur Kollisionsvermeidung und zum Unfallrisikomanagement

System Hauptkomponenten:



Sensor, Smart-Farbdisplay und akustische Warnleuchte



Abbildung oben:
Die beiden am Radlader (vorne und hinten) montierten Systeme detektieren und lokalisieren in Echtzeit Personen und warnen den Fahrer im Gefahrenfall – ohne unnötig zu alarmieren.

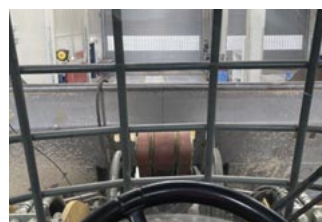
► Vernetzte KI-Personendetektion zur Vermeidung von Kollisionen mit mobilen Arbeitsmaschinen

Fahrzeuge und mobile Maschinen, die regelmäßig in der Nähe von Fußgängern betrieben werden stellen ein hohes Kollisionsrisiko dar, das nach wie vor die Ursache vieler Unfälle ist. Der Fahrer hat aufgrund der Ladung und der toten Winkel des Fahrzeugs eine schlechte Sicht.

Das kompakte, robuste System zur Personen-detektion 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. Radladern, Baggern, Dumpern zu vermeiden. Ein LCD-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 Radladers – 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.



► 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.



Abbildung rechts:
Beispiel einer automatischen Geschwindigkeitsbegrenzung bei einem Radlader

► Vermeidung von Fahrzeugkollisionen

Die Lösung geht über die Fußgängerdetektion hinaus: Sie detektiert und lokalisiert neben Personen auch weitere Fahrzeuge und spezifische Hindernisse im Umfeld und sorgt so für eine umfassende Vermeidung von Kollisionen.

Das trägt dazu bei, den Betrieb nicht durch Unfälle zu unterbrechen und ein hohes Produktivitätsniveau aufrechtzuerhalten.

► 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 höchsten Gefährdungspotenzial an und ermittelt, wann und wo das Unfallrisiko am höchsten ist. Unternehmen erhalten die Möglichkeit, die Sicherheit täglich proaktiv zu verbessern und die Wirksamkeit der umgesetzten Schutzmaßnahmen permanent zu überwachen.

Das System detektiert und lokalisiert andere Maschinen, um Kollisionen mit diesen zu vermeiden.



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.

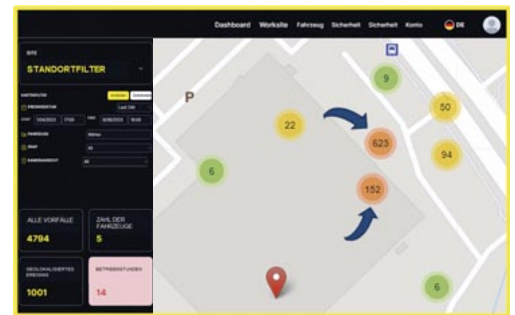
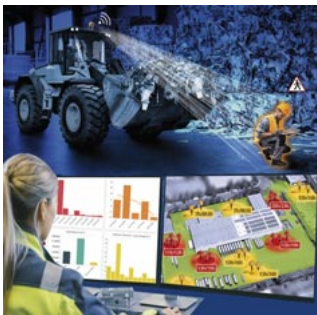


Überblick und Kontrolle der relevanten Gefährdungsfaktoren:

Die IoT-Lösung reduziert das Unfallrisiko um ein Drittel. (Ergebnis, das an den Einsatzorten beobachtet wurde).

Das Dashboard ermöglicht den Zugriff auf die relevanten Daten und das Identifizieren der gefährlichsten Fahrzeuge, Orte und Zeiten mit dem höchsten Unfallrisiko.

Mit einem Blick erkennt die verantwortliche Person, wo die höchste Wahrscheinlichkeit für Unfälle am jeweiligen Einsatzort liegt – und präventive Maßnahmen ergreifen.



Ziele: Die direkte Auswirkung der Maßnahmen am Standort visualisieren, um die Fußgänger-Maschinen-Koaktivität zu reduzieren.

Ermitteln, um welche Uhrzeit das Kollisionsrisiko zwischen Maschinen und Fußgängern am jeweiligen Standort am höchsten ist.

Anhand der Detektionen identifizieren, welche Maschine Personen gefährdet.



5.6 Chancen der Digitalisierung für den Arbeitsschutz bei mobilen Maschinen und stationären Anlagen

► Praxisbeispiel „Schutzeinrichtung für Schrapperanlagen mit Sternbunker von Betonmischwerken“

Der Stand der Technik für Sicherheitslösungen bei Schrapperanlagen mit Sternbunker (siehe Bild unten) hat sich erheblich weiterentwickelt. Die größte Gefahr im Automatikbetrieb der Baustoffindustrie bleibt das unbefugte Betreten oder Befahren der Materialboxen während des Betriebs.



Wie können die Gefährdungen bei der Interaktion von Mensch und Maschine reduziert werden?

Im Fokus stehen derzeit Schrapperanlagen mit Sternbunker in Betonmischwerken. Diese wurden ursprünglich für den Betrieb durch einen Maschinenführer in der Kabine konzipiert, der den Schrapperkübel und den Hauptgefährdungsbereich permanent überblicken konnte. So war es dem Bediener möglich, die Anlage bei Gefahr – etwa wenn eine Person unbefugt eine Materialprobe aus einer Box entnimmt – sofort manuell zu stoppen.

Abbildung oben: Schrapperanlage mit Sternbunker eines Betonmischwerks im laufenden Betrieb

► Automatisierungsprozesse in der Rohstoffindustrie erfordern neue Sicherheitskonzepte

Im Zuge der Automatisierung läuft die Schrapperanlage heute fast komplett bedienerlos: Während Lkw und Radlader – die weiterhin von Fahrern gesteuert werden – das Material anliefern und in den Erfassungsbereich schieben, zieht der Schrapper die Last vollautomatisch nach oben. Eine lückenlose Überwachung des Gefahrenbereichs fehlt in der Praxis meist. Zur Absicherung eines Gefahrenbereichs von vollautomatisierten Maschinenbewegungen sind jedoch Schutzeinrichtungen erforderlich.

