



Personen-/Objekterkennung, Warnung in Gefahrenbereichen

**Kamera-, Sensoriksysteme, intelligente Software bei
mobilen Arbeitsmaschinen (Baumaschinen – Mining)**

Sicherheit und Effizienz beim Einsatz von mobilen Maschinen/NRMM
und Nutzfahrzeugen/CV

Leitfaden für Betreiber, Beschäftigte, Hersteller und Aufsichtspersonen

Der Nachdruck und das Zur-Verfügung-Stellen für die Mitgliedsbetriebe der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Netzwerk Baumaschinen.

Stand 04/2025

Kontakt BG RCI (Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie)

Präventionsabteilung Grundsatzfragen und Information
Postfach 10 14 80, 69004 Heidelberg
Theodor-Heuss-Straße 160, 30853 Langenhagen

E-Mail: verkehrssicherheit@bgrci.de
Internet: www.bgrci.de

Kontakt Netzwerk Baumaschinen

fact3 network e.K.
Wilhelmshöher Allee 262, 34131 Kassel

Telefon: 0561 81041-11

E-Mail: info@netzwerk-baumaschinen.de
Internet: www.netzwerk-baumaschinen.de

Personen-/Objekterkennung, Warnung in Gefahrenbereichen

Kamera-, Sensoriksysteme, intelligente Software bei mobilen Arbeitsmaschinen (Baumaschinen – Mining)

Sicherheit und Effizienz beim Einsatz von mobilen Maschinen/NRMM und Nutzfahrzeugen/CV
Leitfaden für Betreiber, Beschäftigte, Hersteller und Aufsichtspersonen



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 Objekterkennung 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 47).



Der im Netzwerk erarbeitete Leitfaden

„Personen-/Objekterkennung, Warnung in Gefahrenbereichen“ gibt einen Überblick über technische Maßnahmen wie zum Beispiel:

- ▶ Kamera-Monitor-Systeme
- ▶ Warn-/Sensorik-/Assistenzsysteme
- ▶ intelligente Software zur Objekterkennung
- ▶ KI-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 (270°- bis 360°-Surroundview)	10
2.2.1	Rundumsicht aus der Vogelperspektive (Birdview)	12
2.2.2	Darstellung einer Rundumsicht aus Einzelansichten	13
2.3	Spiegelerersatzsysteme	14
2.4	Übertragungstechnologien	15
2.5	Klassische Systeme im Vergleich zu KI-basierten Kameras	16
3	Personen- und Objekterkennung – Warn-/Assistenzsysteme	17
3.1	Ultraschallsysteme	18
3.2	Radarsysteme	20
3.3	Lidarsysteme	22
3.4	Transponder-/TAG-basierte Systeme	24
3.5	3D-Kamerasensoren (3D-Snapshot-Vision)	26
4	Akustische Warnsignale für Personen in der Umgebung	28
4.1	Breitband-Tonwarner	29
5	Personen- und Objekterkennung – mit intelligenter Software und KI	30
5.1	Künstliche Intelligenz (KI)	31
5.1.1	Sichere und zertifizierbare KI	32
5.2	Personen-/Objektdetektion mittels künstlicher Intelligenz	34
5.3	KI-Lösungen zur Erhöhung der industriellen Sicherheit und Produktivität	36
5.4	Aktive KI-Personenerkennung mit Bremsassistent bei Rückwärtsfahrten (Radlader)	38
5.5	3D-Terrain-Mapping (3DTM)	39
5.6	Chancen der Digitalisierung für den Arbeitsschutz bei mobilen Maschinen und stationären Anlagen – Praxisbeispiel	40
5.7	Automatisierungssoftware für Baumaschinen	43
5.8	Intelligente Videoanalyse zur Erkennung von Persönlicher Schutzausrüstung	44
	Europäisches Projekt DIGIECOQUARRY (DEQ)	46
	Publikationen des Netzwerks	47
6	Allgemeine Grundlagen für die Beschaffung und den Betrieb	48
7	Regelwerke und Normen für Betreiber/Arbeitgeber, Hersteller, Beschäftigte/Arbeitnehmer	50
8	Glossar, Abkürzungen	53
	Impressum, Bildquellennachweis, fachliche Unterstützung	54

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 mit weitreichenden Folgen:

- ▶ Störungen im Arbeitsablauf
- ▶ Stress für die den Betroffenen
- ▶ Erhöhtes Unfallrisiko

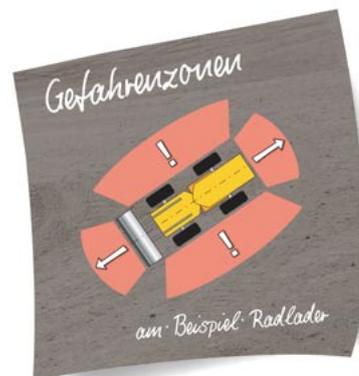
▶ Erste Forderung: Sicht auf Gefahrenbereiche!

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 erkennen, 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

Reicht die direkte Sicht des Fahrers/Bedieners auf den Arbeitsbereich nicht aus, um dort Personen und Gegenstände sicher zu erkennen, sind vorrangig technische Maßnahmen nach dem „TOP-Prinzip“ festzulegen und umzusetzen.

Hierarchie für Schutzmaßnahmen:

- 1. Technisch:** Sichtverbessernde Einrichtungen wie Kamera-Monitor-Systeme einsetzen, die eine ausreichende Sicht gewährleisten. Auch prüfen, ob zusätzliche Warn-/Sensor-/Assistenzsysteme zur Personen-/Objekterkennung 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 Objekterkennungssystemen

Sicht auf Fahrbahn und Gefahrenbereiche ermöglichen



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

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

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

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

In besonders unübersichtlichen Situationen (z. B. beim Auf-/Abladen oder bei fließendem Verkehr) Einweiser einsetzen! Diesen unbedingt vorher über die Zeichengebung instruieren.



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

Mögliche Gefährdungen im Einsatzbereich mobiler Maschinen ermitteln, geeignete Schutzmaßnahmen nach dem „TOP-Prinzip“ umsetzen und dokumentieren:

- ▶ Technische Maßnahmen haben stets Vorrang vor
- ▶ Organisatorischen und
- ▶ Persönlichen Maßnahmen

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**

Niemand kann dauerhaft voll konzentriert alle Bedienvorgänge seiner mobilen Maschine bzw. seines Fahrzeugs überwachen. Beste Sichtverhältnisse und zusätzliche Maßnahmen zur Sichtverbesserung nutzen nur, solange der Fahrer die Gefahrenbereiche gleichzeitig und aufmerksam im Blick hat. Eine nachlassende Konzentration kann sein Reaktionsvermögen stark einschränken und zusätzliche Gefahren verursachen. **Ursachen für Ermüdung und nachlassende Reaktionsfähigkeit:**

- Hohe Arbeitsintensität, Zeit- und Termindruck
- Komplexe Aufgaben
- Komplett fehlende oder ungenügende Gefährdungsbeurteilungen
- Ungünstige Witterungs- und Sichtverhältnisse
- Ergonomische Einflüsse
- Ermüdung
- Hohe Lärmpegel, dichte Verkehrslagen
- Monotone Abläufe
- Psychische Stressfaktoren

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



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 werksseitig auf der mobilen Maschine angebaut. Dann kann sinnvollerweise ein sensorisches System gegen nachlassende Aufmerksamkeit ergänzt werden.

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

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

Auch wenn klare Sicht gewährleistet ist und Warn-/Sensorik-/Assistenzsysteme für bestmögliche Aufmerksamkeit sorgen, verbleiben viele weitere Aufgaben für den 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 liefert die Basis, um Maschinen „intelligenter“ zu machen

Während bisher Kamera-/Sensorsysteme, entsprechend ihrer anforderungsbedingten Spezifikationen, unabhängig voneinander an gleichen Aufgaben wirken – zum Beispiel der Detektion von Personen und Objekten in Gefahrenbereichen – ermöglichen digitalisierte Prozesse weitere Lösungswege.

Digitale Prozesse verbinden Informationen von mehreren integrierten Sensoren. Die parallel erfassten Messdaten von z.B. einer Kamera, einem Ultraschallsensor und einem Radarsystem werden zeitgleich ausgewertet. Die Kombination der Sensorsignale steigert die Zuverlässigkeit in der Erkennung von Gefahrensituationen bei vielen möglichen Umgebungsszenarien: Im Ergebnis wird ein vorher definierter Systemeingriff

ausgelöst. Bei Gefahrerkennung kann aktiv in das Verhalten eines Systems eingegriffen werden, um erkannte Personen zu schützen und das System wieder in einen sicheren Zustand zu bringen, z. B. durch ein automatisiert herbeigeführtes Brems- oder Ausweichmanöver (siehe Kapitel 5).

Digitalisierung liefert die Basis dafür, gleichzeitig

- ▶ Maschinen intelligenter zu machen und eine
- ▶ Automatisierung von Geschäfts- und Arbeitsprozessen zu ermöglichen.

Digitalisierung unterstützt wertschöpfende Effekte durch eine Optimierung der Prozesskette. Digitalisierung erfordert und führt permanente Veränderungen herbei, bis hin zu neuen Formen der Zusammenarbeit.



Abbildung oben:
Beispiel Radlader mit KI-Kamera – das KI-Kamerasystem erkennt die Person hinter dem Fahrzeug.



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.

Industrial Security

Mit steigendem Vernetzungsgrad mobiler Maschinen und vor allem durch die zunehmende Öffnung vormals interner Daten-/Kommunikations-Netzwerke und Komponenten gewinnt zusätzlich Industrial 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. Industrial Security rückt damit in allen Ebenen und Phasen der Entwicklung und des Betriebs in den Fokus. Hauptziele von Industrial 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.

▶ **Industrial 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, Farbechtheit
- ▶ 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-/Objekterkennungssystems 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

► 270°- bis 360°-Rundumsichten (Surroundview)

Weiterentwickelte Kamera-Monitor-Systeme ermöglichen 270°- bis 360°-Rundumsichten. 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 Volumenschaukel (siehe dazu auch DGUV-Publikation „FBHM-109: Radlader mit Leichtgutschaukel“).

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

Rundumsichtsysteme (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 Vogelperspektive (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 Rundumsicht.
- ▶ Neben der Rundumsicht kann sich der Fahrer als Vollbild oder im Splitscreen-Modus gezielt einzelne Bereiche anzeigen lassen.

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.



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.



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 Volumenschaukel hinweg gesehen werden (dabei mit Aufbau eine Gesamthöhe von 4m 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).

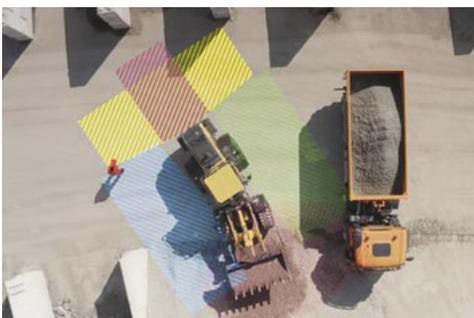


Bild 1: Darstellung der Sichtfelder eines Surroundview-KMS

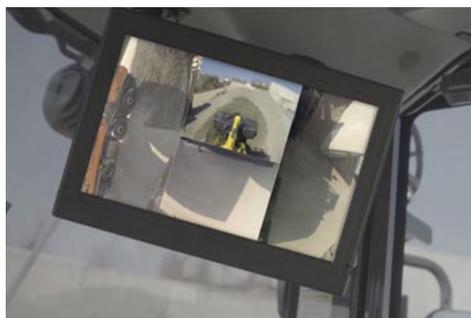


Bild 2: Monitorbeispiel für eine Splitscreen-Darstellung

Die Ansteuerung einzelner Kamera-Ansichten kann manuell oder auch über Fahrzeugsignale, wie z.B. Blinker setzen 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-Level-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.

