Fachbereich AKTUELL

Automatisiert fahrende Fahrzeuge in betrieblichen Bereichen

Sachgebiet Fahrzeugbau, -antriebssysteme, Instandhaltung, Stand: 11.03.2026

Die Entwicklung und der Einsatz automatisiert oder autonom fahrender Fahrzeuge wird von Herstellern und Anwendern auf den verschiedensten Gebieten vorangetrieben und zum Teil bereits praktiziert.

Im öffentlichen Straßenverkehr sind dem automatisierten Fahrbetrieb derzeit noch enge Grenzen gesetzt. Beim Einsatz in betrieblichen Bereichen bestehen häufig Unsicherheiten bezüglich der Anforderungen und der einzuhaltenden Bedingungen.

Diese Fachbereich AKTUELL soll in erster Linie Betreiber bei der Erstellung und Umsetzung der Gefährdungsbeurteilung sowie der Ermittlung der Anforderungen an betriebliche Bereiche, Fahrzeuge, Systeme und Personen unterstützen. Außerdem soll sie Herstellern als Hilfestellung bei der Durchführung der Risikobeurteilung und Festlegung der sicherheitstechnischen Anforderungen dienen.

Diese Fachbereich AKTUELL beschreibt den aktuellen Stand der Technik. Sie behandelt das automatisierte oder autonome Fahren von Fahrzeugen in folgenden betrieblichen Bereichen:

- Öffentlich zugängliche und vergleichbare Bereiche
- Abgeschlossene Bereiche mit begrenztem Zugang
- Abgeschlossene Bereiche ohne Zutritt



Abbildung 1 – Fahrerloses Transportsystem im betrieblichen Einsatz

Inhaltsverzeichnis

1 Betriebliche Bereiche 2
1.1 Öffentlich zugängliche und vergleichbare Bereiche 2
1.2 Abgeschlossene Bereiche mit begrenztem Zugang 3
1.3 Abgeschlossene Bereiche ohne Zutritt 3
2 Anforderungen an Verkehrsbereiche 3
2.1 Öffentlich zugängliche und vergleichbare Bereiche 3
2.2 Abgeschlossene Bereiche mit begrenztem Zugang 4
2.3 Abgeschlossene Bereiche ohne Zutritt 4
3 Anforderungen an automatisiert fahrende Fahrzeuge 5
3.1 Öffentlich zugängliche und vergleichbare Bereiche 5
3.2 Abgeschlossene Bereiche mit begrenztem Zugang 5
3.3 Abgeschlossene Bereiche ohne Zutritt 14
4 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen 15

Betrachtet wird ausschließlich der, im Regelfall fahrerlose, hochautomatisierte oder autonome Fahrbetrieb mit den damit verbundenen Gefährdungen (vorrangig Kollision mit Personen und anderen Verkehrsobjekten). Im Sinne von „Vision Zero“ wird dabei der Ansatz verfolgt, durch geeignete Schutzmaßnahmen besonders die Schädigung von Personen zu vermeiden. Es wird davon ausgegangen, dass dieses Ziel in abgeschlossenen betrieblichen Bereichen durch technische und organisatorische Maßnahmen in höherem Grade realisierbar ist als im öffentlichen Straßenverkehr.

Betrachtet werden maschinell angetriebene, nicht an Schienen gebundene Landfahrzeuge und deren Anhängefahrzeuge sowie mobile Arbeitsmaschinen.

> **Geltende Regelungen für spezifische Fahrzeugarten, wie in DIN EN ISO 3691-4 „Fahrerlose Flurförderzeuge und ihre Systeme“ [1] behandelt, bleiben durch diese Fachbereich AKTUELL unberührt. Werden solche Fahrzeuge in komplexeren Verkehrssituationen (z. B. Kreuzungsverkehr, Überholvorgänge, Mischverkehr, besondere Verkehrsteilnehmende) eingesetzt, kann diese Fachbereich AKTUELL als Basis für die erweiterte Gefährdungs- bzw. Risikobeurteilung angewendet werden.**

1 Betriebliche Bereiche

In Abhängigkeit von den unterschiedlichen Verkehrsverhältnissen in verschiedenen betrieblichen Bereichen und den daraus resultierenden Gefährdungen ist eine Unterteilung erforderlich. Die Gefährdungssituation und damit die Anforderungen an automatisierten Fahrzeugverkehr hängen sehr stark davon ab, ob in einem Bereich zum Beispiel nur automatisierte Fahrzeuge mit definierten Eigenschaften (maximale Geschwindigkeit, vorgegebene Fahrstrecke, …) oder verschiedenste Verkehrsobjekte mit vielfältigen Freiheitsgraden (wie im öffentlichen Straßenverkehr) anzutreffen sind.

1.1 Öffentlich zugängliche und vergleichbare Bereiche

Hierbei handelt es sich um Bereiche von Firmen-, Betriebs- oder Werksgeländen, in denen die Verkehrssituation mit dem öffentlichen Straßenverkehr vergleichbar ist. Es haben verschiedenste Personen und Fahrzeuge Zugang. Das Verkehrsgeschehen umfasst neben Fahrzeugen auch Personen, die sich zu Fuß, mit dem Rad oder auf andere Weise fortbewegen.

Dabei kann es sich um öffentlichen Verkehrsraum (für jedermann zugänglich) oder auch um nicht-öffentlichen Verkehrsraum (Zugangskontrolle mit Schranke oder Ampel, gegebenenfalls Anmeldepflicht, keine innerbetrieblichen Sonderregelungen für automatisierte Fahrzeuge) handeln. Auch landwirtschaftliche

Nutzflächen und Produktionsbereiche sowie nicht zugangsbeschränkte Baustellen sind in diesem Sinne zu betrachten.

Bezeichnend ist, dass der Zugang nicht auf einen eingeschränkten Personenkreis und bestimmte Fahrzeuge beziehungsweise Verkehrsteilnehmende mit definierten Eigenschaften begrenzt ist.

1.2 Abgeschlossene Bereiche mit begrenztem Zugang

Der Begriff „Abgeschlossene Bereiche mit begrenztem Zugang“ bezeichnet hier betriebliche Bereiche, zu denen nur berechtigte Personen oder Fahrzeuge kontrollierten Zugang haben. An Fahrzeuge können bestimmte Anforderungen gestellt werden (zum Beispiel Ausrüstung für automatisierten Fahrbetrieb oder definierte Kommunikationsebenen). Personen müssen angemessen unterwiesen oder qualifiziert sein.

Derartige Bereiche können zum Beispiel sein:
- Produktionsbereiche, Montagehallen
- Flughafenvorfelder
- Ladebereiche Hafen/Logistikbereiche
- nicht öffentliche Testfelder/Versuchseinrichtungen
- Betriebshöfe
- Instandhaltungsbereiche, Werkstätten
- Kiesgruben, Steinbrüche

Maßgeblich ist, dass die zu erwartenden Verkehrsobjekte und deren Verhalten bekannt oder eingrenzbar sind, und dadurch die Anforderungen an automatisiert fahrende Fahrzeuge bestimmt werden können.

1.3 Abgeschlossene Bereiche ohne Zutritt

Als „Abgeschlossene Bereiche ohne Zutritt“ gelten im Rahmen dieser Schrift betriebliche Bereiche mit automatisiertem Fahrzeugverkehr, zu denen Personen im Regelfall keinen Zugang haben.

Ist der Zugang von Personen erforderlich (z. B. Havarie, Instandhaltung, …), müssen sie durch besondere Maßnahmen (Stillstand, gesicherte Bereiche, besondere Betriebszustände, …) vor Gefährdungen geschützt werden.

Automatisiert fahrende Fahrzeuge sind gegebenenfalls als Teil der Fertigungsanlage zu betrachten.

