VBG
Ihre gesetzliche
Unfallversicherung

Personen-/Objekterkennung, Warnung in Gefahrenbereichen

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

Leitfaden für Betreiber, Beschäftigte, Hersteller und Aufsichtspersonen

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

Kontakt VBG – Verwaltungsberufsgenossenschaft

Präventionsfeld Glas und Keramik
Riemenschneiderstr. 2
97072 Würzburg

E-Mail: glaskeramik@vbg.de
Internet: www.vbg.de/glaskeramik

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

Netzwerk Baumaschinen NRMM CV

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

2. aktualisierte Auflage (08/2023)

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).
Im Fokus steht dabei die Personen- und Objekterkennung zur Kollisionsvermeidung. Zentrale Aufgabenstellungen hierzu werden mit den betroffenen Akteuren diskutiert und aus den Ergebnissen praxisgerecht aufbereitete Informationen und Leitfäden erarbeitet.

Im Wesentlichen gelten die in diesem Leitfaden vorgestellten Informationen und Lösungen für mobile Baumaschinen und Nutzfahrzeuge (im Leitfaden zusammenfassend auch als „mobile Maschinen" bezeichnet), die sich im Baustellenbereich, in Steinbrüchen und in der Glas- und Keramikindustrie bewegen.
Aufgrund ähnlicher Technik und vergleichbarem Gefährdungspotenzial sind die Informationen übertragbar.
Hierzu bietet das Netzwerk branchenspezifische Leitfäden (Übersicht der Leitfäden siehe Seite 29).

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

- Kamera-Monitor-Systemen,
- Warn- und Sensoriksystemen und
- intelligenter Software zur Objekterkennung.

Bei eingeschränkten Sichtverhältnissen können diese den Fahrer/Bediener unterstützen und für einen zuverlässigen Kollisionsschutz beim Einsatz von mobilen Arbeitsmaschinen sorgen.

Unternehmer, Führungskräfte, Betriebsräte, Sicherheitsfachkräfte (SiFas), Sicherheitsbeauftragte (SiBes), Sicherheits- und Gesundheitsschutzkoordinatoren (SiGeKos), Fahrer/Bediener erhalten wertvolle Hinweise für einen sicheren und effizienten Einsatz.

VISION ZERO.
NULL UNFÄLLE – GESUND ARBEITEN!

Arbeitsschutz ist Teamwork!
Dem hat sich das Netzwerk verpflichtet und unterstützt als Kooperationspartner die BG RCI-Präventionsstrategie „VISION ZERO. Null Unfälle – gesund arbeiten!"
Ziel der Strategie: Durch geeignete präventive Maßnahmen eine Arbeitswelt zu erreichen, in der niemand bei der Arbeit getötet oder so schwer verletzt wird oder erkrankt, dass daraus lebenslange Schäden resultieren.

- www.bgrci.de/vision-zero

INQA | INITIATIVE NEUE QUALITÄT DER ARBEIT

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

- www.inqa.de

Inhalt

1 Gefahrensituationen sicher erkennen 4
1.1 Gefährdungsbeurteilung „Sicht" durchführen 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
2.2.3 Multikamerasystem mit 3D-Modell 14
Multikamerasystem Nachrüstlösung 15
2.3 Spiegelersatzsysteme 16

3 Personen- und Objekterkennung – Warn- und Sensoriksysteme 17
3.1 Ultraschallsysteme 18
3.2 Radarsysteme 20
3.3 TAG-basierte Systeme – UWB-/RFID-Technologie 22
3.4 3D-Kamerasensoren (3D-Snapshot-Vision) 24
3.4.1 3D-Stereokameras 26
3.4.2 3D-Time-of-Flight-Sensoren (3D-ToF) 27
3.5 LiDARsysteme 28

Publikationen des Netzwerks 29

4 Akustische Warnsignale für Personen in der Umgebung 30
4.1 Breitband-Tonwarner 31

5 Personen- und Objekterkennung – Intelligente Software und KI 32
5.1 Künstliche Intelligenz (KI) 33
5.2 Personen-/Objektdetektion mittels künstlicher Intelligenz 34
5.3 Aktive KI-Personenerkennung mit Bremsassistent bei Rückwärtsfahrten (Radlader) 37
5.4 Aktive KI-Personenerkennung zur Kollisionsvermeidung und Unfallrisikomanagement 38
5.5 Individuelle Datenverarbeitung und Apps in 3D-Kamerasensoren 40
5.6 3D-Terrain-Mapping (3DTM) 42
5.7 Chancen der Digitalisierung für den Arbeitsschutz bei mobilen Maschinen und stationären Anlagen – Praxisbeispiel European project DIGIECOQUARRY (DEQ) 44 47

6 Allgemeine Grundlagen für die Beschaffung und den Betrieb 48

7 Regelwerke und Normen für Betreiber/Arbeitgeber, Hersteller, Arbeitnehmer **50**

8 Glossar, Abkürzungen 53

Impressum, Bildquellennachweis 54

1 Gefahrensituationen sicher erkennen

Sicht und Aufmerksamkeit

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

Schlechte oder fehlende Sicht verursacht:

- Störungen des Arbeitsablaufs
- Stress bei den Betroffenen
- Erhöhte Unfallrisiken

Erste Forderung: Für gute Sicht auf die Gefahrenbereiche sorgen!

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

Auch wenn in der Vergangenheit die Sichtverhältnisse von mobilen Maschinen konstruktiv verbessert wurden, können außerhalb vom **Sichtfeld des Fahrers** bauartbedingt sogenannte „Tote Winkel" verbleiben: die vom Fahrerplatz aus nicht direkt einsehbaren Gefahrenbereiche.

Reicht die direkte Sicht des Fahrers auf seinen Arbeitsbereich nicht aus, um dort Personen und Objekte sicher zu erkennen, sind vorrangig technische Maßnahmen, wie zum Beispiel Kamera-Monitor-Systeme (KMS) einzusetzen (siehe Gefährdungsbeurteilung Kapitel 1.1).

- **Daher schon vor der Bestellung und nach Auslieferung einer neuen mobilen Maschine, ebenso bei Anmietung und Kauf einer Bestandsmaschine unbedingt prüfen, ob klare Sichtverhältnisse gegeben sind.**
  Bei fehlender Sicht sind zuerst 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!

Vorbeugen ist die beste Unfallvermeidung

Prävention ist die sicherste Maßnahme, um Unfälle zu vermeiden.
Deshalb vor wechselnden Einsätzen – insbesondere auf neuen Baustellen – stets eine **Gefährdungsbeurteilung Sicht** durchführen.

Die Anforderungen an die Gefährdungsbeurteilung gemäß ArbSchG sind in der TRBS 1111 konkretisiert.

1.1 Gefährdungsbeurteilung „Sicht“ durchführen

Reicht die direkte Sicht des Fahrers/Bedieners auf den Arbeitsbereich nicht aus, um dort Personen und Objekte sicher zu erkennen, sind gemäß „TOP-Prinzip“ vorrangig technische Maßnahmen festzulegen und umzusetzen. Beispiele für Schutzmaßnahmen:

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

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**

Ausreichende Sicht auf Fahrbahn und Gefahrenbereiche ermöglichen

Zuerst die Sitzeinstellung für den Fahrer optimieren und dann überprüfen, ob eine direkte Sicht auf die Gefahrenbereiche der Maschine gegeben ist:

- Sind an der Maschine alle Spiegel montiert?
- Sitzen die Spiegel an der richtigen Position? Dabei beachten: Spiegel und Monitore müssen im vorderen 180°-Blickfeld des Fahrers angebracht sein.
- Reicht die Sicht aus? (s. Tipp rechte Spalte)

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

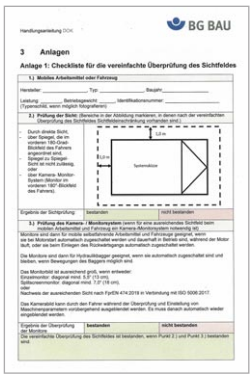
- Kamera-Monitor-System
- Rundumsicht-Kamerasystem
- Warn-/Sensoriksystem
- Intelligente, aktive Lösungen

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

Mögliche Gefährdungen im Einsatzbereich mobiler Maschinen stets ermitteln und geeignete Schutzmaßnahmen nach **„TOP-Prinzip“** durchführen und dokumentieren:

- **T**echnische Maßnahmen haben stets Vorrang vor
- **O**rganisatorischen und
- **P**ersönlichen Maßnahmen

TIPP: Checkliste für die vereinfachte Überprüfung des Sichtfelds

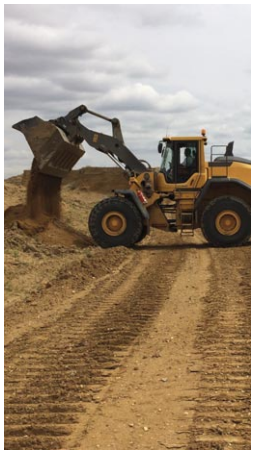

BG BAU

3 Anlagen

Anlage 1: Checkliste für die vereinfachte Überprüfung des Sichtfeldes

https://www.dguv.de/medien/fb-bauwesen/bilder/erfassungsbogen_1.pdf

Zweite Forderung: Aufmerksamkeit des Fahrers ermöglichen



Allerdings kann niemand ständig und voll konzentriert alle Bedienvorgänge seiner mobilen Maschine bzw. seines Fahrzeugs überwachen. Beste Sichtverhältnisse und zusätzliche Maßnahmen zur Sichtverbesserung nutzen nur, solange der Fahrer alle Gefahrenbereiche gleichzeitig und aufmerksam im Blick hat. Eine nachlassende Konzentration kann sein Reaktionsvermögen stark vermindern – mit erheblichen Folgen.

Die Ursachen für Ermüdung und nachlassende Reaktionsfähigkeit erkennen:

- 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

Weitere Informationen zum Thema Stress vorbeugen am Arbeitsplatz beispielsweise „Kein Stress mit dem Stress" Handlungshilfen für Führungskräfte und für Beschäftigte auf www inqa.de

Um rechtzeitig vorzubeugen und die Aufmerksamkeit des Fahrers zu ermöglichen, sensorische Warnsysteme einsetzen, die die Kamera-Monitor-Systeme unterstützen.

Das sensorische System warnt bei akuter Gefahr den Fahrer. Es schärft z.B. durch ein deutlich wahrnehmbares akustisches Signal seine Aufmerksamkeit. Beim Blick auf den Monitor des Kamera-Monitor-Systems erhält der Fahrer genaue Informationen darüber, wer oder was in seinem Arbeits- bzw. Gefahrenbereich aufgetaucht ist.
Häufig ist eine Kamera bereits werksseitig auf der mobilen Maschine angebaut. Dann sollte sinnvollerweise ein sensorisches System gegen nachlassende Aufmerksamkeit ergänzt werden.

Dritte Forderung: Maschinen „intelligenter" machen

Auch wenn klare Sicht gewährleistet ist und aktive Warnsysteme für bestmögliche Aufmerksamkeit sorgen, bleiben viele weitere Aufgaben für den Fahrer/Bediener übrig, die weit über die Leistungen eines Assistenzsystems beim Rangieren oder Fahren hinausgehen (siehe hierzu auch Kapitel 5).

Beispiele für Assistenzaufgaben, die mobile Maschinen „intelligenter" machen:

- Intelligente Kollisionswarnung
- Spurhaltung bei mobilen Maschinen
- Anzeige von Füllständen (z. B. Container)
- Optimieren der Maschinenleistung
- Minimieren von Ausfallzeiten
- Positionieren von Paletten
- Warnsignalübertragung von Maschinenflotten für vorbeugende Instandhaltung
- Einhaltung von Sicherheitsvorschriften unterstützen

Diese und weitere Automatisierungsaufgaben können mit einer Kombination aus robuster Hardware und intelligenter Software (Algorithmen) gelöst werden. Dabei spielen Bildverarbeitungs-Technologien und verlässliche 3D-Kameradaten eine Schlüsselrolle.
Die softwareseitig ausgewerteten Daten kommunizieren direkt mit der Maschine. Somit entlasten sie den Fahrer und reduzieren die Risiken für Unfälle und Schäden.

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 autonom herbeigeführtes Brems- oder Ausweichmanöver (siehe Kapitel 5).

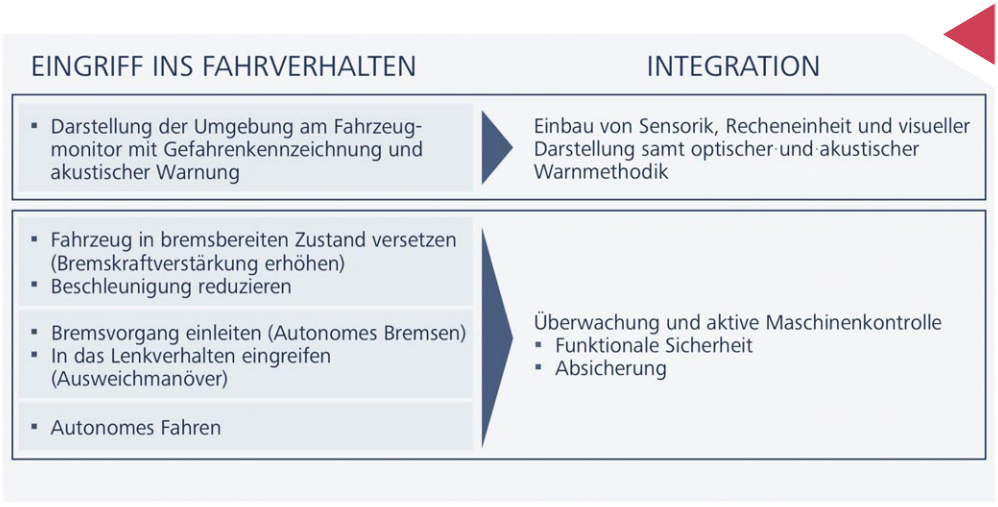
Digitalisierung liefert die Basis dafür, gleichzeitig

- Maschinen intelligenter zu machen und die
- zunehmende 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.

▶ **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“)**



Funktionale Sicherheit

Eine Beurteilung funktionaler Sicherheit erfolgt unter Berücksichtigung der allgemein anerkannten Regeln der Technik. Oberstes 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 autonomen 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 in mobilen 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.

siehe Information „Funktionale Sicherheit“ Download unter: www.netzwerk-baumaschinen.de

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 Baggers.

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!