Die folgenden zwei Seiten veranschaulichen, wie diese Sicherheitslücke durch die Konzeption eines funktional sicheren Systems geschlossen werden kann.

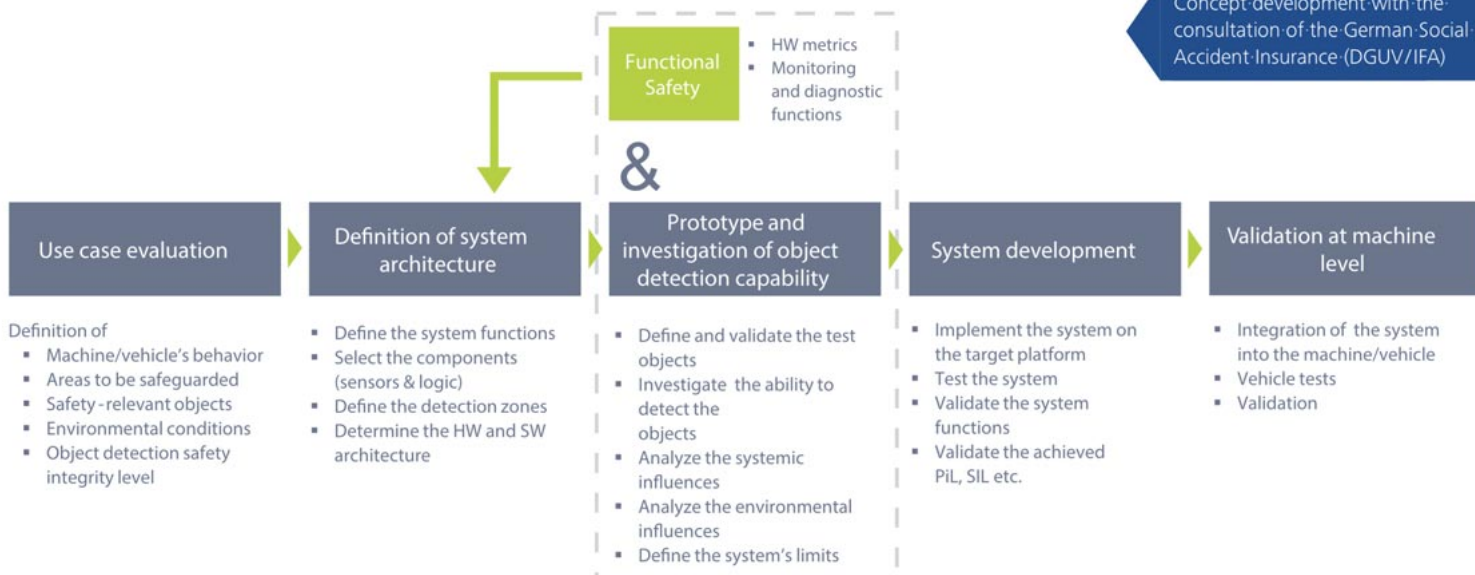
Der gewählte Ansatz sieht vor, gefahrbringende Maschinenbewegungen mithilfe moderner Sensorik automatisch zu erfassen und im Ernstfall einen zuverlässigen Stopp einzuleiten. Eine solche Innovation schließt eine kritische Technologielücke und kann Anlagenbetreibern künftig mehr Rechtssicherheit bieten.

Für derartige Aufgaben hat sich der im Folgenden dargestellte Entwicklungsprozess etabliert.



Visualisierung durch Sensordaten erfasster Gefährdungsrisiken

► Absicherung der Mensch-Maschine-Interaktion: Entwicklung intelligenter Algorithmen für zuverlässige Sensoren



► 1. Schritt: Analyse der Use-Cases

Im ersten Schritt werden gemeinsam mit dem Betreiber und der zuständigen Berufsgenossenschaft (hier die BG RCI) relevante Anwendungsfälle unter Berücksichtigung der Arbeitsschutzanforderungen analysiert und definiert. Kernaufgabe ist es, das System mit seinen Möglichkeiten, Grenzen sowie den potenziellen Gefahren und Risiken tiefgehend zu verstehen. Die vielfältigen Anforderungen, die sich je nach Anwendung ergeben – wie Staub, Wind, Wetter, schwierige Lichtverhältnisse, unterschiedliche Fahrzeug- und Maschinentypen, offenes Gelände oder ein Rund-um-die-Uhr-Betrieb (24/7) –, müssen als feste Parameter in die Systementwicklung einfließen.

► 2. Schritt: Systemdesign und Simulation

Im nächsten Schritt werden die Entscheidungen zur erforderlichen Systemarchitektur und dem Design getroffen, auf deren Basis die einzusetzende Sensorik passgenau ausgewählt werden kann. Hierbei liefert eine Simulationsumgebung („Digital Twin“/digitaler Zwilling, siehe Abbildung) wertvolle erste Erkenntnisse darüber, welche Sensortypen für den spezifischen Anwendungsfall und die jeweiligen Umweltbedingungen optimal geeignet sind.

Das in Schritt 2 beschriebene Vorgehen spart viel Zeit und Aufwand, da beispielsweise die zeitintensive Montage von Prototypen am Ausleger entfällt.