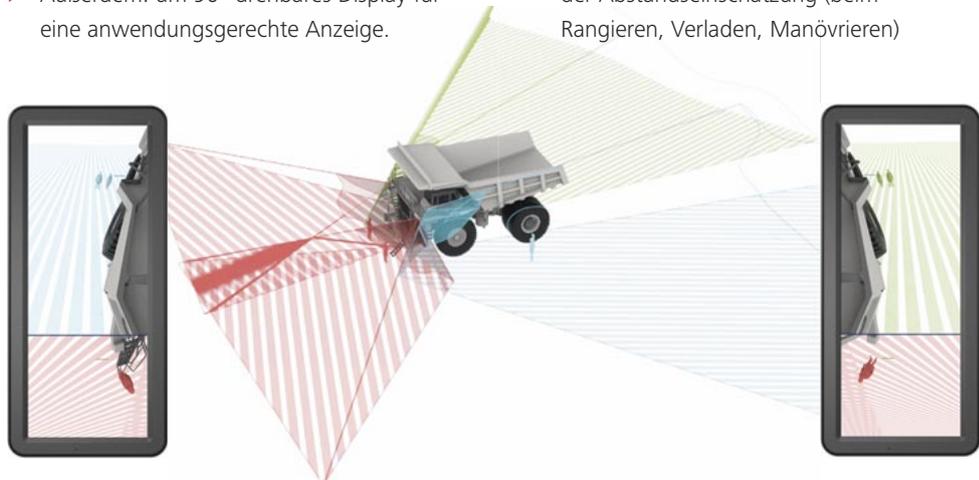
Über eine Fernbedienung einstellbare Funktionen, wie beispielsweise:

- 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 die kabellose Übertragung von Bilddaten bieten mittels robuster Sender-/Empfänger-Einheiten praxisgerechte Alternativen. Kompakte Funkeinheiten senden digitale Signale einer Kamera schnell und ohne

Verzögerung (ggf. mit geringen Latenzen) an einen Monitor.

Systemabhängig erlauben bis zu 10 parallel betriebene Gerätepaare eine hohe Flexibilität bei der Anpassung an unterschiedlichste Maschinen, Sichtprobleme und Montageanforderungen.

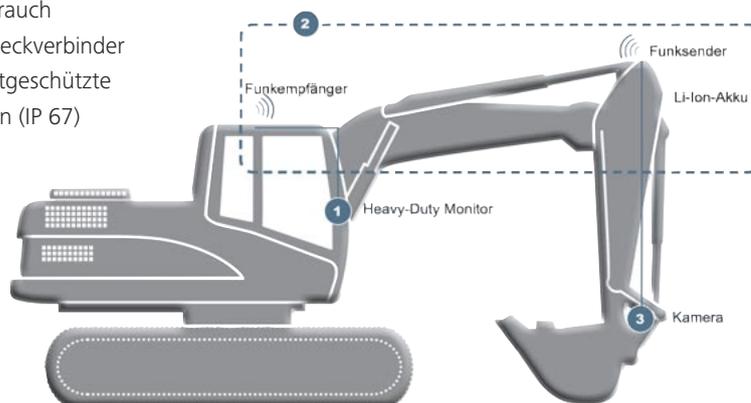
Bei der Auswahl auf ein System mit stabilem, störungsarmem sowie end-to-end verschlüsseltem Digitalfunk achten.

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

- ▶ Keine Kabelverlegung 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 Großvolumenschaukel, 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.

2.5 Klassische Systeme im Vergleich zu KI-basierten Kameras

Die beschriebenen Kamera-Systeme dienen dem Fahrer/Bediener als Sichthilfsmittel. Zunehmend kommen Kamerasysteme mit Personenerkennung 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 (siehe Kapitel 5).



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

(Für KI/Künstliche Intelligenz ist auch die englische Bezeichnung AI/artificial Intelligence üblich.)

KI-basierte Kameras zur Personenerkennung bieten eine fortschrittliche, flexible und genauere Lösung, indem sie maschinelles Lernen nutzen.

► KI-basierte Kameras zur Personenerkennung

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

Intelligente Algorithmen:

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

Höhere Genauigkeit:

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

Erweiterte Funktionen:

Diese Kameras können zusätzliche Informationen extrahieren, wie z. B. Geschlecht und Aktivitäten und liefern so weiterführende Analyseergebnisse.

KI bezogene Themen wie „Maschinelles Lernen“ werden in Kapitel 5 näher erläutert.

► Klassische Systeme zur Personenerkennung

Regelbasierte Algorithmen:

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

Begrenzte Anpassungsfähigkeit:

Diese Systeme sind weniger flexibel und müssen für jede neue Situation manuell angepasst werden. Sie sind anfälliger für Fehler bei Änderungen in der Umgebung oder beim Auftreten unerwarteter Szenarien.

Geringere Genauigkeit:

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

Einfachere Funktionalität:

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

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

3

Personen- und Objekterkennung Warn-/Assistenzsysteme

► Gefährdungen dauerhaft erkennen!

Ein ganztägiges konzentriertes Arbeiten kann durch das KMS allein nicht gewährleistet werden. Ergänzende Objekterkennungssysteme können den Fahrer/Bediener bei nachlassender Konzentration unterstützen.

Vorbeugung ist immer die beste Unfallverhütung. Daher immer eine Gefährdungsbeurteilung durchführen – siehe hierzu Kapitel 1.1!

► Einsatzbereiche nach Funktion

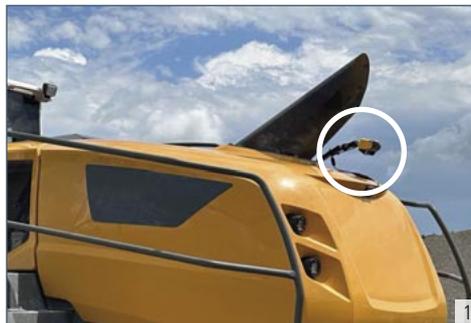
Warn-/Assistenzsysteme unterstützen die Erkennung von Personen und Objekten bei Arbeiten in schwer oder nicht einsehbaren Bereichen. Zur Erhöhung der Sicherheit können die Erkennungssysteme für unterschiedlichste Arbeitsaufgaben und Gefährdungen konfiguriert werden.

Je nach Anforderungsprofil kommen unterschiedliche Sensorsysteme zum Einsatz, die nach ihrem Funktionsprinzip eingeteilt werden in z.B.

- **Ultraschallsysteme**
- **Radarsysteme**
- **Lidarsysteme**
- **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.



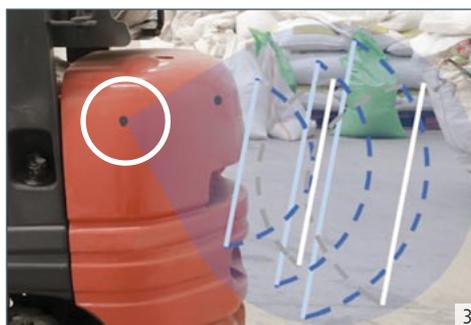
Beengte Platzverhältnisse erfordern allerhöchste Aufmerksamkeit. Zudem kann bei langanhaltenden oder eintönigen Tätigkeiten die Konzentration des Fahrers/Bedieners nachlassen. Dies führt zu einem höheren Gefährdungspotenzial.



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

► intelligenter Personen-/ Objekterkennung durch 3D-Kamerasensoren (Bild 1)

► Radarsystemen zur Rückraumüberwachung optional mit ergänzender Kamerasicht (Bild 2)



► Ultraschallsensoren für eine flächendeckende Rückraum- und Seitenbereichsüberwachung (Bild 3)



Für abgeschlossene Betriebsgelände/Baustellen mit Eingangs-/Personenkontrolle können sich funkbasierte Transponder-/TAG-Systeme, 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 Erkennen 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 erkennen

Ultraschallsensoren erkennen 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 Erkennungsbereich 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, 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

Merkmale für Ultraschallsysteme

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

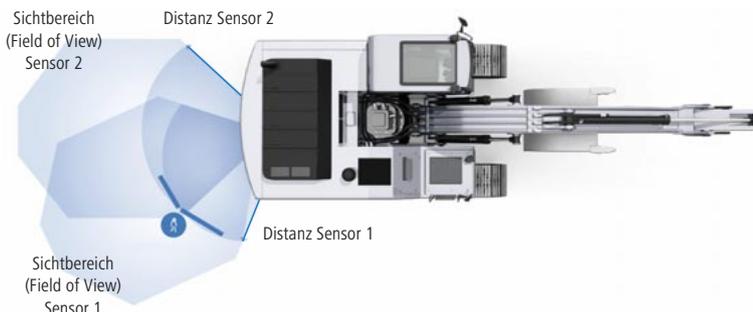
- ▶ Erfassen unabhängig von Materialfarbe, Transparenz, Glanz und Umgebungslicht, auch Glas, Flüssigkeiten, Folien
- ▶ Hohe Genauigkeit durch Laufzeitmessung
- ▶ Unempfindlichkeit bei leichtem Schmutz und geringer Feuchtigkeit
- ▶ Mehrstufiges, auditives Abstandswarnsystem
- ▶ Mess-Empfindlichkeit flexibel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



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 Umfeld-erfassung gewinnt zunehmend an Bedeutung. Für den Off-Highway Bereich werden erste Safety Varianten nach der Maschinenrichtlinie (MRL) mit Performance Level D in den Markt kommen. Vorgaben hierfür regelt die EN ISO 13849.

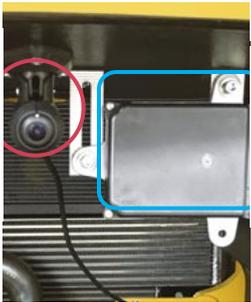
3.2 Radarsysteme

► 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 Objekterkennung. 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.

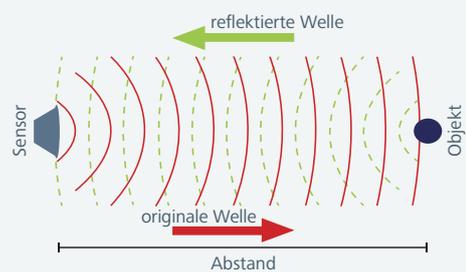
► Ergänzt durch Kamera-Monitor-System besonders wachsam

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.



Radar-Sensor zur Entfernungsmessung



Merkmale für Radarsysteme

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

- ▶ Mehrstufiges Abstandswarnsystem; ggf. Bestimmung der genauen Objektposition
- ▶ Einstellbare Erkennungsbereiche/-zonen
- ▶ Geringe Zeitverzögerung bei der Objekterkennung (50ms)
- ▶ Akustisches und/oder optisches Warnsignal
- ▶ Erweiterbar für Zusatzanwendungen (wie zum Beispiel Rückfahralarme)
- ▶ Sensor-Blindheitsüberwachung und Filter für Bodenreflektionen



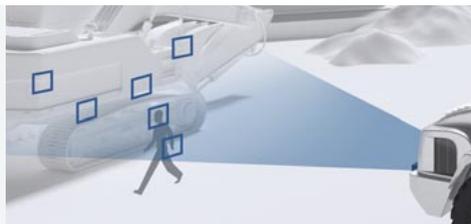
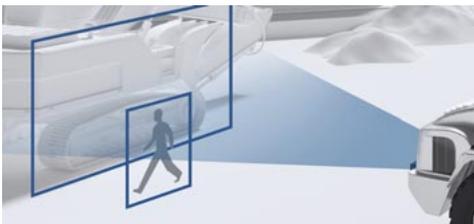
Radarsensoren können an unterschiedlichen mobilen Arbeitsmaschinen eingesetzt werden – an einem kleinen Kompaktlader (Foto oben) ebenso wie an einem großen Dumper.



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

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

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



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“) auf den Markt kommen. 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 Lidarsysteme

► 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 Lidarsystems direkt zur Personen-/Objekterkennung verwertbar. Mittels Software-schnittstelle kann eine Vielzahl von Parametern unmittelbar aufbereitet und visualisiert werden.

► Schlüsseltechnologie für Assistenzsysteme

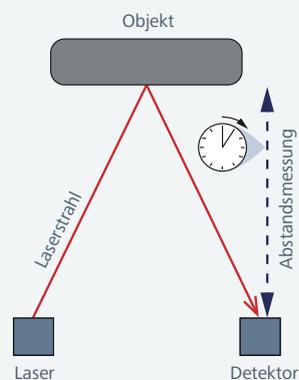
Lidarsysteme finden schon lange Anwendung bei der Umgebungserfassung und Objekterkennung in der Hafenlogistik, Robotik und automotiven Assistenzsystemen von PKW und Nutzfahrzeugen. In der Entwicklung autonomer Fahrzeuge gelten sie als eine der Schlüsseltechnologien.