Beispiele für Heavy-Duty Kameras und einem wasserdichten Monitor

Systeme zur Sichtverbesserung und Gefahrenerkennung

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

Zur Sichtverbesserung und schnelleren Gefahrenerkennung beim Einsatz von mobilen Maschinen und Nutzfahrzeugen im Baustellenbereich haben sich Standard Kamera-Monitor-Systeme bewährt.

Ergänzend zu Rückfahrkameras können Seitenbereichkameras (siehe Bilder oben) bisher nicht einsehbare Gefahrenbereiche – wie zum Beispiel die dem Fahrer abgewandte rechte Seite einer mobilen Maschine – erfassen und darstellen.

Unfälle und Gefährdungen durch Sichteinschränkungen vermeiden

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

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

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

Setzen Sie dem Blindflug beim Rückwärtsfahren, Abkippen, Schwenken, Drehen und Rangieren ein Ende. Ein kontrollierbares Sichtfeld für den Gefahrenbereich ermöglicht ein schnelleres, präziseres und sichereres Arbeiten.

Empfehlung aus der Praxis:
Der Fahrer / Bediener muss gefährdete Personen schnell erkennen können!
Daher sollten Monitore aus ergonomischen und sicherheitstechnischen Gründen mindestens eine Größe von 7 Zoll haben – bei Sichtabstand vom Fahrer zum Monitor von bis zu 1 m.

Weitere Anforderung aus ISO 16001: Die gefährdete Person muss in einer Größe von mind. 7 mm auf dem Monitor abgebildet werden.

Weitere Informationen und Tipps zum Nachrüsten von KMS finden Sie im Leitfaden „Kamera-Monitor-Systeme – sinnvoll und sicher nachrüsten" unter: www.netzwerk-baumaschinen.de
Bei Nachrüstung unbedingt die Herstellerangaben der mobilen Maschine und die Herstellerangaben des eingesetzten Kamera-Monitor-Systems beachten!

Eine Herstellerübersicht zu Kamera-Monitor-Systemen finden Sie unter: www.netzwerk-baumaschinen.de

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.

Bild oben: Rundumsicht-KMS bieten dem Bediener Übersicht für die nähere Umgebung. Ein rundum kontrollierbares Sichtfeld ermöglicht schnelles, präzises und stressfreies Arbeiten, auch z. B. bei Spezialanwendungen mit Volumenschaufel.

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 große Vorteil besteht in der gleichzeitigen Darstellung aller relevanten Bereiche um die mobile Maschine herum: Der Fahrer erfasst mit einem Blick auf den Monitor alle Gefahrenbereiche seines 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 von Kameras und Monitor entscheidend.

Darstellung der Rundumsicht an einem Bagger.

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 und**
- **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).

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/Nachtumschaltung 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

Bilder mehrerer Kameras ermöglichen Rundumsicht.

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

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

3. Rundumsicht mit 3D-Modell:
Die vom Kamerasystem erzeugten Bilddaten der Umgebung werden mit den 3D-Bilddaten der Maschine zusammengeführt. Der Monitor zeigt eine real wirkende 3D-Darstellung der arbeitenden Maschine in ihrer Umgebung. (s. Kapitel 2.2.3)

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 die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Rundumsicht näher erläutert. ▶▶▶

Die beiden Abbildungen zeigen Beispiele von HDR-Kameras (HDR = High Dynamic Range) – jeweils mit und ohne Heavy-Duty-Gehäuse.

Monitore werden i.d.R. per Knopfdruck bedient. Daneben gibt es auch Touch-Monitore (siehe Abbildung unten).

Durch Berühren des Bildschirms kann u.a. zwischen Ansichten umgeschaltet werden. Der Fahrer/Bediener kann die Sicht in 3D-Views um das Fahrzeug herum bewegen.

„**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 des Zuschauers.

2.2.1 Vier Kameras – Rundumsicht aus der Vogelperspektive (Birdview)

Komponentenbeispiele oben: Monitor, Recheneinheit und Kameras

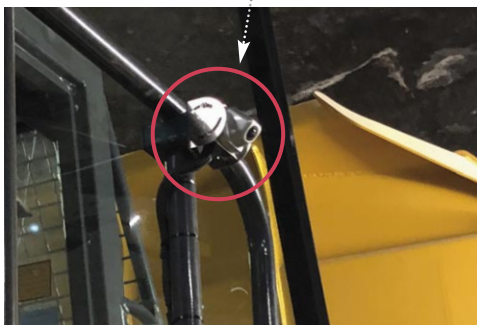
In Echtzeit optimierte Bilder des KMS bieten Übersicht für ein noch sichereres Manövrieren bei niedrigen Geschwindigkeiten. An der mobilen Maschine – vorne, hinten und seitlich – montierte Ultraweitwinkel-Kameras zeigen die jeweilige Fahrzeugumgebung. **Die Bilder der Kameras werden über die Steuereinheit (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.

- Das KMS vermittelt dem Fahrer/Bediener eine realistische Rundumansicht seiner mobilen Arbeitsmaschine.
- Neben der Rundumsicht kann er sich auch gezielt einzelne Bereiche anzeigen lassen – entweder als Vollbild oder im Splitscreen-Modus (siehe Foto oben links).
- Das weitere Praxisbeispiel (Foto unten rechts) zeigt ein System mit drei Weitwinkel-Kameras. Diese ermöglichen eine 270°-Überwachung des gesamten Heckbereichs um die mobilen Arbeitsmaschine herum.

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/zur Person hin ändert.

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

Weitere Möglichkeiten:
Spezifische Anforderungen, die sich aus dem Arbeitseinsatz bzw. der Art der mobilen Maschine und ihrer Anbauteile ergeben, können besondere Maßnahmen erfordern. So kann beispielsweise durch eine besondere Positionierung der Frontkamera auch über eine Volumenschaufel hinweg gesehen werden.

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 die Lastesel des Steinbruchs: Muldenkipper, Dumper und andere SKW (Schwerlastkraftwagen).

Bild 1: Darstellung der Sichtfelder eines Surroundview-KMS

Bild 2: Monitorbeispiel für eine Splitscreen-Darstellung

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

Systemeigenschaften

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

Je nach Maschinengröße können sich ggf. auch Kameras mit kleinerem Bildwinkel eignen.

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 Aufgaben-bereiche konfigurieren. Je nach Umgebung und Anwendung sind besonders robuste Kameras erforderlich.

2.2.3 Multikamerasysteme – Rundumsicht mit 3D-Modell

Detailgetreue Umgebungsdarstellung

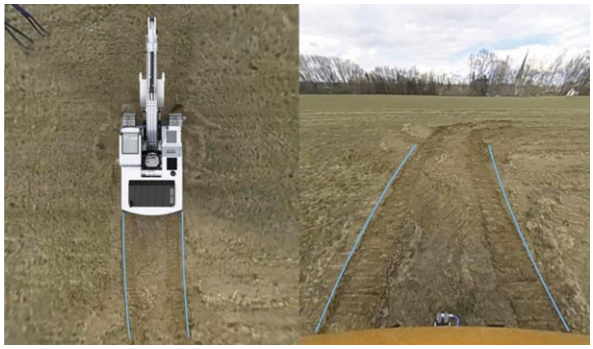


Bild oben: Darstellung im Splitscreen – mit optionaler Fahrspureinblendung; Auf dem Monitor werden gleichzeitig die Sicht von oben und die Sicht auf den rückseitigen Arbeitsbereich gezeigt.

Ein ausgeklügelter Algorithmus erzeugt aus den Bilddaten des Multikamerasystems – bestehend aus vier digitalen Nahbereichskameras und einer elektronischen Steuereinheit – eine realistisch wirkende Darstellung der mobilen Maschine in ihrem Umfeld.

Der Fahrer/Bediener sieht auf dem Monitor seine Maschine samt Nahbereich als detailgetreues 3D-Modell. Dabei wird jede Bewegung der Maschine und ihrer Fahrzeugteile (z.B. Schaufel) direkt in Echtzeit angezeigt und ermöglicht ein präzises und sicheres Manövrieren.
Je nach Anforderung kann sich der Fahrer/Bediener die von ihm benötigten Einzelansichten und/oder die 360°-Rundumsicht als Vollbild- oder im Splitscreen anzeigen lassen.

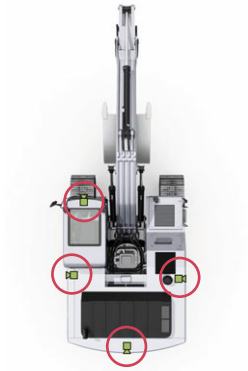


Bild oben: Montagepunkte der vier Kameras an einem Bagger

Das System steht für verschiedene mobile Arbeitsmaschinen im Off-Highway-Bereich zur Verfügung.

Die optionale Fahrspureinblendung in Abhängigkeit des Lenkwinkels ermöglicht eine bessere Kontrolle der Maschine während der Arbeit und erleichtert das Manövrieren in enger Umgebung.

Systemeigenschaften und optionale Konfigurationen

- 360°-Rundumsicht in Echtzeit
- Stitching-Algorithmus: kein „Verschwinden" von Objekten in überlappenden Bereichen der Kamerabilder
- Top-View-Ansicht (Draufsicht) des aktuellen Arbeitsbereichs bis zu 8 m × 8 m.
- Vollbild- und Splitscreenanzeige
- Optionale Fahrspureinblendung als Manövrier- und Positionierungshilfe (mit Farbwahl für eindeutige Lesbarkeit auf unterschiedlichen Oberflächen)
- Die Kamera in Fahrtrichtung kann abhängig vom Lenkwinkel digital mitschwenken, um dem Fahrer den für ihn relevanten Bereich anzuzeigen
- „Panorama-Ansicht" (Öffnung des Sichtbereichs der Front- /Heckkamera auf 180°)
- Automatische Zoomfunktion zum Erleichtern des Manövrierens in enger Umgebung bei langsamer Geschwindigkeit
- Visualisierung von Hindernissen in Draufsicht und Einzelansichten
- Inbetriebnahme des Systems (z.B. Kalibrierung und Position der Ansichten) durch den Betreiber für verschiedene Fahrzeugvarianten möglich
- HD-Bildqualität durch hochauflösende Kameras – in Abhängigkeit des verwendeten Monitors (1280 x 800 Pixel)

System für die Nachrüstung

Bestandsfahrzeuge lassen sich mit einer anpassbaren Retrofit-Lösung einfach und schnell mit einem Multikamerasystem ausstatten.

Multikamerasystem Nachrüstlösung

Die auf der vorhergehenden Seite beschriebenen Multikamerasysteme bieten dem Fahrer/Bediener in Echtzeit einen umfassenden Überblick über den Arbeitsbereich um die Maschine herum. Mit der anpassbaren Retrofit-Lösung lassen sich auch unterschiedlichste Bestandsfahrzeuge einfach und schnell nachrüsten.

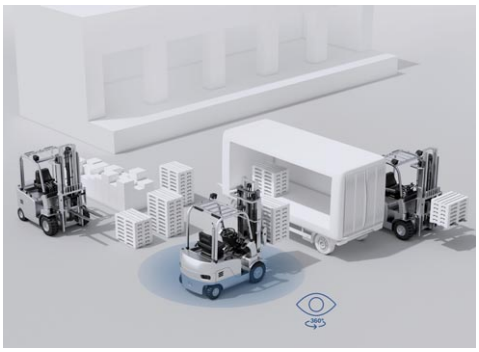


Bild oben: 360°-Rundumsicht bei einem Gabelstapler

Alles aus einer Hand

Das Komplettpaket besteht aus vier kompakten Nahbereichskameras samt Steuergerät, einem universellen Kabelbaum, einem 10-Zoll-Touch-Display sowie Kamerahaltern. Eine schnelle und einfache Montage ist damit möglich.

Hohe Funktionsgüte bei unterschiedlichen Nutzungsbedingungen:

Eine durchgängig digitale Kameratechnik sorgt dabei für eine hohe Bildqualität selbst bei widrigen Lichtverhältnissen, wie etwa in der Dämmerung, bei schlechter Beleuchtung der Arbeitsumgebung oder bei Gegenlicht.
Das hochauflösende Display ermöglicht eine sehr gute Bilddarstellung und Ablesbarkeit sogar bei direkter Sonneneinstrahlung oder schnellen Helligkeitswechseln.
Dank eines stabilen Gehäuses aus pulverbeschichtetem Aluminium-Druckguss ist das Display auch für den Außeneinsatz unter rauen Umgebungsbedingungen geeignet (Schutzklasse IP 66).

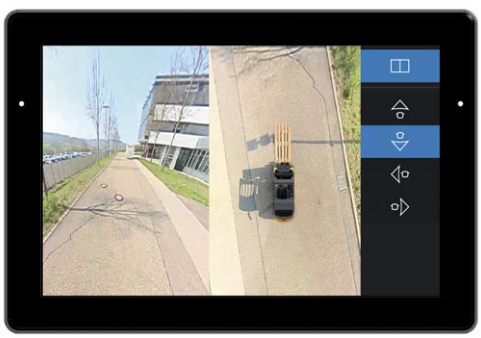


Bild links: Darstellung unterschiedlicher Kameraaufnahmen im Split-Screen. Der Bediener/Fahrer kann gleichzeitig den vorderen Fahrweg einsehen und von oben den kompletten Nahbereich um das Fahrzeug herum überblicken.

Funktionen einfach per Touch-Oberfläche steuern

Alle Funktionen des Multikamerasystems werden durch eine Touch-Oberfläche auf dem Display gesteuert, sodass keine weiteren Tastenfelder in die Fahrzeug-Kabine integriert werden müssen.
Über das **intuitiv bedienbare Menü** kann beispielsweise zwischen den einzelnen Kameraansichten des Systems gewechselt werden:

- Einzelansichten vorne/hinten
- 360°-Rundumsicht im Vollbild oder Splitscreen
- Bird-View
- Panorama-View

Insbesondere die Panorama-Ansicht bietet durch den erweiterten Sichtbereich auf 180° ein erhebliches Mehr an Sicherheit beim Rangieren an unübersichtlichen Stellen.

