

Forschungsbericht

fml • Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik • Technische Universität München
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. W. A. Günthner (Hrsg.)

Willibald A. Günthner
Ingomar Schubert

Sicherheitsleitlinien für automatisierte Krananlagen im personenzugänglichen Umfeld

Abschlussbericht

Sicherheitsleitlinien für automatisierte Krananlagen im personenzugänglichen Umfeld

Dieses Vorhaben (Projekt-Nr. 12932 N/1) ist aus Mitteln des Bundesministerium für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) gefördert und im Auftrag der Bundesvereinigung Logistik e.V., Bremen, durchgeführt worden.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner (Herausgeber)

Dipl.-Ing. Ingomar Schubert

fml • Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Boltzmannstraße 15

D-85748 Garching bei München

Lehrstuhl fml

12932 N / 1

Name der Forschungsstelle(n)

AiF-Vorhaben-Nr. / GAG

01.07.2001 bis 31.07.2003

Bewilligungszeitraum

Schlussbericht für den Zeitraum: 01.07.2001 bis 31.07.2003

zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWi über die



geförderten Forschungsvorhaben

Forschungsthema:

Sicherheitsleitlinien für automatisierte Krananlagen im personenzugänglichen Umfeld

Garching, den 4.11.2003

Ort, Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	.1
1.1	Forschungsziel	.2
1.2	Angestrebte Forschungsergebnisse	.3
1.3	Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse	.4
1.4	Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	.4
1.5	Wirtschaftliche Bedeutung für kleine und mittlere Unternehmen	.5
2	Stand der Technik	.7
2.1	Das europäische Regelwerk	.8
2.2	Die europäischen Richtlinien	10
2.3	Nationale Vorschriften	11
2.4	Unfallverhütungsvorschriften	12
2.5	Steuerungstechnik	15
3	Problemstellung	18
4	Methode zur Gefahrenanalyse	20
4.1	Anforderungen an eine Sicherheitsanalyse	20
4.2	Bestehende Methoden	21
4.3	Entwicklung einer eigenen Methode	24
5	Gefährdungen	27
5.1	Gefahren aus Position teachen	27
5.2	Gefahren aus der Kranbewegung	27
5.3	Gefahren aus der Lastaufnahme	28
5.4	Gefahren aus der Lastabgabe	28
5.5	Gefahren durch Kranruf	28
5.6	Gefahren aus der Quittierung der manuellen Kranfahrt	29
5.7	Fehlerbaumanalyse	29

6	Konstruktion einer sicheren Maschine	36
6.1	Erreichen der Sicherheit	36
6.2	Auswahl von Schutzeinrichtungen	37
6.3	Verhalten bei Fehlern	41
7	Sicherheitsleitlinien	42
7.1	Horizontale Kranbewegung	44
7.2	Vertikale Kranbewegung	48
7.3	Lastaufnahme	50
7.4	Lastabgabe	54
7.5	Lastaufnahmemittel	55
7.6	Übergabestationen	58
7.7	Steuerung und Kommunikation	64
7.8	Leitlinienkatalog	71
8	Zusammenfassung	75
9	Glossar	77
10	Literaturverzeichnis	79
A	Liste der wichtigsten nationalen Vorschriften	82
B	Tabelle zur Gefahrenanalyse	86

Abbildungsverzeichnis

2-1	Versuchsanlage am Lehrstuhl fml	8
2-2	Regelwerk für Krane	9
2-3	Übersicht der Normen	15
4-1	Methode der Gefahrenermittlung	24
4-2	Durchführung der Gefahrenermittlung	25
5-1	Fehlerbaum Teil 1	29
5-2	Fehlerbaum Teil 2	31
5-3	Fehlerbaum Teil 3	32
5-4	Fehlerbaum Teil 4	33
5-5	Fehlerbaum Teil 5	33
6-1	Iterativer Prozess zum Erreichen der Sicherheit	36
6-2	Mögliche Auswahl der Kategorien nach EN 954-1	38
7-1	Kranlastspiel	42
7-2	Automatisierungsstufen	43
7-3	Sichere Raumstruktur	44
7-4	Mögliche selbstsichere Verriegelungen	46
7-5	Sicherheitsabstand	47
7-6	Positionierung über Lichttaster	52
7-7	Unsicheres Ladehilfsmittel auf Adapterpalette	53
7-8	Lastaufnahmemittel nur für geschlossene GLT	56
7-9	Geschlossenes Lastaufnahmemittel	57
7-10	Varianten zur Sicherung von Übergabestationen	59
7-11	Lichttaster zur Positionsüberwachung	62
7-12	Übergabestation	63
7-13	Zentrale Steuerung	69
7-14	Dezentrale Steuerung	70