Die permanente Weiterentwicklung führt auch zum verstärkten Einsatz der Lidarsysteme in mobilen Arbeitsmaschinen, wie Bau-, Bergbau- und land- und forstwirtschaftlichen Maschinen. Entscheidend für den Offroad-Bereich ist dabei ein robuster Sensor, bei dem äußere Einflüsse – wie beispielsweise Erschütterungen – keine Beeinträchtigung des Messergebnisses hervorrufen.



Das Beispiel zeigt ein fahrerloses Bergbaufahrzeug, das sein Umfeld mit Hilfe eines 3D-LIDAR-Sensors analysiert.

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 optischer konzipiert (Laserklasse 1).



Für den Offroad-Einsatz sollten Sensoren in robusten Gehäusen (bis zu IP69K) verbaut sein.



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

Begriffserläuterung:

TAG = Kurzbezeichnung für die Warneinheit/Unit eines Sender-Empfänger-Systems

Transponder = zusammengesetzter Begriff aus „Transmitter“ (Übermittler) und „Responder“ (Antwortgeber)

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-/Warneinheiten) ausgestattete Personen und Fahrzeuge zu erkennen, 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.

Komponentenbeispiele:



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

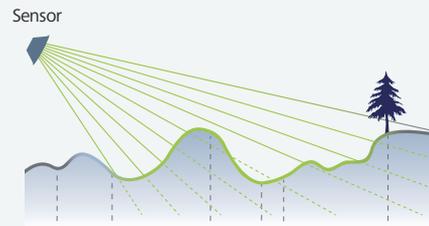


Touchscreen-Tablet in der Fahrerkabine zur Konfiguration aller Parameter mit optionaler Netzwerk-Verbindung (siehe nächste Seite unten)



Tragbare Warneinheit/TAG

Prinzip Funk (elektromagnetische Wellen)



TAG-basierte Systeme nutzen Funkwellen, die sich als gebeugte Bodenwellen auch in verdeckte, nicht einsehbare Bereiche ausdehnen können. Je nach Technologie wird unterschieden zwischen:

1. LPS – Local Positioning System

Technologie, die Entfernungen zentimetergenau misst und über ein TAG mit wiederaufladbarer Batterie funktioniert (das TAG vibriert und leuchtet auf). Die Aktivierungsbereiche können sowohl in der Form (6 modellierbare Punkte) als auch Größe angepasst werden. Zudem ermöglicht LPS die Messung des Risikolevels in Echtzeit.

2. RFID – Radio Frequency Identification

Ermöglicht Erfassungsbereiche mit großen Distanzen. Nutzt TAG mit austauschbarer, langlebiger Batterie (3 bis 5 Jahre). Die Auslösebereiche können bis zu einem Abstand von 50 m konfiguriert werden.

TAG-Beispiele eines RFID-Systems: für Fahrer (gelb), für Fußgänger (grau)



Merkmale TAG-basierter Systeme

- ▶ Mehrstufiges Personen- **und** Fahrzeug-Erkennungssystem
- ▶ Konfigurierbare Sicherheitszonen mit 6 modellierbaren Punkten
- ▶ Detektionsbereiche bis zu 50 m (abhängig von Umgebung und System)
- ▶ Warnung von Personen **und** Fahrzeugen
- ▶ Anzeige der Anzahl und Position von detektierten Personen im Gefahrenbereich
- ▶ Kein optischer Kontakt von Sensor zu TAG erforderlich
- ▶ Erfassung unabhängig von schlechter Sicht, z. B. aufgrund verdeckender Ladung oder Umwelteinflüssen



- ▶ Flexible, schnelle Installation/Nachrüstung
- ▶ Definition des Risikolevels in Echtzeit
- ▶ Integration von Kameras möglich
- ▶ Sammlung, Speicherung und sichere Archivierung objektiver, präziser Daten, die vom System in der Betriebsumgebung erfasst werden möglich

Zusätzliche Sicherheit durch Integration einer KI-Kamera (optional):



Durch Erweiterung des LPS-TAG-Systems mit einer KI-Kamera (s. Abbildung oben rechts), können sowohl Personen, die ein TAG tragen, als auch solche ohne TAG erkannt werden.

▶ Erkennen von Personen – sogar in verdeckten Bereichen



Foto oben: 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.

Die vollflächige Ausbreitung der Funkwellen eines TAG-basierten Systems kann auch eine von Hindernissen verdeckte Person erkennen.

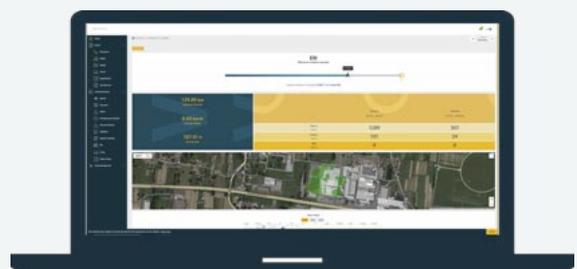
In Abhängigkeit des Abstands innerhalb einer kreisförmigen Sicherheitszone erfolgt die Warnung des Bedieners/Fahrers und der Person/en im Gefahrenbereich automatisch – nach festzulegenden Kriterien.

Die funkbasierte Rundum-Erkennung funktioniert auch bei schlechten äußeren Sichtverhältnissen, bei Nässe und bei starkem Schmutz zuverlässig – und ohne tote Winkel.

▶ LPS-Tag-System mit cloudbasierter Datenanalyse-Plattform

Diese Technologie erweitert die TAG-basierte Erkennung mit einer leistungsstarken Cloud-Software, die eine Auswertung der von den Fahrzeugen gesammelten Daten in Echtzeit bietet. Übersichtliche Dashboards liefern die wichtige Informationen direkt an die Sicherheitsverantwortlichen im Betrieb.

Die Daten werden zu wertvollen Informationen, die helfen, proaktiv zu handeln und Risiken zu minimieren.



3.5 3D-Kamerasensoren (3D-Snapshot-Vision)

► Objektspezifische Detektion

Die objektspezifische Detektion ermöglicht es, zum Beispiel zuverlässig einen Bordstein, einen Fußgänger oder einen Container voneinander zu unterscheiden.

Die Technologie von 3D-Kamerasensoren ermöglicht es, Objekte mittels einer Aufnahme dreidimensional zu erfassen. Gefahren können objektspezifisch klassifiziert, deren Position und Volumen bestimmt und in Systemen mit Fahrerassistenzaufgaben genutzt werden.

Bei der Personen-/Objekterkennung in Gefahrenbereichen mobiler Arbeitsmaschinen kommen folgende Arten von Kamerasensoren zum Einsatz:

- 3D-Stereokameras
- 3D-Time-of-Flight-Sensoren (3D-ToF)



Abbildung rechts:
Anwendungsbeispiel
3D-Stereokamera am Heck
einer Baumaschine

3D-Kamerasensoren können beispielsweise den Bediener/Fahrer in kritischen Situationen warnen. Zusätzlich ist es möglich, das Bild auf dem Monitor in der Fahrerkabine zu visualisieren. Der Bediener/Fahrer kann sich damit voll auf seine Hauptaufgabe konzentrieren. 3D-Kameratechnologie findet schon lange Anwendung bei der Umgebungserfassung und Objekterkennung, beispielsweise in der Hafenlogistik, Robotik und bei Assistenzsystemen von PKW und Nutzfahrzeugen. In der Entwicklung autonomer Fahrzeuge gelten sie als eine der wesentlichen Schlüsseltechnologien.

Merkmale für 3D-Kamerasensoren (3D-Snapshot Systeme)

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

- Konzipiert für den Einsatz in rauen Außenumgebungen – und/oder auch für industrielle Anwendungen
- Mehrstufiges Abstandswarnsystem
- Konfigurierbare Detektionszonen zur Vermeidung von Fehlalarmen
- Konfigurierbare Detektion zur Erkennung spezifischer Objekte
- Akustisches und optisches Warnsignal
- Aufnahmefunktion der Bilddaten
- Stand-alone 3D-Sensor: intelligente Objekterkennung mit integriertem KMS

Prinzip 3D-Snapshot

3D-Snapshot bedeutet, eine Szene (statisch oder dynamisch) dreidimensional in einer Aufnahme zu erfassen – ohne Vorhandensein beweglicher mechanischer Teile im Inneren des Geräts.



3D-Snapshotaufnahme einer Palette:
Die Entfernung der Objekte zum Sensor wird erkannt und durch unterschiedliche Farbgebung dargestellt.

► Einsetzbar in unterschiedlichen Fahrzeugtypen, auch in rauer Umgebung

3D-Kamerasensoren sind ideal für die Fahrerassistenz an schweren, geländegängigen mobilen Maschinen, die im Außenbereich eingesetzt werden.

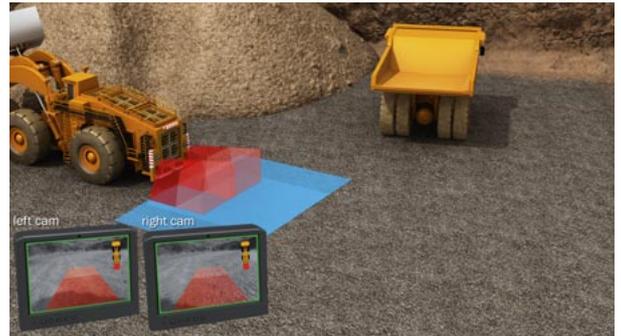
Rohstoffgewinnung, Kiesgruben



z. B. bei folgenden Fahrzeugtypen:

- Fahrzeuge für Tunnel und Untertagebau
- Schwerlastfahrzeuge
- Bagger

Baustellen

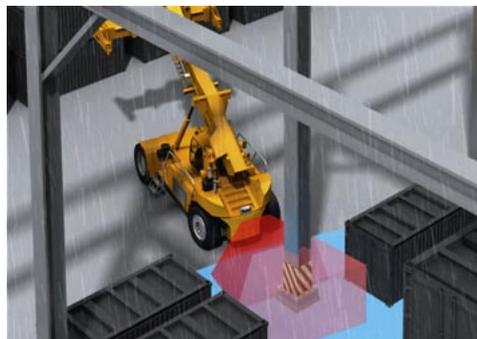


- Radlader
- Muldenkipper/Dumper
- Walzen

Land- und Forstwirtschaft



Häfen und Krane



Aufgrund der Vielzahl verschiedener mobiler Maschinen, die es in diesen Arbeitsfeldern gibt, sind auch die Anforderungen an Kollisionswarnsysteme unterschiedlich. Die 3D-Kamerasensoren werden deshalb mit unterschiedlichen Technologien und in verschiedenen Ausführungen angeboten.



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, Personen, die in den Gefahrenbereich hineinlaufen (wie zum Beispiel Arbeitskollegen oder Passanten) und Personen, die ohne Warnung in Gefahr geraten können.

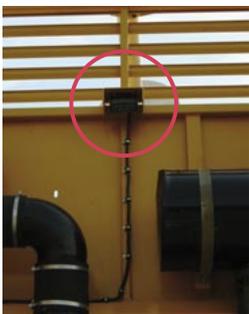
► Gezielt Aufmerksamkeit erzeugen

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).

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.

Foto unten: Kamera an einer Baumaschine zur Überwachung des Arbeitsbereichs



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

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 – unnötige Lärmbelästigung vermeiden

Breitbandton-Warner bilden eine bewährte Generation von akustischen Warnsystemen. Sie verursachen weniger Lärmbelästigung. Eindringlich alarmierende Zischsignale werden dort gehört, wo es darauf ankommt: im direkten Gefahrenbereich der mobilen Maschine.

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

► Die Richtung der Gefahrenquelle schnell erfassen

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

► In vielen Bereichen einsetzbar

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

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

Eine Steinbruchumgebung ist anders zu beurteilen als ein Fahrzeug, das beispielweise im Innenstadtbereich unterwegs ist. Das Gleiche gilt für die Anforderungen an Teleskoplader in geschlossenen Lagerhallen, Scheunen sowie Produktionsumgebungen und an Gepäcktransportfahrzeuge auf Flughäfen.