2 Anforderungen an Verkehrsbereiche

In Abhängigkeit vom betrachteten Verkehrsraum gelten unterschiedliche Anforderungen, die nachfolgend unterschieden und dargestellt werden.

2.1 Öffentlich zugängliche und vergleichbare Bereiche

In Bereichen, in denen die Verkehrssituation mit dem öffentlichen Straßenverkehr vergleichbar ist und in denen automatisierte Fahrzeuge verkehren, müssen den öffentlichen Verkehrsregeln (Straßenverkehrs-gesetz/StVG [2], Straßenverkehrsordnung/StVO [3], …) identische Regelungen gelten. Das ist erforderlich, weil für den öffentlichen Straßenverkehr zugelassene, automatisiert fahrende Fahrzeuge nach diesen Vorschriften und Regelungen ausgelegt sind.

Zusätzlich sind relevante staatliche Arbeitsschutzvorschriften, besonders Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) [4] sowie der Arbeitsstättenregeln ASR A1.8 „Verkehrswege“ [5], ASR A1.3 „Kennzeichnung“ [6], ASR A3.4 „Beleuchtung“ [7], ASR A2.3 „Fluchtwege“ [8], ASR A1.7 „Türen und Tore“ [9] und Arbeitsschutzvorschriften und -regelungen der Unfallversicherungsträger zu beachten.

2.2 Abgeschlossene Bereiche mit begrenztem Zugang

Der Zugang zu den hier bezeichneten betrieblichen Bereichen mit automatisiertem Fahrzeugverkehr darf nur für die dafür vorgesehenen Fahrzeuge und Personen möglich sein. Dabei müssen Fahrzeuge unter anderem die nach Abschnitt 3.2 dieser „Fachbereich AKTUELL“ ermittelten technischen Anforderungen für den automatisierten Betrieb erfüllen.

Für Personen sind in Abhängigkeit von Gefährdungspotenzial und Verkehrskonzept erforderliche Zugangsbeschränkungen (gegebenenfalls Begrenzung Personenkreis, Personenzahl, Tragen von Warnkleidung oder Transpondern, Umsetzung von Verhaltensregeln, …) festzulegen und umzusetzen. Personen mit Zugangserlaubnis sind besonders zu unterweisen. Der Unterweisungsumfang richtet sich nach dem Maß der zu beachtenden Gefährdungen und Verhaltensregeln und deren Abweichung vom öffentlichen Straßenverkehr. Die Unterweisung ist schriftlich zu dokumentieren und regelmäßig, mindestens jedoch jährlich, zu wiederholen.

Die Vorgaben der ASR A 1.8 „Verkehrswege“ sind umzusetzen.

Relevante Maßnahmen können zum Beispiel sein:
- gekennzeichnete Verkehrswege für Fahrzeuge und Fußgänger
- Fußgängerüberwege
- getrennte Richtungsfahrbahnen

Anforderungen aus weiteren relevanten staatlichen Arbeitsschutzvorschriften (vgl. Abschnitt 2.1) und Arbeitsschutzvorschriften und -regelungen der Unfallversicherungsträger müssen erfüllt werden (zum Beispiel Fahren nur auf Fahrwegen und in Bereichen, die ein sicheres Fahren ermöglichen und ausreichend tragfähig sind – siehe unter anderem § 45 Fahrwege DGUV Vorschrift 70 Fahrzeuge [10]).

2.3 Abgeschlossene Bereiche ohne Zutritt

Zu abgeschlossenen Bereichen ohne Zutritt, in denen automatisiert fahrende Fahrzeuge verkehren, muss der Zugang von Personen durch trennende Schutzeinrichtungen oder bauliche Abtrennungen sicher verhindert sein. Zugangstüren müssen beim Öffnen die Steuerung der dort verkehrenden Fahrzeuge so beeinflussen, dass die Sicherheit von eintretenden Personen mit besonderer Zugangserlaubnis, zum Beispiel für Instandhaltungsarbeiten, gewährleistet ist. Alle Türen zum Bereich sind als Fluchttüren auszulegen. Der Betriebszustand des Bereichs muss deutlich erkennbar angezeigt werden. Personen mit besonderer Zugangserlaubnis sind speziell zu unterweisen.

Der Bereich oder definierte Teile davon und die sich darin befindenden automatisierten Fahrzeuge müssen vom Personal in einen definierten Instandhaltungsmodus versetzt werden können, der sicheres Arbeiten in dem Bereich ermöglicht. Der Instandhaltungsmodus muss deutlich erkennbar angezeigt werden.

3 Anforderungen an automatisiert fahrende Fahrzeuge

Automatisiert fahrende Fahrzeuge dürfen Personen unter allen zu erwartenden Betriebs- und Umgebungsbedingungen nicht direkt oder indirekt gefährden. Bei der Festlegung der Schutzmaßnahmen ist der jeweils aktuelle Stand der Technik, zum Beispiel in Bezug auf Umfeldsensorik, Steuerungstechnik, Kommunikation, Cybersicherheit, etc., zu berücksichtigen. Dabei wird akzeptiert, dass ein direktes oder ferngesteuertes Eingreifen notwendig werden kann, wenn technische Schutzmaßnahmen nicht ausreichend umsetzbar sind.

Zusätzlich zu den hier dargelegten Anforderungen sind relevante Anforderungen in staatlichen Arbeitsschutzvorschriften, besonders Anforderungen der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) [11] und der Technischen Regel für Betriebssicherheit TRBS 2111 Teil 1 [12] sowie in Arbeitsschutzvorschriften und -regelungen der Unfallversicherungsträger zu beachten.



Abbildung 2 – Containerverladung mit fahrerlosen Transportsystemen

3.1 Öffentlich zugängliche und vergleichbare Bereiche

Automatisiert fahrende Fahrzeuge, die in öffentlich zugänglichen oder vergleichbaren betrieblichen Bereichen verkehren, müssen entweder für den öffentlichen Straßenverkehr zugelassen sein oder die technischen Voraussetzungen für eine Teilnahme am öffentlichen Straßenverkehr aufweisen.

In abweichenden Fällen sind im Rahmen der betrieblichen Gefährdungsbeurteilung verbleibende Risiken zu bewerten und mit geeigneten Maßnahmen ein vergleichbares Sicherheitsniveau herzustellen.

Gleiches gilt, wenn betriebliche Bereiche gegenüber dem öffentlichen Straßenverkehr (z. B. bei der Gestaltung der Verkehrsinfrastruktur) relevante Abweichungen aufweisen.

Die Fahrzeuge müssen in diesen Bereichen nach den Anforderungen der StVO betrieben werden.
Für landwirtschaftliche Maschinen in öffentlich zugänglichen oder vergleichbaren Bereichen gelten ggf. zusätzliche Anforderungen.

3.2 Abgeschlossene Bereiche mit begrenztem Zugang

Die Grundanforderungen an automatisiert fahrende Fahrzeuge, die in abgeschlossenen betrieblichen Bereichen mit begrenztem Zugang verkehren, müssen in Abhängigkeit von den vorliegenden Randbedingungen (unter anderem zu erwartende Hindernisse oder Verkehrsteilnehmende, Komplexität oder Stufe des automatisierten Fahrbetriebs, zum Beispiel in Abhängigkeit von der Spurführung, …) im Rahmen

einer Gefährdungsbeurteilung ermittelt werden. Die ermittelten Grundanforderungen müssen mit der bestimmungsgemäßen Verwendung innerhalb der herstellerseitigen Risikobeurteilung übereinstimmen.

Automatisiert fahrende Fahrzeuge dürfen den abgeschlossenen Bereich nicht verlassen; der automatisierte Betrieb ist nur in diesem Bereich zulässig. Ausgenommen davon sind Fahrzeuge, die den Anforderungen nach Abschnitt 3.1 entsprechen.