Bild oben: An der Arbeitsmaschine montierte Kamera

2.3 Spiegelersatzsysteme

„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 Spiegelersatzsystems – auch als „digitaler Außenspiegel“ bezeichnet – kann hier Abhilfe schaffen. **Dabei liegt ein besonderer Vorteil darin, dass die Kameras über einen großen Blickwinkel verfügen und flexibel genau so platziert werden können, dass der Gefahrenbereich vom Fahrer optimal einsehbar ist.**

Nachrüstung:
Digitale Spiegelersatzsysteme 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:

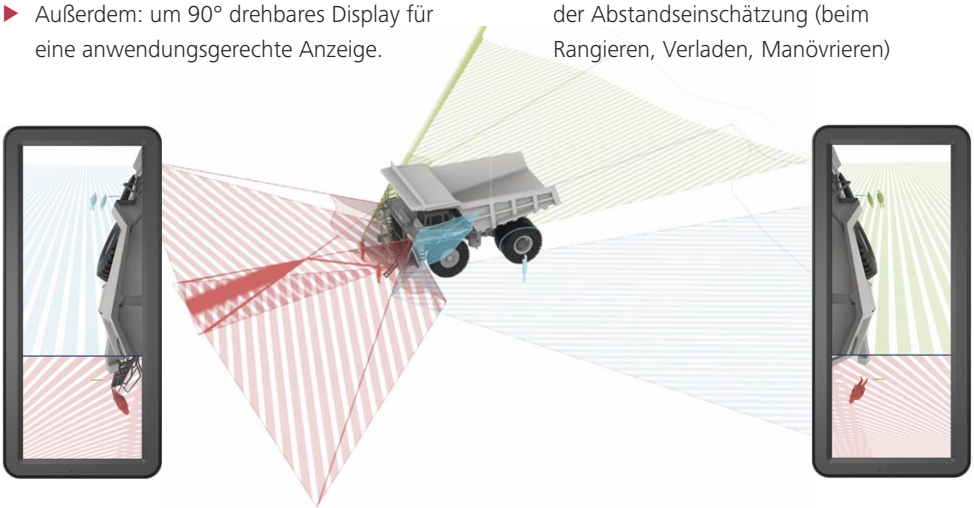
- hochauflösende HD-Kameras mit
- HDR Funktion für brillante Bildqualität auch bei schwierigen Lichtverhältnissen,
- lichtstarke und reflexionsfreie Displays mit
- Sensor für Anpassung der Helligkeit an das Umgebungslicht.
- Außerdem: um 90° drehbares Display für eine anwendungsgerechte Anzeige.

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.

3

Personen- und Objekterkennung

Warnsysteme für Bediener/Fahrer

Einsatzgebiete nach Funktion

Warn-/Sensoriksysteme unterstützen die Personen- und Objekterkennung beim Arbeiten in schwer oder nicht einsehbaren Bereichen. Zur Erhöhung der Sicherheit können die Detektionssysteme für verschiedenste Arbeitsaufgaben und Gefahren konfiguriert werden. Je nach Anforderungsprofil kommen unterschiedliche sensorische Systeme zum Einsatz, nach Funktionsprinzip unterteilt in z. B.:

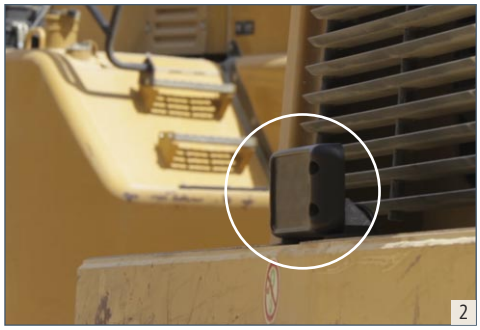
- **Ultraschallsysteme**
- **Radarsysteme**
- **TAG-basierte Systeme (UWB/RFID)**
- **3D-Kamerasensoren**
- **Lidarsysteme**

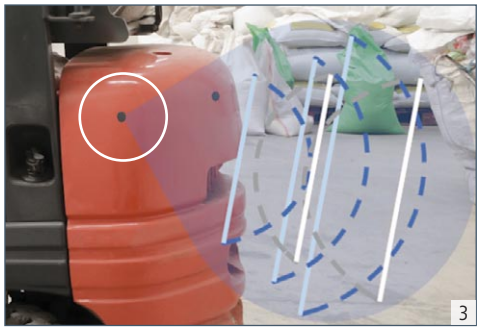
Entscheidend sind die anwendungsgerechte Auswahl und die Qualität des eingesetzten Systems. Weitere technische Lösungen können für spezielle Aufgaben zum Einsatz kommen – lassen Sie sich von Ihrem Fachbetrieb beraten.

Gefährdungen dauerhaft erkennen!

Ganztägiges konzentriertes Arbeiten kann allein mittels KMS nicht sichergestellt werden. Ergänzende Objekterkennungssysteme können bei nachlassender Konzentration den Fahrer/Bediener unterstützen. **Vorbeugen stellt immer die sinnvollste Unfallverhütung dar. Daher stets eine Gefährdungsbeurteilung erstellen – siehe hierzu Kapitel 1.1!**

1


2


3

4

Beengte Platzverhältnisse erfordern allerhöchste Aufmerksamkeit.
Hier können Personen- und Objekterkennungssysteme wirksam die Gefahrenerkennung erhöhen, beispielsweise mittels:

- Intelligenter Personen-/Objekterkennung durch 3D-Kamerasensoren (Bild 1)
- Radarsystem zur Rückraumüberwachung mit integrierter Kamerasicht (Bild 2)
- Ultraschallsensoren für eine flächendeckende Rückraum- und Seitenbereichsüberwachung (Bild 3)

Zusätzliche akustische Warnsignale ermöglichen

- eine gezielte und deutlich wahrnehmbare Warnmeldung an Personen, die sich im Gefahrenbereich befinden (Bild 4).

3.1 Ultraschallsysteme

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

Beispiele für Komponenten eines Ultraschallsystems:

Sensoren, Steuereinheit, Signalgeber

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 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 Dumpern.
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.

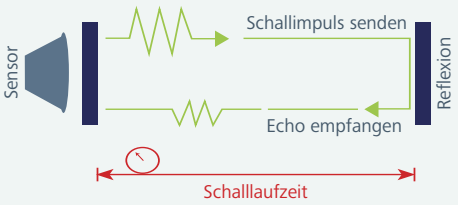
Je nach Anforderung (Fahrzeug-/Maschinenart, Arbeitsaufgabe und Umfeld) kommen:

- rückseitige,
- seitliche und/oder
- vorderseitige

Ultraschallsysteme zum Einsatz.

ACHTUNG: Bei sehr hoher Verschmutzung durch Staub, bei Rauch, Feuchtigkeit können Fehlmeldungen ausgelöst werden. Daher immer Einsatzort und Aufgabengebiet prüfen und eine Gefährdungsbeurteilung Sicht durchführen. Fehlmeldungen können die Bereitschaft, Warnmeldungen zu beachten, beinträchtigen. 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 > 20 kHz (optimalerweise 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.

Ultraschallsensoren zur Entfernungsmessung

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
- Messempfindlichkeit flexibel einstellbar
- Umgebungslernmodus zur Vermeidung von Fehlalarm
- Synchronisations- und Multiplex-Betrieb, Selbstdiagnose, visuelles Abstands-Display

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

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).

In der Detektionszone befindliche Objekte/Personen werden von den Sensoren erkannt und der Fahrer/Bediener über ein Signal auf dem Display gewarnt.

Ultraschallsysteme mit Objektlokalisierung bestimmen die genaue Position der detektierten Person und übermitteln die Information an den Fahrer/Bediener.

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 Filteralgorithmen zur Vermeidung von Signal-Interferenzen oder zur Reduktion von externen Störeinflüssen

Ab 2024 nächste Generation Ultraschallsysteme – mit safety-relevanten Funktionen.

Das Thema safety-relevante Funktionen zur Umfelderfassung gewinnt zunehmend an Relevanz. Für den Off-Highway Bereich werden erste Safety Varianten nach der Maschinenrichtlinie (MRL) mit Performance Level C ab 2024 in den Markt kommen. Vorgaben hierfür regelt die EN ISO 13849.

3.2 Radarsysteme

Komponentenbeispiel:
Kompakter 77 GHz Radarsensor

Kombinationsbeispiel:
Radarsensor in Verbindung mit einer Rückfahrkamera

Hinweis zur Entfernungsangabe:
In Anwendungen wie z.B. dem Straßenverkehr sind erheblich größere Reichweiten bzw. Detektionsbereiche möglich.

Um unerwünschte Fehlalarme zu unterdrücken, können Radarsysteme mit 3D-Terrain-Mapping (Kapitel 5.6) kombiniert werden. Hierbei werten intelligente Software-Algorithmen die detektierten Signale aus. Der Alarm wird nur dann ausgelöst, wenn tatsächlich ein gefährdendes bzw. gefährdetes Objekt oder Lebewesen erkannt wird.

Zuverlässige Warnung auch bei widrigen Sichtverhältnissen

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 20 m-Umfeld bei hoher Geschwindigkeit erkennen

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

Mit einer sehr geringen Zeitverzögerung warnen

Warnsysteme mit Radarsensoren unterstützen den Fahrer mit einer sehr geringen Zeitverzögerung (50 ms) bei der 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 Flurförderfahrzeuge.

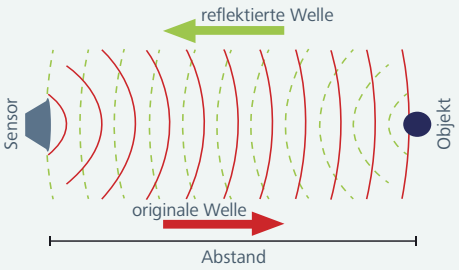
Radarsysteme umfassen in der Regel ein bis zwei Sensoren. Diese können gezielt dort angebracht werden, wo der jeweilige Gefahrenbereich der Maschine/des Fahrzeugs überwacht werden soll. Der Detektionsbereich unterteilt sich in mehrere Zonen, sodass der Bediener/Fahrer durch entsprechende Signale über den Abstand zum Objekt bzw. zu der Person informiert wird (s. Abbildung im Kasten 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.

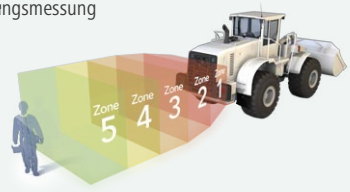
ACHTUNG: Im Vorfeld die Einsatzorte und Aufgabengebiete des Fahrzeugs prüfen und Gefährdungsbeurteilung durchführen: Unwegsames Gelände kann zu unnötigen Fehlalarmen führen.

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



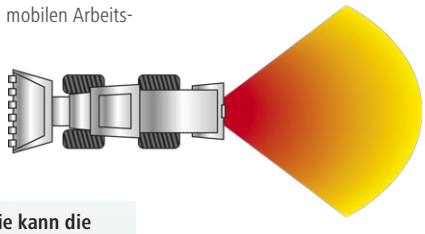
Merkmale für Radarsysteme

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 (50 ms)
- 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.

Abbildung oben: Das Display in der Fahrerkabine signalisiert, ob sich ein Objekt in der Gefahrenzone der Arbeitsmaschine befindet. Anhand der Abstandsanzeige sieht der Fahrer/Bediener, wie dicht sich das Objekt an der Maschine befindet und ob es sich ihr nähert oder von ihr entfernt.



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.

Bild oben: Im Ladebereich detektieren am Radlader und Mobilbagger angebrachte Radarsensoren die Gefahrenbereiche der Maschinen.

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 den Monitor des KMS in der Fahrerkabine.

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

3.3 TAG-basierte Systeme – UWB-/RFID-Technologie

TAG = von Personen tragbare Warneinheit, um von einem am Fahrzeug befindlichen Sensor erkannt zu werden.
Transponder = zusammengesetzter Begriff aus „Transmitter" (Übermittler) und „Responder" (Antworter).

In der Rohstoff-/Miningindustrie und Bauwirtschaft/auf Baustellen sind Baumaschinen und Nutz-/Lieferfahrzeuge z.B. SKW im Einsatz. Diese besonderen Umstände erhöhen das Risiko von Kollisionen zwischen Fahrzeugen und Fußgängern sowie zwischen Fahrzeugen und Fahrzeugen.
In Umgebungen, wie Großbaustellen, Tunnel, Steinbrüchen, Bergwerken usw., deren Eingänge durch Zugangskontrollsysteme überwacht werden, können TAG-basierte Systeme (auch als Transpondersysteme bezeichnet) für mehr Sicherheit sorgen **– vorausgesetzt, dass ausschließlich mit einem TAG ausgestattete Personen und Fahrzeuge auf das Gelände gelangen.**

Warnung bei Annäherung

TAG-basierte Annäherungswarnsysteme warnen, sobald sich ein Fahrzeug und Personen zu nahe kommen und 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, und 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.

In der Fahrerkabine wird das System durch Einstecken des Steuergerätes aktiviert.

Komponentenbeispiele: Warneinheiten/TAGs für Fahrer (gelb) und Fußgänger (grau). Die Warnung des Fußgängers erfolgt über einen Vibrationsalarm.

Voraussetzungen für eine beidseitige Warnung:

- **Abgeschlossener Bereich**/Betriebsgelände mit Zugangskontrolle (zum Beispiel Einzäunung plus Pförtner)
- Jedes Fahrzeug muss mit einer **Warneinheit „Fahrzeug"** ausgerüstet sein
- Jede Person muss eine **Warneinheit „Person"** (Transponder/TAG) tragen

Prinzip TAG-System

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

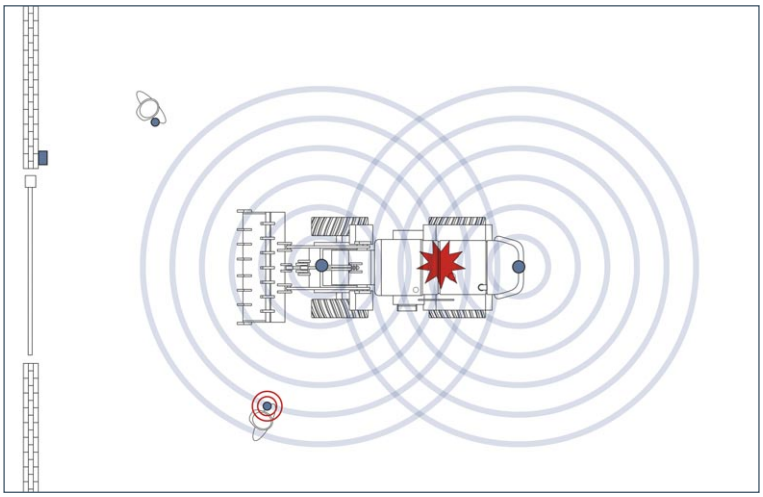
1. UWB - Ultra Wide Band:
Technologie, die den Abstand zentimetergenau misst und über ein TAG mit aufladbarer Batterie funktioniert (das TAG vibriert und leuchtet auf). Die Auslösebereiche können sowohl in der Form (elliptisch oder rechteckig rund um das Fahrzeug), als auch in der Größe verändert werden.

