



issa

INTERNATIONAL SOCIAL SECURITY ASSOCIATION

International Section on Prevention in the Mining Industry

www.issa.int/prevention-mining

VISION ZERO

Safety.Health.Wellbeing.

Safety and Health in Mining

Safe and healthy jobs in mining, worldwide: that is the aim of the International Section of the ISSA on Prevention in the Mining Industry, in short ISSA Mining. As a not-for-profit organization, ISSA Mining unites operators, sector associations, experts and regulators to improve occupational safety and health as well as emergency response by means of international exchange on good practice, proven strategies and training concepts. ISSA Mining is one of thirteen prevention sections of the Social Security Association, headquarters in Geneva.

In this section of Mining Report Glückauf we will regularly introduce innovations, new findings and trends from an international point of view, helping to design mining work safer and health supporting.

Do you know of more efficient examples? We are looking forward to your advice as well as your feedback on this section. Send an e-mail to helmut.ehnes@issa-mining.org.

Sicherheit und Gesundheit im Bergbau

Sichere und gesunde Arbeitsplätze im Bergbau, weltweit: das ist das Ziel der International Section of the ISSA on Prevention in the Mining Industry, kurz ISSA Mining. Als Non Profit-Organisation vereint ISSA Mining Unternehmen, Branchenverbände, Experten sowie Regelssetzer, um durch den internationalen Austausch von guter Praxis, bewährten Strategien und Ausbildungskonzepten den Arbeitsschutz und das Rettungswesen zu verbessern. ISSA Mining ist eine von dreizehn Sektionen für Prävention unter dem Dach der International Social Security Association mit Sitz in Genf.

In dieser Rubrik stellen wir Ihnen regelmäßig Innovationen, neue Erkenntnisse und Trends aus dem internationalen Umfeld vor, die dabei helfen, die Arbeit im Bergbau sicherer und gesundheitsgerecht zu gestalten.

Kennen Sie weitere wirksame Beispiele aus der Praxis? Über Ihre Hinweise freuen wir uns ebenso wie über Rückmeldungen zu dieser Rubrik. Senden Sie eine E-Mail an: helmut.ehnes@issa-mining.org.

Fabian Uth, Amir E. Kianfar, Mrityunjaya Sherikar, Pascal Paehge

A Contribution to the Reduction of Occupational Accidents with Mobile Vehicles in the Raw Materials Industry

Digitization is increasingly modifying all process levels in the raw material industry, starting from processes, in which the interaction between man and machine is becoming increasingly important to the management section. Despite the technological advances, the rate of accidents between vehicle-to-vehicle and vehicle-to-human has increased in the past few years. This drastic increase is due to a number of factors, including the increasing size and complexity of automated machine technology. This

paper emphasises the development of a modern system for collision avoidance in surface and underground mines, which, due to its capabilities and advanced technology, goes beyond the current state of the art and thus contributes to reducing accidents and increase productivity. The system is based on an Internet-of-Things (IoT) structure, which is complemented by an innovative radio technology for vehicle-vehicle and vehicle-human collision avoidance.

Ein Beitrag zur Reduzierung von Arbeitsunfällen mit mobilen Fahrzeugen in der Rohstoffindustrie

Die Digitalisierung verändert zunehmend alle Prozessebenen der Rohstoffindustrie, angefangen bei operativen Prozessen, bei welchen die Interaktion zwischen Mensch und Maschine immer mehr an Bedeutung gewinnt, bis hin zur Unternehmensführung. Trotz der technologischen Fortschritte hat die Unfallrate in Zusammenhang mit mobilen Maschinen und Fahrzeugen weltweit in den vergangenen Jahren in der Rohstoffindustrie zugenommen, was auf verschiedene Ursachen wie etwa größer und komplexer werdende automatisierte Maschinenteknik zurückzu-

führen ist. Der Fokus dieses Beitrags liegt auf einem entwickelten modernen System zur Kollisionsvermeidung in über- und untertägigen Betrieben, welches durch seinen modularen Aufbau über den derzeitigen Stand der Technik hinausgeht und dadurch zur Reduzierung von Unfällen und zu einer Erhöhung der Produktivität beiträgt. Das System basiert auf einer Internet-of-Things (IoT)-Struktur, welches durch ein innovatives System zur Kollisionsvermeidung bei Überholvorgängen von Schwermaschinen und -fahrzeugen ergänzt wird.