Die eingesetzten Fahrzeuge müssen die im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ermittelten Grundanforderungen vollumfänglich erfüllen. Weiterhin sind, abhängig von der Fahrzeugart, folgende Anforderungen umzusetzen:

- Richtlinie 2006/42/EG [13] (Maschinen) oder, soweit es sich um Kraftfahrzeuge handelt,
- Verordnung 2018/858/EG [14] (Kraftfahrzeuge)
- Verordnung (EU) Nr. 168/2013 [15] (zwei-, drei- oder vierrädrige Kfz der Klasse L)
- Verordnung (EU) Nr. 167/2013 [16] (land- und forstwirtschaftliche Fahrzeuge sowie Systeme, Bauteile, selbstständige technische Einheiten, Teile und Ausrüstungen, die für solche Fahrzeuge konstruiert und gebaut wurden)

Weiterhin sind Nothalteinrichtungen vorzusehen, sofern das in einer der vorgenannten europäischen Richtlinien und Verordnungen gefordert ist. Nothalteinrichtungen (ggf. auch extern) sind auch über rechtliche Anforderungen hinaus zu empfehlen.

Die Fahrzeuge müssen in jeder Situation eindeutig als automatisiert fahrende Fahrzeuge erkennbar sein. Die Fahrgeschwindigkeit ist für den jeweiligen Bereich so zu begrenzen, dass in Abhängigkeit von der Relativgeschwindigkeit zum Hindernis ein Abbremsen bis zum Stillstand des Fahrzeugs unter vorhersehbaren Bedingungen ohne Kollision gewährleistet ist.

Zum zusätzlichen Schutz von Personen sollten scharfe oder spitze Außenkonturen an automatisierten Fahrzeugen vermieden werden.

Entsprechend § 42 der DGUV Vorschrift 70 „Fahrzeuge“ ist das Mitfahren von Personen auf Fahrzeugen nur auf den jeweils für sie bestimmten Sitz-, Steh- oder Liegeplätzen zulässig. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ist die vorhersehbare Fehlanwendung zu berücksichtigen. Es sind Maßnahmen zu treffen, die das nicht zulässige Mitfahren von Personen auf automatisiert fahrenden Fahrzeugen verhindern.

DIN EN ISO 3691-4 enthält die Anforderungen an fahrerlose Flurförderzeuge. Da beim automatisierten Fahren – unabhängig von der Bauart der Fahrzeuge – den fahrerlosen Flurförderzeugen vergleichbare Gefährdungen bestehen, sind die Basisanforderungen zur Objekterkennung dieser Norm auch für andere Fahrzeuge als Mindestanforderungen zu betrachten. Je nach Anwendungsfall sind auch andere als die dort genannten Prüfkörper sowie sich bewegende Objekte zu berücksichtigen (siehe Abschnitt 3.2.1).

Funktionale Sicherheit

Neben der Sicherung gegen mechanische Gefährdungen ist insbesondere auf die korrekte Ausführung der Steuerungen und Einhaltung der erforderlichen Maßnahmen zur funktionalen Sicherheit zu achten. Die Anforderungen an die Funktionssicherheit sind zu ermitteln und technisch umzusetzen. Für die Elemente der einzelnen Ebenen gelten die nachfolgenden Grundsätze:

Umfeldwahrnehmung (Eingangsebene):
Durch geeignete Maßnahmen (z. B. diversitär redundante Systeme/Sensorfusion) muss sichergestellt werden, dass auch im Fall eines Fehlers das Fahrzeug in einen sicheren Zustand überführt werden kann.

Je Signalebene sind mindestens zwei zuverlässige Informationen erforderlich, um eine sichere Entscheidung zu treffen. Je mehr Informationen zur Verfügung stehen, desto besser ist die jeweilige Entscheidung auch unter Fehlerbedingungen.

Die Ausgangssignale der Eingangsebene müssen geeignet sein, PL d nach DIN EN ISO 13849-1 [17] oder

ein mindestens gleichwertiges Sicherheitsniveau zu erfüllen. Bei Realisierung nach anderen Standards zur funktionalen Sicherheit wie der Normenreihe ISO 26262 [18] in Verbindung mit ISO 21448 [19] ist im Einzelfall die Erreichung des erforderlichen Sicherheitsniveaus durch entsprechende Sicherheitsanalysen des Gesamtsystems nachzuweisen. Ausgangssignale sind durch die Verarbeitungsebene regelmäßig auf Plausibilität zu prüfen.

Bewegungsplanung (Verarbeitungsebene):
Alle Funktionen der Verarbeitungsebene sind mindestens in PL d nach DIN EN ISO 13849-1 oder SIL 2 nach DIN EN 61508 [20] auszuführen. Auf Basis der Gefährdungsbeurteilung und der daraus resultierenden Risikobewertung kann die Festlegung höherer Anforderungen (z. B. höherer PL oder SIL) für einzelne oder auch alle Systeme dieser Ebene erforderlich sein. Auch hier ist die Realisierung nach anderen Standards zur funktionalen Sicherheit wie z. B. ISO 26262 in Verbindung mit ISO 21448 und entsprechenden Sicherheitsanalysen des Gesamtsystems möglich.

Umsetzung Fahrbefehle (Ausgangsebene):
Die Aktorik muss für den Einsatzbereich geeignet sein. Ein Fehler darf nicht zu einer gefährlichen Situation führen. Bei zulassungsfähigen Kraftfahrzeugen gelten die Anforderungen der StVZO [21] sowie der betreffenden UN/ECE-Regelungen [22].
Für sonstige Fahrzeuge und mobile Maschinen gelten die Anforderungen nach Anhang I Abschnitt 3 MRL bzw. Abschnitt III DGUV Vorschrift 70. Bei fehlender Normengrundlage sind die Vorgaben der StVZO und UN/ECE-Regelungen als Orientierung zu nutzen.

Innere und äußere Einflüsse wie Überlastung, Isolationsfehler, Kurzschlüsse, Umwelt, EMF, EMV usw. sowie Fehler in der Übertragungsebene müssen je nach Anforderung beherrscht werden. Informationen müssen sicher und ohne Veränderungen oder Fehler übertragen werden.

Ein Versagen der automatisierten Fahrfunktion oder dafür relevanter Systeme muss selbsttätig erkannt werden und das Fahrzeug in einen sicheren Zustand überführen. Gleiches gilt bei Überschreitung der Systemgrenzen.

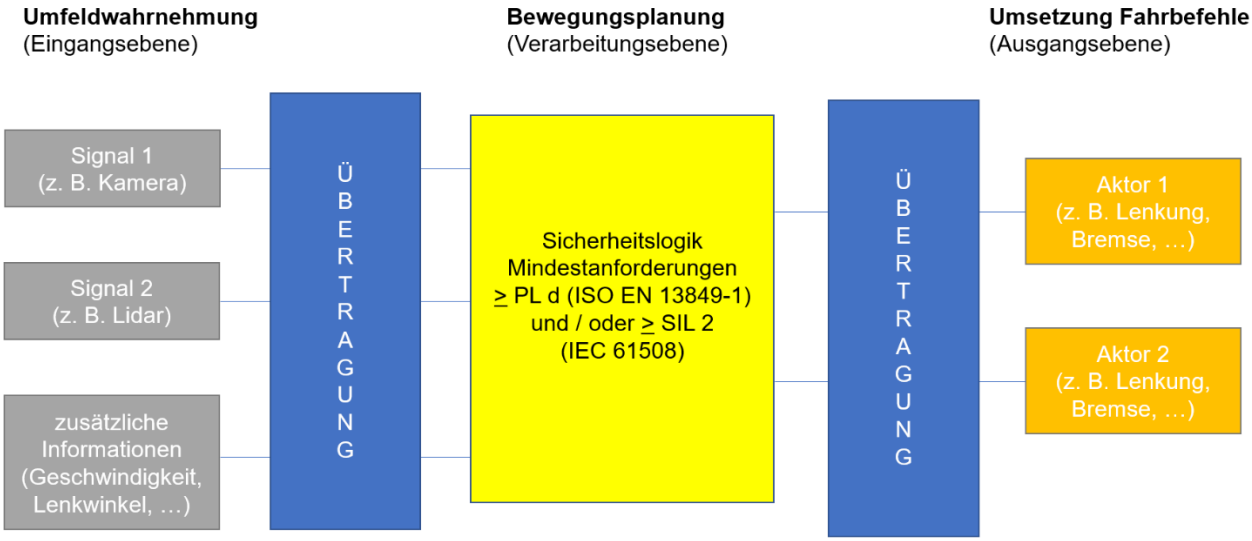


Abbildung 3 – Funktionale Sicherheit von Systemen der automatisierten Fahrfunktion