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 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

Personen- und Objekterkennung mit intelligenter Software und KI

KI-Definition nach EU KI-VO, Art. 3 (1)

(KI-VO = KI-Verordnung = AI Act)

► „KI-System“ ist ein maschinengestütztes System, das für einen in unterschiedlichem Grade autonomen Betrieb ausgelegt ist, und das nach seiner Betriebsaufnahme anpassungsfähig sein kann und das aus den erhaltenen Eingaben für explizite oder implizite Ziele ableitet, wie Ausgaben wie etwa Vorhersagen, Inhalte, Empfehlungen oder Entscheidungen erstellt werden, die physische oder virtuelle Umgebungen beeinflussen können.

KI-Einsatzbeispiel

„Unfallschwerpunkte durch Data Analytics“ erkennen:

► Neben der Unterstützung des Fahrers (siehe ab Kap. 5.2) können mittels Deep-Learning auch Unfallschwerpunkte erkannt werden.

► Bei Detektion von Beinahekollisionen werden 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).

Digitalisierung mittels vernetzter Systeme und KI-basierender Lösungen drängt in die Praxis, wird intensiv weiterentwickelt und vorangetrieben. Das gilt für branchenspezifische wie auch für branchenübergreifende Lösungen bei Anwendungen in der Personen- und Objekterkennung.

Während Kamera-/Sensorsysteme, entsprechend ihrer anforderungsbedingten Spezifikationen, unabhängig voneinander an gleichen Aufgaben wirken, ermöglichen digitalisierte Prozesse weitere vernetzende Lösungswege.

Digitale Prozesse können Informationen von mehreren Sensoren integrieren. Die parallel erfassten Messdaten von z.B. einer Kamera, einem Ultraschallsensor und einem Radarsystem werden zeitgleich ausgewertet. Die Überlagerung der Sensorsignale steigert die Zuverlässigkeit in der Erkennung von Gefahrensituationen über die Vielzahl möglicher Umgebungsszenarien hinaus. Mit dem Ergebnis kann ein vorher definierter Systemeingriff ausgelöst werden – zum Beispiel ein Brems- oder Ausweichmanöver, um erkannte

Personen zu schützen und das System wieder in einen sicheren Zustand zu bringen.

Digitalisierung liefert die Basis dafür, gleichzeitig

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

Digitalisierung ermöglicht wertschöpfende Effekte durch Prozessoptimierung.

Sie unterstützt und beschleunigt permanente Veränderungen. Dabei führt sie neue Formen in der Zusammenarbeit herbei.

► 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, sich optimieren und Lösungen eines bestimmten Problems finden (ohne dass der Lösungsweg explizit programmiert wurde). Beispiel: aus angelernten Bilddaten Objekte erkennen.

► Deep Learning (Methode der KI)

Teilgebiet des „ML“. Deep Learning verwendet „tiefe“ vielschichtige neuronale Netze, die aus großen Datenbeständen lernen. Ermöglicht u. a. die Klassifizierung detektierter Objekte. Charakteristische Dopplereffekte unterscheiden Personen von anderen Objekten. Bei Dopplereffekten handelt es sich um wahrnehmbare Frequenzänderungen bei Annäherung bzw. Entfernung eines vorbeifahrenden Fahrzeugs.

5.1 Künstliche Intelligenz (KI)

► Aufgaben schnell, fehlerfrei 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.

Mit Hilfe großer Datenmengen ermöglicht KI Maschinen, **schnell und automatisiert plausible Entscheidungen zu treffen**. Um autark zu agieren, verarbeiten und analysieren Algorithmen die vom System gemachten Erfahrungen, können sich an diese erinnern und **aus Versuch und Irrtum lernen**. Das System kann anhand von erkannten Fehlern trainieren, **sich selbstständig weiterentwickeln und verbessern**.

Als Ziel für eine jeweilige KI wird die Fähigkeit angestrebt, dass die Maschine in ihrem Handlungsfeld auf alle möglichen Herausforderungen

reagieren kann, sich „intelligent“ verhält. Dabei können KI-basierende Steuerungen weitestgehend selbstständig mit ihrer Umwelt agieren und Entscheidungen treffen. Sie müssen beispielsweise **im Notfall eine gefährdete Person sicher erkennen und Schutzmaßnahmen wie z. B. Bremsen einleiten**.

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

► Generell wird ein sogenanntes KI-System in der Trainingsphase z.B. mittels Machine Learning angelernt. In der Betriebsphase, d.h. beim Einsatz der Maschine, erfolgt keine weitere Verselbständigung.

► Neuronale Netze

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

Neuronale Netze stellen eine der mächtigsten Algorithmenfamilien der KI dar. 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 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 Objekterkennung relevante Anwendung der KI ist die sogenannte Machine Vision oder Vision AI (AI = Artificial Intelligence).

Machine Vision erfasst und analysiert visuelle Informationen mit 2D- und 3D-Kameras und wird oft 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**.

Data Transparency:
Anbieter Safety relevanter KI-Systeme (siehe Kapitel 5.1.1) werden 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 Daten-Ein- 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.

Ziel ist die **White Box**, ein erklärbarer Ansatz. Mittels Erläuterungsinterface bekommt der User Antworten auf die Fragen, warum und mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Entscheidung getroffen wurde. Er kann verstehen und nachvollziehen, wieso die KI etwas auf eine bestimmte Art und Weise entscheidet.

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 (Gesetz über künstliche Intelligenz) entstehen erste Normen und Normentwürfe, die den Einsatz einer sicheren KI beschreiben.

Aus diesem lassen sich zusammenfassend 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 intendierten 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 Personen 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 Ethernet-Kamera mit umfangreichen Hard- und Software Safety Features sowie einem sicheren KI-Personennetz.



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 wird die Anpassung der Gewichte des Netzes antrainiert, d. h. das Netz lernt aus diesen Daten.

► **Validierungsdaten** werden während des Trainingsprozesses genutzt, um die Loss-Funktion (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 Anzahl um eine Dimension und erreicht schnell eine Anzahl von über einer Million.

Am Beispiel der Personenerkennung wird schnell klar, dass bereits für einen kleinen Teil der denkbaren Parameter, zum Beispiel Sichtwinkel, Rotation, Verdeckung, Pose, Geschlecht, Bekleidung, 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 das sogenannte „Reality Gap“ (Lücke zwischen Bildern aus der realen Welt und synthetischen Bildern) sehr gering ist.

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

5.2 Personen-/Objektdetektion mittels künstlicher Intelligenz (KI)

► Kamerabasierte Kollisionswarnung

360°-Rundumsichtsystem mit Objekterkennung durch angelernte neuronale Netze



Systemkomponenten: Ethernet-Kameras, Recheneinheit und Touchmonitor

Die Kamerasysteme mit integrierter Kollisionswarnung basieren auf der Anwendung von künstlicher Intelligenz. 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 besonders gefährdeten Personen oder Objekten wird der Fahrer spezifisch akustisch und/oder visuell gewarnt.

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

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

Das KMS erkennt die klassifizierten Objekte und Personen im Kamera-Bildausschnitt – siehe Abbildung rechts und in linker Spalte.



Abbildung oben – Anwendungsbeispiel Personenerkennung: 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 definieren, ab wann das System Objekte und Personen detektiert und den Fahrer warnen soll. Diese können flexibel und individuell konfiguriert werden.

Das System kann anwendungsfallsspezifisch auf weitere neue Objektklassen „angelernt“ bzw. „trainiert“ werden, sodass die Lösung in vielen unterschiedlichen Branchen und Bereichen eingesetzt werden kann.

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

Anwendungsbeispiel oben: Das an einem Heckaufreißer installierte KI-System erkennt den Fußgänger, klassifiziert ihn als Person und warnt den Fahrer vor einer drohenden Kollision.

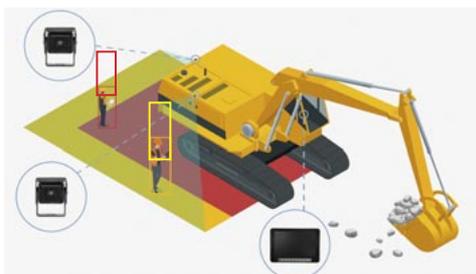
► **Sicherheit mit Deep Learning Technologie**

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 Personenerkennung 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,
- können leicht durch Softwareupdates aktualisiert werden.
- Die Nutzung der CAN-Signale des Fahrzeuges
- 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-/Objekterkennung 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.

5.3 Beispiel für KI-Lösungen zur Erhöhung der industriellen Sicherheit und Produktivität

System Hauptkomponenten:



Sensor, Smart-Farbdisplay und akustische Warnleuchte

Zwei Systeme werden am Radlader montiert (vorne und hinten). Diese erkennen und lokalisieren in Echtzeit Personen und warnen den Fahrer im Gefahrenfall, ohne unnötig zu alarmieren.



► Vernetzte KI-Personenerkennung 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 des Fahrzeugs und der toten Winkel eine schlechte Sicht.

Das kompakte, robuste System-Beispiel ist einfach zu installieren. Die KI-Kamera erkennt und lokalisiert Personen in Echtzeit und in jeder Körperhaltung (stehend, in der Hocke, in partieller Sicht), um Kollisionen mit Fahrzeugen wie z. B. Radladern, Baggern, Dumper zu vermeiden.

Ein LCD-Farbdisplay bzw. eine Warnleuchte mit Buzzerfunktion warnt den Fahrer durch optische und akustische Alarme, sobald eine Person in der definierten Gefahrenzone sowohl heck- als auch frontseitig erkannt wird. Unter Einsatz von KI unterscheidet das System Personen von Objekten und bewirkt nur relevante Alarmierungen.

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.



Was der Fahrer sieht:
eine Menge toter Winkel!

Was das System sieht
und alarmiert:
den hockenden Fußgänger.



► 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 Fußgängererkennung hinaus: Sie erkennt und lokalisiert neben Personen auch weitere Fahrzeuge im Umfeld und garantiert so eine umfassendere Kollisionsvermeidung.

Ein hohes Produktivitätsniveau wird aufrechterhalten, der Betrieb durch Unfälle nicht unterbrochen.

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



► **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.

Dank GPS- und 4G-Verbindung bietet ein Dashboard Zugriff auf relevante Metriken, Fotos und Hotspot-Mapping, um datengesteuerte Entscheidungen zu treffen. Es zeigt z.B. die gefährlichsten Fahrzeuge an und ermittelt, wann und wo das Unfallrisiko am höchsten ist. Unternehmen können Prioritäten setzen, proaktiv Maßnahmen für ihre Organisation ergreifen und die Wirksamkeit der umgesetzten Vorbeugungsmaßnahmen monitoren.

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.

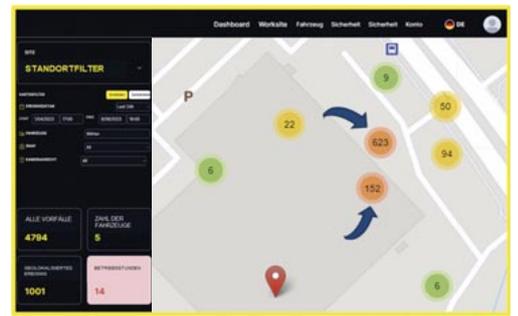
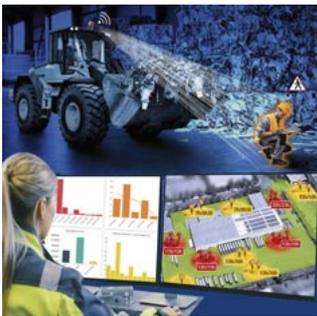


Überblick und Kontrolle der relevanten Gefährdungsfaktoren:

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 identifizieren Sie, wo die höchste Wahrscheinlichkeit für Unfälle an Ihrem Standort liegt.



Visualisieren Sie die direkte Auswirkung der Maßnahmen am Standort, um die Fußgänger-Maschinen-Koaktivität zu reduzieren.

Finden Sie heraus, um welche Uhrzeit das Kollisionsrisiko an jedem Ihrer Standorte am höchsten ist.

Die Fußgängererkennungen zeigen, welche Maschine am gefährlichsten ist.



5.4 Aktive Personenerkennung mit Bremsassistent bei Rückwärtsfahrten (Radlader)

Den nächsten Schritt für noch mehr Sicherheit beim Einsatz großer mobiler Arbeitsmaschinen leistet die Entwicklung des aktiven Bremsengriffs bei Erdbaumaschinen.