2. RFID - Radio Frequency Identification:
Technologie, die Erfassungsbereiche mit großen Distanzen schafft und ein TAG mit austauschbarer, langlebiger Batterie (3 bis 5 Jahre) nutzt. Die Auslösebereiche können bis zu einem Abstand von 50 m konfiguriert werden.

Merkmale TAG-basierter Systeme

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

- Mehrstufiges Erkennungssystem
- Konfigurierbare Sicherheitszonen
- Personen Detektionsbereich bis zu 50 m
- Fahrzeug zu Fahrzeug Erkennung bis zu 100 m
- Gegenseitige Warnung von Personen und Fahrzeugen
- Kein optischer Kontakt von Sensor zu TAG erforderlich.
- Erfassung unabhängig von schlechter Sicht, z. B. aufgrund verdeckender Ladung oder Umwelteinflüssen
- Flexible und schnelle Installation
- Mögliche Um-/Nachrüstung



Die Darstellung oben zeigt die Funktionsweise eines TAG-basierten Systems an einem Radlader. Die Warneinheiten an der mobilen Maschine, den Personen auf dem Gelände und Objekten (wie beispielsweise einer Mauer) kommunizieren miteinander und geben Warnsignale aus, sobald sie einen festgelegten Abstand voneinander unterschreiten.

Eine am Dach der mobilen Arbeitsmaschine montierte Antenne empfängt die Signale der TAGs in ihrer Umgebung.

Personen tragen die Warneinheit beispielsweise direkt an der Kleidung (Jacke, Gürtel, Helm, etc.)

Komponentenbeispiel:
Die „intelligente" Warnweste macht ihren Träger durch Lichtsignale, Vibrationen und Töne auf Gefahren aufmerksam.

Erkennen von Personen – sogar in verdeckten Bereichen

Durch die vollflächige Ausbreitung der Funkwellen eines TAG-basierten Systems kann auch eine von Hindernissen verdeckte Person vom System erkannt werden.

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 Rundumerkennung funktioniert auch bei schlechten Sichtverhältnissen, bei Nässe und bei starkem Schmutz – und ohne tote Winkel.

Proaktive Systeme können optional in die Fahrzeugtechnik eingreifen: So lassen sich z.B. Geschwindigkeitszonen definieren. In diesen Zonen drosselt das System die Geschwindigkeit des Fahrzeugs und informiert den Fahrer. **Dabei Anforderungen an „Funktionale Sicherheit" beachten – siehe Download unter: www.netzwerk-baumaschinen.de**

3.4 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**, siehe Kapitel 3.4.1
- **3D-Time-of-Flight-Sensoren (3D-ToF)**, siehe Kapitel 3.4.2

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.

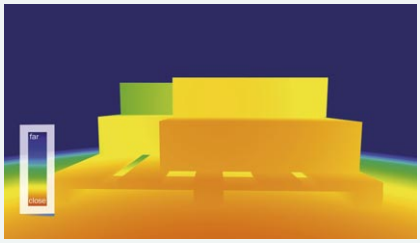
Merkmale für 3D-Kamerasensoren (3D-Snapshot Systeme)

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

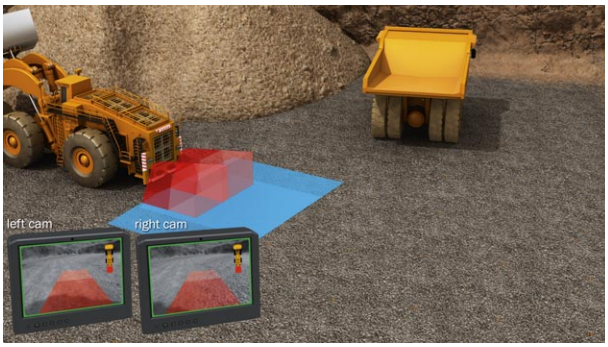
3D-Kamerasensoren sind ideal für die Fahrerassistenz an schweren, geländegängigen mobilen Maschinen, die im Außenbereich eingesetzt werden.

Rohstoffgewinnung, Kiesgruben

z. B. bei folgenden Fahrzeugtypen:

- Fahrzeuge für Tunnel und Untertagebau
- Schwerlastfahrzeuge
- Bagger

Baustellen

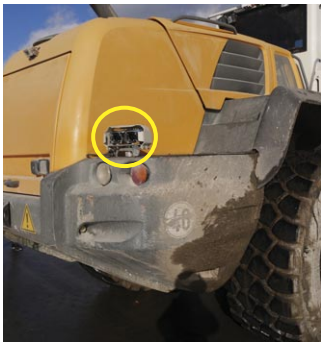


- Radlader
- Muldenkipper/Dumper
- Walzen

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.

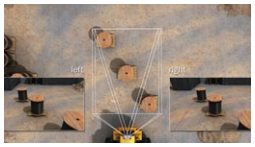


3.4.1 3D-Stereokameras

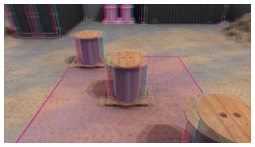
Intelligentes Erkennen von Personen/relevanten Objekten

Im Falle von 3D-Kamerasensoren, die auf dem stereoskopischen Prinzip basieren, werden zwei Bilder von Objekten aus leicht abweichenden Perspektiven aufgenommen.
Aus diesen beiden leicht unterschiedlichen Bildern lassen sich Tiefeninformationen berechnen: die dritte Dimension – vergleichbar mit dem räumlichen Sehen des Menschen.

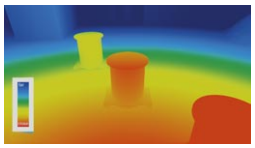
„Zwei-Augen-Prinzip"



Schritt 1: Zwei Bilder aus leicht unterschiedlichen Perspektiven.



Schritt 2: Die beiden Bilder werden übereinander gelegt.



Schritt 3: Es entsteht ein Bild mit Tiefeninformation.

Fehlalarm vermeiden durch objektspezifische Detektion

Dank objektspezifischer Detektion wird die Fehlalarmrate deutlich reduziert, da irrelevante Objekte nicht als Gefahr eingestuft werden.

Mittels intelligenter Bodenerkennung erfolgt auch bei Schräglage in unwegsamem Gelände eine zuverlässige Warnung. Die effiziente Datenverarbeitung ermöglicht eine schnelle Objekterkennung.

Ein 3D-Kamerasystem mit Outdoor-Schutzklasse bietet entscheidende Vorteile:

So funktioniert das System aufgrund der intelligenten Auswertung auch bei schlechten Sicht- und Wetterverhältnissen, wie direktem Sonnenlicht, Regen, aufgewirbeltem Staub oder Nebel. 3D-Kamerasensoren sind somit auch für den Einsatz in rauen Umgebungen – wie zum Beispiel in Steinbrüchen und auf Baustellen – geeignet.

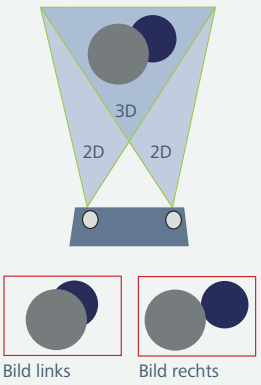
Aktiver 3D-Warnsensor – optimal für die „Blindzone"

Bei großen mobilen Maschinen entstehen tote Winkel (Blindzonen) direkt um die Fahrzeuge. Aufgrund des großen Öffnungswinkels der 3D-Kameras, können auch Objekte unmittelbar hinter oder neben der Maschine erfasst werden.

Zusammen mit einer intelligenten Objekterkennung ist es so auch möglich in unübersichtlichen Umgebungen zu manövrieren und dabei gezielt auf spezielle Objekte zu achten, sodass beispielsweise Fehlalarme durch Wände vermieden werden.

Eine auf die Anwendung zugeschnittene Applikationsentwicklung kann durch die Integration von Software direkt im Gerät ermöglicht werden. Beispielsweise eine Applikation mit intelligenter Objekterkennung ermöglicht ohne Fehlalarme in unübersichtlichen Umgebungen zu manövrieren und dabei wichtige Hindernisse wie Personen, andere Fahrzeuge oder Baumaterial zu beachten.

Prinzip 3D-Kamerasensoren (Stereoskopie)



Die zeitgleichen Aufnahmen der beiden Kameraaugen werden zu einem 3D-Bild vereinigt und liefern somit die räumliche Information („Zwei-Augen-Prinzip").

3D-Sensor mit integrierter 2D-Livekamera

3.4.2 3D-Time-of-Flight-Sensoren (3D-ToF)

Exakte Technologie für „gemäßigte“ Außenbedingungen

In schmutzanfälligen und staubigen Umgebungen, wie bei Baustellen, in der Landwirtschaft oder im Bergbau, sind Sensoren den härtesten Außenbedingungen ausgesetzt. Die robuste 3D-Stereo-Kamera-Technologie (Kapitel 3.4.1) erfüllt diese Anforderungen vollständig.

Bei weniger rauen Umgebungen/„Semi-Oudoor“-Verhältnisse, wie zum Beispiel Logistikanlagen, sind häufig IP67-Gehäuse ausreichend, während andere Anforderungen eine Schlüsselrolle spielen. Hier kann die 3D-Snapshot-Technologie auf Basis von 3D-ToF einen großen Mehrwert bei der Kollisionswarnung und bei weiteren Assistenzaufgaben für mobile Maschinen, wie beispielsweise Gabelstapler, leisten.

3D-Kollisionswarnung mit 3D-ToF im Outdoor-Logistikbereich

Von der Kollisionswarnung bis hin zur Palettenerkennung

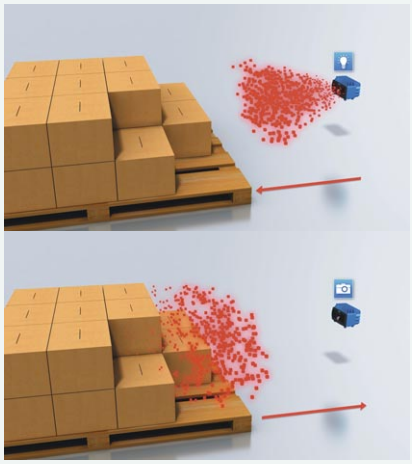
Der ToF-Sensor erfasst in Echtzeit ein 3D-Bild der Szene und verarbeitet die Daten direkt ohne PC-Unterstützung. ToF-Sensoren verfügen über einstellbare Detektionszonen, die den Bedürfnissen des Fahrers/Bedieners in der jeweiligen Situation perfekt entsprechen. Diese Konfigurationen sind bei Bedarf im laufenden Betrieb individuell anpassbar. So können Aktionen wie aktive Kollisionswarnung oder Fahrerassistenz bei der Palettenaufnahme und Palettenkommissionierung durchgeführt werden.

Hohe Präzision, leistungsstarke Beleuchtung und hohe Reichweite

- 2-in-1: aktiver 3D-Sensor mit integrierter 2D-Live-IR-Kamera (IR = Infrarot)
- Hohe Tiefengenauigkeit über eine komplette Erfassungsreichweite von bis zu 16m
- Leistungsstarke Beleuchtung für eine hervorragende Detektion bei schlechten Lichtverhältnissen
- Umsetzung verschiedener Assistenzaufgaben über digitale Ein-/Ausgänge

kompakter 3D-ToF-Sensor

Prinzip 3D-Kamerasensoren (3D-Time-of-Flight)



Die 3D-ToF-Kamera sendet ein Infrarot-Lichtsignal aus, das vom Objekt reflektiert wird.
Für jedes Pixel wird der Abstand zwischen Kamera und Messobjekt aus den unterschiedlichen Phasenverschiebungen des Lichts berechnet.
Die Tausenden von Pixeln, die an einer einzigen Aufnahme beteiligt sind, liefern dabei ein detailliertes dreidimensionales Abstandsbild – einen 3D-Snapshot – des gesamten Bildbereichs, größtenteils unabhängig von den Oberflächeneigenschaften des Objekts.

3D-ToF-Sensoren verfügen über robuste IP67-Gehäuse und eine hohe Reichweite für Außenanwendungen, z.B. in der Outdoor-Logistik:

- **Sie liefern hochwertige Daten und verarbeiten diese direkt im Sensor – ohne PC-Unterstützung.**
- **Bei Bedarf leiten sie direkt entsprechende Aktionen ein.**

Der 3D-Sensor ist rund um die Uhr einsetzbar und bietet eine robuste Softwareschnittstelle für vielfältige Anwendungen.

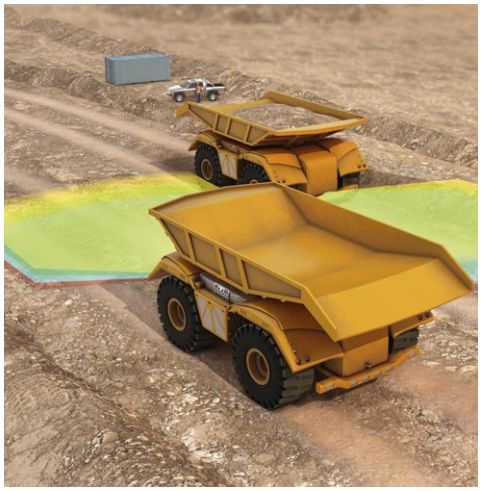
3.5 LiDARsysteme

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.



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

Datenfusion

Basierend auf einer Objektvermessung und -klassifizierung durch Laserimpulse sind die Signale des LiDARsystems direkt zur Personen-/Objekterkennung verwertbar. Mittels Softwareschnittstelle kann eine Vielzahl von Parametern unmittelbar aufbereitet und visualisiert werden.

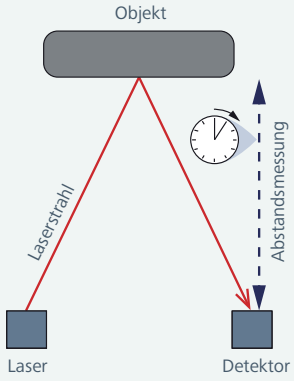
Schlüsseltechnologie für Assistenzsysteme

LiDARsysteme finden schon lange Anwendung bei 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.

Für den Offroad-Einsatz werden die Sensoren in robusten bis zu IP69K-Gehäusen verbaut.