Tabellenverzeichnis

2-1	DIN-Normen	13
2-2	Unfallverhütungsvorschriften	14
2-3	Gegenüberstellung von Klassen/Kategorien bei Normen	15
4-1	Gängige Methoden zur Sicherheitsanalyse	21
6-1	Sicherheitsmaßnahmen im Maschinenbau	37
6-2	Steuerungskategorien nach EN 954-1	39
6-3	Entscheidungsweg zur Kategorieauswahl nach EN 954-1	40

1 Einleitung

Im Zuge immer kürzerer Produktlebens- und somit auch Fertigungszyklen ist ein flexibles, den Anforderungen einer neuen Produktion leicht anpassbares Fördersystem für den innerbetrieblichen Transport notwendig. Eine Möglichkeit, dieser Anforderung gerecht zu werden, besteht darin, den Materialtransport mit einem Kran in eine Ebene oberhalb der Produktionsebene zu verlagern. Dies hat den Vorteil, dass der Materialfluss unabhängig vom Produktionslayout gestaltet werden kann, da je nach Bedarf über die Produktionsanlagen hinweg andere Positionen mit dem Kran angefahren werden können [11]. Für Krananlagen, die bereits und zukünftig vermehrt für diese Aufgaben in unterschiedlichen Automatisierungsstufen über der Produktion, also in für Personen zugänglichen Bereichen im Einsatz sind, gibt es keine einheitlichen Vorschriften, Richtlinien und Abnahmekriterien. Jede Automatikkrananlage wird gesondert untersucht, geprüft und abhängig von Hersteller und Prüfer in unterschiedlichen Ausführungsformen in Betrieb genommen.

Entscheidend für die Entwicklung dieser Krane ist der Wandel in der Automatisierungstechnik. Aufgrund der hohen Automatisierungskosten haben sich stufenweise programmgesteuerte Kransysteme in den Ausprägungen

- manueller Kran
- teilautomatischer Kran mit automatischen Leer- und Lastfahrten
- vollautomatischer Kran mit automatisierter Lastübergabe

als wirtschaftlich erwiesen [11].

Krane gelten als programmgesteuert, wenn nach Erteilung eines entsprechenden Befehls eine oder mehrere Kranbewegungen selbsttätig ablaufen. Es handelt sich dabei um solche Krane, bei denen ein Kranführer, der die Bewegungen des Kranes, der Lastaufnahmeeinrichtung und der Last ständig beobachtet sowie jederzeit steuernd eingreifen kann, nicht vorhanden ist [15].

Aus der oben geschilderten Notwendigkeit, den Transport im personenzugänglichen Umfeld durchzuführen, und der Tatsache, dass kein Kranführer den Kranbetrieb überwacht, entstehen erhebliche Gefahren. Von diesen Gefährdungen wären nicht nur die unmittelbar mit dem Kran Beschäftigten, sondern auch Personen, die im

Arbeitsbereich von Kranen beschäftigt sind oder sich dort aufhalten, betroffen.

Ein weiteres Problem stellt sich dem Hersteller solcher Krananlagen hinsichtlich des bestehenden Regelwerkes für die sicherheitstechnische Auslegung automatisierter Krananlagen. Es offenbaren sich große Spielräume bei der sicherheitstechnischen Auslegung von Automatikkränen, die das wirtschaftliche Risiko erheblich erhöhen, wenn dadurch die sicherheitstechnische Abnahme der Anlage nicht mehr vorherzusehen ist. Deshalb hat es sich als notwendig erwiesen, Leitlinien zur sicherheitsgerechten Auslegung von Automatik-Krananlagen zu ermitteln.

Um ein sicherheitstechnisch vollständiges Regelwerk zu erhalten, wird eine Sicherheitsanalyse für automatisierte Krananlagen durchgeführt, und das Ergebnis in einem Gefährdungskatalog dargestellt. Ausgehend von diesem Gefährdungskatalog kann dann später gezielt ein Sicherheitskonzept erstellt werden.

Vergleichbare flexible Automatikkrän- und Automatikbahnanlagen sind nur dann effiziente Transportsysteme im innerbetrieblichen Materialfluss, wenn verlässliche Aussagen für die in der jeweiligen Ausgestaltung notwendige Sicherheitstechnik gemacht werden können. Es ist dabei sinnvoll, für Gefahrenanalysen auf bestehende Grundlagen zurückzugreifen. Dies führt zu notwendigen Einsparungen im Projektierungsaufwand. Gleiches gilt im Fall von Umbau- und Aufrüstungsmaßnahmen, wenn das Transportsystem den veränderten Produktionsstrukturen angepasst wird.