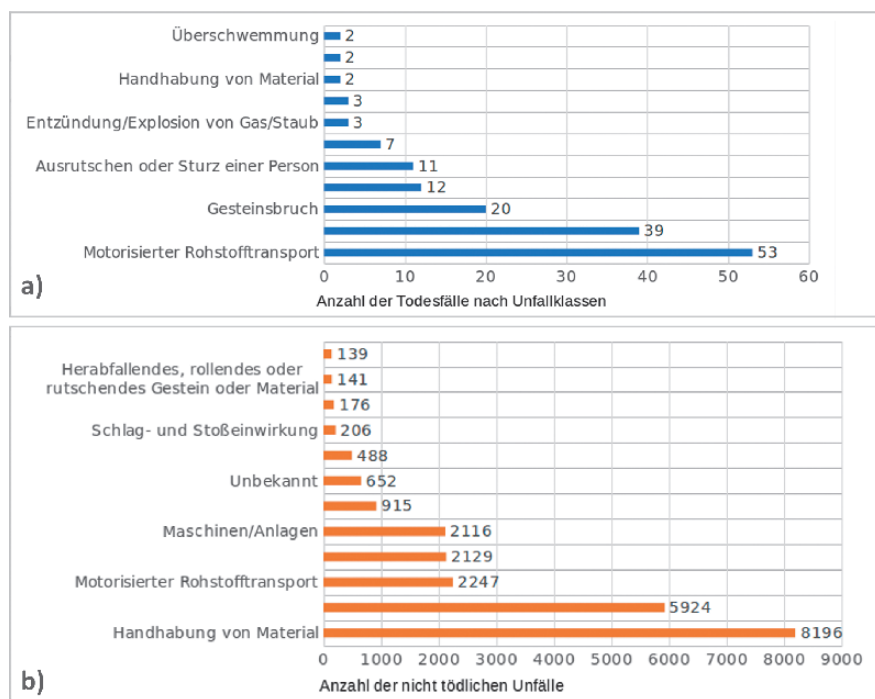


Fig. 1. Number of a) occupational fatalities by accident class (4) and b) nonfatal accidents by accident class (5), coal mine operators, metal mine operators, nonmetal mine operators, quarry operators, sand and gravel plant operators, coal mine contractors, non-coal mine contractors, 2015 to 2020 (shortened).

Bild 1. Anzahl der a) berufsbedingten Todesfälle nach Unfallklassen (4) und b) der nicht tödlichen Unfälle mit Ausfalltagen nach Unfallklassen (5), Betreiber von Kohle-, Metall-, Nichtmetallbergwerken, Betreiber von Steinbrüchen sowie Sand- und Kieswerken, Auftragnehmer von Kohle- und Nichtkohlebergwerken, 2015 bis 2020 (gekürzt).

1 Introduction

The raw material industry is one of the industries with the highest number of work-related accidents (1). In Germany, work related accidents in the raw materials industry have stagnated at a constant level for about 15 years (2). In addition to the health consequences for the injured employees, there are also financial consequences for the industries. These range from delays in work and production, costs for damaged equipment, fines, court costs, increased insurance payments or long-term payments for medical care, loss of sales and damage to the industry image (3). The causes of accidents are varied in both surface and underground operations and can be attributed to different types of accidents such as rock falls, machinery equipment, motorized transport of raw materials.

Statistics from the US National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) show that accidents related to mining equipment and motorized commodity transport accounted for the majority of fatal accidents between 2015 and 2020, at 57,51% (Figure 1 a). To the non-fatal accidents, these types of accidents contribute 18,56% (Figure 1b).

Several factors can contribute to the accident rate in different ways. These include dangerous mistakes of the workers themselves and the ever-increasing size of machines and vehicles, which demand extensive practice and operating skills. The focus of this paper is on the development of a high precision and reliable Collision Avoidance System (CAS) for raw material extraction industry. Which is particularly vulnerable for dangerous collision between vehicle-vehicle and vehicle-human.

The system is based on ultra-wideband (UWB) technology and the Industrial Internet of Things (IIoT). The CAS, or each unit of the system, is connected via Wi-Fi to an IIoT infrastructure that ensures monitoring of equipment, analyze dangerous situations, avoids collisions and enables data transmission of actual production cycle times, which will be critical for strategic decision-making in the future using advanced machine learning and artificial intelligence applications.

1 Einleitung

Die Rohstoffindustrie gehört zu den Industriebranchen mit den meisten Arbeitsunfällen (1). In Deutschland stagnieren die Arbeitsunfälle in der Rohstoffindustrie seit rd. 15 Jahren auf einem konstanten Niveau (2). Neben den gesundheitlichen Folgen der geschädigten Arbeitnehmer entstehen auch finanzielle Folgen für den Arbeitgeber. Diese reichen von ausgefallenen Arbeitsstunden und Produktionsmengen, über die Kosten von geschädigtem Equipment, Strafzahlungen, Gerichtskosten zu erhöhten Versicherungszahlungen oder Langzeitzahlungen für die medizinische Versorgung bis hin zu Umsatzrückgängen und Imageschäden (3). Die Ursache für die Entstehung von Unfällen ist sowohl in übertägigen als auch in untertägigen Betrieben divers und auf verschiedene Unfallklassen wie herabfallendes Gestein, Maschinenequipment, motorisierten Rohstofftransport oder Stürze zurückzuführen.

Statistiken des US-amerikanischen Arbeitsschutzinstituts (NIOSH) zeigen, dass Unfälle in Verbindung mit Bergbaumaschinen und motorisiertem Rohstofftransport zwischen den Jahren 2015 und 2020 einen mehrheitlichen Anteil an den tödlichen Unfällen mit 57,51% der Gesamtfälle einnehmen (Bild 1 a). Bei den nicht tödlichen Einfällen tragen diese Unfallarten mit 18,56% bei (Bild 1b).

Zahlreiche Faktoren können auf unterschiedliche Weise zur Unfallrate beitragen. Dazu gehören unsichere Verhaltensweisen der Arbeitnehmer selbst und die immer größeren Maschinen und Fahrzeuge, die mehr und bessere Qualifikationen von ihrem Bediener erfordern. Der Schwerpunkt dieses Beitrags liegt auf der Entwicklung eines Collision Avoidance Systems (CAS) für die Rohstoffgewinnung, welches aufgrund der hohen Präzision besonders dazu geeignet ist, gefährliche Situationen in der über- und untertägigen Gewinnung von Rohstoffen zu vermeiden.

Das System basiert auf der Ultra-Wideband (UWB)-Technologie und dem Industriellen Internet of Things (IIoT). Das CAS bzw. jeder Node des Systems ist über Wi-Fi mit einer IIoT-Infrastruktur verbunden, welche die Überwachung von Geräten gewährleistet, gefährliche Situationen analysiert, Kollisionen vermeidet sowie

The CAS is based on a distance measurement between mining machines to each other that are equipped with vehicle tags or to the personnel, equipped with a person tag. Currently wide range of technologies are being investigated that can determine this distance. The harsh environmental conditions and the extreme demands of the resource extraction industry limit the possibilities, the UWB technology is chosen for the implementation of a CAS, which is presented in the following sections.