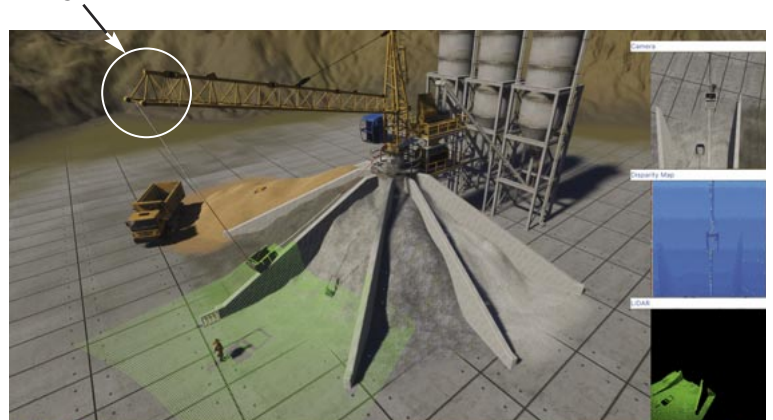
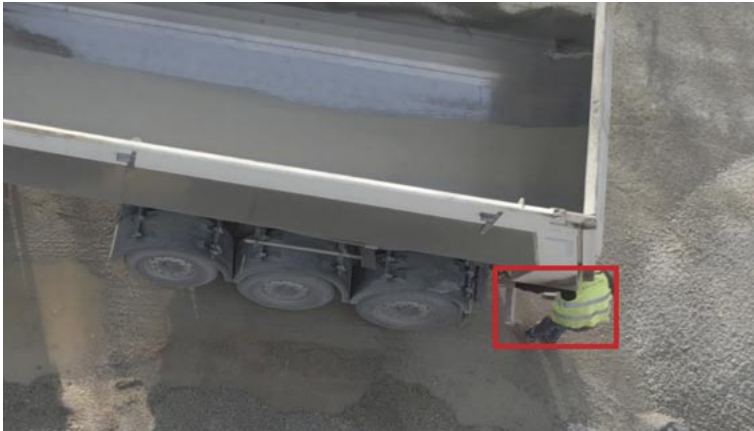


Abbildung oben: „Digital Twin“ Simulation einer Sternbunker-/Schrappieranlage mit Visualisierung der relevanten Kamera- und Sensordaten

► 3. Schritt: Prototypentwicklung

Darauf aufbauend wird ein Prototyp entwickelt, an einer realen Anlage erprobt und optimiert. Ziel ist es, dass nach erfolgreichem Projektabschluss durch den Einsatz dieses Systems der Unfallschutz in Transportbetonmischwerken flächendeckend signifikant gesteigert werden kann.



Entwicklung einer KI-basierten Schutzeinrichtung zur Absicherung von Schrapperanlagen

Zur Lösung der bestehenden Sicherheits- und Betriebsdefizite befindet sich aktuell ein System in der Entwicklung, welches eine Kamera mit Künstlicher Intelligenz (KI) kombiniert.

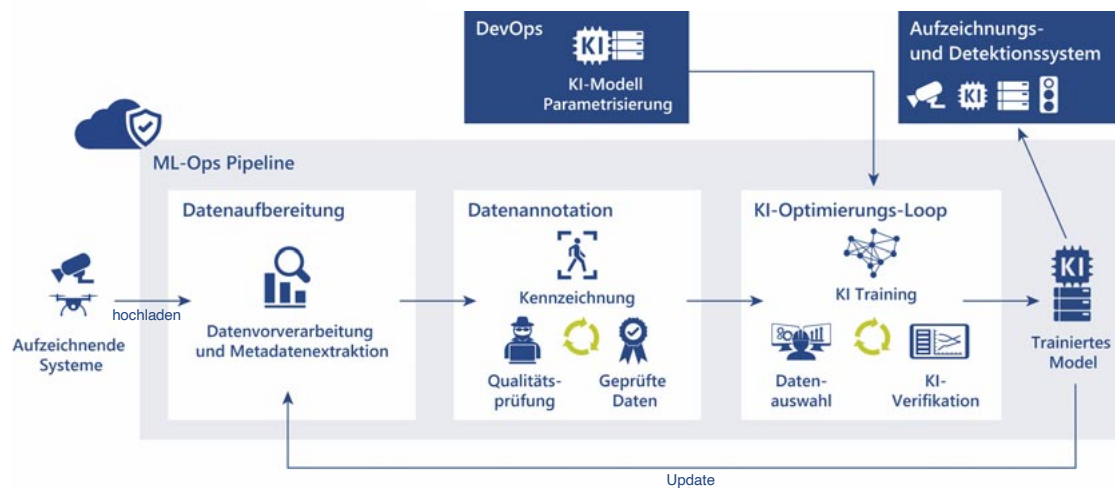
Leistungsfähigkeit durch KI-Algorithmen

Um die geforderte hohe Anlagenverfügbarkeit zu ermöglichen, setzt die Entwicklung auf KI-basierte Klassifizierungsalgorithmen. Diese arbeiten weitaus performanter als klassische Ansätze und können Objekte selbst

Dank aktueller KI-Technologien erkennt der Algorithmus auch schwierige Situationen, beispielsweise solche, in denen Personen von anderen Objekten teilweise verdeckt sind (siehe Foto oben).

bei wechselnden, schwierigen Gegebenheiten – wie Schüttgutbergen vor den Bunkern – präzise unterscheiden. Dank moderner KI-Technologien erkennt der Algorithmus auch komplexe Situationen zuverlässig, beispielsweise wenn Personen durch andere Objekte teilweise verdeckt sind.

Die Entwicklung funktional sicherer KI-Anwendungen stellt jedoch eine besondere Herausforderung dar. Da sich KI-Modelle, insbesondere Deep-Learning-Ansätze, durch eine inhärente „Black-Box-Charakteristik“ auszeichnen, ist die Nachvollziehbarkeit der Systemscheidungen hochkomplex. (Siehe dazu die folgende Grafik)



Ausblick:

Erfolgreiche Tests liefern greifbare Praxisdaten und bestätigen den gewählten Weg. Auf Basis dieser Betriebsergebnisse wird das System weiterentwickelt und dem erforderlichen Konformitätsbewertungsverfahren nach MRL 2006/42/EG unter Einbeziehung einer notifizierten Stelle unterzogen.