1.1 Forschungsziel

Forschungsziel ist die Erstellung, Verifikation und Erweiterung eines durchgängigen Sicherheitskonzepts für Automatikkrän- und -hängebahnanlagen für den Behältertransport, und die Erarbeitung von Leitlinien für deren sicherheitstechnische Auslegung.

Ziel dieses Projektes ist es, innerhalb der oben genannten Aufgabe das bestehende Regelwerk für Krane hinsichtlich seiner Anwendbarkeit zur sicherheitstechnischen Auslegung einer automatisierten Krananlage für den innerbetrieblichen Behältertransport zu analysieren. Dafür werden, ausgehend von den in Europa bestehenden Regelungen, die nationalen Richtlinien und Normen betrachtet.

Eine systemtechnische Einbindung von Automatikkränanlagen in den innerbetrieblichen Materialfluss erfordert stets eine Klärung der Anlagensicherheit in der jeweiligen Ausgestaltung. Die Flexibilität, die für die Realisierung der einzelnen Anwendungen und Automatisierungsstufen notwendig ist, wird zumeist durch modulare Systemgestaltung erreicht. Eine frühe Einbeziehung der Anlagensicherheit in die konzeptionellen und konstruktiven Überlegungen zu diesem Baukastensystem hat eine hohe Bedeutung. Die Erhöhung des Automatisierungsgrades erfordert beispielsweise stets Erweiterungen im Sicherheitskonzept, um die erweiterten Automatikvorgänge abzusichern. Deshalb muss das Sicherheitskonzept so durchgängig sein, dass es für die

jeweilige Automatisierungsstufe anpassbar ist. Voraussetzung sind weitestgehend vergleichbare Vorgänge im innerbetrieblichen Materialfluss. Dieser besteht zum überwiegenden Teil aus Behältertransporten, da Ladehilfsmittel einheitliche Möglichkeiten zum Greifen der Last bieten und nicht auf die Lastgeometrie einstellbare Lastaufnahmemittel erfordern. Der funktionale Ablauf *„Katz- und Kranfahren in die gewünschte Position, Senken des Lastaufnahmemittels, Greifen der Last, Verriegeln des Lastaufnahmemittels, Heben des Lastaufnahmemittels mit gegriffener Last, Kran- und Katzfahren zu der gewünschten Zielposition (Lastabgabe analog zur Lastaufnahme)“* ist stets nahezu gleich, so dass die aufgestellte Forderung vergleichbarer Vorgänge für den Behältertransport gegeben ist. Deshalb lassen sich auch eine Vielzahl von Transportaufgaben in diesem Sicherheitskonzept berücksichtigen.

1.2 Angestrebte Forschungsergebnisse

Angestrebt wird letztlich ein überprüftes Sicherheitskonzept für Automatikkran- und Automatikbahnanlagen für den innerbetrieblichen Behältertransport, welches für die häufigsten Aufgaben einsetzbar ist, und die Voraussetzung für die effiziente Integration in den innerbetrieblichen Materialfluss bildet, und damit erst eine Konkurrenz für Flurförderzeuge und Stetigfördertechnik zulässt.

Für den Einsatz von Automatikkränen in Produktionsbereichen ist ein durchgängiges und anpassbares Sicherheitskonzept entscheidend. Dieses darf nicht beschränkt bleiben auf einzelne Anwendungen, sondern es soll auf eine Vielzahl von Materialflussaufgaben, die Automatikkran- und Automatikbahnanlagen ausführen können, übertragbar sein. Angestrebt werden Leitlinien, das heißt Kataloge mit Gestaltungshinweisen, anhand derer eine effiziente sicherheitstechnische Auslegung der Kranmechanik als auch der Kransteuerung erfolgen kann. An wissenschaftlich technischen Ergebnissen sollen Hinweise zur mechanischen Gestaltung von Lastübergabestellen, der Lastaufnahmemittel, der Krankatzen, der Fahrwerke und aller weiteren Komponenten, die mit dem Heben und Transportieren von Lasten verbunden sind, gegeben werden. Als noch bedeutender sind die Ergebnisse auf steuerungstechnischer Seite zu werten. Hier sind Gestaltungshinweise zur Auswahl, Anordnung und Einbindung sicherheitsrelevanter Sensoren, ihrer Daten und ihrer Datenübertragung und -verarbeitung zu erwarten. Die bereits kurz angedeutete Problematik der sicherheitstechnischen Einbindung der Lastübergabestellen muss analysiert und die daraus resultierende Gestaltung der Not-Aus-Kreise überprüft werden.