2 Technologies

2.1 Ultra-Wideband Technology

There are various technologies for locating people and inventory in areas where satellite signals are not reachable, e.g., ultra-wideband radio technology, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, etc. The main characteristics of ultra-wideband (UWB) radio include the very short pulses in time (< 1 ns), over a wide frequency spectrum (3.1 GHz to 10.6 GHz) with bandwidths of at least 500 MHz (1), which are a primary requirement of the high-precision range measurements (2, 3). UWB technology offers many advantages compared to other radio-based technologies, such as no interference with other radio frequencies and higher accuracy in determination of the distance. In addition, due to its described frequency characteristics, UWB technology is resistant to multipath effect, which can occur especially in underground mining due to narrow routes and interrupted Line-of-Sight (LoS) by objects, including larger mining machines. (3, 4, 5) The accuracy of underground UWB location systems is in the centimeter range and is largely due to direct line-of-sight between tags. The maximum range of UWB technology can be up to 250 m (6).

2.2 Collision Avoidance System (CAS)

The CAS consists of the following main components:

- person tag;
- vehicle tag;
- overtaking modules;
- IIoT infrastructure.

The person and vehicle tags are equipped with both the UWB and Wi-Fi technologies, thereby acting as a gateway to the Internet infrastructure to exchange information directly with the network. The distance determination by the tags is based on the Two-Way Ranging (TWR) technique, which provides a more accurate Time of Flight (ToF) result of UWB signals between tags (6).

The CAS is specifically designed for use in surface and underground mining in harsh environmental conditions, e.g., loud noise, dust, fog, dark, vibration, etc., where machine operators cannot see or hear people near the machine. Among the key advantages of CAS is that it can be used for all types of mobile machines and workers in mining operations in real time, with accuracy in the range of a few centimeters and 360° perception. Each worker who is in a hazardous area is equipped with a wearable device (tag). Similarly, each mobile machine is equipped with a vehicle tag.

The personal tag is located inside the helmet and contains a small loudspeaker to trigger a warning signal in case of danger. The vehicle tag is mounted in the cabin or in the vehicle compartment so that warning signals are displayed to the driver or machine operator with a red, yellow or green LED, which are defined by the respective danger zones (safe, warning and danger zones).

die Datenübertragung der tatsächlichen Produktionszykluszeiten ermöglicht, die in Zukunft für strategische Entscheidungen unter Verwendung fortschrittlicher Konzepte für maschinelles Lernen und künstliche Intelligenz entscheidend sein werden.

Das CAS basiert auf einer Abstandsmessung zwischen den Bergbaumaschinen zueinander bzw. zu Personen, welche mit einem Personen-Tag ausgestattet sind. Verschiedene Technologien sind geeignet, diese Distanz zu bestimmen. Aufgrund der rauen Umgebungsbedingungen und den hohen Anforderungen in der Rohstoffgewinnung wird die UWB-Technologie für die Implementierung eines CAS gewählt, welche im folgenden Abschnitt vorgestellt wird.

2 Technologien

2.1 Ultra-Wideband Technologie

Es gibt verschiedene Technologien zur Ortung von Personen und Objekten in Bereichen, in denen es keine Satellitensignale gibt, z.B. Ultrabreitband-Funktechnologie, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee usw. Zu den wesentlichen Eigenschaften des Ultrabreitband-funks (Ultra-Wideband) zählen die zeitlich sehr kurzen Impulse (< 1 ns), über ein breites Frequenzspektrum (3,1 bis 10,6 GHz) mit Bandbreiten von mindestens 500 MHz (1), welche eine primäre Voraussetzung der hochpräzisen Entfernungsmessungen darstellen (2, 3). Die UWB-Technologie bietet im Vergleich zu anderen funkbasierten Technologien viele Vorteile, wie z.B. keine Interferenzen mit anderen Funksystemen und eine höhere Genauigkeit bei der Entfernungsbestimmung. Darüber hinaus ist die UWB-Technologie aufgrund ihrer beschriebenen Frequenzeigenschaften unempfindlich gegenüber Mehrwegausbreitungen der Signale, die insbesondere im Bergbau unter Tage aufgrund von engen Strecken und unterbrochenen Sichtverbindungen durch Objekte, einschließlich größerer Bergbaumaschinen, auftreten können. (3, 4, 5) Die Genauigkeit von UWB-Ortungssystemen unter Tage liegt im Zentimeterbereich und ist weitgehend auf die direkte Sichtverbindung zwischen den Tags zurückzuführen. Die maximale Reichweite von UWB kann bis zu 250 m betragen (6).

2.2 Collision Avoidance System (CAS)

Das CAS besteht aus den folgenden Hauptkomponenten:

- Personen-Tag,
- Fahrzeug-Tag,
- Überholensormodule,
- IIoT-Infrastruktur.

Die Personen- und Fahrzeug-Tags sind sowohl mit dem UWB- als auch mit Wi-Fi-Modulen ausgestattet, und fungieren hierdurch als Gateway zur Internet-Infrastruktur, um Informationen über Wi-Fi direkt mit dem Netz auszutauschen. Die Entfernungsbestimmung durch die Tags basiert auf der Two Way Ranging (TWR)-Technologie, die ein genaueres Ergebnis der Flugzeit (Time of Flight, ToF) von UWB-Signalen zwischen den Tags liefert (6).