Auch bei einem aktiven Assistenzsystem trägt der Fahrer die Verantwortung!

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

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.

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



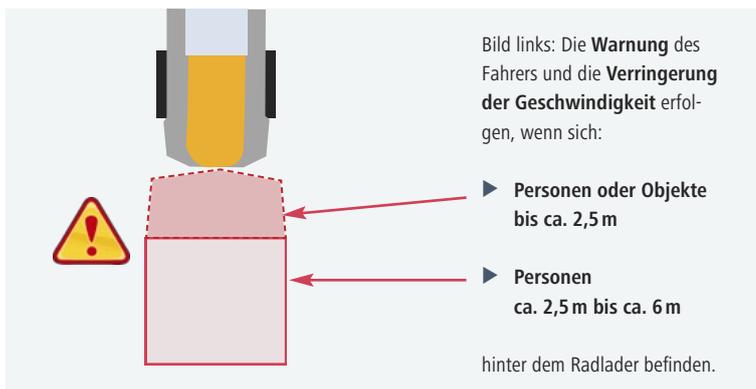
Bild oben: Darstellung der Personenerkennung im hinteren Bereich des Radladers, die sowohl die Warnung an den Fahrer als auch den automatischen Bremsvorgang der Maschine auslöst.

Die aktive Personenerkennung 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.



Technische Optionen:

Die aktive Personenerkennung 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.

5.5 3D-Terrain-Mapping (3DTM)

Intelligente Software zur Gelände- und Objekterkennung

Auf 3D-Terrain Mapping basierende Funktionen (dreidimensionale Umfeldkartierung) liefern einen wichtigen Baustein zur Unterstützung des Fahrers und zur Unfallvermeidung. 3DTM stellt ein innovatives Verfahren zur Gelände- und Objekterkennung (z.B. Fahrzeuge, Lebewesen, Hindernisse) dar. Es ebnet jetzt den Weg für aktive Assistenzsysteme auch im Offroad-Bereich/NRMM.

Geländeerfassung – 3D-Terrain-Mapping (3DTM)

Zur Berechnung der 3D-Geländekarte wird eine Erhebungskarte auf Basis einer Gitterstruktur erzeugt. In aufeinanderfolgenden Rechenschritten (Spline Approximation) wird das Gelände so exakt modelliert, dass es die Realität abbildet. Neben Umgebungsinformationen wie das Vorhandensein von Hügeln, Abhängen usw. bleiben auch feinere Geländedetails erhalten.

Objekterkennung – Generic Object Detection (GOD)

Auf dem modellierten Gelände wird anhand der Steigungsinformationen die Befahrbarkeit bestimmt. Darüber hinaus wird die Geländekarte zur Identifikation von Hindernissen herangezogen: Mithilfe von Algorithmen werden Objekte erkannt und deren Entfernung zur mobilen Maschine errechnet, sowie die Bewegungsrichtung und die Geschwindigkeit der Objekte bestimmt.

► Innovative Bildverarbeitung unterstützt sicheres Arbeiten

Auf der Basis von Sensorinformationen – wie denen einer digitalen Kamera oder eines Lidars – werden Personen, Objekte, Hindernisse und auch schwierigste Gelände automatisiert erkannt, sodass der Fahrer und die mobile Maschine eindeutige Informationen ableiten können. Dabei ist, wenn nötig, auch die Fusion unterschiedlicher Sensoren oder Sensortechnologien möglich. Der Fahrer wird durch eine Echtzeit-Anzeige auf dem Monitor über die konkreten Gegebenheiten informiert, wie z.B.:

- Wo ist das Gelände befahrbar/nicht befahrbar?
- Welche Hindernisse befinden sich wo und in welcher Entfernung zur mobilen Arbeitsmaschine?
- In welche Richtung bewegen sich Personen und/oder Objekte?

Exakte Gelände- und Objektklassifizierung

Durch die Anwendung von „Deep-Learning-Methoden“ trainiert und lernt das System u.a. die sichere Unterscheidung zwischen Personen und Objekten. Das gezielte Trainieren in der spezifischen Arbeitsumgebung der mobilen Maschine (z. B. Steinbruch) ermöglicht eine sehr genaue Interpretation der gelieferten Daten und steigert dadurch die Sicherheit und Effizienz.



Je nach Applikation können die gelieferten Bilddaten mit vorhandenen oder neu zu integrierenden Systemen kombiniert/konfiguriert und passgenaue „Aktionen“ definiert werden. Bei drohender Kollisionsgefahr wird beispielsweise:

- der Fahrer ergänzend durch z.B. ein akustisches Signal alarmiert und/oder zusätzlich
- Personen, die den Gefahrenbereich betreten, durch einen gerichteten Breitbandton gewarnt.
- Wenn der rechtliche Rahmen es zulässt, kann auch ein aktives Eingreifen in die Maschinensteuerung – wie beispielsweise automatische Bremsung/Ausweichmanöver – ausgelöst werden.

Bild oben: Die eindeutige Farbgebung und die exakte Entfernungsangabe ermöglichen eine schnelle Erfassbarkeit der Situation.

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

► Praxisbeispiel „Sicherheitsschutzvorrichtung für Schrapperanlagen mit Sternbunker von Betonmischwerken“

Weitere Informationen zu
 siehe Seite 46.

Mit dem Ziel, die Prozesse in Steinbrüchen (Quarry) zu digitalisieren (Digi) und damit effizienter, sicherer und umweltfreundlicher (Eco) zu gestalten, arbeiten in dem von der EU geförderten Projekt **DigiEcoQuarry** (Kurzform DEQ) 25 Kooperationspartner zusammen. Eine zentrale Fragestellung lautet:



Abbildung oben: Schrapperanlage mit Sternbunker eines Betonmischwerks im laufenden Betrieb

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

Dabei werden derzeit insbesondere Schrapperanlagen mit Sternbunker (siehe Bild links) von Betonmischwerken betrachtet.

Ursprünglich wurden Schrapperanlagen, wie auf dem Bild dargestellt, unter der Annahme entwickelt, dass während des Betriebs der Maschinenführer in der Kabine sitzt und den Schrappkübel, und somit den Hauptgefährdungsbereich der Anlage, überwachen kann. Damit einhergehend hatte der Bediener die Möglichkeit, im Falle des Eintretens einer Gefahrensituation (bspw. Person nimmt Probe aus Box), die Anlage unmittelbar zu stoppen.

► Automatisierungsprozesse in der Rohstoffindustrie erfordern neue Sicherheitskonzepte

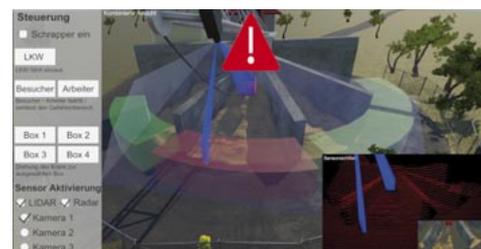
Im Zuge der Automatisierung laufen diese Anlagen häufig im Automatikbetrieb. Hierbei wird das Material vom LKW direkt am Fuß des jeweiligen Bunkers abgekippt und der Schrapper befördert es vollautomatisch nach oben. Dazu muss kein Maschinenführer in der Kabine sitzen. Eine Überwachung des Gefährdungsbereichs findet in der Praxis nur stichprobenhaft statt, etwa durch einen kurzen Blick auf einen Monitor mit einem Live-Kamerabild.

Die Verwendung eines **funktional sicheren Systems** (siehe hierzu auch Seite 7), welches gefahrbringende Maschinenbewegungen mittels geeigneter Sensorik erkennt und einen sicheren Stopp auslöst, könnte den Anlagenbetreibern somit mehr Rechtssicherheit geben.

Zielsetzung

Auf dem Markt gibt es allerdings hierfür derzeit keine verfügbare Lösung. Diese zu entwickeln, ist eines der angestrebten Ziele von DEQ.

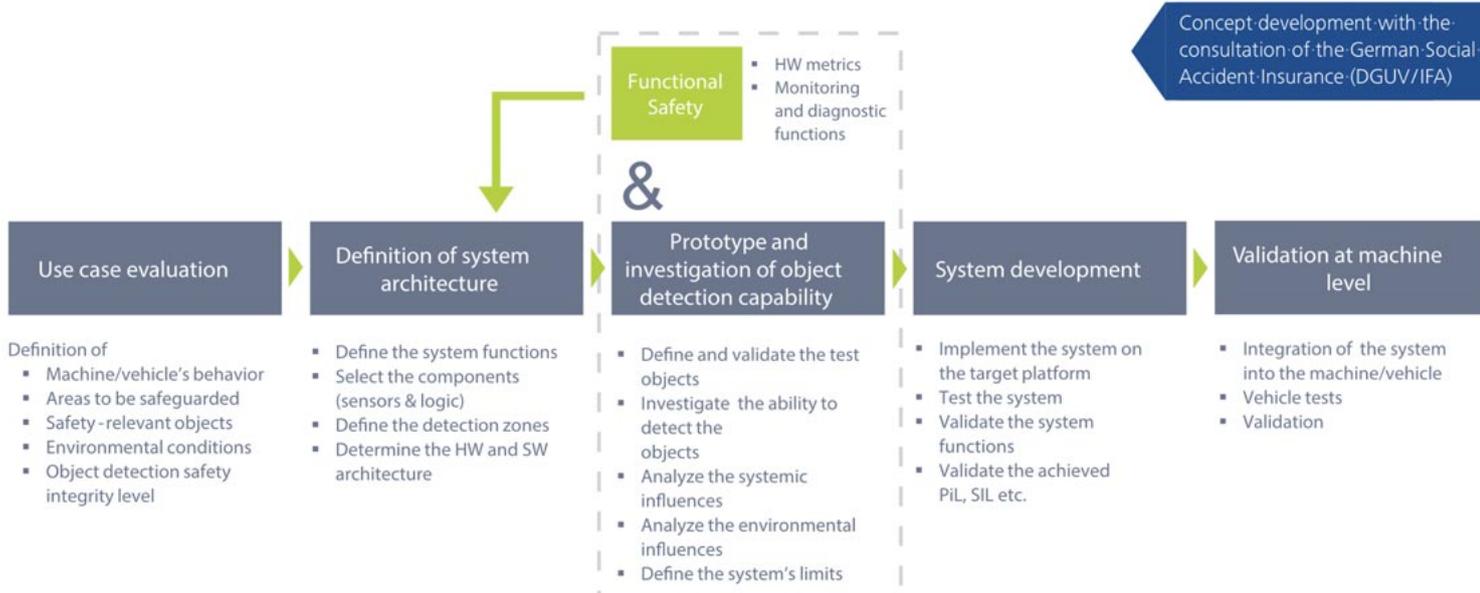
Für derartige Aufgaben hat sich der im Folgenden dargestellte Entwicklungsprozess etabliert.



Visualisierung durch Sensordaten erfasster Gefährdungsrisiken

Der aufgezeigte Entwicklungsprozess integriert verschiedene interne und externe Stakeholder von Anfang an.

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



► **1. Schritt: Analyse der Use-Cases**

Im ersten Schritt werden, gemeinsam mit Betreibern und der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI), die relevanten Use-Cases auch unter Arbeitsschutzanforderungen analysiert und definiert. Das Hauptaugenmerk liegt darauf, das System, seine Möglichkeiten und Grenzen sowie eventuelle Gefahren und die damit verbundenen Risiken zu erkennen und zu verstehen. Die vielzählige Anforderungen, die es je nach Use-Case zu erfüllen gibt – wie z.B. Staub, Wind, Wetter, schwierige Lichtverhältnisse, verschiedene Fahrzeug-/Maschinentypen, offenes Gelände oder ein 24/7 Betrieb – müssen als Parameter in der Entwicklung des Systems berücksichtigt werden.

► **2. Schritt: Systemdesign und Simulation**

Im nächsten Schritt werden Entscheidungen bezüglich der erforderlichen Architektur bzw. des Systemdesigns getroffen, um dann die passgenauen Sensoren auswählen zu können. Hierbei kann die Verwendung einer Simulationsumgebung („Digital Twin“ = digitaler Zwilling, siehe Abbildung) gute erste Hinweise geben, welche Sensortypen für den spezifischen Use-Case (auch unter Berücksichtigung der verschiedenen Umweltbedingungen) in Frage kommen.