Werden die Anforderungen an die funktionale Sicherheit nach ISO 26262 in Verbindung mit ISO 21448 bewertet, muss der Nachweis die Schutzziele (safety goals) erfüllen, die im Rahmen der unter Abschnitt 3.2 Absatz 1 beschriebenen Gefährdungsbeurteilung ermittelt wurden.

Fahrzeuge müssen unter anderem für die Fahrmanöver in den Infrastrukturen beziehungsweise den baulichen Umgebungen der jeweiligen Bereiche ausgelegt sein (z. B. mit Laderampen, Verladestationen, etc.).

Beim Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI) oder Machine Learning (ML) zur Steuerung automatisierter Fahrzeuge sind besonders deren Vertrauenswürdigkeit sowie die Relevanz von Fehlern für die Funktionale Sicherheit des Gesamtsystems zu betrachten. Soweit klassische Lösungen vorhanden sind, sollten diese vorrangig umgesetzt werden (siehe dazu auch „Allgemeine Grundsätze für die sicherheitstechnische Bewertung von Künstlicher Intelligenz (KI)“ [23]). Entscheidungen KI-basierter Systeme müssen reproduzierbar sein und im System plausibilisiert werden, beispielsweise durch den Vergleich mit redundanten Kanälen. Sie dürfen das sicherheitsgerichtete Verhalten des Systems nicht negativ beeinflussen.

Die aktuellen Technischen Reports (TR) zur Bewertung der Vertrauenswürdigkeit von KI, wie ISO/IEC TR 24028 „AI – Overview of trustworthiness in Artificial Intelligence“ [24] und ISO/IEC TR 24029-1 „AI – Assessment of the robustness of neural networks – Part 1: Overview“ [25] sind dabei zu berücksichtigen. Die Sicherheit von KI-Systemen in Bezug auf automatisierte Straßenfahrzeuge wird unter anderem in ISO 21448 behandelt. Systeme mit KI und ML müssen über einen Sicherheitsnachweis verfügen.

Der vollautomatisierte Fahrbetrieb mit Personenbeförderung setzt eine nachgewiesene Sicherheit mit reproduzierbaren Ergebnissen zur Vermeidung von Personenschäden voraus.

3.2.1 Hindernisse und Verkehrsteilnehmende

Die Erkennung von Hindernissen und Verkehrsteilnehmenden dient primär der Verhinderung von Kollisionen und daraus resultierenden Schäden. Dabei steht die Verhinderung von Personenschäden in jedem Fall im Vordergrund. Alle zu erwartenden Hindernisse, aus denen eine Schädigung von Personen resultieren kann, müssen sicher und rechtzeitig erkannt werden. Um eine Kollision zu verhindern, muss das automatisierte Fahrzeug seine Geschwindigkeit verringern und, wenn erforderlich, anhalten. Ein Ausweichen vor dem Hindernis ist zulässig, wenn es sicher möglich ist (zum Beispiel ohne Gefährdung von Personen). Dabei ist auch so weit wie möglich das spontane Verhalten von Personen zu berücksichtigen. Sobald Personen im unmittelbaren Gefährdungsbereich erkannt werden, müssen die Fahrzeuge sicher anhalten.

Tabelle 1 auf Seite 9 zeigt eine Auflistung möglicher auftretender Hindernisse. Sie dient als Hilfestellung in Bezug auf häufig vorkommende Hindernisse, erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die dort angegebenen Abmessungen entsprechen dem 5. Perzentil Frau über 18 Jahre aus DIN 334022 „Ergonomie − Körpermaße des Menschen, Teil 2: Werte“ [26].

Es ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung durch die Betreibenden notwendig, die Inhalte gemäß den individuellen Gegebenheiten sowie den eingesetzten Technologien (zum Beispiel Vehicle-2-X-Kommunikation) anzupassen und zu ergänzen, sowie weitere mögliche Hindernisse mit ihren Abmessungen und Geschwindigkeiten zu definieren.

Unfälle mit materiellen Hindernissen können Personenschäden auslösen und müssen ebenfalls betrachtet werden (zum Beispiel Fahrzeug kollidiert mit einem Gerüst, das umfällt; Beschädigung von Chemieanlagen; etc.).

Tabelle 1 - Beispiele für zu erwartende Hindernisse (Abmessungen gemäß DIN 33402-2)

Bezeichnung	Abmessungen in cm	Geschwindigkeit (typisch) in km/h
Mensch aufrecht	24,5 x 153,5	6
Mensch sitzend	24,5 x 81,0	
Mensch liegend	24,5 x 39,5	
Kind		6
Fahrradfahrer/in	24,5 x 153,5	15
Rollstuhlfahrer/in	118,5 x 54,5	6
Tier		
Baumaschine		
Fahrzeug		30
Absperrung		
Werkzeug		
Maschine		
Transportgut		
Müll		

Zu beachten ist nicht nur die Geometrie der Objekte, sondern auch deren Material-, Reflexions- und Oberflächeneigenschaften und Geschwindigkeiten.

Die spezifischen Merkmale für eine sichere Erkennung sind für die einzelnen Objekte detailliert festzulegen. Gegebenenfalls lassen sich mehrere Objekte unter einem kritischen Testobjekt zusammenfassen, wenn minimale Abmessungen und Eigenschaften zugrunde gelegt werden. Die Verifizierung der Wirksamkeit der Hinderniserkennung kann analog zu DIN EN ISO 3691-4 Kapitel 5.2 „Verifizierung für die Typprüfung und Einzelprüfungen nach Herstellung und Inbetriebnahme“ durchgeführt werden.

Die Sensorik zur Hinderniserkennung in diesen automatisierten Funktionen muss die erforderliche Detektionszuverlässigkeit aufweisen. Anforderungen an die funktionale Sicherheit der Hinderniserkennung (Eingangsebene) sind im Abschnitt 3.2 beschrieben.

Die Anforderungen an die Hinderniserkennung gelten gleichermaßen für den fahrenden und den stehenden Zustand des Fahrzeugs, solange es sich im Automatikmodus befindet. Ein stehendes Fahrzeug darf nicht anfahren, wenn ein Hindernis im vorgesehenen Fahrbereich vorhanden ist.

3.2.2 Stufen des automatisierten Fahrbetriebs in Abhängigkeit von der Spurführung

In Abhängigkeit von der Spurführung lassen sich fünf Komplexitätsstufen des automatisierten Fahrbetriebs in betrieblichen Bereichen unterscheiden.

Stufe 1 – Fahrspurgebunden
Beim fahrspurgebundenen automatisierten Fahren bewegt sich das Fahrzeug auf einer definierten Fahrspur. Die Spurführung erfolgt zum Beispiel an Leitlinien (Magnet, Transponder).