Die CAS sind speziell für den Einsatz im über- und untertägigen Bergbau unter rauen Umgebungsbedingungen, z.B. laute Geräusche, staubig, neblig, dunkel, Vibrationen etc., konzipiert, bei denen die Maschinenbediener Personen in unmittelbarer Umgebung der Maschine nicht sehen oder hören können. Zu den wesentlichen Vorteilen des CAS zählt, dass es für alle Arten von

An important part of this collision avoidance system is the function for the safe overtaking of vehicles in opencast or underground mines. The system consists of two modules, one that is mounted on the bigger vehicle that needs to be overtaken and another module is mounted on the smaller vehicle that will overtake the bigger vehicle. The machine in front (bulldozer, shovel loader or hydraulic excavator) is equipped with an overtaking module, which consists of a laser scanner, camera and a single board computer that is connected to the IIoT mesh network and a UWB module. The smaller vehicle in the back is equipped with display unit, single board computer that is connected to the IIoT mesh network and a UWB module. The primary objective of the laser scanner is to scan for the obstacles in front of the machine. The camera takes the photos/videos of the area in front of the truck. The single board computer is responsible to trigger and control the laser scanner trigger the camera and acquire image/video and carryout image postprocessing and sending all the relevant information packet to the vehicle behind. For precise distance determination, the vehicles are equipped with UWB vehicle tags both in front and rear. The display unit in the smaller vehicle is used to visualize the scenario with the help of the information feed from the bigger vehicle in front. If there is another vehicle in front of the truck, the display shows a red signal, if the track is clear a green signal is shown. It also displays the photo/video that further assists the driver to make a confident decision regarding the overtaking process. The complete system is triggered when the distance between the vehicle in front and the vehicle behind is less than a predefined safe distance. Figure 2 shows the person and vehicle tags and the overtaking module.

As described above, all modules are connected to the mesh network to exchange data. This gives the possibility to communicate with each node and analyze the data in more detail. In this way, an IoT infrastructure can be realized.

2.3 Zone classification for collision avoidance of machines and persons

Due to the high accuracy of the distance measurements, a precise zone classification is made into the following three zones to a nearby machine:

- critical zone (< 10 m);
- warning zone (10 to 20 m); and
- safe zone (> 20 m).

Depending on the environment and application, these distances can be changed.

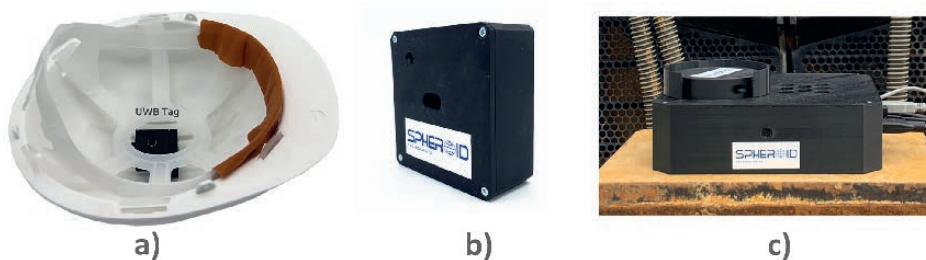


Fig. 2. a) Person tag mounted in the helmet, b) vehicle tag and c) the overtaking module.
Bild 2. a) Personen-Tag, das im Helm eingebaut wird, b) Fahrzeug-Tag, c) Überholsensormodul.
Photos/Fotos: SPHEROID

mobilen Maschinen und Arbeitern im Bergbau in Echtzeit und mit einer Genauigkeit im niedrigen Zentimeterbereich und einer 360°-Wahrnehmung eingesetzt werden kann. Jeder Arbeiter, der sich in einem Gefahrenbereich aufhält, ist mit einem tragbaren Gerät (Tag) ausgestattet, analog dazu ist jede mobile Maschine mit einem Fahrzeug-Tag ausgestattet.

Das Personen-Tag befindet sich innerhalb des Helms und beinhaltet einen kleinen Lautsprecher zum Auslösen eines Warnsignals im Gefahrenfall. Das Fahrzeug-Tag ist in der Kabine oder im Fahrzeugaum montiert, sodass dem Fahrer bzw. Maschinenbetreiber Warnsignale mit einer roten, gelben oder grünen LED angezeigt werden, welche durch die jeweiligen Gefahrenzonen (sicherer Bereich, Warn- und Gefahrenbereich) definiert sind.

Ein wichtiger Teil dieses Kollisionsvermeidungssystems ist die Funktion für das sichere Überholen von Fahrzeugen im Tagebau oder untertägigen Bergwerk. Die Funktionseinheit besteht aus zwei Modulen, dem Überholsensormodul und der Überholanzeige. Das System stellt für den Fahrer sicher, dass der Überholvorgang durchgeführt werden kann. Die vorausfahrende Maschine (Planierdraupe, Fahrschauellader oder Hydraulikbagger) ist mit einem Überholsensormodul ausgestattet, welches aus einem Laserscanner und einer Kamera besteht und mittels Datenübertragung, dem hinteren Fahrzeug auf der Überholungsanzeige signalisiert, ob sicher überholt werden kann. Der Laserscanner prüft hierbei, ob sich ein weiteres Fahrzeug vor der Maschine befindet oder der Weg für den Überholvorgang frei ist. Die Kamera nimmt die Fotos/Videos von der Strecke vor der Maschine auf. Die Überholanzeige zeigt die Kamerasicht der vorausfahrenden Maschine auf dem Display. Befindet sich vor der zu überholenden Maschine ein weiteres Fahrzeug, zeigt das Display ein rotes Signal an, ist die Strecke frei, wird ein grünes Signal angezeigt. Zur präzisen Distanzbestimmung sind die Fahrzeuge mit UWB-Fahrzeug-Tags sowohl vorn als auch hinten ausgestattet. Das Display der Überholanzeige schaltet sich bei einem definierten Abstand der Fahrzeuge automatisch ein und startet die Datenübertragung der Fotos und Signale. Bild 2 zeigt die Personen- bzw. Fahrzeug-Tags sowie das Überholsensormodul.