Die Ergebnisse sollen Konstrukteuren wie Planern von Automatikkran- und -hängebahnanlagen wertvolle Unterstützung bieten, und so zu einer Zeitersparnis bei der Projektumsetzung und zu einer erhöhten Auslegungssicherheit führen. Neben diesem vordergründigen wirtschaftlichen Nutzen, trägt ein durchgängiges Sicherheitskonzept ganz entscheidend zur Akzeptanz von Automatikkrananlagen für den innerbetriebli-

chen Materialfluss bei, und fördert so eine höhere Verbreitung und kostengünstigere Produktion.

1.3 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Die angestrebten Forschungsergebnisse können als erster Schritt, hin zu einer Richtlinie „Automatisierte Krane und Hängebahnen in für Personen zugänglichen Bereichen“, gewertet werden. Bisher sind automatische Krananlagen Einzelprojekte. Eine Übertragbarkeit von Projektergebnissen basiert zumeist auf Erfahrung. Eine Strukturierung und Einschränkung der Transportaufgabe auf den innerbetrieblichen Behältertransport ermöglicht eine Übertragbarkeit der Gefahrenursachen und der Analyseergebnisse auf „ähnliche“ Automatiksysteme. Die daraus entwickelten Leitlinien für die sicherheitsgerechte Auslegung stellen deshalb die Grundlage dar. Die nach EG-Maschinenrichtlinie geforderte Gefahrenanalyse kann zukünftig anhand der Leitlinie einfach geführt oder von der beschriebenen Referenzanlage in großen Teilen übernommen werden. Die Ausarbeitung einer Richtlinie kann auf dieser Grundlagenarbeit aufbauend entstehen, was aber anschließend Aufgabe der Berufsgenossenschaften wäre. Wie bereits oben beschrieben, sind die Ausarbeitung sicherheitsrelevanter Gestaltungshinweise und die Schaffung eines durchgängigen Sicherheitskonzeptes entscheidend für die Akzeptanz dieser Materialflusssysteme. Das Forschungsprojekt liefert somit einen erheblichen Beitrag für alle Hersteller dieser innovativen automatisierten Leichtfördersysteme im Überflurbereich.

1.4 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Die folgende Aufzählung nennt die wesentlichen Schritte, die zur Erarbeitung von Sicherheitsleitlinien für Automatikkrananlagen für den innerbetrieblichen Behältertransport im produzierenden Umfeld notwendig sind:

- Analyse bestehender Vorschriften und Richtlinien zu Krananlagen: Die in UVVs und Richtlinien genannten Vorschriften werden zusammengestellt und die enthaltenen Handlungsanweisungen auf die Anwendbarkeit für den beschriebenen Einsatzfall überprüft.
- Ermittlung von derzeit angewendeten Abnahmekriterien für Automatikkrananlagen und Einsatzerfahrungen durch Befragung von Berufsgenossenschaft, Gemeindeunfallverband, Unfallversicherern und Herstellern von Krananlagen: Die folgende Feststellung: „Der unbegrenzte Einfallsreichtum menschlicher Fehler und Fehlhandlungen, vor allem auf Grund unterschiedlicher Mentalität, Bildung, Schulung und Sozialstruktur, erschließt sich keinem systematischen Erfassen“ [30] beschreibt die Schwierigkeit, mögliche Ursachen für menschliches Fehlverhalten zusammenzutragen. Die genannten Institutionen sind hierfür besonders hilfreich, da sie unverzichtbare Erfahrungen, welche aus dem Einsatz von Krananlagen und aus Unfällen zur Verfügung stehen, auswerten.