Prinzip LiDAR (gepulster Laserstrahl)



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

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

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 mobilen Maschinen in der Land- und Forstwirtschaft

c) Version: Flurförderzeuge (FFZ)

- Leitfäden für Betreiber, Beschäftigte, Hersteller und Aufsichtspersonen

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 Nutzfahrzeugen

Safety und Industrial Security bei Entwicklung und Verwendung von Steuerungssystemen

- Information für Betreiber, Hersteller und Aufsichtspersonen

4 Akustische Warnsignale für Personen in der Umgebung

Warnung von gefährdeten Personen

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

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

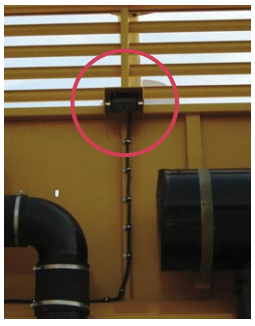
Gezielt Aufmerksamkeit erzeugen

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, 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 neue 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

Technische Optionen:

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

Breitbandton-Warner 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.

Weitere Lösungen zur Warnung gefährdeter Personen in speziellen Arbeitsbereichen s. Kapitel 3.3 TAG-basierte Systeme (Voraussetzung: abgeschlossenes Betriebsgelände mit Zugangskontrolle).

5 Personen- und Objekterkennung

Intelligente Software und KI

Digitalisierung mittels vernetzter Systeme und KI-basierender Lösungen drängen in die Praxis, werden 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 und 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 autonom herbeigeführtes 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 unterstützt wertschöpfende Effekte durch Prozessoptimierung.
Sie unterstützt und beschleunigt permanente Veränderungen. Dabei führt sie neue Formen der Zusammenarbeit herbei.

Einsatzbeispiel: Unfallschwerpunkte erkennen durch „Data Analytics":

- **Neben der Unterstützung des Fahrers (siehe. Kap. 5.2) können mittels Deep-Learning auch Unfallschwerpunkte erkannt werden.**
- **Hierzu werden bei jeder Detektion einer potenziellen Kollision anonymisiert das Datum, die Uhrzeit und die GPS-Position der mobilen Maschine erfasst.**
- **Über eine gewisse Zeit und Datenmenge können somit „Hotspots" ermittelt und präventive Maßnahmen, wie z.B. Verbesserung der Einsehbarkeit oder ein Einbremsen eingeleitet werden.**

KI (Künstliche Intelligenz)

Oberbegriff für Programme zur Simulation und Automatisierung kognitiver Fähigkeiten und menschlicher Intelligenz (Wahrnehmen, Lernen, Anpassen, Schlussfolgern, Agieren).

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 gelernten Bilddaten Objekte erkennen.

Deep Learning (Methode der KI)

Teilgebiet des „ML"; Verwendung „tiefer" – also komplexer, vielschichtiger neuronaler Netze, die von großen Datenbeständen lernen. Ermöglicht u.a. eine Klassifizierung der detektierten Objekte. Beispiel Objekterkennung: charakteristische Dopplereffekte unterscheiden, ob es sich z.B. um Personen oder andere Objekte handelt.

Dopplereffekt: wahrnehmbare Frequenzänderung bei Annäherung/Entfernung eines vorbeifahrenden Fahrzeugs.

5.1 Künstliche Intelligenz (KI)

Aufgaben schnell, fehlerfrei und autonom lösen

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

Mit Hilfe großer Datenmengen ermöglicht KI Maschinen **schnell und autonom 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, 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**. Der Betreiber muss sich bei der Beschaffung nachvollziehbar davon überzeugen können, dass die angestrebte Lösung bzw. technische Maßnahme effektiv ist.

In der Regel wird das System in einer Trainingsphase vorab angelernt. In der Betriebsphase erfolgt keine weitere Verselbständigung.

www.netzwerk-baumaschinen.de

Neuronale Netze

Während bei einer klassischen Programmierung manuell erstellte Anweisungen Kontrollstrukturen ermöglichen und diese bewusst einpflegen, 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 verbesserten werden. Ein Spezialfall ist der Einsatz mehrerer Netzte, die sich gegenseitig in dieser Trainingsphase verbessern. Ein KI-System ist mit den jeweiligen Sensoren ausgestattet, von denen angenommen wird, dass diese die benötigten Daten zur Weiterverarbeitung und zum Weiterlernen erfassen können.

Neuronale Netze werden durch eine große Menge an Beispielbildern bestimmter Objektklassen trainiert. Für viele Objektklassen, insbesondere für die Personenerkennung gibt es sehr gut trainierte Netze, auf die zurückgegriffen und so der Trainingsaufwand deutlich reduziert werden kann.

Neue Objektklassen können auf Basis künstlich erzeugter Daten (3D-Renderings der Objekte und Simulation der Umgebung) und Variationen vorhandener Bilder sehr schnell auf hohe Erkennungsraten gebracht werden.

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 (siehe auch die Seiten 24 bis 27 und 34 bis 46). 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 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**.

5.2 Beispiele für Objektdetektion mittels künstlicher Intelligenz (KI)

Kamerabasierte Kollisionswarnung

360°-Rundumsichtsystem mit Objekterkennung durch angelernte neuronale Netze

Systemkomponenten: Ethernet-Kameras, Recheneinheit und Touchmonitor (7"- oder 10")

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)**.**

Beispiel: 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.

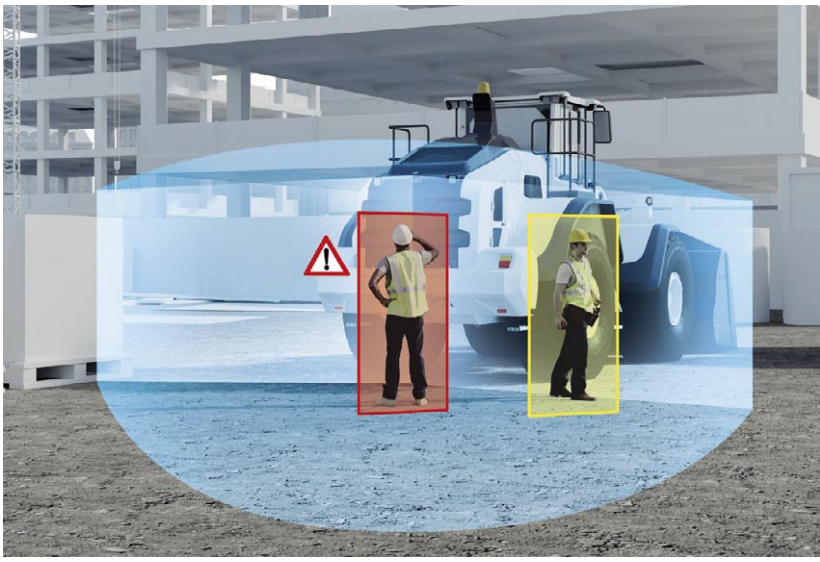


Abbildung oben – Anwendungsbeispiel Personenerkennung:
Die am Radlader montierten und damit bekannten Kamerapositionen werden herangezogen, um eine ausreichend genaue Entfernungseinschätzung abzugeben, die eine rechtzeitige Warnung möglich macht. Voraussetzung dafür ist ein einmaliger Kalibriervorgang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

Klassifizierung bei KMS

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 zuvor klassifizierten Objekte und Personen im Kamerabildausschnitt – siehe Abbildung rechts.

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 anwendungsfallspezifisch 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.

Deep Learning bietet vielfältige Möglichkeiten

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 Objekte in (permanent) dynamischen Prozessen befinden, besteht ein besonders hohes Gefährdungspotenzial. Neben der Klassifizierung und Positionsbestimmung von detektierten Objekten kann die eingebettete KI zusätzlich Bewegungsverläufe errechnen und damit drohende Kollisionen „vorhersehen".

Intelligente Bewegungserkennung

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

Erweiterter Detektionsbereich

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

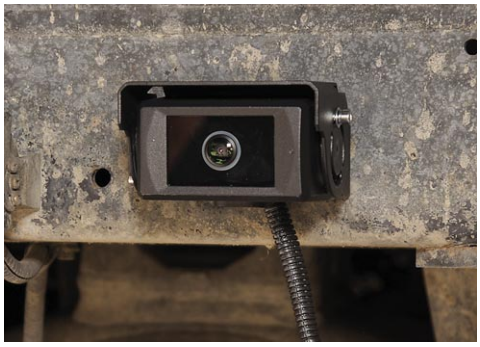
Weitere Systemeigenschaften

- 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 Fahrzeugs
- und Customizing des Systems sind möglich.

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.

Bild links und oben: Seitlich an der Fahrerkabine montierte **Kamerasensoren** (hier im beheizbaren „Kamera-Wing"), die die Bereiche neben dem Radlader erfassen. Bild unten: In der **Steuerbox** werden die Kameradaten mithilfe von KI verarbeitet.



KI-Kameras werden in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt – auch in rauen Umgebungen wie in Steinbrüchen oder auf Baustellen (siehe Abbildungen links). Als Abbiegeassistenten an Lkw unterstützen sie die Sicherheit und Effizienz beim Transport auf öffentlichen Straßen.

Klassifizierung bei Radarsystemen

Weitere Anwendungen für Objektdetektion mittels KI siehe Leitfaden:

„Abbiegeassistenzsysteme für schwere Nutzfahrzeuge und Busse" (www.netzwerk-baumaschinen.de)

Auch spezielle Radarsysteme können in Verbindung mit gezielten Algorithmen zwischen sich bewegenden und statischen Objekten unterscheiden. In der Logistik kommen diese beispielsweise bei Abbiegeassistenzsystemen für Lkw auf Radarbasis zum Einsatz.

Radare bieten ergänzend die Möglichkeit, die Geschwindigkeit der detektierten Objekte zu messen sowie deren Abstände zur mobilen Maschine in Form von Koordinaten.

Ort und Bewegungsrichtung werden bestimmt und es kann eine Objektverfolgung sowie eine Vorhersage der Bewegungsbahn erfolgen.
Der Objektort wird durch Laufzeitmessungen und die Objektgeschwindigkeit durch den Dopplereffekt ermittelt.
Eine Klassifizierung der detektierten Objekte ist ebenfalls möglich. Durch charakteristische Dopplereffekte wird unterschieden, ob es sich beispielsweise um Personen oder andere Objekte handelt.

Eine mobiltaugliche Ethernet-Kamera auch für Bilder in Full-HD-Qualität und integrierter Bildverarbeitung

BIM-Unterstützung: Digitale Kameras mit speziell entwickelter Bildbearbeitungssoftware können durch eine Vielzahl ausgewerteter Daten auch zur BIM-Unterstützung herangezogen werden und somit den Planungs- und Umsetzungsprozess von Projekten erleichtern. (BIM = Building Information Modeling)

Mobile Digitalkameras fungieren als Smartsensor in einer Vielzahl von Anwendungen auf mobilen Maschinen sowie in der Industrie. Ob mit integrierter und intelligenter Bildverarbeitung oder in Kombination mit einer intelligenten Videosteuereinheit sind sie als Ethernet-Kamera, BroadR-Reach-Kamera oder LVDS-Kamera erhältlich.

Integrierte, FPGA-basierte Videoverarbeitung für kundenspezifische Funktionen wie Bildverarbeitung, Objektverfolgung, aktive Overlay-Einblendung, Inspektion und Vermessung von Objekten, Lesen von codierten Infos (QR-Codes/ OCR), Binärbildverarbeitung und Augmented Reality.

Mobile Digitalkameras funktionieren „embedded" mit der vom Hersteller integrierten Software bzw. Algorithmen **und** mit einer angeschlossenen „Intelligenz" – wie z.B. einer Videosteuereinheit oder einer anderen Recheneinheit.

Eine mobiltaugliche Full-HD Ethernet-Kamera kann für stationäre und halbstationäre Anwendungen in Netzwerken nach IEEE 802.3 (LAN) eingesetzt werden. Ausgerüstet mit intelligenter Bildverarbeitung, einem hohen optischen Dynamikumfang (HDR) und dynamischen Overlays fungiert sie als Smartsensor in einer Vielzahl von Anwendungen – wie z.B. einer Einbindung in bestehende Videoüberwachungssysteme oder als Videostreaming über große Entfernungen.

BroadR-Reach-Kamera: Ethernet-Standard für Connectivity-Anwendungen. Ermöglicht mehreren Fahrzeug-Bordsystemen, über nur ein ungeschirmtes Aderpaar gleichzeitig auf Informationen zuzugreifen.

LVDS-Kamera: Standardisierte Schnittstelle zur Hochgeschwindigkeits-Übertragung von seriellen Daten über ein differenzielles Aderpaar.

FPGA (Field Programmable Gate Array)**:** Integrierter Schaltkreis (IC) der Digitaltechnik, in welchem eine logische Schaltung geladen werden kann. Durch Konfiguration der intern vorhandenen Elemente können in einem FPGA verschiedene Schaltungen und Funktionen realisiert werden. Diese reichen von Schaltungen geringer Komplexität, wie z.B. eines einfachen Synchronzählers oder Interfaces für Digitalbausteine, bis hin zu hochkomplexen Schaltungen wie Speicher-Controller und vollständige Mikroprozessoren.

IEEE 802.3-Standard: Wichtigste Spezifikation für das Local Area Network (LAN). Definiert die Mechanismen des Ethernets, mit denen Daten kabelbasiert zwischen Netzwerkteilnehmern und Netzwerkkomponenten ausgetauscht werden.

HDR (High Dynamic Range Image)/Hochkontrastbild**:** Verschiedene Techniken zur Aufnahme und Wiedergabe von Bildern mit großen Helligkeitsunterschieden ab etwa 1:1000.

5.3 Aktive Personenerkennung mit Bremsassistent bei Rückwärtsfahrten (Radlader)

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

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

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

Wichtig zu wissen:
Auch bei einem aktiven Assistenzsystem trägt der Fahrer die Verantwortung!

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

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

Kombination aus	Kamerasensorik + Datenauswertung + Reduktion der Geschwindigkeit

Bei Kollisionsgefahr verzögert der Radlader selbstständig

Die aktive 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.**

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; plus Darstellung der Anzeige auf dem Monitor in der Fahrerkabine (kleines Bild rechts unten).