Dieser strukturierte Ablauf gewährleistet Transparenz und Nachvollziehbarkeit im Softwareprozess. Durch die Automatisierung und Standardisierung der einzelnen Schritte wird der gesamte KI-Entwicklungsverlauf lückenlos dokumentiert. Dies erleichtert die fundierte Analyse des Systemverhaltens und die gezielte Identifikation von Schwachstellen.

Durch eine kontinuierliche Optimierungsschleife (Update) wird das System fortlaufend angepasst:

Neue Daten und Erkenntnisse fließen direkt ein und das KI-Modell regelmäßig aktualisiert.

Ergänzend werden Simulationen und virtuelle Tests eingesetzt, um das Systemverhalten in kritischen Szenarien zu prüfen, die in der Realität schwer oder mit hohem Risiko reproduzierbar sind. Die systematische Untersuchung dieser Situationen und die Modellpflege erhöhen die Betriebssicherheit der KI-Anwendung und stärken die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems.

5.7 Aktive Personendetektion mit Bremsassistent bei Rückwärtsfahrten (Radlader)

Einen wesentlichen Schritt zu noch mehr Sicherheit beim Einsatz großer mobiler Arbeitsmaschinen leistet die Entwicklung des aktiven Bremsengriffs bei Erdbaumaschinen.

Trotz Ausrüstung mit einem KMS ereignen sich schwere bis tödliche Unfälle beim Einsatz von mobilen Maschinen. Besonders beim Rückwärtsfahren von großen Erdbaumaschinen besteht ein erhöhtes Gefährdungspotenzial.

Die in Kapitel 3 beschriebene Warnung durch Sensoriksysteme bietet zusätzliche Sicherheit, erfordert aber weiterhin das aktive Handeln des Fahrers/Bedieners. Fehler können auch bei großer Sorgfalt und Erfahrung passieren.

Auch bei einem aktiven Assistenzsystem trägt der Fahrer die Verantwortung!

Daher ist seine erhöhte Aufmerksamkeit beim Rückwärtsfahren/Rangieren auch mit Assistenzsystem unbedingt erforderlich.

Ein aktives Assistenzsystem – das unabhängig vom Reagieren des Menschen funktioniert – kann einen noch wirksameren Schutz bei Sichtfeldeinschränkung bieten. Das System umfasst eine

Kombination aus Kamerasensorik + Datenauswertung + Reduktion der Geschwindigkeit

► Bei Kollisionsgefahr verzögert der Radlader selbstständig

Die **aktive Personendetektion** überwacht den Heckbereich des Radladers und warnt den Fahrer vor drohenden Kollisionen. Dabei unterscheidet die intelligente Sensorik Personen von Objekten: **Werden Personen im hinteren Rangierbereich erkannt, alarmiert das System den Fahrer früher als bei Objekten** (Vermeidung unnötiger Warnsignale).

Der **Bremsassistent** reduziert automatisch die Geschwindigkeit des Radladers bis zum Stillstand, sobald eine Gefahrenquelle erkannt wird.

Der Bremsvorgang wird früher und schneller eingeleitet als beim herkömmlichen Abbremsen – da die menschliche Reaktionszeit entfällt.

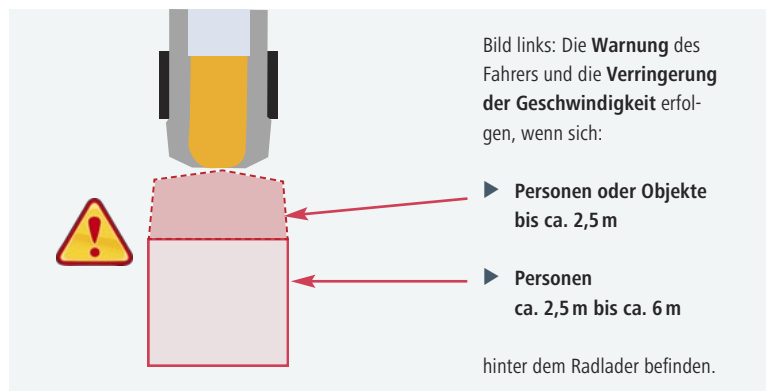


Bild oben: Darstellung der Personendetektion im hinteren Bereich des Radladers, die sowohl die Warnung an den Fahrer als auch den automatischen Bremsvorgang der Maschine auslöst.

Technische Optionen:

Die aktive Personendetektion heckseitig plus Bremsassistent ist optional auch kombinierbar, z. B. mit

- einer Frontkamera zur Überwachung des vorderen Arbeitsbereichs oder
- einem 360-Grad-System zur Erfassung des kompletten Arbeitsumfelds aus der Vogelperspektive und/oder
- einer adaptiven Arbeitsbeleuchtung für das Arbeiten bei Dunkelheit.



6 Allgemeine Grundlagen für die Beschaffung und den Betrieb



Für die Konfiguration eines Systems unbedingt die jeweiligen Herstellerangaben 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-/Sensor-systeme) 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/ ein Fahrzeug herum vorgesehen.
- Anzeigen, Kamerabilder, Warnsignale müssen für den Fahrer eindeutig und überschaubar dargestellt sein – drohende Gefährdungen sofort erkannt werden können.

► Betriebsbereitschaft

Warn- und Sensoriksysteme müssen ebenso wie das Kamera-Monitor-System beim Start der mobilen Maschine/des Fahrzeugs 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:

- dem Einsatzort, den Einsatzbedingungen, dem daraus resultierenden notwendigen Erfassungsbereich gefährdeter Personen und Objekte,
- der Konstruktionsweise und den ergonomischen Anforderungen an die Maschine.