Wie oben beschrieben, sind alle Module mit dem Mesh-Netzwerk verbunden, um Daten auszutauschen. Dies gibt die Möglichkeit, mit jedem Node zu kommunizieren und die Daten detaillierter zu analysieren. Auf diese Weise lässt sich eine IoT-Infrastruktur realisieren.

2.3 Zoneneinteilung zur Kollisionsvermeidung von Maschinen und Personen

Aufgrund der hohen Genauigkeit der Abstandsmessungen erfolgt eine präzise Zoneneinteilung in die folgenden drei Zonen zu einer in der Nähe befindlichen Maschine:

- kritische Zone (< 10 m),
- Warnzone (10 bis 20 m) und
- sichere Zone (> 20 m).

Je nach Umgebung und Anwendung können diese Abstände angepasst werden.

3 Field measurements and evaluation of the results

To validate the system, field measurements have been carried out in the Nivelstein open pit mine in cooperation with the Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) of RWTH Aachen University (RWTH), Aachen/Germany. The following sections describe the system as well as the test execution of the collision avoidance between vehicles and between vehicle and persons. Within the scope of the field measurements in the Nivelstein open pit mine, the danger zones and the zone classifications have been defined as in section 2.



Fig. 3. a) A possible collision between the vehicle and the person with the (b) green LED in the hazard-free area and (c) yellow LED in the warning area and (d) red LED in the hazardous area.
Bild 3. a) Eine mögliche Kollision zwischen dem Fahrzeug und der Person mit dem (b) grünen LED im gefahrlosen Bereich, (c) mit dem gelben LED im Warnbereich und (d) roten LED im gefährlichen Bereich.
Photos/Fotos: SPHEROID

3.1 Field measurements for collision avoidance between vehicle and person

The system consists of a person tag, which is mounted inside the helmet, and a vehicle tag, which is mounted in the vehicle on the dashboard. As part of the field measurement, the vehicle moves toward the intersection and the tag illuminates green to indicate that a person or another vehicle is approaching but is in a safe area. The tag will blink yellow once the approaching vehicle or person is within the warning range of between 10 to 20 m. In this case, the driver continues to drive carefully. As soon as the person or the other vehicle is in the danger zone, the tag lights up red. Figure 3 shows the vehicle in which a vehicle tag is mounted and a person in a danger zone of an intersection, which is hard to see.

To validate the system and the measurement results in underground operations, numerous field measurements were carried out in the Recklinghausen training mine. To perform the measurement, a vehicle tag was mounted on a monorail overhead conveyor and an employee was equipped with a person tag in a helmet. The distance measurements between the machine tag and the person tag were recorded using a graphical user interface (GUI) that can be displayed on any portable device such as a smartphone, tablet or laptop (Figure 4).

The person tag is equipped with a UWB and a Wi-Fi module. The UWB module connects to the vehicle tag, while the Wi-Fi module connects to the mesh network. The Wi-Fi module sends data packets with its own ID and the corresponding range, followed by other important information such as

3 Feldmessungen und Evaluation der Ergebnisse

Zur Validierung des Systems sind in Zusammenarbeit mit dem Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) der RWTH Aachen University (RWTH), Aachen, Feldmessungen im Tagebau Nivelstein durchgeführt worden. In den nachfolgenden Abschnitten werden das System sowie die Versuchsdurchführung der Kollisionsvermeidung zwischen Fahrzeugen sowie zwischen Fahrzeug und Personen beschrieben. Im Rahmen der Feldmessungen im Tagebau Nivelstein sind die Gefahrenbereiche und die Zoneneinteilungen wie in Abschnitt 2 definiert worden.

3.1 Aufbau und Durchführung der Feldmessungen zur Kollisionsvermeidung Fahrzeug – Person

Das System besteht aus einem Personen-Tag, welches im Helm implementiert ist, sowie einem Fahrzeug-Tag, das im Fahrzeug auf dem Armaturenbrett montiert ist. Im Rahmen der Feldmessung fährt das Fahrzeug in Richtung der Kreuzung, das Tag leuchtet grün, um zu zeigen, dass sich eine Person oder ein anderes Fahrzeug nähert, sich aber in einem sicheren Bereich aufhält bzw. befindet. Die Anzeige leuchtet gelb, sobald sich das nähernde Fahrzeug oder die Person im Warnbereich zwischen 10 bis 20 m befindet. In diesem Fall fährt der Fahrer weiterhin vorsichtig. Sobald sich die Person oder das andere Fahrzeug im Gefahrenbereich befinden, leuchtet das Tag rot. Bild 3 zeigt das Fahrzeug, in dem