- Ermittlung einer Methodik zur Durchführung der Sicherheitsanalyse: Eine Reihe von Normen und Normentwürfen (DIN 25419, DIN 25424-1 und 2, DIN 25448, DIN EN 1050, ...) geben Hinweise und Hilfestellungen für die Erfassung von Gefährdungsursachen. Hieraus soll eine Methodik für die Umsetzung einer Gefahrenanalyse für Automatikkrananlagen im produzierenden Umfeld erarbeitet werden.
- Zusammenstellung eines vollständigen Katalogs möglicher mechanischer und steuerungstechnischer Gefahrenursachen: Mit der Methodik aus Schritt 3 wird ein Gefährdungsursachenkatalog für das Baukastensystem Automatikran- Automatikbahn in den verschiedenen Automatisierungsstufen zusammengestellt. Hierbei ist zu überprüfen, ob die Fehlerursachen voneinander unabhängig sind.
- Ermittlung von Ursache und Wirkungsbeziehungen: Anhand des Ursachenkatalogs werden Wirkungen untersucht. Es ist zu berücksichtigen, dass gleichzeitig nur eine Störungsursache angenommen werden muss (Ein-Fehler-Sicherheit), diese jedoch eine Schar von Wirkungen erzeugen kann. Für die Untersuchung ausgewählter Störungsursachen steht die Versuchsanlage des Lehrstuhls fml für experimentelle Versuche zur Verfügung.
- Bewertung der Ergebnisse der Sicherheitsanalyse: Für die ermittelten Ursache-Wirkungsbeziehungen werden Maßnahmen zu Vermeidung erarbeitet und in einem Katalog zusammengestellt.
- Verbesserung und Detaillierung des Sicherheitskonzepts anhand einer bestehenden Anlage: Zur Verifizierung des Maßnahmenkatalogs soll das Sicherheitskonzept an einer Kranversuchsanlage detailliert und umgesetzt werden.
- Formulierung von Handlungsanweisungen für die sicherheitsgerechte Gestaltung von Automatikkrananlagen für den innerbetrieblichen Stückguttransport.

1.5 Wirtschaftliche Bedeutung für kleine und mittlere Unternehmen

Automatikkrananlagen für den innerbetrieblichen Materialfluss erlangen eine höhere Akzeptanz, wenn die Wirtschaftlichkeit gesteigert werden kann. Die derzeit hohen Kosten für automatisierte Krananlagen werden durch hohe Engineering- und Projektierungskosten verursacht. Liegt das Preisverhältnis zwischen einem manuellen und einem automatischen Kran noch bei 1:2 bis 1:5, so können bei deutlicher Kostenreduzierung Automatikkransysteme für kleine und mittlere Unternehmen (kmU) eine wirtschaftlich sinnvolle Alternative darstellen. Einen gewichtigen Anteil an den Entwicklungskosten hat die sicherheitstechnische Auslegung. Hierzu leisten unterstützende Sicherheitsrichtlinien einen wichtigen Beitrag, da Umsetzungszeiten verkürzt und Sicherheitsmängel verhindert werden. Die Qualität der sicherheitstechnischen Auslegung steigt. Dadurch können i.d.R. kostenintensive Nachbesserungen entfallen. Die hiermit verbundene Effektivitätssteigerung in der Konstruktions- und Projektierungsphase macht sich in starkem Maße wirtschaftlich bemerkbar. Ein au-

tomatisches Hängekran-Hängebahnsystem bekommt dadurch die Möglichkeit, sich als innerbetriebliches Transportsystem zu etablieren, insbesondere in für Personen abgesperrten Bereichen. Der Einsatzbereich von Kranen wird damit auf den innerbetrieblichen Stückguttransport erweitert.

Es besteht eine Vielzahl von Gründen für den Einsatz von Automatikkrananlagen im innerbetrieblichen Materialfluss. Dies gilt sowohl für Großunternehmen als auch für kmU-Betriebe in gleicher Weise:

- Geringere Personalbindung für innerbetriebliche Transportaufgaben
- Geringerer Flächenbedarf für die Produktion, da Verkehrsflächen deutlich reduziert werden können.
- Hohe Flexibilität bei der Anordnung der Betriebsmittel
- Einbindung in Materialflusssteuerungssysteme

Dem entgegen spricht derzeit die Sicherheitsproblematik und der noch hohe finanzielle Anschaffungsaufwand. Die Lösung dieser Problematik trägt dazu bei, auch kmU-Betrieben ein neues Materialflusssystem mit den beschriebenen wirtschaftlichen Vorteilen zu erschließen. Entwickler von Automatikkrananlagen bekommen mit den Leitlinien eine Hilfestellung an die Hand für die Gefahrenanalyse und die sicherheitstechnische Auslegung von Automatikkrananlagen. Dadurch werden eine Reihe von notwendigen konstruktiven Vorgängen zur Steigerung der Gerätesicherheit vereinfacht:

- Durchführung der Gefahrenanalyse nach EG-Maschinenrichtlinie
- Gefahrenvermeidungskonzepte
- Sicherheitsgerechte Gestaltung der Kransteuerung
- Gestaltung erforderlicher Personenschutzeinrichtungen
- Konstruktive Gestaltung der mechanischen Krankomponenten

KmU-Hersteller werden hiermit in die Lage versetzt, ihre Produktpalette auf Automatikkrane zu erweitern, da Entwicklungszeiten durch die gegebene Unterstützung reduziert und der Aufwand verringert werden kann.