► Einweiser

Ist keine ausreichende Sicht (weder direkt, noch mittels technischer Maßnahmen wie Spiegel, KMS, Sensorik) möglich, sind Einweiser erforderlich!

Nur wenn durch die Nutzung von geeigneten Einrichtungen, wie KMS oder Assistenzsystemen die uneingeschränkte Überwachung des Fahrwegs gewährleistet ist, darf auf den Einweiser verzichtet werden. Technische Maßnahmen haben Vorrang – der Einweiser ist die Ausnahme!

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.

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, Prüfzeiten).

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 die mobile Maschine

- ▶ vom Bediener/Fahrer auf den betriebs-sicheren Zustand und auf augenfällige Mängel zu beobachten.
- ▶ Festgestellte Mängel sind sofort dem Vorgesetzten mitzuteilen. Bei einem Wechsel des Bedieners/Fahrers auch dem ablösenden Mitarbeiter – und
- ▶ Mängel sind zur Sicherheit zu dokumentieren!

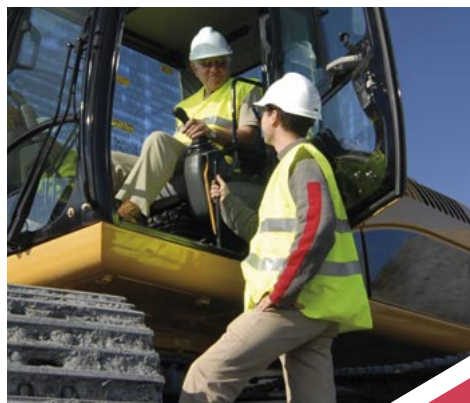
- ▶ **Bei Mängeln** an KMS, Warn- oder Sensoriksystemen, die die Betriebssicherheit gefährden, ist der Betrieb der Maschine bis zur Beseitigung der Mängel einzustellen.

▶ 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.

Wiederkehrende Prüfungen der mobilen Maschine:

- ▶ Im Rahmen der wiederkehrenden Prüfungen ist auch das Sichtfeld durch die zur Prüfung befähigte Person zu berücksichtigen!

Prüfung von Fahrzeugen auf Betriebssicherheit:

- ▶ **DGUV Grundsatz 314-003 beachten (seit 01/2023); er betrifft die Verkehrs- und auch die Arbeitssicherheit.**

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 nutzer-verständlich 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
- ▶ **EmpfBS 1201** – Leitfaden zur Umsetzung von Prüfanforderungen nach verschiedenen Rechtsvorschriften
- ▶ **DGUV Vorschrift 38** – UVV Bauarbeiten
- ▶ **DGUV Regel 101-038** – Bauarbeiten
- ▶ **DGUV Regel 100-500** – Betreiben von Arbeitsmitteln, Kapitel 2.12 Erdbaumaschinen
- ▶ **DGUV Regel 101-604** – Branche Tiefbau
- ▶ **DGUV Regel 109-009** – Fahrzeuginstandhaltung
- ▶ **DGUV Grundsatz 301-005** – Qualifizierung und Beauftragung von Fahrern und Fahrerinnen von Hydraulikbaggern und Radladern
- ▶ **DGUV Prüfgrundsatz 314-003** – Prüfung von Fahrzeugen auf Betriebssicherheit
- ▶ **StVO** – Straßenverkehrs-Ordnung

▶ **BetrSichV Anhang 1** Auszug: „1.5 Der Arbeitgeber hat **vor** der ersten Verwendung von mobilen selbstfahrenden Arbeitsmitteln Maßnahmen zu treffen, damit sie ...

e) über **geeignete Hilfsvorrichtungen, wie zum Beispiel Kamera-Monitor-Systeme** verfügen, die eine Überwachung des Fahrwegs gewährleisten, falls die direkte Sicht des Fahrers nicht ausreicht, um die Sicherheit anderer Beschäftigter zu gewährleisten ...“

▶ **TRBS 2111 Teil 1** Auszug: „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 Kamera-Monitor-Systemen, 360-Grad-Kamera-Systemen, Zusatzspiegeln, ...
- Warnung der Bediener mobiler Arbeitsmittel durch **Systeme zur Erkennung von Personen oder Hindernissen, z. B. funkbasierte Anwendungen, Transponder- und RFID-Erkennungssysteme.**“

▶ **StVO § 9 Abs. 5** Auszug: „Wer ein Fahrzeug führt, muss sich beim Abbiegen in ein Grundstück, beim Wenden und beim Rückwärtsfahren darüber hinaus so verhalten, dass eine Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer ausgeschlossen ist; **erforderlichenfalls muss man sich einweisen lassen.**“

Empfehlungen zur Verbesserung der Sicht –

Informieren Sie sich als Betreiber/ Arbeitgeber laufend über den neuesten Stand der Technik.

- ▶ Direktsicht muss immer Priorität haben.
- ▶ Keine Spiegel-zu-Spiegel-Systeme verwenden.
- ▶ Sichthilfsmittel in Vorwärtsrichtung anbringen.
- ▶ Sichthilfsmittel müssen im vorderen 180° Blickfeld des Fahrers einsehbar sein.
- ▶ Sichthilfsmittel dürfen nicht durch bewegliche Teile und nicht durch Um- bzw. Anbauten beeinträchtigt werden.