Die Fahrspur kann Kreuzungen enthalten. Abbiegen in festgelegte Spuren sowie Vorwärts- und Rückwärtsfahrt sind möglich. Die Einfahrt in und Ausfahrt aus der Fahrspur ist zulässig (zum Beispiel zur Ladestation).



Abbildung 4 – Beispiel für fahrspurgebundenes Fahren

Stufe 2 – Fahrspurgeführt
Beim fahrspurgeführten automatisierten Fahren bewegt sich das Fahrzeug auf einer von mehreren definierten Fahrspuren (auch nur in Teilstrecken). Die Spurführung erfolgt zum Beispiel an Leitlinien (Magnet, Transponder). Der Verkehrsweg kann Kreuzungen enthalten, Abbiegen in festgelegte Spuren sowie Vorwärts- und Rückwärtsfahrt sind möglich.

Fahrzeuge können in einer Schleife oder in entgegengesetzten Richtungen fahren. Vollständige Fahrspurwechsel sind nur zulässig bei einem Überholvorgang oder wenn ein Hindernis die vorgesehene Spur sperrt. Nach Ausweichmanövern oder Überholvorgängen ist in die vorgesehene Spur zurückzukehren. Die Einfahrt in und die Ausfahrt aus der Fahrspur sind zulässig (zum Beispiel zur Ladestation).

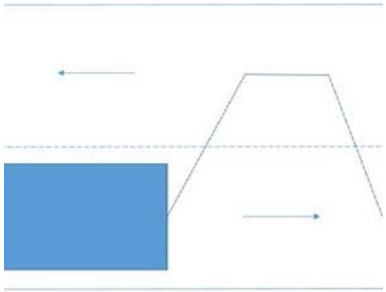


Abbildung 5 – Bsp. für fahrspurgeführtes Fahren

Stufe 3 – Fahrkorridorgebunden − Fahrtrichtungsgebunden
Beim fahrtrichtungsgebundenen automatisierten Fahren in einem Fahrkorridor bewegen sich alle Fahrzeuge in nur einer Fahrtrichtung im Korridor. Der Fahrkorridor kann Kreuzungen enthalten. Abbiegen in andere Fahrkorridore ist möglich.

Es kann mehrspurig (auch nur in Teilstrecken) mit vollständigen Fahrlinienwechseln gefahren werden. Fahrzeuge können in einer Schleife fahren. Mehrere Fahrzeuge können sich bei Bedarf überholen oder Hindernissen ausweichen. Die Einfahrt in und die Ausfahrt aus dem Fahrkorridor sind zulässig (zum Beispiel zur Ladestation).

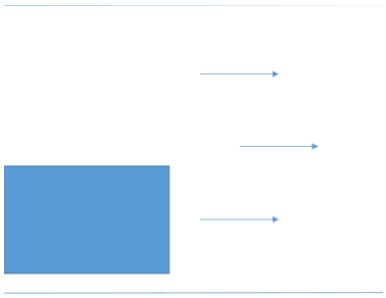


Abbildung 6 – Beispiel für fahrkorridorgebundenes Fahren

Stufe 4 – Fahrkorridorgebunden − Fahrtrichtungsungebunden
Beim nicht fahrtrichtungsgebundenen automatisierten Fahren in einem Fahrkorridor bewegen sich alle Fahrzeuge in einer Fahrtrichtung oder in der ihr entgegengesetzten Fahrtrichtung im Korridor.
Der Fahrkorridor kann Kreuzungen enthalten. Abbiegen in andere Fahrkorridore ist möglich. Vorwärts- und Rückwärtsfahrt sind zulässig. Es kann mehrspurig (auch nur in Teilstrecken) mit vollständigen Fahrlinienwechseln (Position innerhalb des Fahrkorridors) gefahren werden. Fahrzeuge können in einer Schleife fahren. Mehrere Fahrzeuge können sich bei Bedarf überholen oder Hindernissen ausweichen. Die Einfahrt in und die Ausfahrt aus dem Fahrkorridor sind zulässig (zum Beispiel zur Ladestation).

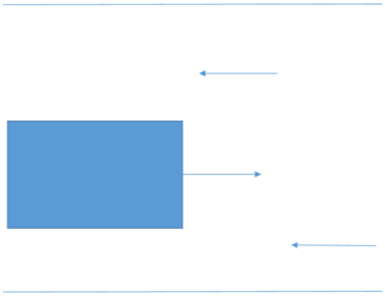


Abbildung 7 – Beispiel für fahrtrichtungsungebundenes Fahren in vorgegebenen Fahrkorridoren

Stufe 5 − Frei navigiert in einem Fahrfeld
Beim frei navigierten automatisierten Fahren in einem Fahrfeld bewegen sich alle Fahrzeuge in beliebige Fahrtrichtungen. Vorwärts- und Rückwärtsfahrt sind zulässig. Alle Objekte im Fahrfeld können beliebige Positionswechsel ausführen.
Die Einfahrt in und die Ausfahrt aus dem Fahrfeld sind zulässig (zum Beispiel zur Ladestation).

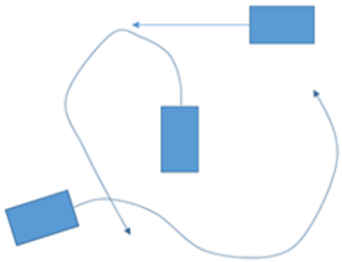


Abbildung 8 – Beispiel freies Fahren in einem vorgegebenen Fahrfeld

3.2.3 Grundanforderungen

Der folgende Abschnitt beschreibt die Grundanforderungen für die einzelnen Stufen des automatisierten Fahrens in Abhängigkeit von der Spurführung. Die Grundanforderungen an automatisiert fahrende Fahrzeuge in abgeschlossenen betrieblichen Bereichen mit begrenztem Zugang lassen sich gliedern in:

- Umfelderkennung (U),
- Kommunikation (K),
- Navigation (N) und
- Regelungen (R).

Je nach Komplexitätsstufe des automatisierten Fahrens sind die Anforderungen gemäß der im Anhang aufgeführten Tabelle 2 zu ermitteln. Die aufgeführten Maßnahmen sind lediglich als Basis für die betriebliche Gefährdungsbeurteilung zu betrachten. Die Inhalte sind nicht abschließend.

3.2.3.1 U: Umfelderkennung

U1: Verkehrsteilnehmende, Objekte, Hindernisse
Das Erkennen von Verkehrsteilnehmenden, Objekten und Hindernissen im Bereich der durchzuführenden Fahrmanöver ist zu gewährleisten in
- Fahrtrichtung(en) oder
- alle Richtungen

U2: Zustand Verkehrsteilnehmende, Objekte, Hindernisse
Das Erkennen der Eigenschaften der Verkehrsteilnehmenden, Objekte und Hindernisse im Bereich der durchzuführenden Fahrmanöver ist zu gewährleisten in Bezug auf:
- Abmessung
- Abstand
- Geschwindigkeit
- Beschleunigung/Verzögerung
- Position
- Trajektorie (Richtung)
- Ausschwenken, Schleppkurve, ggf. inkl. Anhänger

U3: Streckenzustand erkennen
Wenn Gefahrstellen (zum Beispiel Fahrbahnschäden, Absturzkanten) im Bereich der durchzuführenden Fahrmanöver nicht durch andere Maßnahmen sicher auszuschließen sind, ist das Erkennen durch das Fahrzeug zu gewährleisten.

U4: Umgebung, Infrastruktureinflüsse, Umwelteinflüsse
Das Erkennen sonstiger Einflüsse, wie Glätte, Nebel, Rauch, Flutung, Nässe, Wind, Brand, Schattenwurf etc., ist sicherzustellen, wenn aufgrund dieser Einflüsse die geforderte Sicherheit nicht gewährleistet werden kann. Ist das nicht möglich, müssen die unter K6 geforderten Maßnahmen umgesetzt werden.