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

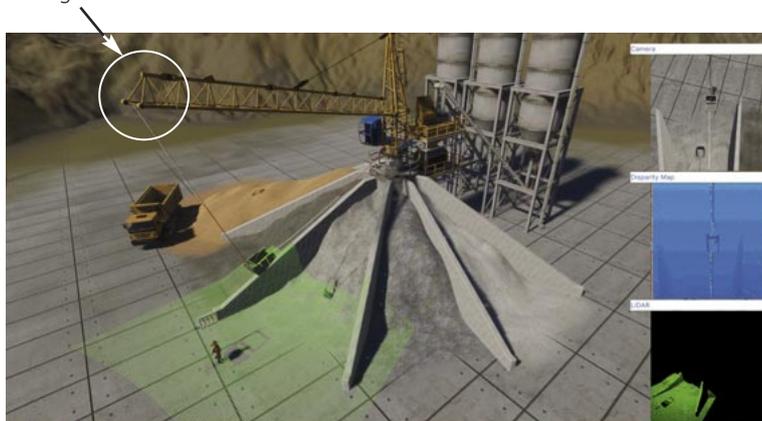


Abbildung oben: „Digital Twin“ Simulation einer Sternbunker-/Schrappieranlage mit Visualisierung der relevanten Kamera- und Sensordaten

► **3. Schritt: Prototypentwicklung**

Derzeit werden nun die Prototypen an realen Anlagen getestet und weiterentwickelt, sodass spätestens zum Projektende ein deutlich verbesserter Unfallschutz in allen Transportbetonmischwerken erzielt werden kann.

Dieses Projekt wird durch das Forschungs- und Innovationsprogramm „Horizon 2020“ der Europäischen Union gefördert (Grant Agreement No. 101003750).



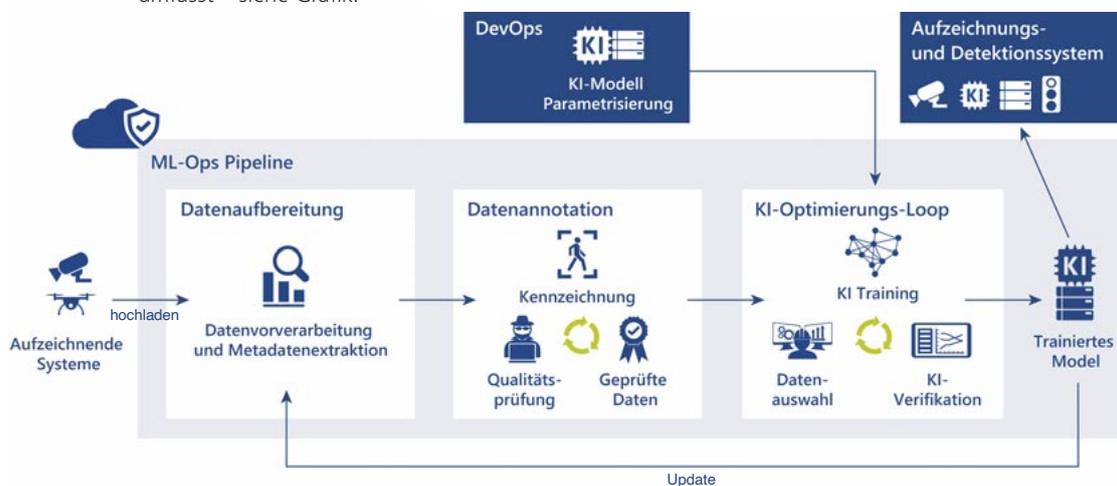
Während der Systemdesign Phase und später in der Prototypenentwicklung zeigte sich, dass, um eine von den Betreibern verlangte hohe Verfügbarkeit der Anlage zu gewährleisten, der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) in Verbindung mit einem Kamerasystem zielführend ist, denn:

- ▶ Die Gegebenheiten an den unterschiedlichen Anlagen (wie Schüttgut vor den Bunkern) erfordern eine Klassifizierung von Objekten.
- ▶ KI-basierte Algorithmen zur Klassifizierung sind deutlich performanter als klassische Algorithmen.

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

Die Entwicklung funktional sicherer KI-Anwendungen stellt eine besondere Herausforderung dar, da sich KI-Modelle, insbesondere Deep-Learning-Modelle, durch eine inhärente Black-Box-Charakteristik auszeichnen. Im Gegensatz zu traditionellen, regelbasierten Systemen, deren Verhalten durch explizit programmierte Regeln bestimmt und somit nachvollzogen werden kann, lernen KI-Modelle implizit aus Daten. Diese implizite Wissensrepräsentation erschwert die Vorhersage des Systemverhaltens in unbekannt Situationen und die Identifikation von potenziellen Fehlern oder Schwachstellen.

Um diese Herausforderungen zumindest teilweise zu mitigieren, wird eine speziell für Objekterkennung entwickelte KI-Pipeline genutzt. Ausgestattet mit den richtigen Tools ist eine KI-Pipeline ein strukturierter und automatisierter Workflow, der die verschiedenen Phasen der KI-Entwicklung, von der Datenaufbereitung und -annotation über das Modelltraining und die Evaluierung bis hin zur Bereitstellung, umfasst – siehe Grafik:



Ausblick:
Erfolgreiche Tests auf mehreren Anlagen zeigen, dass der bisherige Weg erfolgversprechend ist. In weiteren Schritten muss das System validiert werden.

Dieser Workflow erhöht die Transparenz und Nachvollziehbarkeit im Entwicklungsprozess. Durch die Automatisierung und Standardisierung der einzelnen Schritte wird der gesamte KI-Entwicklungszyklus dokumentiert und nachvollziehbar, was eine genauere Analyse des Modellverhaltens und die Identifikation potenzieller Schwachstellen ermöglicht. Der iterative Charakter der Pipeline, ermöglicht durch den KI-Optimierungs-Loop zudem kontinuierliche Verbesserungen des Modells

basierend auf neuen Daten und Erkenntnissen. Die Integration von Simulationsumgebungen und virtuellen Tests erlaubt zudem die Bewertung des Systemverhaltens in kritischen Szenarien, die in der Realität nur schwer reproduzierbar wären.

So kann die Sicherheit der KI-Anwendung durch die systematische Betrachtung kritischer Szenarien und die kontinuierliche Verbesserung des Modells erhöht und das Vertrauen in die Zuverlässigkeit des Systems gestärkt werden.

5.7 Automatisierungssoftware für Baumaschinen

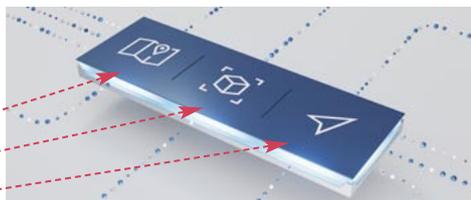
► Unterstützung für Maschinenhersteller

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

► Modulare Softwareplattform für schnelle und einfache Entwicklung

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

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



Mit diesen Hauptelementen werden alle Kernfunktionalitäten für eine vollständige Maschinenautomatisierung abgebildet. Dabei können die Softwaremodule entweder als abgestimmtes Paket oder einzeln in die Steuerungssoftware der Maschine integriert werden.

Die Softwareplattform basiert auf langjähriger Expertise aus den Entwicklungen für den Automobilbereich sowie einer Forschung und Vorausbildung dediziert für Off-Highway Anwendungen. Dadurch konnte sie mit einer besonders präzisen und effizienten Erfassung der Umgebung, zuverlässiger Signalauswertung und intelligenten Navigationsfunktion aufgebaut werden.

Das Verhalten der Maschine und ihrer Interaktion mit der Umwelt lässt sich dabei individuell festlegen.

Die jeweiligen Parameter der Automatisierungssoftware lassen sich flexibel an die spezifischen Anforderungen der Anwendung anpassen. In Abhängigkeit vom jeweiligen Arbeitsprozess kann so beispielsweise vor Hindernissen gestoppt und auf eine Freigabe durch einen Operator gewartet werden, genauso wie Hindernissen ausgewichen und hinter diesen zum ursprünglichen Pfad zurückgekehrt werden kann.

► Große Freiheiten der Software auch beim Hardwarekonzept

Abhängig von den Einsatzbedingungen können

- 1.) Radarsensoren
- 2.) Ultraschallsensoren
- 3.) GNSS-Empfänger als Empfänger für globale Navigationssatellitensysteme,
- 4.) Lidarsensoren
- 5.) andere Sensoren

in das System integriert werden.

Standardisierte Schnittstellen basierend auf dem Betriebssystem ROS 2 (Robot Operating System 2) erleichtern die Integration der Softwaremodule in die Softwarearchitektur der Maschine.

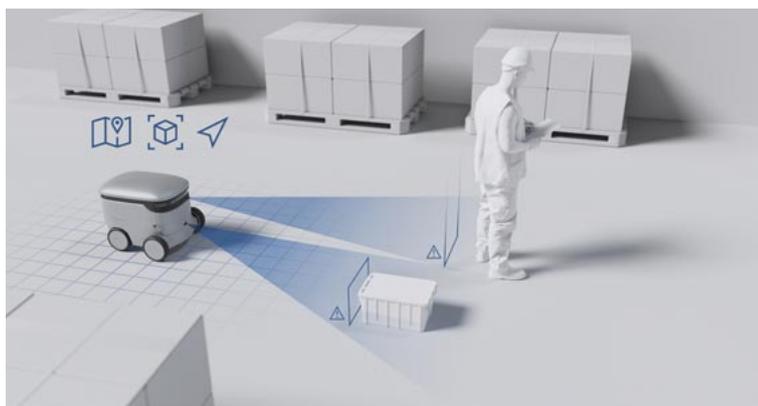


Abbildung unten:
Der Roboter navigiert selbstständig, erkennt Objekte auf seinem Fahrweg und vermeidet Kollisionen mit diesen.

5.8 Intelligente Videoanalyse zur Erkennung von Persönlicher Schutzausrüstung (PSA)

► Zuverlässige Erkennung der ordnungsgemäßen PSA-Verwendung zur Einhaltung von Arbeitsschutz und Sicherheit

Mit einer softwarebasierten Lösung kann bei Personen die korrekte Verwendung von persönlicher Schutzausrüstung (PSA) automatisiert sichergestellt werden. Dank intelligenter Videoanalyse wird nicht nur zuverlässig erkannt, ob Bestandteile der PSA wie Schutzhelm und Warnweste fehlen, sondern auch sofort bei Nichteinhaltung alarmiert.

Dies ermöglicht Unternehmen die geltenden Sicherheitsvorschriften einzuhalten, das Unfallrisiko zu minimieren und die betriebliche Effizienz zu steigern.

► Die Herausforderung für Unternehmen

Viele Unternehmen und Einrichtungen unterliegen strengen Sicherheitsvorschriften, die das Tragen von persönlicher Schutzausrüstung vorschreiben.

Das Nichttragen der PSA erhöht das Risiko von Arbeitsunfällen, kann zu Ausfallzeiten und auch zu Geldstrafen führen.

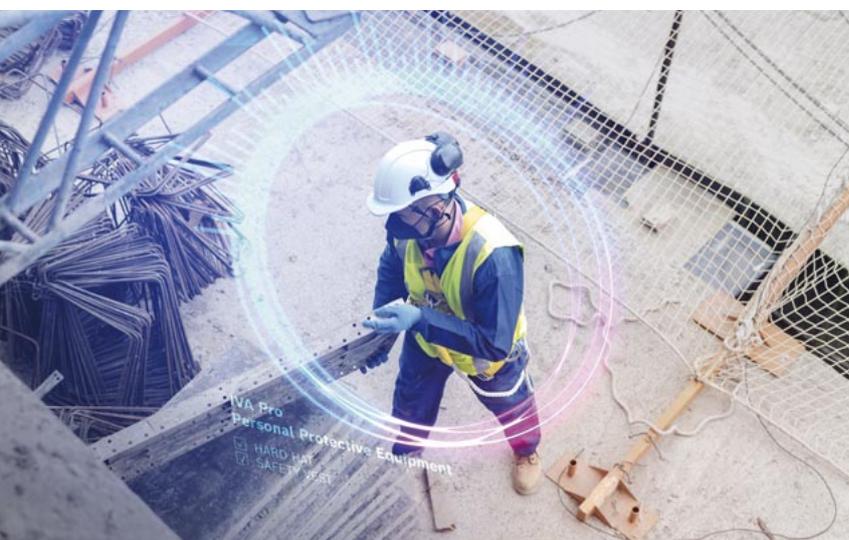
Unternehmen stehen somit vor der Herausforderung, die PSA-Tragepflicht effizient und zuverlässig zu überwachen, um für die Sicherheit von Personen zu sorgen und finanzielle Risiken zu minimieren.