Checks für die Praxis, z. B.:

- ▶ Checkliste für die vereinfachte Überprüfung des Sichtfeldes, DGUV-Sachgebiet Tiefbau
- ▶ Sicht an Erdbaumaschinen, VBG Handlungshilfe
- ▶ Radlader mit Leichtgutschaufel, DGUV „Fachbereich AKTUELL“, FBHM-109

Betrifft Hersteller:

- ▶ **MRL** – EU-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG (siehe Hinweis rechts außen)
- ▶ **ProdSG** – Produktsicherheitsgesetz
- ▶ **9. ProdSV** – 9. Verordnung zum ProdSG („Maschinenverordnung“)
- ▶ **EN 474** – Erdbaumaschinen Sicherheit (siehe Hinweis rechts außen)
- ▶ **ISO 5006** – Erdbaumaschinen – Sichtfeld – Testverfahren und Anforderungskriterien
- ▶ **ISO 13766** – Erdbaumaschinen – Elektromagnetische Verträglichkeit von Maschinen mit internem elektrischen Bordnetz
- ▶ **ISO 14401** – Erdbaumaschinen – Sichtfeld zur Überwachung und Rückspiegel
- ▶ **ISO 15008** – Anforderungen an Display-systeme in Fahrzeugen
- ▶ **ISO 16001** – Erdbaumaschinen – Objekterkennungssysteme und Sichthilfsmittel – Leistungsanforderungen und Prüfverfahren
- ▶ **ISO 21815** – Erdbaumaschinen - Kollisionswarnung und -vermeidung - Teil 3: Gefahrenbereich und Risikograd - Vorwärts-/Rückwärtsbewegung
- ▶ **EN 300 328** – „Funkrichtlinie“ – Breitband-Übertragungssysteme
- ▶ **UNECE R46** – Einrichtungen für indirekte Sicht und deren Anbringung
- ▶ **UNECE R125** – Vorderes Sichtfeld

- ▶ **DGUV Prüfgrundsatz GS-BAU-70** – Grundsätze für die Prüfung und Zertifizierung von sicherheitsrelevanten Assistenzsystemen an Maschinen und Nutzfahrzeugen
- ▶ **DGUV Prüfgrundsatz GS-BAU-71** – Grundsätze für die Prüfung von Personendetektionssystemen für mobile Arbeitsmaschinen
- ▶ **DGUV Test Information 05** – Allgemeine Grundsätze für die sicherheitstechnische Bewertung von künstlicher Intelligenz (KI)

Anforderungen Funktionale Sicherheit, z. B.

- ▶ **EN ISO 12100** – Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung
- ▶ **EN ISO 13849** – Sicherheit von Maschinen – Sicherheits-bezogene Teile von Steuerungen
- ▶ **ISO 19014** – Erdbaumaschinen – Funktionale Sicherheit (ersetzt ISO 15998)
- ▶ **EN ISO 20607** – Sicherheit von Maschinen – Betriebsanleitung – Allgemeine Gestaltungsgrundsätze

Anforderungen an Cyber-Sicherheit, z. B.:

- ▶ **ISO/SAE 21434** – Globaler Cybersecurity-Standard für die gesamte Fahrzeugindustrie – inklusive Bau- und Landmaschinen

Ergänzende Hinweise

MRL (2006/42/EG):
Die EU-Maschinenrichtlinie (MRL) wird durch die neue EU-Maschinenverordnung abgelöst. Diese neue Verordnung (EU) 2023/1230 ist ab 20.01.2027 verbindlich für das Inverkehrbringen von Maschinen.

EN 474 und ISO 5006:
Mit der Ausgabe 2023 der EN 474 gilt für die Sichtfeldanforderungen wieder Vermutungswirkung.

EN ISO 20607:
ergänzt die Anforderungen der EN ISO 12100 bzgl. Benutzerinformationen und Betriebsanleitung.



Betrifft Beschäftigte:

Bitte beachten:

Auch beim Einsatz von Assistenzsystemen liegt die Verantwortung grundsätzlich beim Bediener/Fahrer. Bei Unklarheiten oder Problemen den Vorgesetzten informieren.

Zur eigenen Sicherheit und zum Schutz der Kollegen immer die Persönliche Schutzausrüstung (PSA) tragen!



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.



Sind Arbeiten auszuführen, bei denen sich Personen im Gefahrenbereich befinden, muss der Arbeitgeber besondere Schutzmaßnahmen festlegen!

Pflichten des Arbeitnehmer (Fahrer/Bediener)

- ▶ Nur beauftragte Beschäftigte dürfen die mobile Maschine benutzen.
 - ▶ Betriebsanleitung des Herstellers und Betriebsanweisung beachten.
 - ▶ Täglich vor Einsatzbeginn die mobile Maschine auf erkennbare Mängel überprüfen.
 - ▶ Mobile Maschinen 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.
 - ▶ Mit Arbeitseinrichtungen von Erdbaumaschinen dürfen keine Personen befördert werden.
 - ▶ Die mobile Maschine nur vom Steuerplatz aus bedienen.
 - ▶ Beschäftigte und andere Dritte dürfen durch die mobile Maschine nicht gefährdet werden.
-
- ▶ **Der Maschinenführer darf mit der mobilen Maschine Arbeiten nur ausführen, wenn sich keine Personen im Gefahrenbereich aufhalten.**
 - ▶ **Für die Kollegen gilt: Nicht im Gefahrenbereich der Maschine aufhalten!**

7.1 Ausblick Funktionale Sicherheit: Normen für KI in Safety-Anwendungen

Die klassischen Ansätze der ISO 13849 stoßen bei lernenden, nicht-deterministischen Systemen an ihre Grenzen. Hier setzt die kommende ISO/IEC TS 22440 „Artificial intelligence – Functional safety and AI systems“ an. Sie schließt die Lücke zur klassischen funktionalen Sicherheit und definiert Anforderungen für den gesamten Lebenszyklus von KI-Systemen. Dabei geht es vor allem um drei Kernpunkte:

► **Umgang mit Nicht-Determinismus:**

Wie wir sicherstellen, dass KI-Modelle im Betrieb verlässlich und vorhersagbar reagieren.