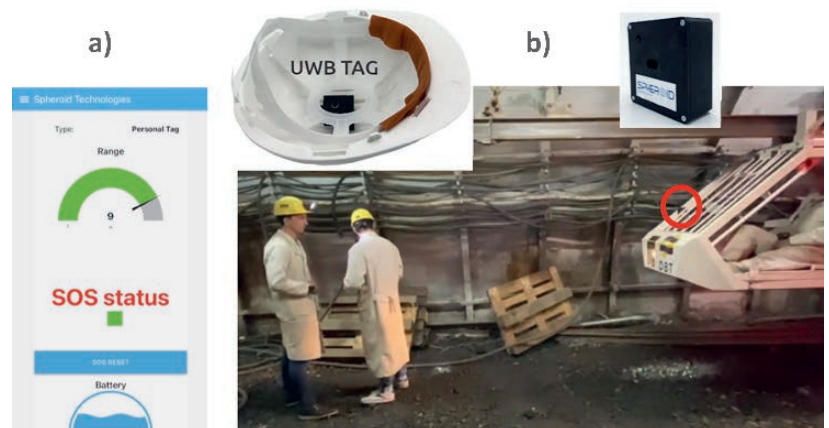


Fig. 4. a) GUI for collision avoidance, b) Monorail approaching the workers.
Bild 4. a) GUI zur Kollisionsvermeidung, b) EHB nähert sich Personen.
Source/Quelle: SPHEROID

an SOS status, which can be retrieved by any smartphone, tablet or laptop connected to the same network.

The range between the vehicle and person tags is displayed in the graphical user interface (GUI). To visualize the results, a safe zone was displayed with green, a warning zone with yellow and a danger zone with red. The warnings for the corresponding zones can also be realized by triggering other suitable signals, such as a beep.

To validate the measurement results, static measurements have been performed at defined distances and compared with the actual distances. Figure 5 shows the measurement results, which show maximum deviations of 0.15 m.

3.2 Field measurements for collision avoidance between vehicles

To perform this field measurement, one vehicle tag has been implemented on the dashboard of the test vehicle and one tag has been implemented in the cabin of a truck. The same defined distances as in the previous section have been applied. The spacing of the system can be adjusted to the specific conditions and hazardous areas as desired.

If a vehicle or a mobile machine is in the danger zone, like the vehicle in Figure 6, the indicators of the respective vehicle tags

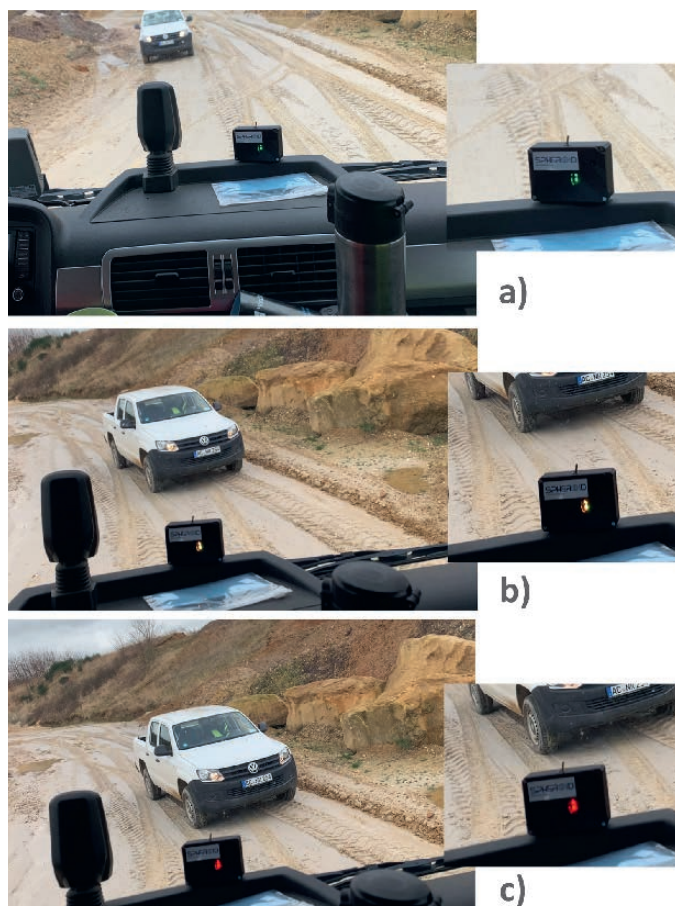


Fig. 6. The truck a) with the green illuminated tag in the safe area, b) with the yellow illuminated tag at the end of the warning area and c) with red illuminated tag in the danger area of a vehicle.
Bild 6. Der LKW a) mit dem grün beleuchteten Tag im sicheren Bereich, b) mit dem gelb beleuchteten Tag am Ende des Warnbereichs und c) mit rot beleuchteten Tag im Gefahrenbereich von einem Fahrzeug.
Photos/Fotos: SPHEROID



Fig. 5. Ranging in defined distances between the person and the monorail.
Bild 5. Ranging in definierten Abständen zwischen der Person und der EHB.
Source/Quelle: SPHEROID

ein Fahrzeug-Tag montiert ist, und eine Person in einem schwer einsehbaren Gefahrenbereich einer Kreuzung.

Zur Validierung des Systems und der Messergebnisse in untertägigen Betrieben wurden zahlreiche Feldmessungen im Trainingsbergwerk Recklinghausen durchgeführt. Zur Durchführung der Messung wurden ein Fahrzeug-Tag auf einer Einschienehängbahn (EHB) angebracht und ein Mitarbeiter mit einem Personen-Tag im Helm ausgestattet. Die Entfernungsmessungen zwischen dem Maschinen-Tag und dem Personen-Tag wurden mit einer grafischen Benutzeroberfläche (GUI) aufgezeichnet, welche auf jedem tragbaren Gerät wie einem Smartphone, Tablet oder Laptop angezeigt werden kann (Bild 4).