3.2.3.2 K: Kommunikation

K1: Betriebszustand erkennbar
Der Betriebszustand des automatisiert fahrenden Fahrzeugs (z. B. Automatikbetrieb, Störung) muss am Fahrzeug erkennbar sein. Veränderungen des Betriebszustands bedürfen einer ausreichenden Vorwarnzeit, damit andere Verkehrsteilnehmende angemessen reagieren können. Dazu gehört, dass Signale wahrgenommen und interpretiert sowie Entscheidungen getroffen werden können und genug Zeit zum Agieren zur Verfügung gestellt wird.

K2: Fahrmanöver anzeigen
Alle Anfahr-, Abbiege- und Bremsmanöver sowie Notfälle müssen rechtzeitig durch optische und/ oder akustische Signale angezeigt werden.

K3: Kommunikation mit X
Die Kommunikation unter Verkehrsteilnehmenden und mit Verkehrseinrichtungen muss gewährleistet sein (V2X: Vehicle to everything), soweit sie zur Erfüllung der Fahraufgabe und zum Erreichen der erforderlichen Sicherheit notwendig ist.

K4: Kommunikation durch zentrale Steuerung
Die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden kann durch geeignete technische Maßnahmen ersetzt werden (zum Beispiel zentrale Steuerung).

K5: Sicherheitsüberwachung
Eine zentrale Überwachung mit der Möglichkeit der Stillsetzung (zum Beispiel für Gefahrenabwehr, Fehlerfall, Instandhaltungsfall) und gegebenenfalls Feststellung der Position ist erforderlich.

K6: Umgebung, Infrastruktureinflüsse, Umwelteinflüsse
Wenn die Umfelderkennung der Fahrzeuge sonstige Einflüsse, wie Glätte, Nebel, Rauch, Flutung, Nässe, Wind, Brand oder Signalstörungen nicht selbsttätig erkennt, müssen diese Einflüsse an die Fahrzeuge kommuniziert werden, sofern die Fahrzeuge mit geeignetem Verhalten auf derartige Einflüsse reagieren können. Andernfalls müssen geeignete Maßnahmen von außen ergriffen werden oder umgesetzt sein (zum Beispiel reduzierte Geschwindigkeit, Stillsetzung).

3.2.3.3 N: Navigation

N1: Routenbestimmung
Die Routenbestimmung kann erfolgen
- vordefiniert festgelegt/anhand zentraler Steuerung oder
- selbstbestimmt anhand Karten- oder Umgebungsdaten

N2: Risikooptimierung Fahrweg
Der Weg ist mit Blick auf das Risiko (zum Beispiel kein Linksabbiegen) und die Ökonomie (Zeit, Strecke) optimiert festzulegen. Staus und Konglomerationen sollen vermieden werden.

N3: Positionsbestimmung im Raum
Die Positionsbestimmung im Raum für sicherheitsbezogene Funktionen muss in ausreichender Genauigkeit sichergestellt werden.

3.2.3.4 R: Regelungen

R1: Eindeutig und bekannt
Regelungen müssen eindeutig und allen bekannt sein. Personen mit Zutritt zum betrieblichen Bereich sind zu unterweisen.

R2: Erforderliche Kommunikationsformen
Regelungen müssen in allen erforderlichen Kommunikationsformen umgesetzt werden (zum Beispiel elektronische Signale für automatisierte Fahrzeuge, Verkehrsschilder für Personen).

R3: Generelle Vorfahrt
Eine generelle Vorfahrtsregelung für automatisierte Fahrzeuge kann je nach Situation zulässig oder verboten sein.

R4: Verhalten von Personen berücksichtigen
Neben dem erwartbaren ist auch das spontane Verhalten von Personen im Verkehrsbereich durch das automatisiert fahrende Fahrzeug zu berücksichtigen.

R5: Datenschreiber
Je nach Randbedingungen sind Fahrdatenspeicher für relevante Daten zur Nachvollziehbarkeit von Fehlfunktionen und Unfällen erforderlich.

R6: Verkehrsbereich/Fahrspur verlassen unzulässig
Das automatisiert fahrende Fahrzeug darf zulässige Verkehrsbereiche oder die Fahrspur(en) nicht verlassen.

R7: Sicherheitsabstand
Ausreichende Sicherheitsabstände zu Hindernissen und anderen Fahrzeugen sind einzuhalten (siehe auch ISO 3691-4 Tabelle A1). Ausgenommen davon sind Kuppelvorgänge, Anfahren an Laderampen etc., die mit reduzierter Geschwindigkeit erfolgen müssen (gegebenenfalls nur in ausgewiesener Zone zulässig). Eine Gefährdung von Personen muss in solchen Fällen durch geeignete Maßnahmen verhindert werden.

R8: Maximalgeschwindigkeit
Die maximalen Geschwindigkeiten sind für den jeweiligen Anwendungsfall in Abhängigkeit von den eingesetzten Sicherheitskomponenten am Fahrzeug und den betrieblichen Einrichtungen sowie den zu erwartenden Verkehrsobjekten und Umgebungsbedingungen zu definieren.

R9: Geschwindigkeitsreduzierung bei Nichterkennung von Trajektorien
Werden Trajektorien (dynamische Eigenschaften von Hindernissen) nicht erkannt, muss die Geschwindigkeit begrenzt werden. Ein rechtzeitiges Anhalten ohne Gefährdung von Verkehrsteilnehmenden muss jederzeit gewährleistet sein.

R10: Beschleunigung
Die maximalen und minimalen Beschleunigungen sind für den jeweiligen Anwendungsfall zu definieren.

R11: Spurvorgabe
Bei Fahrt innerhalb eines Korridors ist eine Spurvorgabe erforderlich (z. B. Rechtsfahrgebot).

R12: Vorrangregelung, Überholen
Bei Überholvorgängen sind Vorrangregelung zu treffen (z. B. überholendes Fahrzeug hat Vorrang).

R13: Ausweichen bei Begegnung
Das Ausweichverhalten im Begegnungsverkehr ist zu definieren.

R14: Ausreichend freie Verkehrsfläche
Die Fahrbewegung darf nur erfolgen, wenn ausreichend Verkehrsfläche ohne Behinderung anderer Verkehrsteilnehmer zur Verfügung steht (siehe u. a. Rand- und Begegnungszuschläge nach ASR A 1.8). Das betrifft auch Überholmanöver, Einfahren in Kreuzungen etc.

3.3 Abgeschlossene Bereiche ohne Zutritt

Automatisiert fahrende Fahrzeuge, die in abgeschlossenen betrieblichen Bereichen ohne Zutritt von Personen eingesetzt werden, sind mit automatisierten Fertigungseinrichtungen vergleichbar. Für sie gelten die Anforderungen der Richtlinie 2006/42/EG. Im automatisierten Betrieb sind Maßnahmen zum Schutz von Personen im abgeschlossenen Bereich erforderlich, wenn Personen ihn zum Beispiel zur Störungsbeseitigung oder zur Instandhaltung betreten. In diesem Fall sind Fahrzeuge und andere automatisierte Anlagenteile in einen sicheren Ruhezustand zu versetzen. Automatisierte Fahrzeuge und Anlagenteile dürfen dann maximal einzeln und mit reduzierter Geschwindigkeit durch manuelle Steuerung (Instandhaltungsmodus) bewegt werden. Erst nach Verlassen des Bereichs und Schließen der Zugänge darf es durch manuelle Zustimmung von außen möglich sein, den Instandhaltungsmodus aufzuheben.