► **KI-Sicherheitslebenszyklus:**

Vorgaben, die bereits bei der Auswahl der Trainingsdaten ansetzen und bis zur Validierung im laufenden Betrieb reichen.

► **Architekturmuster:**

Wie wir KI-Komponenten mit klassischen, deterministischen Schutzebenen (z. B. einer Absicherung nach ISO 13849) kombinieren.

ISO/IEC TS 22440

Veröffentlichung der Normenreihe, erwartet voraussichtlich Anfang 2027.

Nicht-Determinismus

bedeutet, dass ein Ablauf und sein Ergebnis nicht eindeutig vorherbestimmt sind. Selbst bei gleichen Ausgangsbedingungen existieren mehrere mögliche Verläufe.

► Was wir aus anderen Branchen lernen können: Die ISO 8800

Ein Blick auf den Automotive-Sektor zeigt, wie komplexe KI-Absicherungen in der Praxis funktionieren können. Aus der ISO/PAS 8800 „Road Vehicles – Safety and Artificial Intelligence“ lassen sich wichtige **Best Practices auf die Industrie übertragen**:

► **Der „Safety Case“:**

Ein argumentativer Sicherheitsnachweis statt dem bloßen Abarbeiten von Checklisten.

► **Daten als Teil des Systemdesigns:**

Die Qualität der Trainingsdaten (und die Vermeidung von systematischem Bias) wird zum zentralen Hebel für die Zulassung.

► **Robustheitsprüfungen:**

Gezielte Störungstests (Adversarial Testing), um beispielsweise optische Sensorik unter schwierigen Bedingungen abzusichern.

► Der Weg zur sicheren KI – Was wird benötigt?

Um diese **hochdynamischen normativen Vorgaben** – wie kontinuierliche Datenqualitätsprüfungen und automatisierte Robustheitstests – im Engineering-Alltag überhaupt beherrschbar zu machen, reicht der klassische, hardware-fokussierte Entwicklungsprozess nicht mehr aus. Ein sicherer KI-Einsatz (Safe AI) erzwingt den Übergang zu einer **Software-defined Construction**-Architektur.

Erst die Ablösung der klassischen Entwicklung durch eine moderne Software Factory ermöglicht es, die geforderten Sicherheitsnachweise via **Continuous Assurance** automatisiert und kontinuierlich während des gesamten Lebenszyklus direkt in der Software-Pipeline zu validieren. Ohne diese automatisierte Pipeline-Infrastruktur ist eine normenkonforme Zulassung und Wartung von KI-Systemen in Sicherheitsanwendungen wirtschaftlich und technisch kaum realisierbar.

Software-defined Construction (SDC)

bezeichnet einen Entwicklungsansatz, bei dem Hard-, Software und KI-Funktionalität klar voneinander getrennt, modularisiert und vollständig durch Software gesteuert werden.

Continuous Assurance

bedeutet, dass ein KI-System seine Sicherheit fortlaufend nachweisen muss – durch Tests, Monitoring, Dokumentation und Compliance während der Entwicklung, Integration und dem Betrieb.

8 Glossar, Abkürzungen

Begriffserläuterungen (alphabetisch)

A, B, C, D

- ▶ **AI** – Artificial Intelligence (Künstliche Intelligenz)
- ▶ **ArbSchG** – Arbeitsschutzgesetz
- ▶ **BetrSichV** – Betriebssicherheitsverordnung
- ▶ **BIM** – Building Information Modeling
- ▶ **Birdview** – Sicht aus der Vogelperspektive
- ▶ **BMAS** – Bundesministerium für Arbeit und Soziales
- ▶ **BMDV** – Bundesministerium für Digitales und Verkehr
- ▶ **CAN-Bus** – Schnittstelle für seriellen Datenaustausch zwischen Steuergeräten (Controller Area Network)
- ▶ **Cyber Security** – Verfahren und Richtlinien zur Verteidigung vor Cyberangriffen und deren Auswirkungen
- ▶ **CV** – Nutzfahrzeuge (Commercial Vehicles)
- ▶ **DGUV** – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

E, F, G, H

- ▶ **ECU** – Elektronische Steuereinheit (Electronic Control Unit)
- ▶ **EmpfBS** – Empfehlung zur Betriebssicherheit
- ▶ **Funktionale Sicherheit** – Sicherheit elektrischer/elektronischer Steuerungssysteme
- ▶ **HD** – Hohe Bildauflösung (High Definition)

I, J, K, L

- ▶ **IP67** – Staub- und Wasserdichtigkeit von Elektronik; nicht robust gegenüber Hochdruckreinigung
- ▶ **IP69K** – Staub- und Wasserdichtigkeit von Elektronik; robust gegenüber Hochdruckreinigung
- ▶ **ISO** – Internationale Organisation für Normung
- ▶ **KI** – Künstliche Intelligenz (englisch: AI)
- ▶ **KMS** – Kamera-Monitor-System
- ▶ **Lidar** – Detektion auf Basis von gepulstem Laserstrahl (Light/Laser Detection and Ranging)
- ▶ **LoF** – Land- oder Forstwirtschaft
- ▶ **LPS** – Local Positioning System

M, N, O

- ▶ **MLOps** – „Machine Learning Operations“ optimieren den Übergang von Machine-Learning-Modellen in die Produktion

- ▶ **NRMM** – Nicht straßengebundene mobile Maschinen, z. B. Baumaschinen, LoF/ Land- oder forstwirtschaftliche Maschinen (Non Road Mobile Machinery)

P, Q, R

- ▶ **PSA** – Persönliche Schutzausrüstung
- ▶ **Radar** – Detektion auf Basis von elektromagnetischen Wellen (Radio Detection and Ranging)
- ▶ **RFID** – Detektion auf Basis von Funkwellen/elektromagnetischen Wellen (Radio Frequency Identification)