Das Personen-Tag ist mit einem UWB- und einem WiFi-Modul ausgestattet. Das UWB-Modul stellt die Verbindung mit dem Fahrzeug-Tag her, während das WiFi-Modul die Verbindung mit dem Mesh-Netzwerk ermöglicht. Das WiFi-Modul sendet Datenpakete mit seiner eigenen ID und der entsprechenden Reichweite, gefolgt von anderen wichtigen Informationen wie einem SOS-Status, die von jedem Smartphone, Tablet oder Laptop abgerufen werden können, welche mit demselben Netzwerk verbunden sind.

In der grafischen Benutzeroberfläche (GUI) wird der Status der EHB dargestellt. Zur Visualisierung der Ergebnisse, wurde ein sicherer Bereich mit Grün, ein Warnbereich mit Gelb und ein Gefahrenbereich mit Rot dargestellt. Die Warnungen für die entsprechenden Zonen können auch durch die Auslösung anderer geeigneter Signale, wie z. B. eines Signaltons, realisiert werden.

Zur Validierung der Messergebnisse sind statische Messungen in definierten Abständen durchgeführt und mit den tatsächlichen Abständen verglichen worden. Bild 5 zeigt die Messergebnisse, welche maximale Abweichungen von 0,15 m aufweisen.

3.2 Aufbau und Durchführung der Feldmessungen zur Kollisionsvermeidung zwischen Fahrzeugen

Zur Durchführung dieser Feldmessung sind ein Fahrzeug-Tag auf dem Armaturenbrett des Befahrungsfahrzeugs und ein Tag in der Kabine eines LKW implementiert worden. Es sind die gleichen definierten Abstände wie im vorigen Abschnitt angewendet worden. Die Abstände des Systems lassen sich an die jeweiligen Bedingungen und Gefahrenbereiche anpassen.

Befindet sich ein Fahrzeug oder eine mobile Maschine im Gefahrenbereich, wie das Fahrzeug in Bild 6, leuchten die Anzeigen der jeweiligen Fahrzeug-Tags rot auf, im Fall der Warnzone in gel-

light up in red, in the case of the warning zone in yellow color as well as in green color in the safe area. Figure 6 shows the tag in a truck at three distances from a vehicle.

3.3 Collision avoidance during overtaking

Another key cause of accidents between vehicles is overtaking. Here, collisions with oncoming traffic can occur due to poor visibility and consequently misjudgment about the oncoming traffic, especially for large vehicles. The system for collision avoidance during overtaking consists of vehicle tags, LIDAR/camera module and an overtaking indicator as delineated in the previous section. During the field measurement, the modules have been mounted on the respective vehicles. To perform this measurement, an overtaking module was set up on the front of a dozer and a UWB tag was set up on the rear of the dozer (Figure 7). A pickup truck was also equipped with a UWB tag and an overtaking indicator during overtaking. During the field measurement, an overtaking scenario was simulated where in a pickup truck approaches a dozer from behind and overtakes it with the assistance of the overtaking system. In the first case, another vehicle drives in front of the dozer, so that it is not possible for the vehicle behind to safely overtake the dozer. The UWB modules determine the distance between the dozer and the vehicle. Once the vehicle is at a predefined distance from the dozer, the overtaking system begins analyzing the possibility of overtaking. The laser scanner scans the field in front of the dozer and reports either a clear field or a blocked path. The camera takes the photos, the data is processed and the result is transmitted from the dozer's overhaul module to the vehicle's display module. As shown in Figure 7, the pickup truck's display shows a red warning signal indicating that overtaking is not possible.

As soon as the vehicle ahead moves away and a safe opportunity to overtake is possible, the display shows a green visual signal (Figure 8).



Fig. 7. a) A bulldozer blocked by a vehicle in front and a vehicle ready to overtake behind it, b) a red warning signal on the driver's display. Bild 7. a) Eine Planierraupe blockiert von einem vorausfahrenden Fahrzeug und einem überholenden Fahrzeug hinten, b) ein rotes Warnsignal auf dem Display des Fahrers. Photos/Fotos: SPHEROID

ber Farbe sowie in grüner Farbe im sicheren Bereich. Bild 6 zeigt das Tag in einem LKW in drei Abständen zu einem Fahrzeug.

3.3 Kollisionsvermeidung bei Überholvorgängen

Eine weitere Ursache für Unfälle zwischen Fahrzeugen ist der Überholvorgang. Hierbei kann es durch einen schlecht einseharen Bereich, insbesondere bei großen Fahrzeugen zu Kollisionen mit entgegenkommendem Verkehr kommen. Das System zur Kollisionsvermeidung während des Überholvorgangs besteht aus Fahrzeug-Tags, Radar/Kamera-Modul und einer Überholanzeige. Im Rahmen der Feldmessung sind die Module auf den Fahrzeugen implementiert worden. Zum Durchführen dieser Messung wurde ein Überholsensormodul auf der Vorderseite einer Planierraupe und ein UWB-Tag auf der Hinterseite der Planierraupe aufgebaut (Bild 7). Ein Fahrzeug wurde ebenfalls für das Überholen mit einem UWB-Tag und einer Überholanzeige ausgestattet. Während der Feldmessung nähert sich das Fahrzeug der Planierraupe von hinten und der Fahrer überholt die Planierraupe. Im ersten Fall fährt vor der Planierraupe ein weiteres Fahrzeug, sodass ein sicheres Überholen der Planierraupe für das hintere Fahrzeug nicht möglich ist. Die UWB-Module ermitteln den Abstand zwischen der Planierraupe und dem Fahrzeug. Sobald sich das Fahrzeug in einem vordefinierten Abstand zur Planierraupe befindet, beginnt das Überholsystem mit der Analyse der Überholmöglichkeit. Der Laserscanner tastet das Feld vor der Planierraupe ab und meldet entweder ein freies Feld oder einen blockierten Weg. Die Kamera nimmt die Fotos auf, die Daten werden verarbeitet und das Ergebnis wird vom Überholsensormodul der Planierraupe an das Anzeigemodul des Fahrzeugs übertragen. Wie in Bild 7 dargestellt, zeigt das Display des Fahrzeugs ein rotes Warnsignal an, welches signalisiert, dass ein Überholen nicht möglich ist.