2 Stand der Technik

Die Entwicklung des Krans vollzieht einen Wandel vom reinen Hebezeug für schwere Lasten mit Bedienung durch einen Kranführer, bis hin zum Materialflusssystem auch für leichte und mittlere Lasten in unterschiedlichster Automatisierung. Entscheidend für diesen Wandel, ist die Entwicklung der Automatisierungstechnik. Der Trend zur Vollautomatik im Prozesskranbereich hin wurde aufgrund der hohen Kosten abgelöst durch eine skalierbare Automatisierung des Kransystems in den Stufen:

- Manueller Kran
- Teilautomatisierter Kran mit automatischer Leer- und Lastfahrt und
- Vollautomatischer Kran, der auch die Lastübergabe mit einschließt.

Der Anwender kann in einer Erstausrüstung mit einer niedrigen Automatisierung beginnen, z.B. mit einer automatisierten Leerfahrt, und den Kran nachträglich um weitere Automatisierungsstufen erweitern, z.B. um eine automatisierte Lastfahrt. In einer Endausbaustufe wird schließlich ein Vollautomatikbetrieb mit automatisierter Lastauf- und Lastabgabe erreicht.

In der mechanischen Entwicklung geht der Trend hin zu „leichten“ Hängekränen, die für Lasten bis zu 1t ausgelegt sind sowie den Großteil der notwendigen innerbetrieblichen Transporte bewältigen können und die mit ihren Eigenschaften für automatisierte Materialflüsse von wachsender Bedeutung sind [31]. Die Verbindung von Kranen und Hängebahnen durch Verriegelungen, welche Kranbrücken mit Hängebahnschienen zeitweise verbinden, ermöglichen die Überfahrt von Katzen in Kran- bzw. Bahnbereiche. Dadurch lassen sich Kran- und Bahnanlagen beliebig miteinander und untereinander zu einem „Leichtfördersystem im Überflurbereich“ kombinieren [32], [33]. Produktionsbereiche können sowohl durch das Hängekransystem flächendeckend als auch durch das Hängebahnsystem linienförmig erschlossen werden. Es lassen sich alle Positionen eines Fertigungsumfeldes bedienen, ohne Wegflächen zu beanspruchen. Sind keine Bereiche für die Überfahrt gesperrt, so kann stets der direkte Weg für den Transport gewählt werden. Damit liegen die Vorteile gegenüber Flurförderzeugen und Stetigfördertechnik auf der Hand. Die Anwendungsbereiche umfassen Transporttechnik, Lagerbedienung und direkte Maschinenbedienung [34].

Nur eine konsequent modulare Gestaltung des Hängekran- Hängebahnsystems und die Berücksichtigung der systemtechnischen Einbindung in den innerbetrieblichen Materialfluss [35] ermöglichen die beschriebenen Ausgestaltungsmöglichkeiten. Die Modularität umfasst sowohl die Steuerungstechnik aller Automatisierungsstufen als auch die Mechanik der Kran- bzw. Bahnsysteme, universelle Lastaufnahmemittel und Behältersysteme, Lastübergabestellen und die an der Lastübergabe beteiligten Fördergeräte. Die resultierende Vielzahl der „Schnittstellen“ zwischen den unterschiedlichen Teilsystemen ist weitestgehend vereinheitlicht, um eine flexible Austauschbarkeit einzelner Komponenten zu gewährleisten. Dieser modulare Aufbau ermöglicht eine wirtschaftliche Auswahl eines flexiblen innerbetrieblichen Materialflusssystems, welches sich leicht an dynamische Fertigungsstrukturen mit kurzen Produktlebenszyklen, kurzen Durchlaufzeiten und schnellen Layoutwechseln adaptieren lässt. Es erfüllt damit alle Voraussetzungen an das System der Zukunft.



Bild 2-1: Versuchsanlage am Lehrstuhl fml

Hierzu wurde am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik eine Versuchsanlage aufgebaut, welche, wie in Abbildung 2-1 dargestellt, aus zwei Kranbrücken, einer Einschienen- Ringbahn mit der Möglichkeit zur Katzüberfahrt besteht. Das Hauptaugenmerk dieser Anlage liegt auf der Umsetzung der beschriebenen Skalierbarkeit, Modularität und der Verknüpfung mit Lager- und Stetigfördertechnik.