4 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen

Diese „Fachbereich AKTUELL“ beruht auf dem durch den Fachbereich Holz und Metall, Sachgebiet Fahrzeugbau, -antriebssysteme, Instandhaltung der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) zusammengeführten Erfahrungswissen sowie Erkenntnissen aus dem Unfallgeschehen.

Sie wurde in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Verkehr und Landschaft, dem Fachbereich Handel und Logistik, dem Institut für Arbeitsschutz (IFA) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung sowie der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und dem Deutschen Verkehrssicherheitsrat (DVR) erarbeitet.

Sie soll Hersteller und Betreibende bei der Erstellung und Umsetzung der Risikobeurteilung oder Gefährdungsbeurteilung und der Ermittlung der Anforderungen an Bereiche, Fahrzeuge, Systeme und Personen unterstützen.

Weitere Anforderungen (zum Beispiel aus staatlichen oder DGUV Vorschriften) bleiben unberührt. Spezielle Gefährdungen, zum Beispiel Gefahrstofftransporte, finden keine Berücksichtigung. Der Arbeitsbetrieb (Gefährdungen durch Arbeitsaufbauten oder Ausrüstungen) unterliegt gegebenenfalls gesonderten Anforderungen oder Regelungen.

Die Bestimmungen nach einzelnen Gesetzen und Verordnungen bleiben durch diese „Fachbereich AKTUELL“ unberührt. Die Anforderungen der gesetzlichen Vorschriften gelten uneingeschränkt.

Um vollständige Informationen zu erhalten, ist es erforderlich, die in Frage kommenden Vorschriftentexte einzusehen.

Diese „Fachbereich AKTUELL“ ersetzt die gleichnamige Ausgabe 03/2022.

Der Fachbereich Holz und Metall setzt sich unter anderem zusammen aus Vertreterinnen und Vertretern der Unfallversicherungsträger, staatlichen Stellen, Sozialpartnern, herstellenden und betreibenden Firmen.

Weitere „Fachbereich AKTUELL“ oder Informationsblätter des Fachbereichs Holz und Metall stehen im Internet zum Download bereit [27].

Glossar

Begriff	Beschreibung
Fahrzeuge	maschinell angetriebene, nicht an Schienen gebundene Landfahrzeuge und deren Anhängefahrzeuge sowie mobile Arbeitsmaschinen
Betriebliche Bereiche	räumlich abgrenzbare Bereiche auf oder in gewerblich genutzten Flächen, Objekten und Gebäuden, die nicht dem öffentlichen Straßenverkehrsrecht unterliegen
hochautomatisiert/ autonom	Betriebsart eines Fahrzeugs, die dadurch gekennzeichnet ist, dass grundsätzlich keine Steuerung durch eine Person erfolgt, sondern das Fahrzeug sich im Regelfall ohne manuelle Eingriffe eigenständig im innerbetrieblichen Verkehr bewegt.
Verkehrsobjekte	alle Objekte, zum Beispiel Fahrzeuge (automatisiert und nicht automatisiert), Personen usw., die sich im jeweiligen betrieblichen Bereich bewegen oder befinden können und am Verkehrs-geschehen mit automatisierten Fahrzeugen beteiligt sind oder davon beeinflusst werden/es beeinflussen
Kommunikation	Austausch von Informationen und Daten zwischen Verkehrsobjekten, wie auch mit Objekten in deren Umgebung oder Infrastruktur, der der sicheren Umsetzung der automatisierten Fahrfunktion dient
Funktionale Sicherheit (FuSi)	Teil der Sicherheit eines technischen Systems in Abhängigkeit von der korrekten Funktion und anderen risikomindernden Maßnahmen (in IEC 61508 definiert)
Performance-Level (PL)	Fähigkeit, unter vorhersehbaren Bedingungen Sicherheitsfunktionen eines technischen Systems auszuführen (in DIN EN ISO 13849-1 definiert)
Safety Integrity Level (SIL)	definiert den relativen Grad der Risikominderung von Sicherheitsfunktionen eines technischen Systems (in IEC 61508 definiert)
Sicherer Zustand	Fahrzeugzustand, bei dem alle gefahrbringenden Bewegungen gestoppt sind, damit eine Gefährdung abgewendet und eine Behinderung von Personen und anderen Verkehrsobjekten soweit wie möglich vermieden wird
Systemgrenzen	Leistungs- und Verwendungsgrenzen des (technischen) Systems
Navigation	hier: zielgerichtete Auswahl der Fahrtroute, im Sinne des automatisierten Fahrens als höhere Form der Fahrzeugsteuerung (Stabilisierung, Bahnführung)
Trajektorien	Bahnkurven, die Richtung und Geschwindigkeit enthalten. Jedes Verkehrsobjekt besitzt eine Trajektorie (aktuelle Geschwindigkeit und Richtung) und eine Trajektorienschar (zukünftige Geschwindigkeit und Richtung).
Sensorik	hier: Technische Einrichtung zur Erkennung des Umfelds, der Umgebungsbedingungen und sicherheitsrelevanten Zustandskenngrößen
Fahrspur	Fläche, die einem Fahrzeug für die Fahrt in eine Richtung zur Verfügung steht und in der sich Fahrzeuge vorgesehenerweise (ggf. auch zwangsweise) bewegen. Automatisierte Fahrzeuge dürfen Fahrspuren nur für bestimmte zugelassene Fahrmanöver (Überholen, Abbiegen, Anfahrt Be-/Entladung, Anfahrt Ladestationen, Erreichung sicherer Zustand bei Störung, …) verlassen.
Gefährdungs-beurteilung	Ist im Kontext dieser Schrift die systematische Ermittlung und Bewertung von Gefährdungen der Beschäftigten, die nach fachkundiger Einschätzung und vorliegender Erfahrung des Arbeitgebers bei der Verwendung von automatisiert fahrenden Fahrzeugen auftreten können. Die Verwendung umfasst alle Betriebsphasen der Fahrzeuge, zu denen z. B. auch die Instand-haltung gehört. Die Gefährdungsbeurteilung dient dem Ziel, die notwendigen und geeigneten Schutzmaßnahmen für Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten festzulegen.
Risikobeurteilung	Aufgabe des Herstellers, die der Risikominderung vor dem Inverkehrbringen von automatisiert fahrenden Fahrzeugen dient. Sie umfasst die Beurteilung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens und des möglichen Schadensausmaßes bezogen auf vorliegende Gefährdungen während des Entwicklungs- bzw. Konstruktionsprozesses. Das Verfahren zur Durchführung der Risikobeurteilung wird in DIN EN ISO 12100 normativ konkretisiert.

Tabelle 2 - Anforderungen an automatisiertes Fahren in abgeschlossenen Bereichen mit begrenztem Zugang