S, T, U, V

- ▶ **SiBe/SiB** – Sicherheitsbeauftragter
- ▶ **SiFA** – Fachkraft für Arbeitssicherheit/
- ▶ **SiGeKo** – Sicherheits- und Gesundheitschutzkoordinator
- ▶ **SKW** – Schwerlastkraftwagen
- ▶ **Splitscreen** – geteilte Monitoransicht zur zeitgleichen Darstellung mehrerer Kamerabilder
- ▶ **StVO** – Straßenverkehrs-Ordnung
- ▶ **StVZO** – Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
- ▶ **Surroundview** – Rundumsicht
- ▶ **ToF** – Laufzeitmessung mit gebündeltem Lichtstrahl/ Infrarot (Time of Flight)
- ▶ **TOP-Prinzip** – Vorrang von technischen Maßnahmen vor organisatorischen und persönlichen (siehe Gefährdungsbeurteilung; BetrSichV)
- ▶ **TRBS** – Technische Regeln zur Betriebssicherheit
- ▶ **UNECE** – Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (United Nations Economic Commission for Europe)
- ▶ **UVV** – Unfallverhütungsvorschrift
- ▶ **UWB** – Ultra Breitband (Ultra Wideband)

1,2,3...

- ▶ **3DTM** – dreidimensionale Umfeldkartierung (3D-Terrain-Mapping)



Nutzen Sie die 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:

► 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

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.

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 Website zur Verfügung:
www.netzwerk-baumaschinen.de

► Wir bedanken uns für das zur Verfügung gestellte Bildmaterial bei:

Titelseite, S. 2, 4: Netzwerk Baumaschinen; S. 5: Netzwerk Baumaschinen, Brigade Electronics (EU) B.V., BG BAU; S. 6: Brigade Electronics (EU) B.V., Arcure Blaxtair SA; S. 7: Brigade Electronics (EU) B.V., ITK Engineering GmbH; S. 8: Mekratronics GmbH, Motec GmbH, Brigade Electronics (EU) B.V.; S. 9: Mekratronics GmbH, Motec GmbH; S. 10: Netzwerk Baumaschinen, Motec GmbH, Brigade Electronics (EU) B.V.; S. 11: Luis Technology GmbH, Bosch Engineering GmbH; S. 12: Luis Technology GmbH, Brigade Electronics (EU) B.V., Motec GmbH; S. 13: Mekratronics GmbH, CNH Industrial Deutschland GmbH; S. 14: Mekratronics GmbH; S. 15: Motec GmbH; S. 16: Netzwerk Baumaschinen; S. 17: Arcure Blaxtair SA, Mekratronics GmbH, Bosch Engineering GmbH, Brigade Electronics (EU) B.V.; S. 18: Motec GmbH, fact3 network e.K., Brigade Electronics (EU) B.V., Bosch Engineering GmbH; S. 19: Netzwerk Baumaschinen, Bosch Engineering GmbH, Brigade Electronics (EU) B.V.; S. 20: Brigade Electronics (EU) B.V., Motec GmbH, fact3 network e.K., Mekratronics GmbH; S. 21: Netzwerk Baumaschinen, Bosch Engineering GmbH, Brigade Electronics (EU) B.V., Mekratronics GmbH; S. 22: Netzwerk Baumaschinen, fact3 network e.K.; S. 23: Netzwerk Baumaschinen; S. 24: Advanced Microwave Engineering Srl, Brigade Electronics (EU) B.V., fact3 network e.K.; S. 25: Advanced Microwave Engineering Srl; S. 26: Arcure Blaxtair SA, fact3 network e.K.; S. 27: Arcure Blaxtair SA; S. 28, 29: Brigade Electronics (EU) B.V.; S. 32, 33: Luis Technology GmbH; S. 34: Luis Technology GmbH, Arcure Blaxtair SA; S. 35: Motec GmbH, Brigade Electronics (EU) B.V., Luis Technology GmbH, Mekratronics GmbH; S. 36-38: Motec GmbH; S. 39: Luis Technology GmbH; S. 40: Brigade Electronics (EU) B.V.; S. 41: EYYES GmbH; S. 42, 43: Arcure Blaxtair SA; S. 44: TEKA Maschinenbau GmbH, ITK Engineering GmbH; S. 45, 46: ITK Engineering GmbH; S. 47: Netzwerk Baumaschinen; S. 48: Netzwerk Baumaschinen, Zeppelin Baumaschinen GmbH; S. 49: Zeppelin Baumaschinen GmbH; S. 51, 52: Netzwerk Baumaschinen; S. 53: ITK Engineering GmbH; S. 55: Götting KG.

Aufgenommen mit freundlicher Genehmigung vor Ort bei: Cronenberger Steinindustrie, Mammendorf (Cover); Hanson Hispania, Madrid (S. 2, 21, 23); Zeppelin Baumaschinen, München (S. 4, 19, 23); Erzeuger-Genossenschaft Neumark e.G. (S. 5, 23); Cees de Regt, Gültitz (S. 5); Breitsamer Entsorgung & Recycling, München (S. 10, 47, 50); Heidelberg Materials Donau-Naab GmbH & Co. KG, Parsberg (S. 16); Cimpor SGPS S.A., Lissabon (S. 22); PORR Deutschland (S. 54).

Die im Netzwerk vertretenen Hersteller von Kamera-, Sensorik, Assistenz-, KI-Systemen finden Sie unter:



<https://www.netzwerk-baumaschinen.de/Hersteller.html>

Fachliches Netzwerk Baumaschinen – 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
BV MIRO – Bundesverband Mineralische Rohstoffe e.V.
Deutscher Sprengverband e.V.
Hochschule Osnabrück – Labor für Intelligente Sensorsysteme
IG BAU – Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt
KAN – Kommission Arbeitsschutz und Normung
SVLFG – Sozialversicherung für 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.