2.1 Das europäische Regelwerk

In diesem Abschnitt werden die zum Stand der Technik gehörenden Vorschriften und Richtlinien zu Krananlagen analysiert. Dazu wird zunächst ein Überblick über die allgemeinen Regelwerke und deren Einordnung in das europäische Richtliniengefüge gegeben. Im Weiteren wird auf die wichtigsten Richtlinien, die für die sicherheitstechnische Auslegung von automatisierten Krananlagen von Bedeutung sind, eingegangen. Abschließend wird das bestehende Regelwerk hinsichtlich seiner Anwendbarkeit überprüft und bewertet.

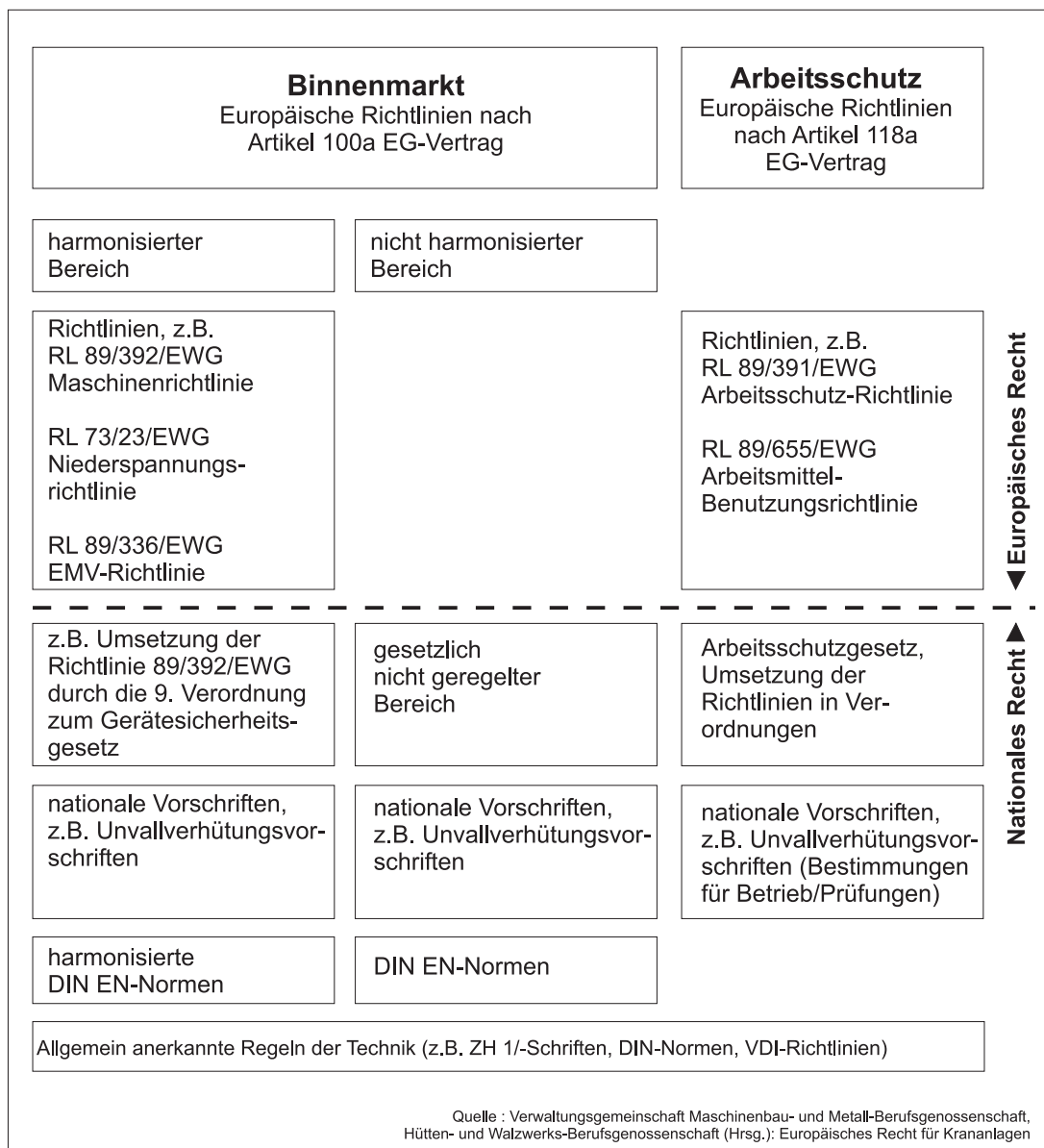


Bild 2-2: Regelwerk für Krane

Das EU-weit geltende Regelwerk zur Sicherheit von Maschinen und Anlagen ist, wie in Abbildung 2-2 dargestellt, hierarchisch aufgebaut. Die grundlegenden Anforderungen werden in den europäischen Richtlinien festgelegt. Neben der für den Maschinen- und