► KI-Sicherheitslösung zur effizienten Unterstützung

Die manuelle Kontrolle der PSA-Tragepflicht ist jedoch zeitaufwendig, personalintensiv und fehleranfällig.

► **Durch die intelligente softwarebasierte Analyse von Videostreams kann dieser Aufwand DSGVO-konform vollständig automatisiert gestaltet werden.**

► **Die erforderlichen Erfassungszonen, Zeiträume und Alarmkriterien werden hierbei individuell definiert.**



KI-gestützte PSA-Erkennung für mehr Sicherheit am Arbeitsplatz durch Intelligente Videoanalyse.

Sobald Personen erkannt werden, bei denen die persönliche Schutzausrüstung – wie die Sicherheitsweste oder der Schutzhelm – fehlt, wird sofort alarmiert und beispielsweise das Sicherheitspersonal benachrichtigt, damit schnell gehandelt werden kann.

Sicherheit für Unternehmen, Mitarbeiter und externe Personen:

Obwohl es in ihrem eigenen Interesse liegt, fehlt Personen, die sich in einem Umfeld mit hohem Unfallrisiko aufhalten, häufig das umfängliche Bewusstsein darüber, dass sie sich u.a. durch eine unzureichende Sichtbarkeit und/oder durch ungeschützte Körperteile einem vermeidbaren Gefährdungspotenzial aussetzen.

► Intelligente Videoanalyse zur Erkennung von PSA bietet Unternehmen zahlreiche Vorteile:

► Verbesserte Einhaltung von Sicherheitsvorschriften:

Durch die automatisierte Überwachung und Echtzeit-Alarmierung bei Verstößen wird die Konformität mit den geltenden Sicherheitsvorschriften sichergestellt und das Risiko von Geldstrafen minimiert.

► Gesteigerte betriebliche Effizienz:

Die manuelle Kontrolle der PSA-Tragepflicht entfällt, wodurch Personalressourcen eingespart und die Effizienz der Sicherheitsüberwachung gesteigert werden.

► Reduziertes Unfallrisiko:

Durch die konsequente Überwachung des PSA-Tragens wird das Risiko von Arbeitsunfällen und Verletzungen reduziert, was die Sicherheit am Arbeitsplatz erhöht und die damit verbundenen Kosten minimiert.

► Tieferes Szenenverständnis:

Die intelligente Software der Videolösung liefert wertvolle Metadaten, die den Inhalt der analysierten Szene beschreiben und so ein umfassenderes Verständnis der Situation ermöglichen.

► Die spezifischen Anforderungen des Unternehmens definieren die relevanten Alarmkriterien:

Die KI-Videoanalyse basiert auf Algorithmen, die gezielt darauf trainiert sind, unterschiedliche Arten von PSA und/oder definierte Situationen zu erkennen. Je nach Einsatz- und Umgebungsbedingungen werden die erforderlichen Parameter passgenau festgelegt.

Dabei funktioniert die intelligente Videoanalyse zuverlässig, egal ob die Personen stehen, gehen oder sich in gebückter Haltung befinden. Auch ist sie bei schwierigen Umgebungsbedingungen wie z. B. in Silos oder Steinbrüchen einsetzbar und kann zusätzlich für weitere Szenarien verwendet werden:

- Erkennen von Personen ohne vorgeschriebene PSA beim Betreten einer Zone
- Erfassen von Linienüberquerungen
- Erfassen von Personen und Fahrzeugen in definierten Zonen
- Erfassen von Personen, die einer Route folgen
- Erfassen von herumlungernenden Personen
- Zählen von Personen und Fahrzeugen

Im Bereich der Personenerkennung mit Persönlicher Schutzausrüstung werden von den Betreibern und den Berufsgenossenschaften neue Anforderungen definiert. Daraus ergeben sich Verbesserungen für die Arbeitssicherheit. Regelwerke und Normen wie das Arbeitsschutzgesetz und die Betriebsicherheitsverordnung unterstützen Betreiber bei der Verwendung von Videotechnik, um das Aufkommen von Arbeitsunfällen und Verletzungen zu minimieren.

Europäisches Projekt DigiEcoQuarry (DEQ)

DEQ befasst sich mit dem Steinbruch als Ganzes, von kleinen bis hin zu Steinbrüchen mit mehreren Standorten, und umfasst 8 Prozesse



Das Projekt wird sich positiv auf die Bereiche Umwelt, Soziales, Gesundheit und Arbeitssicherheit sowie Wirtschaftlichkeit in Bezug auf Steinbrüche auswirken und zur Expansion und Stärkung der Zuschlagstoffindustrie in der EU beitragen.

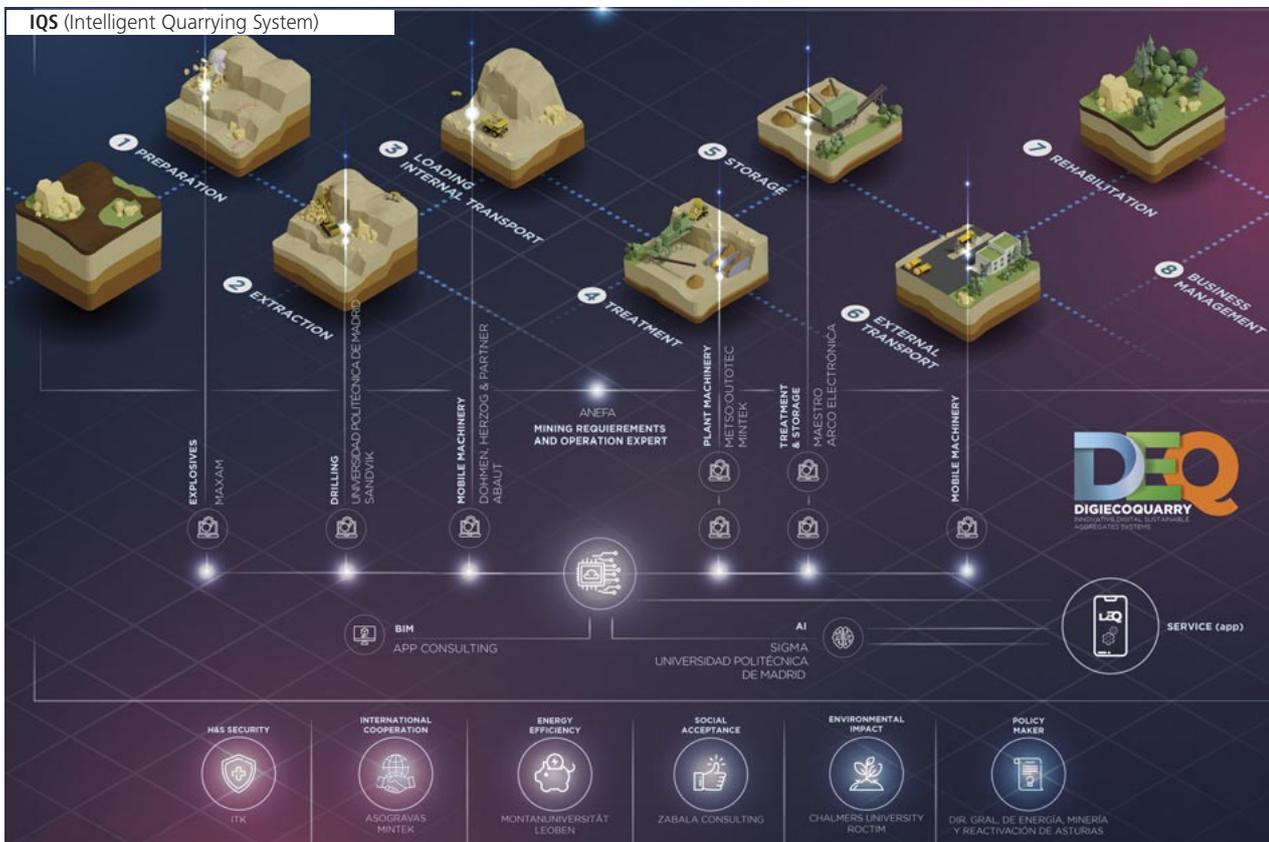
<https://digiecoquarry.eu/>

Die unten stehende Abbildung zeigt die generelle Logik der Zusammenarbeit zwischen den Partnern und die Leistung der Datenerfassung während des gesamten Abbaubetriebs. Das **Netzwerk von IoT-Sensoren** sammelt Daten über Maschinen, Materialien, die Umwelt und andere wichtige Parameter vor Ort. Sensordaten werden von Subplattformen vor Ort und einer cloudbasierten Hauptplattform, der **IoT-Smart-Mining-Plattform**, gesammelt. Diese Interoperabilitäts-plattform bietet die erforderlichen Schnittstellen zur Aufnahme heterogener Daten und bietet Datenspeicherkapazität (Data Lake) für jeden Standort. Die Hauptplattform ermöglicht somit den standardisierten Austausch aller relevanten Daten mit BIM und den Subplattformen (letztere werden als Data-Warehouse einschließlich der KI-Prozesse

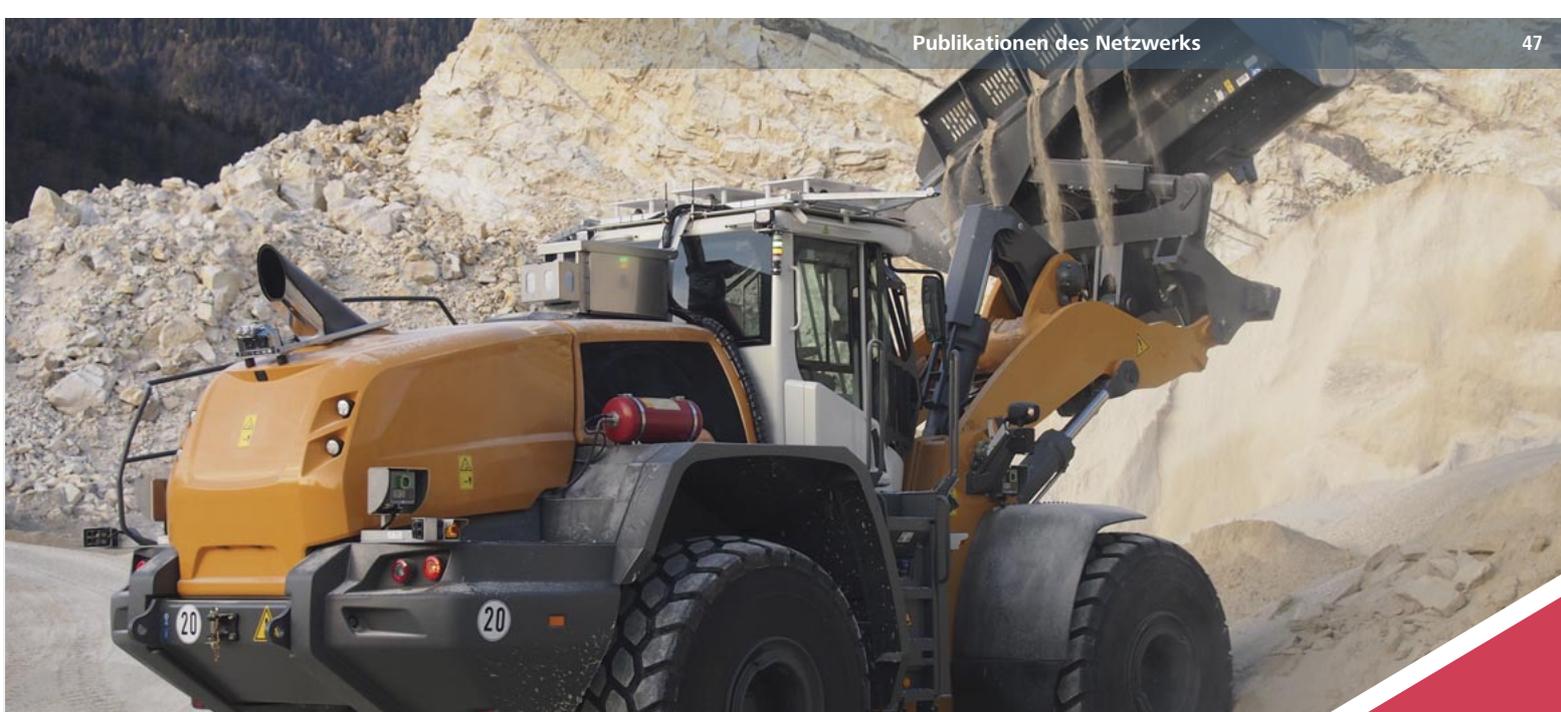
und -Algorithmen implementiert). Diese Sensoren, Subplattformen, die intelligente IOT-Plattform, BIM-Modelle, KI-Komponenten und -Dienste bilden zusammen das Intelligent Quarrying System (IQS).