Sobald das vorausfahrende Fahrzeug wegfährt und eine sichere Gelegenheit zum Überholen möglich ist, zeigt das Display ein grünes visuelles Signal an (Bild 8).



Fig. 8. a) A bulldozer without any blocking object and an overtaking vehicle behind it with, b) a green indicator on the driver's display. Bild 8. a) Eine Planierraupe ohne Hindernis und mit einem überholenden Fahrzeug hinten, b) ein grünes Warnsignal auf dem Display des Fahrers. Photos/Fotos: SPHEROID

4 Summary

By the further automation towards autonomous mobile vehicles in surface and underground resource extraction operations in the future, the use of reliable collision avoidance systems is becoming increasingly important. The presented collision avoidance system has a modular design of ultra-wideband radio technology as well as an IoT structure, which allows the system to go beyond the current state of the art, thereby helping to prevent accidents and increase productivity. The system can be optionally supplemented with an innovative collision avoidance system for overtaking heavy machinery and vehicles.

Acknowledgements

We would like to take this opportunity to thank our partners at the Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) of RWTH Aachen University, the real laboratory at the Nivelstein open pit mine and the extensive support at the Recklinghausen training mine.

References / Quellenverzeichnis

- (1) International Council on Mining & Metals (Hg.) (2021): Safety Performance: Benchmarking progress of ICMM company members in 2020. Online verfügbar unter <https://www.icmm.com/en-gb/research/health-safety/benchmarking-2020-safety-data>, zuletzt geprüft am 10.03.2022.
- (2) Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) (Hg.) (2020): DGUV-Statistiken für die Praxis 2019. Online verfügbar unter <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3903>, zuletzt geprüft am 10.03.2022.
- (3) Blumenstein, D.; Ferriter, R.; Powers, J.; Reiher, M. (2011): Cost of Accidents Guide. Hg. v. Western Mining Safety and Health Training and Translation Center. Colorado School of Mines. Golden. Online verfügbar unter <https://www.mines.edu/emcis/wp-content/uploads/sites/185/2018/07/total-cost-of-accidents.pdf>, zuletzt geprüft am 10.03.2022.
- (4) National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (Hg.): Anzahl der berufsbedingten Todesfälle nach Unfallklassen, Betreiber von Kohlebergwerken, Betreiber von Metallbergwerken, Betreiber von Nichtmetallbergwerken, Betreiber von Steinbrüchen, Betreiber von Sand- und Kieswerken, Auftragnehmer von Kohlebergwerken, Auftragnehmer von Nichtkohlebergwerken, 2015 – 2020 (N=160). NIOSH Mine and Mine Worker Charts. Online verfügbar unter: <https://wwwn.cdc.gov/NIOSH-Mining/MMWC/Fatality/Count?StartYear=2015&EndYear=2020&SelectedMineType=#>, zuletzt geprüft am 10.03.2022.
- (5) National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (Hg.): Anzahl der nicht tödlichen Unfälle mit Ausfalltagen nach Unfallklassen, Betreiber von Kohlebergwerken, Betreiber von Metallbergwerken, Betreiber von Nichtmetallbergwerken, Betreiber von Steinbrüchen, Betreiber von Sand- und Kieswerken, Auftragnehmer von Kohlebergwerken, Auftragnehmer von Nichtkohlebergwerken, 2015 - 2020. NIOSH Mine and Mine Worker Charts. Online verfügbar unter <https://wwwn.cdc.gov/NIOSH-Mining/MMWC/Injuries/Count?StartYear=2015&EndYear=2020&SelectedMineType=#>, zuletzt geprüft am 10.03.2022.
- (6) Sang, C. L.; Adams, M.; Hörmann, T.; Hesse, M.; Pormann, M.; Rückert, U.: Numerical and Experimental Evaluation of Error Estimation for Two-Way Ranging Methods.

Authors / Autoren

Fabian Uth M. Sc., Dr.-Ing. Amir E. Kianfar, Mrityunjaya Sherikar, Pascal Paehge, SPHEROID Technologies, Regensburg

4 Zusammenfassung

Im Hinblick auf eine zukünftig weiter voranschreitende Automatisierung hin zu autonomen mobilen Fahrzeugen in über- und untertägigen Rohstoffgewinnungsbetrieben wird der Einsatz von zuverlässigen Kollisionsvermeidungssystemen immer wichtiger. Das vorgestellte System zur Kollisionsvermeidung besitzt einen modularen Aufbau von Ultra-Breitbandfunktechnologie sowie einer IoT-Struktur, wodurch das System über den derzeitigen Stand der Technik hinausgeht und dadurch zur Reduzierung von Unfällen und zur Erhöhung der Produktivität beiträgt. Das System kann optional mit einem innovativen System zur Kollisionsvermeidung bei Überholvorgängen von Schwermaschinen und -fahrzeugen ergänzt werden.

Danksagungen

An dieser Stelle würden wir uns gerne bei unseren Partnern vom Institute for Advanced Mining Technologies (AMT) der RWTH Aachen University, vom Reallabor im Tagebau Nivelstein sowie für die umfangreiche Unterstützung im Trainingsbergwerk Recklinghausen bedanken.