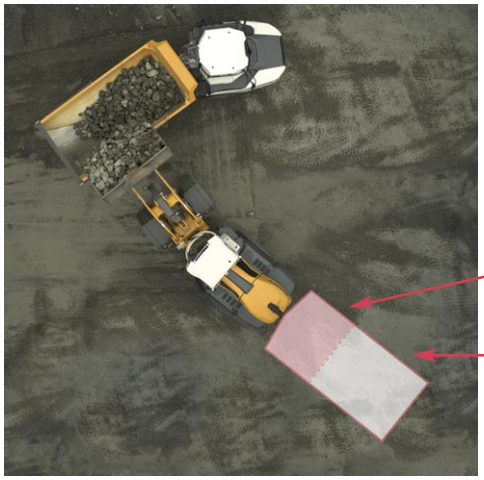


Bild links: Die Warnung des Fahrers und die Verringerung der Geschwindigkeit erfolgen, wenn sich:

- **Personen oder Objekte bis ca. 2,5 m**
- **Personen ca. 2,5 m bis ca. 6 m**

hinter dem Radlader befinden.

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

5.4 Aktive KI-Personenerkennung zur Kollisionsvermeidung und Unfallrisikomanagement

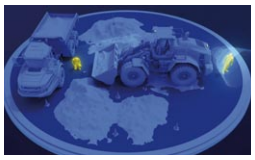
System Hauptkomponenten:

Sensor, Prozessoreinheit und LCD-Farbdisplay bzw. akustische Warnleuchte

Vernetzte KI-Personenerkennung zur Vermeidung von Kollisionen mit mobilen Arbeitsmaschinen

Auf einer Baustelle, in einem Steinbruch, einem Bergwerk oder auch in einem Tunnel arbeiten Personen oft in schwierigen Umgebungen, die durch Lärm, Staub, schlechte Lichtverhältnisse, Wetterbedingungen oder beengte Verhältnisse geprägt sind.
Fahrzeuge und mobile Maschinen, die regelmäßig in der Nähe von Fußgängern betrieben werden, stellen eine echte Gefahr dar. Der Fahrer hat aufgrund der Ladung des Fahrzeugs und der toten Winkel eine schlechte Sicht. In dieser Umgebung tragen die Mitarbeiter oft einen Gehörschutz und hören die herannahenden Maschinen nicht, was das Risiko von Zusammenstößen zusätzlich erhöht.

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.



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.

Das System erkennt QR-Codes an festgelegten Stellen z. B. auf anderen Maschinen, um Kollisionen mit diesen zu vermeiden.

Hindernisvermeidung und automatisches Verlangsamen in definierten Bereichen

Das skalierbare System kann mittels **zusätzlicher Funktionalitäten**, wie z. B. dem QR-Code (siehe Bild links), weitere Fahrzeuge oder bestimmte Hindernisse erkennen, den Fahrer warnen oder die Maschine in einer besonders gefährlichen Zone mit hohem Mensch-Maschine Kollisionspotenzial verlangsamen.
Ein hohes Produktivitätsniveau wird aufrechterhalten, der Betrieb durch Unfälle nicht unterbrochen.

Ziel: Das Unfallrisiko überwachen und reduzieren

Eine Maschine, deren Bewegung eine Person gefährdet, muss stoppen.
Besser ist ein System, das rechtzeitig verhindert, dass diese Kollisionssituation auftritt. Es integriert serienmäßig eine Cloud-basierte IoT-Lösung (Internet of Things), welche ermöglicht, die Koaktivität – und somit das Kollisionsrisiko – von mobilen Maschinen und Personen erheblich zu verringern.

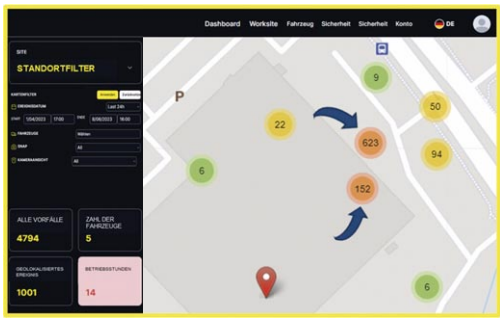
Über GPS- und 4G-Verbindung bietet ein optionales Dashboard Zugriff auf relevante Metriken und Hotspot-Mapping. Dieses zeigt die gefährlichsten Fahrzeuge in der Umgebung an und ermittelt, wann und wo das Unfallrisiko am höchsten ist (siehe Abbildungen unten).
Arbeitssicherheits- und Standortleiter erhalten die Möglichkeit, die Sicherheit im Unternehmen täglich proaktiv zu verbessern und die Wirksamkeit dieser präventiven Maßnahmen permanent zu überwachen.

Überblick und Kontrolle der relevanten Gefährdungsfaktoren:

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

Über das Dashboard hat das Unternehmen Zugriff auf die relevanten Daten und kann die gefährlichsten Fahrzeuge, Orte und Zeiten mit dem höchsten Unfallrisiko identifizieren.

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.

Identifizieren Sie anhand der meisten Fußgängererkennungen, welche Maschine am gefährlichsten ist.

5.5 Individuelle Datenverarbeitung und Apps in 3D-Kamerasensoren

Für Bediener/Fahrer mobiler Maschinen sind die ausgewerteten Daten von 3D-Kamerasensoren für Kollisionswarnaufgaben eine wichtige Hilfe (siehe Kapitel 3.4).

In den meisten industriellen Arbeitsszenarien gehen die Aufgaben eines Bedieners/Fahrers über das reine Fahren und Manövrieren hinaus. Die Rohdaten oder intelligent vorverarbeiteten Daten solcher 3D-Kamerasensoren können auch eine Vielzahl anderer Assistenz- und Automatisierungsaufgaben wie Navigationsunterstützung oder automatische Überprüfung des Containerfüllstands erledigen.

2D-Daten, 3D-Daten, intelligente Objektklassifizierung

- 3D-Stereokamera-Hardware für raue Außenanwendungen
- Sowohl Tiefendaten (3D) als auch Farbbilder (2D) mit einem Snapshot
- Intelligente Datenverarbeitung in der Kamera, wie Objektpositionierungs- und Klassifizierungssoftware zur Unterstützung von Führung und Navigation

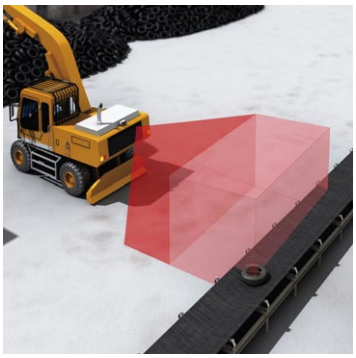
Flexible Einbindung in mobile Maschinen

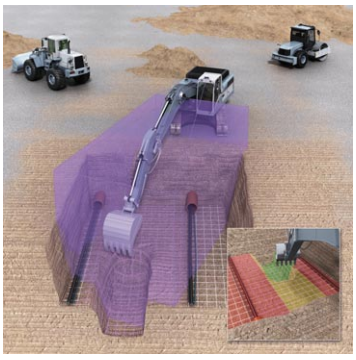
- Speziell entwickelte Software auf 3D-Kamera-Hardware implementier- und ausführbar
- Daten-Streaming über Ethernet für Datenverarbeitung auf Windows- und Linux-Systemen
- Einfache und intuitive Konfiguration

Die Abbildungen rechts zeigen Beispiele für KI basierte Objekterkennung für unterschiedliche Anwendungsfälle, wie die intelligente Überwachung des Nahbereichs hinter einem Radlader, die Objekt- und Geländedetektion zur Unterstützung bei der Arbeit mit einem Kettenbagger und die Kollisionswarnung im Seiten- und Heckbereich eines Baggers.

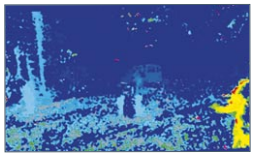
Applikationen intelligenter Software auf 3D-Stereokameras

- Kollisionswarnung für Bediener/Fahrer mobiler Arbeitsmaschinen
- Navigationsunterstützung
- Schwadverfolgung in der Landwirtschaft
- Kontrolle von Containerfüllständen
- Weitere Bildverarbeitungsaufgaben für mobile Maschinen



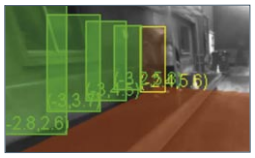


Datenstrom:



- **Tiefendaten (3D),**

- **Graustufendaten (2D),**



- **Objektposition und Objektklassen**

können für eine breite Spanne von Automatisierungsaufgaben eingesetzt werden.

Programmierbare Geräte – ein neues Maß an Flexibilität

Basierend auf bewährten Technologien bieten programmierbare 3D-Kamerasensoren die Freiheit und Flexibilität, spezifische Anforderungen mit Apps umzusetzen. Das ermöglicht völlig neue und adaptive Lösungen in der Industrieautomation und im Industrie 4.0-Kontext.

Die für die Anwendung erforderlichen Messwerte werden auf dem Sensor vorverarbeitet, ausgewertet und anschließend an die Steuerung beispielsweise eines automatisierten Fahrzeugs oder sogar direkt in die Cloud übergeben.

Beispiele für programmierbare Geräte

So bestehen folgende zwei Ansatzpunkte:

Programmierung durch Softwarespezialisten:

3D-Vision-Spezialisten können anspruchsvolle Anwendungen nach eigenen Bedürfnissen auf der Basis von 3D-Daten entwickeln und diese direkt auf einem Gerät ausführen.

- Ermöglicht so eine schnelle und effiziente Entwicklung von maßgeschneiderten Apps, die speziell auf die eigenen Anforderungen abgestimmt sind.
- Bietet eine große Flexibilität durch hohe Freiheitsgrade bei der App-Entwicklung.

Ready-to-use Apps:

Der 3D-Kamerasensor fungiert hier sozusagen als „App-Enabler", d.h. fertige Key Apps, die für die Lösung einer spezifischen Anwendung entwickelt wurden, können direkt auf dem Gerät ausgeführt werden.

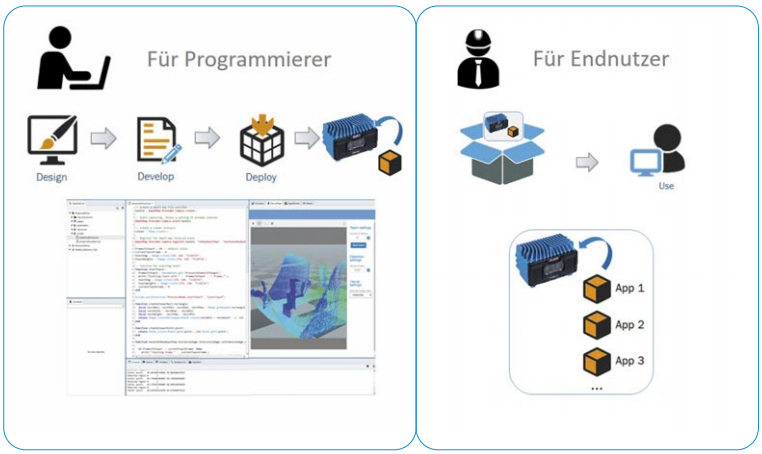
- Eignet sich für User, die eine spezifische Anwendung bedienen möchten, ohne dafür eine eigene Lösung zu entwickeln.
- Spart neben Kosten auch den Aufwand für zusätzliche Programmierung und Integration und reduziert weiterhin das Datenaufkommen im Netzwerk.

Die ganze Bandbreite an 3D-Snapshot Technologien für industrielle Bildverarbeitung ist verfügbar – wie 3D-ToF oder 3D-Stereo mit Strukturlicht (siehe Kapitel 3.4).

Unter Key App versteht man eine geschlossene ready-to-use Software, die auf einem 3D-Gerät läuft und spezifische Schlüsselapplikation(en) für die Automatisierung löst.

Fertige Sensor-Apps können auf den jeweiligen programmierbaren Geräten installiert werden. Eine zentrale Recheneinheit, an die unterschiedliche Sensoren angeschlossen werden können, ermöglicht:

- das Kombinieren der Algorithmen,
- das Kombinieren der Funktionen verschiedener Technologien,
- die Fusion und die Auswertung der relevanten Daten.



Der Endnutzer (Betreiber / Hersteller) erhält eine speziell auf seine Bedürfnisse abgestimmte und für künftige Anforderungen erweiterbare Lösung.

5.6 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?

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

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.

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

Praxisbeispiel „Sicherheitsschutzvorrichtung für Schrapperanlagen mit Sternbunker von Betonmischwerken"

Weitere Informationen zu DEQ siehe Seite 47.

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

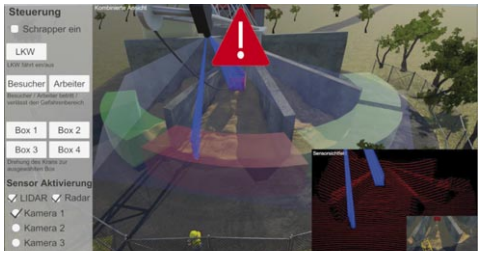
Im Zuge der Automatisierung laufen diese Anlagen häufig im Automatikbetrieb. Hierbei wird das Material vom LKW direkt am Fuß des jeweiligen Bunkers abgekippt und der Schrapper befördert es vollautomatisch nach oben. Dazu muss kein Maschinenführer in der Kabine sitzen.
Eine Überwachung des Gefährdungsbereichs 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.