Das IQS wird sicherstellen, dass das gesamte Steinbruchmanagement aus einer globalen und ganzheitlichen Perspektive in Quasi-Echtzeit optimiert wird, indem Prioritäten zwischen Prozessinteraktionen definiert werden, was zu einem Rahmen für die Entscheidungsfindung führt.

Dies sichert ein Marktpotenzial und einen Wettbewerbsvorteil, der durch die Pilotstandorte gewonnen wird, und führt zu einem Geschäftsmodell, das in den kommenden Jahren in der gesamten EU und weltweit umgesetzt und repliziert werden kann.



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 101003750. This publication reflects only the author's views and the European Union is not liable for any use that may be made of the information contained therein.



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

Kollisionsvermeidung bei mobilen Arbeitsmaschinen und Nutzfahrzeugen

Publikationen des Netzwerk Baumaschinen NRMM CV

Personen-/Objekterkennung, Warnung in Gefahrenbereichen

Kamera-, Sensoriksysteme, intelligente Software bei mobilen Arbeitsmaschinen

- a) Version: Baumaschinen – Mining
 - b) Version: Traktoren und mobile Maschinen in der Land- und Forstwirtschaft (LoF)
 - c) Version: Flurförderzeuge (FFZ)
- ▶ Leitfäden für Betreiber, Beschäftigte, Hersteller und Aufsichtspersonen

In Kürze : Assistenzsysteme zur Kollisionsvermeidung
für schwere Nutzfahrzeuge und Busse

Abbiegeassistenzsysteme im Einsatzbereich

- a) Version: schwerer Nutzfahrzeuge und Busse
 - b) Version: Lkw, Kommunalfahrzeuge und LoF-Fahrzeuge
- ▶ Leitfäden für Betreiber, Beschäftigte, Hersteller und Aufsichtspersonen

Kamera-Monitor-Systeme – Sinnvoll und sicher nachrüsten

Tipps zum Einbau von Kamera-Monitor-Systemen
▶ Leitfaden für Unternehmen, Fachhändler und Montagewerkstätten

Profis nehmen Rücksicht

Gefahren durch Sichteinschränkungen erkennen und vermeiden
▶ Praxishilfe für Arbeitgeber, Arbeitnehmer und Interessenvertretungen

Erdbaumaschinen wirtschaftlich und sicher einsetzen

Maßnahmen kennen – produktiv arbeiten – profitieren
▶ Praxishilfe für Betreiber, Unternehmer und Führungskräfte

Funktionale Sicherheit bei mobilen Arbeitsmaschinen und Fahrzeugen
Safety und Industrial Security bei Entwicklung und Verwendung von Steuerungssystemen

- ▶ Information für Betreiber, Hersteller und Aufsichtspersonen



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 (vergl. 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.

Kameratechnologien, Warn-/Sensorik-/Assistenzsysteme sind technische Hilfsmittel zum Erkennen von Personen und Objekten im Gefahrenbereich von mobilen Maschinen und 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:

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

► Betriebsbereitschaft

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

► Nachrüstung: Montagepunkte wählen, montieren, ausrichten

Die Festlegung des optimalen Montageortes und die einsetzgerechte 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 geeigneter 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 Ihre Berufsgenossenschaft/Unfallkasse!**

► Prüfungen durch die „zur Prüfung befähigte Person“

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

Die nachträgliche Montage eines KMS, Warn-Sensorik-/Assistenzsystems 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.
- ▶ Mängel zur Sicherheit dokumentieren!

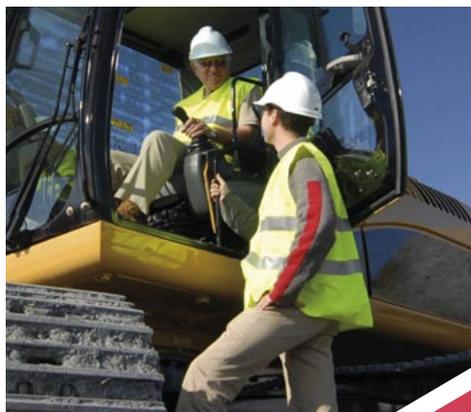
- ▶ **Bei Mängeln** an KMS, Warn- oder Sensoriksystemen, die die Betriebssicherheit gefährden, ist der Betrieb der Maschine bis zur Beseitigung der Mängel einzustellen.

▶ Unterweisungen

Unterweisungen müssen sich 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 Funk-/Transpondersystemen ergänzend Verhaltensregeln für Fahrer/Bediener und alle weiteren Personen am Einsatzort (geschlossen und Einlasskontrolle - s. Kapitel 3.4) aufstellen, die Einhaltung kontrollieren und durchsetzen.



Aufgabe des Arbeitgebers

Der Arbeitgeber hat sicherzustellen, dass Arbeitsmittel (auch mobile Maschinen und Fahrzeuge) geprüft werden. Die Prüfung hat den Zweck, sich von der ordnungsgemäßen Montage und der sicheren Funktion der Arbeitsmittel zu überzeugen. Die Prüfung darf nur von hierzu befähigten Personen durchgeführt werden.

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 für welche Aufgaben konkret verantwortlich ist – 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.

- ▶ Direksicht 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“)
- ▶ **DIN 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

- ▶ **UN ECE R46** – Einrichtungen für indirekte Sicht und deren Anbringung
- ▶ **UN ECE R125** – Vorderes Sichtfeld
- ▶ **DGVV Prüfgrundsatz GS-BAU-70** – Grundsätze für die Prüfung und Zertifizierung von sicherheitsrelevanten Assistenzsystemen an Maschinen und Nutzfahrzeugen
- ▶ **DGVV Prüfgrundsatz GS-BAU-71** – Grundsätze für die Prüfung von Personen-erkennungssystemen für Erdbaumaschinen
- ▶ **DGVV 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 Gestaltungsgrundsätze – Risiko-beurteilung und Risikominderung
- ▶ **EN ISO 13849** – Sicherheit von Maschinen – Sicherheits-bezogene Teile von Steuerungen
- ▶ **ISO 19014-2** – Erdbaumaschinen – Funktionale Sicherheit (ersetzt ISO 15998)
- ▶ **EN ISO 20607** (Entwurf) – Sicherheit von Maschinen – Betriebsanleitung – Allgemeine Gestaltungsgrundsätze

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.

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

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



Betrifft Beschäftigte/Arbeitnehmer:

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!

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 mehrere 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 (s. 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)

Impressum

Bildnachweis, fachliche Unterstützung

► Netzwerk Baumaschinen NRMM CV

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

Das Netzwerk ist überall dort aktiv, wo es gilt, Kollisionen und Unfälle zwischen Mensch, Maschine und Material zu vermeiden.

Neben Herstellern und Zulieferern engagieren sich Fachleute aus Wissenschaft und Forschung, Arbeitsschutz- und Marktaufsichtsbehörden sowie Berufsgenossenschaften, Unfallkassen und Gewerkschaften.

Weitere Informationen und Leitfäden des Netzwerkes stehen auf der Homepage zur Verfügung:

www.netzwerk-baumaschinen.de

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

Titel: Netzwerk Baumaschinen; S. 2, 4: Netzwerk Baumaschinen; S. 5: Brigade Elektronik GmbH, Netzwerk Baumaschinen; S. 6: Brigade Elektronik GmbH, Arcure Blaxtair SA; S. 7: Brigade Elektronik GmbH, ITK Engineering GmbH; S. 8: Mekatronics GmbH, Motec GmbH, Brigade Elektronik GmbH; S. 9: Mekatronics GmbH, Motec GmbH; S. 10: Netzwerk Baumaschinen, Motec GmbH, Brigade Elektronik GmbH; S. 11: Luis Technology GmbH, Bosch Engineering GmbH; S. 12: Luis Technology GmbH, Brigade Elektronik GmbH, Motec GmbH; S. 13: Mekatronics GmbH, CNH Industrial Deutschland GmbH; S. 14: Mekatronics GmbH; S. 15: Motec GmbH; S. 16: Luis Technology GmbH; S. 17: Arcure Blaxtair SA, Mekatronics GmbH, Bosch Engineering GmbH, Brigade Elektronik GmbH; S. 18: Motec GmbH, fact3 e.K., Brigade Elektronik GmbH, Bosch Engineering GmbH; S. 19: Netzwerk Baumaschinen, Bosch Engineering GmbH, Brigade Elektronik GmbH; S. 20: Brigade Elektronik GmbH, Motec GmbH, fact3 e.K., Mekatronics GmbH; S. 21: Netzwerk Baumaschinen, Bosch Engineering GmbH, Brigade Elektronik GmbH, Mekatronics GmbH; S. 22: Sick AG; S. 23: Netzwerk Baumaschinen; S. 24: Advanced Microwave Engineering Srl, Brigade Elektronik GmbH; S. 25: Advanced Microwave Engineering Srl; S. 26, 27: Sick AG; S. 28, 29: Brigade Elektronik GmbH; S. 32, 33: Luis Technology GmbH; S. 34: Luis Technology GmbH, Arcure Blaxtair SA; S. 35: Motec GmbH, Brigade Elektronik GmbH, Luis Technology GmbH, Mekatronics GmbH; S. 36, 37: Arcure Blaxtair SA; S. 38: Netzwerk Baumaschinen; S. 39: ITK Engineering GmbH; S. 40: TEKA Maschinenbau GmbH, ITK Engineering GmbH; S. 41, 42: ITK Engineering GmbH; S. 43: Bosch Engineering GmbH; S. 44: Bosch Sicherheitssysteme GmbH; S. 46: Digiecoquarry; S. 47: Götting KG; S. 48: Netzwerk Baumaschinen, Zeppelin Baumaschinen GmbH; S. 49: Zeppelin Baumaschinen GmbH; S. 51, 52: Netzwerk Baumaschinen.

Aufgenommen mit freundlicher Genehmigung vor Ort bei: Zeppelin Baumaschinen, München (S. 4, 19), Erzeuger-Genossenschaft Neumark e.G. (S. 5, 23), Breitsamer Entsorgung & Recycling, München (S. 10, 38, 48), Cronenberger Steinindustrie, Mammendorf (Cover, S. 23); Hanson Hispania, Madrid (S. 2, 21, 23), PORR Deutschland, (S. 52).

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.
IG BAU – Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt
KAN – Kommission Arbeitsschutz und Normung
UK NRW – Unfallkasse Nordrhein-Westfalen
VBG – Verwaltungs-Berufsgenossenschaft
VDGAB – Verein Deutscher Gewerbeaufsichtsbeamter e.V.

► 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>

Genderverweis: 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.



Weitere Medien der BG RCI finden Sie unter:

www.bgrci.de/praevention/praeventionsmedien

oder nutzen Sie den Auswahlassistenten (AWA) oder die Medienhotline

<https://awa.bgrci.de/>

E-Mail: medienhotline@bgrci.de

Telefon: 06221 5108-44444



Weitere Medien des Netzwerk Baumaschinen NRMM CV finden Sie unter:

www.netzwerk-baumaschinen.de



Bildnachweis:

Titelbild: © Netzwerk Baumaschinen

Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie

Kurfürsten-Anlage 62
69115 Heidelberg
Tel.: 06221 5108-0
www.bgrci.de