Anforderungen x - erforderlich o - eventuell systembedingt erforderlich oder optional			**Stufe 1** Fahrspurgebunden	**Stufe 2** Fahrspurgeführt	**Stufe 3** Fahrkorridorgebunden, Fahrtrichtungsgebunden	**Stufe 4** Fahrkorridorgebunden, Fahrtrichtungsungebunden	**Stufe 5** Frei navigiert in einem Fahrfeld
Umfelderkennung	**U1**	**Verkehrsteilnehmende, Objekte, Hindernisse**					
		in Fahrtrichtung	x				
		in alle Richtungen	o	x	x	x	x
	U2	**Zustand Verkehrsteilnehmende, Objekte, Hindernisse**					
		Abmessungen		x	x	x	x
		Abstand	x	x	x	x	x
		Geschwindigkeit	x	x	x	x	x
		Beschleunigung/Verzögerung	o	o	x	x	x
		Position		o	x	x	x
		Trajektorie-Richtung			o	x	x
		Ausschwenken, Schleppkurve		o	o	x	x
	U3	**Streckenzustand erkennen**	o	o	o	o	x
	U4	**Umgebung, Infrastruktur-, Umwelteinflüsse**	o	o	o	o	o
Kommunikation	**K1**	**Betriebszustand erkennbar**	x	x	x	x	x
	K2	**Fahrmanöveranzeigen**	x	x	x	x	x
	K3	**Kommunikation mit X**			o	x	x
	K4	**Kommunikation durch zentrale Steuerung**	o	o	o	o	o
	K5	**Sicherheitsüberwachung**		x	x	x	x
	K6	**Umgebung, Umwelteinflüsse**	o	o	o	o	o
Navigation	**N1**	**Routenbestimmung**					
		vordefiniert	o	o			
		selbstbestimmt	o	o	x	x	x
	N2	**Risikooptimierung Fahrweg**			o	x	x
	N3	**Positionsbestimmung im Raum**	o	o	o	x	x
Regelungen	**R1**	**eindeutig und bekannt**	x	x	x	x	x
	R2	**erforderliche Kommunikationsformen umgesetzt**	x	x	x	x	x
	R3	**generelle Vorfahrt**					
		zulässig	o	o			
		verboten	o	o	x	x	x
	R4	**Verhalten von Personen berücksichtigen**			o	o	x
	R5	**Datenschreiber**		o	o	o	x
	R6	**Dürfen zulässige Verkehrsbereiche oder Fahrspuren nicht verlassen**	x	x	x	x	x
	R7	**Sicherheitsabstand**	x	x	x	x	x
	R8	**Maximalgeschwindigkeit**	x	x	x	x	x
	R9	**Geschwindigkeitsreduzierung, bei Nichterkennung von Trajektorien**				x	x
	R10	**Maximale, minimale Beschleunigung**	x	x	x	x	x
	R11	**Spurvorgabe**		x	o	o	
	R12	**Vorrangregelung, Überholen**		x	o	x	x
	R13	**Ausweichen bei Begegnung**				x	x
	R14	**ausreichend freie Verkehrsfläche**	o	x	o	x	x

Literaturverzeichnis

[1] DIN EN ISO 3691-4: 2023-12 „Flurförderzeuge – Sicherheitstechnische Anforderungen und Verifizierung – Teil 4: Fahrerlose Flurförderzeuge und ihre Systeme“, DIN Media-Verlag, Berlin

[2] Straßenverkehrsgesetz (STVG) vom 5. März 2003 (BGBl. I S. 310, 919), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Februar 2026 (BGBl. 2026 I Nr. 30)

[3] Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) vom 6. März 2013 (BGBl. I S. 367), zuletzt geändert durch Artikel 4 der Verordnung vom 30. Januar 2026

[4] Arbeitsstättenverordnung vom 12. August 2004, zuletzt geändert durch Artikel 10 des Gesetzes vom 27. März 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 109)

[5] Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR A1.8) „Verkehrswege“, Ausgabe März 2022 (GMBl 2022, S. 214; zuletzt geändert GMBl 2024, S. 412)

[6] Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR A1.3) „Sicherheits- und Gesundheitschutzkennzeichnung“, Ausgabe Februar 2013 (GMBl 2013, S. 334, zuletzt geändert GMBl 2022, S. 242)

[7] Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR A3.4) „Beleuchtung“, Ausgabe Mai 2023 (GMBl 2023, S. 679)

[8] Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR A2.3) „Fluchtwege und Notausgänge, Flucht- und Rettungsplan“, Ausgabe März 2022 (GMBl 2022, S. 227, zuletzt geändert GMBl 2024, S. 913)

[9] Technische Regel für Arbeitsstätten (ASR A1.7) „Türen und Tore“, Ausgabe November 2009 (GMBl 2009, S. 1619, zuletzt geändert GMBl 2022, S. 244)

[10] DGUV Vorschrift 70 „Fahrzeuge“, Ausgabe März 2007, BGHM, Mainz

[11] Betriebssicherheitsverordnung vom 03. Februar 2015, zuletzt geändert durch Artikel 27 des Gesetzes vom 18. Dezember 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 347)

[12] Technische Regel für Betriebssicherheit (TRBS 2111) „Mechanische Gefährdungen – Allgemeine Anforderungen“, Ausgabe März 2014 GMBl. 2014 S. 594 [Nr. 28/29]

[13] Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen (Maschinen-Richtlinie), Amtsblatt der Europäischen Union, Nr. L 157/24 vom 09.06.2006 mit Berichtigung im Amtsblatt L76/35 vom 16.03.2007

[14] Verordnung 2018/858/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die Genehmigung und die Marktüberwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 715/2007 und (EG) Nr. 595/2009 und zur Aufhebung der Richtlinie 2007/46/EG (ABl. Nr. L 151 vom 14.06.2018 S. 1)

[15] Verordnung (EU) Nr. 168/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Januar 2013 über die Genehmigung und Marktüberwachung von zwei- oder dreirädrigen und vierrädrigen Fahrzeugen

[16] Verordnung (EU) Nr. 167/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Februar 2013 über die Genehmigung und Marktüberwachung von land- und forstwirtschaftlichen Fahrzeugen

[17] DIN EN ISO 13849-1 „Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen“, Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze, Ausgabe 2023-12, DIN Media-Verlag, Berlin

[18] ISO-Reihe 26262:2018-12 „Straßenfahrzeuge – funktionale Sicherheit“, Teil 1 – Teil 12, DIN Media-Verlag, Berlin

[19] ISO 21448:2022-06 „Straßenfahrzeuge − Sicherheit der beabsichtigten Funktionalität“, DIN Media-Verlag, Berlin

[20] DIN EN 61508-1:2011-02 „Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme − Teil 1: Allgemeine Anforderungen“, DIN Media-Verlag, Berlin

[21] Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) vom 26.04.2012 (BGBl. I S. 679, zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 10. Juni 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 191)

[22] UN/ECE-Regelungen www.bmv.de/SharedDocs/ DE/Artikel/StV/Strassenverkehr/un-ece-regelungen.html

[23] Allgemeine Grundsätze für die sicherheitstechnische Bewertung von Künstlicher Intelligenz (KI)“, DGUV Test, 4/2021

[24] ISO/IEC TR 24028:2020-05 „Information technology − Artificial intelligence − Overview of trustworthiness in artificial intelligence”, DIN Media-Verlag, Berlin

[25] ISO/IEC TR 24029-1:2021-03 „Artificial Intelligence (AI) − Assessment of the robustness of neural networks – Part 1: Overview”, DIN Media-Verlag, Berlin

[26] DIN 33402-2: 2020-12 „Ergonomie – Körpermaße des Menschen“, DIN Media-Verlag, Berlin

[27] Internet: www.dguv.de/fb-holzundmetall, Publikationen oder www.bghm.de Webcode: <626>

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1 – BASF SE
- Abbildung 2 – HHLA/Anke Maurer
- Abbildungen 3-8 − FB HM, SG FAI, BGHM, DGUV

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1 – Beispiele für zu erwartende Hindernisse (Abmessungen gemäß DIN 33402-2)
- Tabelle 2 – Anforderungen an automatisiertes Fahren in abgeschlossenen Bereichen mit begrenztem Zugang

Impressum

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)
Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
E-Mail: **info@dguv.de**
Internet: **www.dguv.de**

Sachgebiet Fahrzeugbau, -antriebssysteme, Instandhaltung im Fachbereich Holz und Metall der DGUV: **https://www.dguv.de/fb-holzundmetall/index.jsp**
Die Fachbereiche der DGUV werden von den Unfallkassen, den branchenbezogenen Berufsgenossenschaften sowie dem Spitzenverband DGUV selbst getragen. Für den Fachbereich HM ist die BGHM der federführende Unfallversicherungsträger und damit auf Bundesebene erster Ansprechpartner in Sachen Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit für Fragen zu diesem Gebiet.