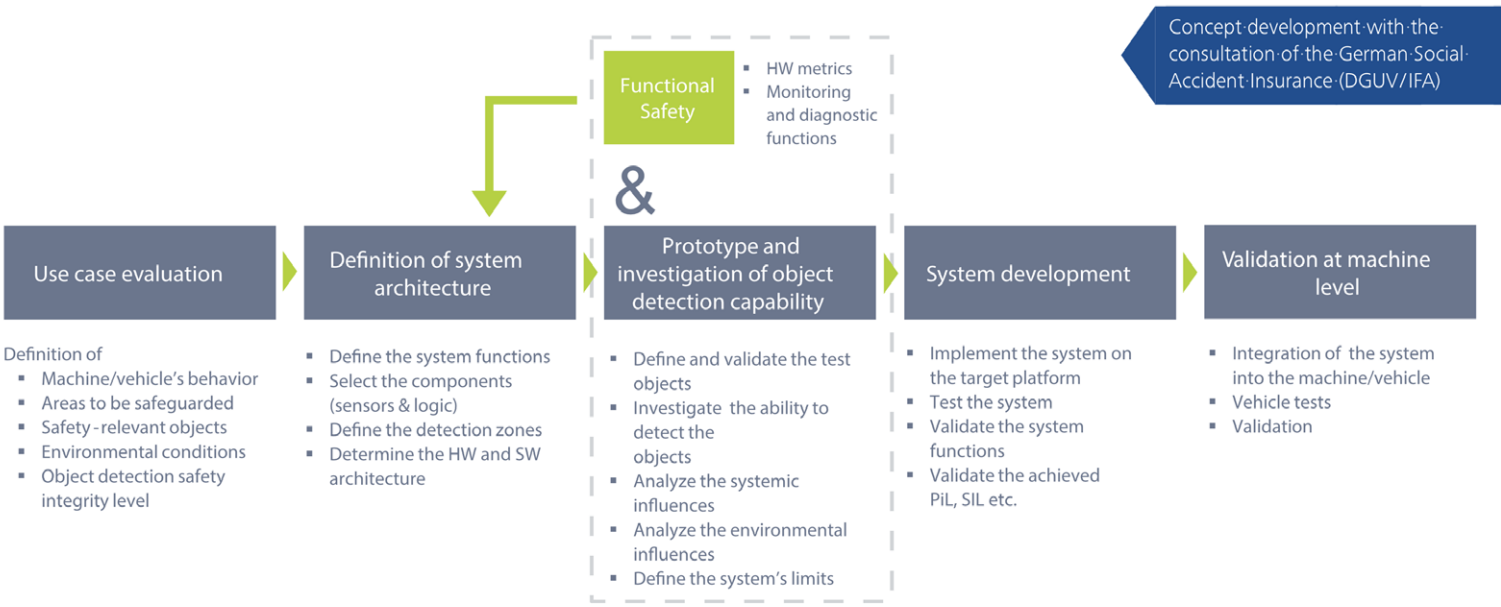
Für derartige Aufgaben hat sich der im Folgenden dargestellte Entwicklungsprozess etabliert.

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



Visualisierung durch Sensordaten erfasster Gefährdungsrisiken

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



1. Schritt: Analyse der Use-Cases

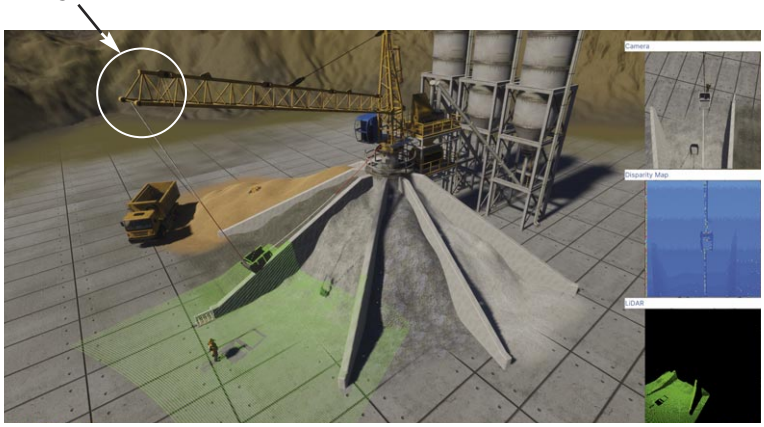
Im ersten Schritt werden, gemeinsam mit Betreibern und der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI), die relevanten Use-Cases auch unter Arbeitsschutzanforderungen analysiert und definiert. Das Hauptaugenmerk liegt darauf, das System, seine Möglichkeiten und Grenzen sowie eventuelle Gefahren und die damit verbunden 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, s. Bild rechts) 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 unten: „Digital Twin" Simulation einer Sternbunker-/Schrapperanlage mit Visualisierung von Kamera-/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.

Ausblick: Eine Übertragung auf andere Outdoor-Maschinen, die unter denselben schwierigen Umweltbedingungen abgesichert werden müssen, ist bereits absehbar.

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

Aspekte der funktionalen Sicherheit beim Einsatz von KI

Während der System Design Phase 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. Hintergrund ist zum einen, dass die Gegebenheiten an den unterschiedlichen Anlagen (beispielsweise durch das Vorhandensein von Schüttgut vor den Bunkern) eine Klassifizierung von Objekten notwendig machen, die keine anderen Sensortypen zulässt und zum andern, dass KI-basierte Algorithmen zur Klassifizierung deutlich performanter sind als klassische Algorithmen (siehe auch Abbildung 1).

Weitere Informationen Funktionalen Sicherheit siehe Seite 7 und Seite 51.

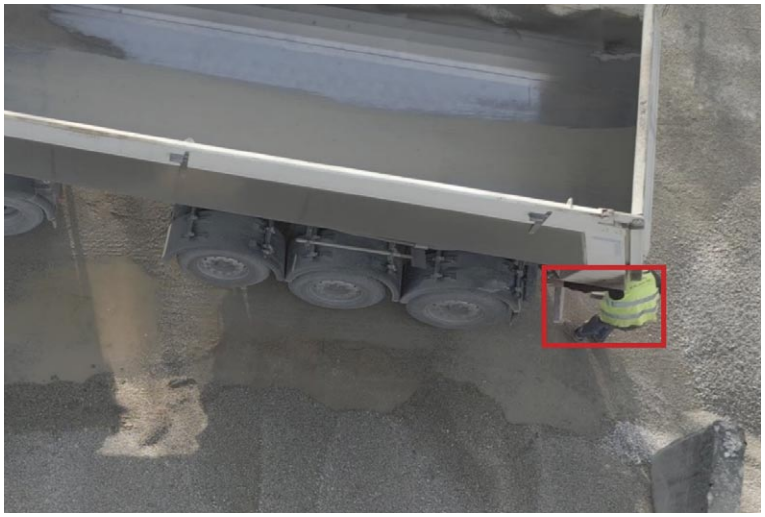


Abbildung 1:
Dank neuster KI-Technologien erkennt der Algorithmus auch schwierige Situationen, beispielsweise solche, in denen Personen von anderen Objekten teilweise verdeckt sind.

Stand heute gibt es allerdings weder anwendbare Regulierungen noch Normen für den Einsatz von KI-basierten Systemen in diesem sicherheitsrelevanten Anwendungsgebiet.
Dies liegt u.a. in der Natur der KI-Ansätze. Auf Training basierende KI-Ansätze sind für die Entwickler Black-Box-Ansätze (siehe Abbildung 2), die auf unbekannte Daten unvorhersehbar reagieren können. Dieses Blackbox-Verhalten macht es unmöglich, ggf. anfallende Risiken zu quantifizieren – eine wesentliche Voraussetzung der Funktionalen Sicherheit.

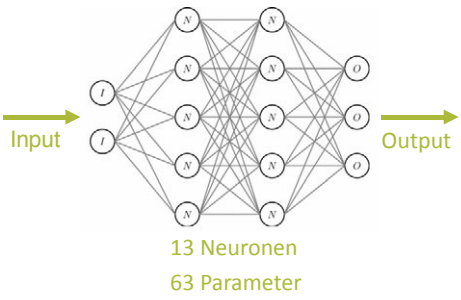


Abbildung 2:
Einfaches neuronales Netz bestehend aus 13 Neuronen, welches aus 2 Eingangswerten drei Ausgabewerte berechnet. Trainiert werden 63 Parameter (50 Gewichte auf den Verbindungen plus 13 Offsets).

Klassische Neuronale Netze zur Objektklassifizierung besitzen 10 Mio. Parameter und mehr. Der Black-Box-Charakter ergibt sich daraus, dass für den Menschen die Wahl dieser Parameter während des Trainings nicht mehr nachvollziehbar ist.

Wie also damit umgehen, dass man ein hochperformantes System hat, welches nicht zertifizierbar ist?
Dieses Problem ist nicht allein auf die Rohstoffindustrie bezogen. Die gleichen Fragen werden auch in anderen Industrien, zum Beispiel Medizintechnik, Baumaschinen- und Landtechnik oder Automobilindustrie intensiv diskutiert – bisher ohne allgemeingültige übertragbare Antworten.
Das Projekt verfolgt den Ansatz, nach bestem Wissen und aktuellem Stand der Technik zu entwickeln und frühzeitig Guidelines, die derzeit während der Entstehung bzw. des Entwurfs von Normen und Regulierungen diskutiert werden, dort wo möglich zu integrieren.
Ein praktisches Beispiel hierfür ist das Labeln von Daten. **Offensichtlich ist die KI schlussendlich nur so gut, wie die eingesetzten Trainingsdaten, auf denen sie beruht.** Um zu gewährleisten, dass sie auf Basis der richtigen Daten trainiert wird, sprich die Daten richtig gelabelt sind, werden Guidelines angewendet, die zu einer hohen Qualität der gelabelten Daten führen (beispielsweise wird eine bestimmte Anzahl an Reviews von gelabelten Daten durchgeführt).

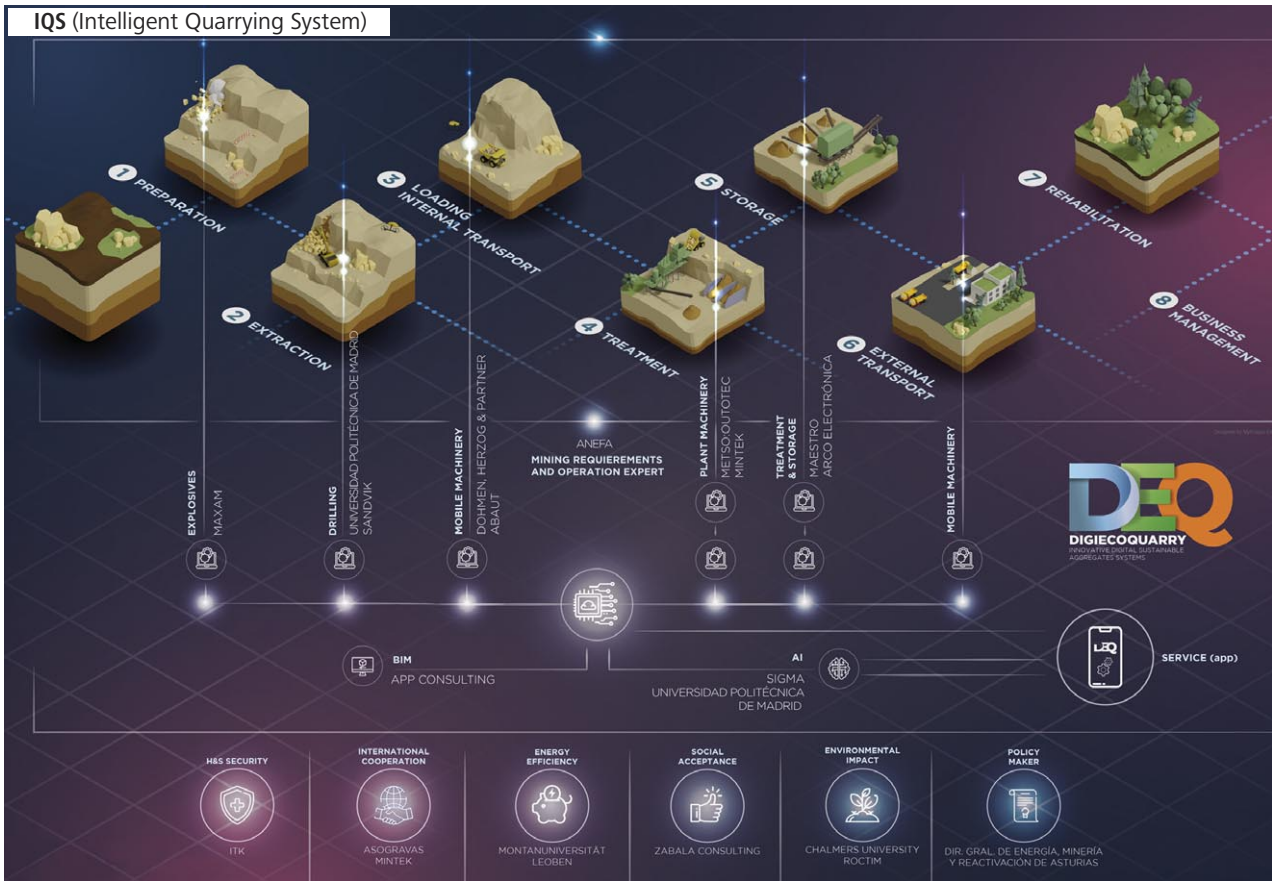
European project DIGIECOQUARRY (DEQ)

DEQ addresses the quarry as a whole from small up to multi-site quarries, comprising 8 processes

This figure shows the overall collaboration logics between partners and the performance of data collection throughout the quarrying operation. The **network of IoT sensors** gathers data about machines, materials, the environment and other important parameters on the field. Sensor data is collected by on-the-field sub-platforms and a cloud-based main platform: the **IoT smart mining platform**. This interoperability platform provides the necessary interfaces to accommodate heterogenous data and offers data storage capacity (data lake) for each site.
As such, the main platform enables standardised exchanges of all relevant data with the BIM and sub-platforms (the latter being implemented as a data warehouse including the AI processes and algorithms). These sensors, sub-platforms, IOT smart platform, BIM models, AI components and services comprise the Intelligent Quarrying System (IQS).
The IQS will thus ensure that all the quarry management is optimised from a global and holistic perspective in quasi real-time, defining priorities between process interaction, leading to a decision-making support framework.
This ensures a market potential and a competitive advantage that will be gained through the pilot sites, leading to a business case which can be implemented and replicated across the EU and worldwide in the coming years.

As a result, the project will generate positive Environmental, Social, H&S and Economic impacts related to quarries, contributing to expand and strengthen the EU aggregates industry.

https://digiecoquarry.eu/



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.

6 Allgemeine Grundlagen
für die Beschaffung und den Betrieb

Für die Konfiguration eines Systems unbedingt die jeweiligen Herstellerangaben beachten und einen Fachbetrieb beauftragen!

Die Wartungsroutine wird zunehmend durch moderne Diagnosemethoden und digitale Hilfsmittel unterstützt.

12 VDC ≠ 24 VDC

- **Zur Kompatibilität der Systeme unbedingt die Bordnetzspannung prüfen! – vor allem bei Anhängern, Aufliegern und Anbauten.**

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

Nachrüstung: Montagepunkte wählen, montieren, ausrichten

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

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

Weitere Informationen hierzu im Leitfaden „Kamera-Monitor-Systeme – Sinnvoll und sicher nachrüsten“ (www.netzwerk-baumaschinen.de).

Einweiser

Solange keine ausreichende Sicht (weder direkt, noch mittels technischer Maßnahmen wie Spiegel, KMS, Sensorik) möglich ist, sind übergangsweise Einweiser erforderlich!
Nur wenn durch die Benutzung von geeigneten Einrichtungen, wie KMS oder Sensoriksysteme, 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 Betriebssicherheitsverordnung (§ 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- und Sensoriksystems ist eine prüfpflichtige Änderung der mobilen Maschine.
Daher muss nach der Montage das System durch eine **zur Prüfung befähigte Person** geprüft werden. Gemäß TRBS 1201 „Prüfungen und Kontrollen von Arbeitsmitteln ..." sind im Rahmen der Prüfung durch die befähigte Person eine sogenannte „Ordnungsprüfung" sowie eine „technische Prüfung" durchzuführen:

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

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

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

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

Sicht- und Funktionskontrolle durch den Bediener/Fahrer

Vor Beginn jeder Arbeitsschicht überprüft der Bediener/Fahrer

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

Während des Betriebes ist die mobile Maschine

- vom Bediener/Fahrer auf den betriebssicheren Zustand und auf augenfällige Mängel zu beobachten.
- Festgestellte Mängel sind sofort dem Vorgesetzten mitzuteilen – bei einem Wechsel des Bedieners/Fahrers auch dem ablösenden Mitarbeiter.
- Mängel zur Sicherheit dokumentieren!
- **Bei Mängeln** an KMS, Warn- oder 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 Zugangskontrolle - s. Kapitel 3.3) 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 die Sicht durch die zur Prüfung befähigte Person zu berücksichtigen!**

Prüfung von Fahrzeugen auf Betriebssicherheit:

- **DGUV Grundsatz 314-003 beachten (seit 01/2023); betrifft sowohl die Verkehrs- als 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 nutzerverständlich in den entsprechenden Sprachen durchführen, nachvollziehbar dokumentieren – siehe § 12 ArbSchG, § 81 BetrVG, § 4 DGUV Vorschrift 1**
- **Sicherstellen, dass niemand gefährdet wird, ggf. sind Einweiser einzusetzen!**
- **Qualifizierung der Beschäftigten prüfen, ermöglichen und einfordern – siehe TRBS 1116.**

7 Regelwerke und Normen

Betrifft Betreiber / Arbeitgeber:

- **ArbSchG** – Arbeitsschutzgesetz
- **BetrSichV** – Betriebssicherheitsverordnung

- **TRBS 1111** – Gefährdungsbeurteilung
- **TRBS 1112** – Instandhaltung
- **TRBS 1116** – Qualifikation, Unterweisung und Beauftragungvon 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

- **DGUV Vorschrift 38**, UVV „Bauarbeiten“ mit zugehöriger
- **DGUV Regel 101-038**
- **DGUV Regel 100-500**, Kapitel 2.12 – Betreiben von Erdbaumaschinen
- **DGUV Regel 101-604** „Branche Tiefbau“
- **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, Trans-ponder- und RFID-Erkennungssysteme.**“

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

Empfehlungen zur Verbesserung der Sicht – Informieren Sie sich als Betreiber/ Arbeitgeber laufend über den neuesten Stand der Technik.

- Direktsicht muss immer Priorität haben.
- Keine Spiegel-zu-Spiegel-Systeme verwenden.
- Sichthilfsmittel in Vorwärtsrichtung anbringen
- Sichthilfsmittel müssen im vorderen 180° Blickfeld des Fahrers einsehbar sein.
- Sichthilfsmittel dürfen nicht durch bewegliche Teile und nicht durch Um- bzw. Abauten 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
- **ProdSG** – Produktsicherheitsgesetz
- **9. ProdSV** – 9. Verordnung zum ProdSG („Maschinenverordnung“)

- **DIN EN 474** – Erdbaumaschinen Sicherheit

- **ISO 5006** – Erdbaumaschinen – Sichtfeld – Testverfahren und Anforderungskriterien
- **ISO 13766** – Erdbaumaschinen – Elektromagnetische Verträglichkeit von Maschinen mit internem elektrischen Bordnetz
- **ISO 14401** – Teil 1 und 2 – Erdbaumaschinen – Spiegel
- **ISO 15008** – Anforderungen an Displaysysteme in Fahrzeugen
- **ISO 16001** – Erdbaumaschinen – Objekterkennungssysteme und Sichthilfsmittel – Leistungsanforderungen und Prüfverfahren

- **UN ECE R46** – Einrichtungen für indirekte Sicht und deren Anbringung
- **UN ECE R125** – Vorderes Sichtfeld

- **EN 300 328** – „Funkrichtlinie“ – Breitband-Übertragungssysteme

- **DGUV Prüfgrundsatz GS-BAU-70** – Grundsätze für die Prüfung und Zertifizierung von sicherheitsrelevanten Assistenzsystemen an Maschinen und Nutzfahrzeugen
- **DGUV Test Information** – Allgemeine Grundsätze für die sicherheitstechnische Bewertung von Künstlicher Intelligenz (KI)

Anforderungen Funktionale Sicherheit, z.B.

- **EN ISO 12100** – Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung
- **EN ISO 13849** – Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen
- **ISO 15998** – Erdbaumaschinen – Maschinensteuerungssysteme (MSS) auf der Basis von elektronischen Bauteilen – Anforderungen und Prüfungen für die funktionale Sicherheit
- Weitere Informationen Broschüre: „Funktionale Sicherheit“, unter: www.netzwerk-baumaschinen.de

Die **EU-Maschinenrichtlinie** wird abgelöst von der **neuen EU-Maschinenverordnung**. Diese neue Verordnung (EU) 2023/1230 über Maschinen ist ab 14.01.2027 für das Inverkehrbringen von Maschinen anzuwenden. Bis dahin sind Maschinen weiterhin nach der derzeit geltenden MRL 2006/42/EG in Verkehr zu bringen.

Hinweis zu **DIN EN 474** und **ISO 5006**:
Seit 2019 gilt für die Sichtfeldanforderungen wieder „Vermutungswirkung“; Ausnahme: Hydraulikbagger!

Betrifft Arbeitnehmer/Beschäftigte:

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.

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

Beispielsweise mit einer Warnweste für eine gute Sichtbarkeit sorgen.

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 Gefahrbereich aufhalten.**

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

Glossar, Abkürzungen 8

Begriffserläuterungen (alphabetisch)

A, B, C

- **AAS** – Abbiegeassistenzsystem
- **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 (Bezeichnung ab 2022, vormals BMVI)
- **BMVI** – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Bezeichnung bis 2021)
- **CAN-Bus** – Schnittstelle für seriellen Datenaustausch zwischen Steuergeräten (Controller Area Network)
- **CV** – Nutzfahrzeuge (Commercial Vehicles)

D, E, F

- **DGUV** – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (UV)
- **ECU** – elektronische Steuereinheit (Electronic Control Unit)
- **EmpfBS** – Empfehlung zur Betriebssicherheit
- **Funktionale Sicherheit** – Sicherheit elektrischer/elektronischer Steuerungssysteme

G, H, I

- **INQA** – Initiative Neue Qualität der Arbeit
- **IP67** – Schutzklasse für Staub- und Wasserdichtigkeit
- **IP69K** – Schutzklasse für Hochdruckreinigung

J, K, L

- **KI** – Künstliche Intelligenz
- **KMS** – Kamera-Monitor-System
- **Lidar** – Detektion auf Basis von gepulstem Laserstrahl (Light/Laser Detection and Ranging)
- **LoF** – Land- oder Forstwirtschaft

M, N, O

- **NRMM** – nicht straßengebundene mobile Maschinen (Non Road Mobile Machinery)

P, Q, R

- **PAS** – 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

- **sfA** – selbstfahrende Arbeitsmaschine
- **SiBe/SiB** – Sicherheitsbeauftragter
- **SiFA** – Fachkraft für Arbeitssicherheit/
- **SiGeKo** – Sicherheits- und Gesundheitsschutzkoordinator
- **SKW** – Schwerlastkraftwagen
- **SOTIF** – Sicherheit der Sollfunktion – Teilgebiet der technischen Produktsicherheit (Safety Of The Intended Functionality)
- **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
- **UN ECE** – Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (United Nations Economic Commission for Europe)
- **UVV** – Unfallverhütungsvorschrift
- **UWB** – Ultra Breitband (Ultra Wideband)

V, W, X

- **VkBl** – Verkehrsblatt (Amtsblatt des BMDV/BMVI)

Y, Z, 1,2,3...

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

Impressum

Bildnachweis, fachliche Unterstützung

Netzwerk Baumaschinen NRMM CV

Seit über zehn 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, Land- und Forstwirtschaft, den betrieblichen Verkehr und Straßenverkehr.

Das Netzwerk wirkt überall dort, wo es gilt, Zusammenstöße und Unfälle zwischen Menschen, Maschinen und Material zu verhindern.

Neben Herstellern und Zulieferern aus Nutzfahrzeug- und Automobilindustrie engagieren sich hier auch Fachleute aus Wissenschaft und Forschung, Behörden der Arbeitsschutz- und Marktaufsicht sowie Berufsgenossenschaften und Gewerkschaften.
Das Netzwerk Baumaschinen ist u.a. Vision Zero-Kooperationspartner und offizieller Unterstützer der Aktion Abbiegeassistent des BMDV.

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[1]; S. 2: Netzwerk Baumaschinen[2]; S. 4: BG RCI; S. 5: Brigade Elektronik GmbH, MIRO e.V./FW/Rank; S. 6: Netzwerk Baumaschinen[3]; Sick AG, S. 7: Continental Automotive GmbH, ITK Engineering GmbH; S. 8: Mekratronics GmbH, Motec GmbH, Brigade Elektronik GmbH; S. 9: Mekratronics GmbH, Motec GmbH; S. 10: Netzwerk Baumaschinen[4], Motec GmbH, Continental Automotive GmbH; S. 11: Luis Technology GmbH, Continental Automotive GmbH; S. 12: Luis Technology GmbH, Brigade Elektronik GmbH, Motec GmbH; S. 13: Mekratronics GmbH, CNH Industrial Deutschland GmbH; S. 14, 15: Bosch Engineering GmbH; S. 16: Mekratronics GmbH; S. 17: Sick AG, Mekratronics GmbH, Bosch Engineering GmbH, Brigade Elektronik GmbH; S. 18: Motec GmbH, fact3 e.K., Brigade Elektronik GmbH, Sick AG, Bosch Engineering GmbH; S. 19: BG BAU, Bosch Engineering GmbH, Brigade Elektronik GmbH; S. 20: Bosch Engineering GmbH, Motec GmbH, fact3 e.K., Brigade Elektronik GmbH, Mekratronics GmbH; S. 21: Netzwerk Baumaschinen[1], Bosch Engineering GmbH, Brigade Elektronik GmbH, Mekratronics GmbH; S. 22, 23: Brigade Elektronik GmbH, Advanced Microwave Engineering S.r.l., Linde Material Handling GmbH; S. 24-28: Sick AG; S. 29: Götting KG; S. 30, 31: Brigade Elektronik GmbH; S. 34: Luis Technology GmbH, Continental Automotive GmbH; S. 35: Brigade Elektronik GmbH, Luis Technology GmbH; S.36: Motec GmbH; S. 37: Liebherr-Werk Bischofshofen GmbH; S. 38, 39: Arcure Blaxtair SA; S. 40, 41: Sick AG; S. 42: ITK Engineering GmbH[3]; S. 43: MIRO e.V./FW/Heimpel, Götting KG, Continental Automotive GmbH, Netzwerk Baumaschinen[1,5]; S. 44: ITK Engineering GmbH, TEKA Maschinenbau GmbH; S. 45, 46: ITK Engineering GmbH; S. 47: DIGIECOQUARRY (DEQ); S. 48: Netzwerk Baumaschinen[4], Zeppelin Baumaschinen GmbH; S. 49: Zeppelin Baumaschinen GmbH; S. 51: Motec GmbH; S. 52: Netzwerk Baumaschinen[7]
mit freundlicher Genehmigung: [1]Hanson Hispania; [2]Cimpor.; [3]RWE Power; [4]Breitsamer Entsorgung & Recycling, Liebherr-Werk Bischofshofen; [5]Cronenberger Steinindustrie, Märker Transportbeton; [7]PORR Deutschland

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 – Verwaltungsberufsgenossenschaft
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

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

Trotz der Sorgfalt und der Aufmerksamkeit, mit denen das Netzwerk die Informationen zusammenstellt, kann es dazu kommen, dass die Inhalte nicht vollständig, richtig oder aktuell sind. Das Netzwerk und fact3 network e.K. 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.

Ausgabe 2.0 – Stand 08/2023

VISION ZERO. Wir machen mit!
NULL UNFÄLLE – GESUND ARBEITEN!

Netzwerk Baumaschinen NRMM CV

VISION ZERO. Wir machen mit!

NULL UNFÄLLE – GESUND ARBEITEN!

Fördermöglichkeiten durch die Berufsgenossenschaft

Die VBG fördert im **Prämienkatalog Glas und Keramik ab 2023**
technische Maßnahmen zur Risikominderung in der Branche:

- **Personenerkennungs- und optische Warnsysteme für Fahrzeuge und ortsbewegliche Maschinen zum innerbetrieblichen Transport inklusive Erdbaumaschinen und Flurförderzeugen**
- **Reaktionssysteme an Erdbaumaschinen und Spezialfahrzeugen**

Alle wichtigen Informationen zu Voraussetzungen, Prämienhöhe, Einreichung erfahren Sie hier:
www.vbg.de/praemie

Kontakt zum Prämienteam der VBG:
telefonisch unter 040 5146-7778 und per E-Mail an praemie2015@vbg.de

INFORMATIONEN

VBG
Ihre gesetzliche Unfallversicherung

Diese und andere Fachinformationen stehen Ihnen im VBG-Medien-Center unter www.vbg.de als Datei im PDF-Format kostenlos zur Verfügung.

Weitere branchenspezifische Praxishilfen finden Sie unter:
www.vbg.de/glaskeramik

Bildnachweis:
Foto Titel © VBG/Klasmann-Deilmann,
alle weiteren Abbildungen © Netzwerk Baumaschinen
siehe Impressum auf Seite 54

Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung durch das Netzwerk Baumaschinen/fact3 network.

Weitere Medien des
Netzwerk Baumaschinen unter:
www.netzwerk-baumaschinen.de

VBG – Ihre gesetzliche Unfallversicherung

Präventionsfeld Glas und Keramik
Riemenschneiderstr. 2
97072 Würzburg
E-Mail: glaskeramik@vbg.de
Internet: www.vbg.de/glaskeramik