Anlagenbau zentralen Maschinenrichtlinie 98/37/EG können für den Konstrukteur auch andere Richtlinien von Bedeutung sein. Zu diesen Richtlinien gibt es Normen und andere Schriften, in denen die Anforderungen konkretisiert werden.

Im sicherheitstechnischen Regelwerk ist zwischen europäischem und nationalem Recht zu unterscheiden. Die auf europäischer Seite vertretenen allgemeinen Richtlinien werden, wie z.B. die EG-Maschinenrichtlinie durch die 9. Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz, in nationales Recht umgesetzt. Unter diesem allgemeinen Aufbau finden sich dann Normen und andere allgemein anerkannte Regeln der Technik, wie z.B. ZH1-Schriften und VDI-Richtlinien, zur Konkretisierung der oben genannten Schutzziele, die in den Richtlinien innerhalb der EU entweder harmonisiert oder nicht harmonisiert sind [17].

In Abb. 2-2 ist das europäische Regelwerk für Krane dargestellt, wobei die angegebenen Richtlinien, Vorschriften und Gesetze keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Aus Gründen der Übersichtlichkeit kann nur auf die wesentlichsten Vorschriften eingegangen werden. Eine detailliertere Darstellung der rechtlichen Vorschriften findet man u.a. in der Literatur bei [16] und [17]. Anhand des oben beschriebenen Aufbaus, werden im Folgenden alle bestehenden Regelwerke für automatisierte Krananlagen untersucht.

2.2 Die europäischen Richtlinien

Mit der Richtlinie 89/392/EWG des Rates der Europäischen Gemeinschaft vom 14. Juni 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Maschinen (Maschinenrichtlinie), umgesetzt in nationales Recht durch die 9. Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz (Maschinenverordnung), ist seit dem 1. Januar 1993 eine neue Rechtsgrundlage gegeben.

Die Maschinenrichtlinie 89/392/EWG ist bindend für die Hersteller von Maschinen. Bis heute sind drei Änderungsrichtlinien zur Maschinenrichtlinie verabschiedet worden: Zunächst die erste Änderungsrichtlinie 91/368/EWG vom 20. Juni 1991, gefolgt von der zweiten Änderungsrichtlinie 93/44/EWG vom 14. Juni 1993 und die CE-Kennzeichnungsrichtlinie 93/68/EWG vom 22. Juli 1993. Die vorbezeichneten Richtlinien haben durch die Zusammenfassung zu einer konsolidierten und kodifizierten Fassung die Bezeichnung 98/37/EG erhalten. Durch diese Richtlinie wird der Hersteller dazu verpflichtet, eine Gefahrenanalyse vorzunehmen, um alle mit seiner Maschine verbundenen Gefahren zu ermitteln. Er muss die Maschine dann unter Berücksichtigung seiner Analyse entwerfen und bauen. Weiterhin muss ein Unternehmen für eine Maschine oder Anlage, die sie im EU-Raum in Verkehr bringt, eine Konformitätserklärung ausstellen und das CE-Zeichen anbringen. Das setzt voraus, dass bei deren Konstruktion die in der EG-Maschinenrichtlinie formulierten Schutzziele berücksichtigt und umgesetzt wurden. Der Hersteller bzw. Inverkehrbringer kann

diese Erklärung in Eigenverantwortung ausstellen. Nur bei den im Anhang IV A der Maschinenrichtlinie aufgeführten gefährlichen Maschinen muss eine gemeldete Stelle hinzugezogen werden [17]. Wegen der Unterschiedlichkeit aller Maschinen können die Maschinenrichtlinien nur allgemein gültige Vorgaben und Leitsätze enthalten und geben somit keine konkreten Vorschläge für ein Sicherheitskonzept für Automatikkrane im personenzugänglichen Umfeld. Neben der Maschinenrichtlinie sind von den Herstellern noch weitere EG-Richtlinien zu beachten:

- Niederspannungsrichtlinie 73/23/EWG
- Richtlinie über die elektromagnetische Verträglichkeit 89/336/EWG - EMV
- Arbeitsschutz-Rahmenrichtlinie 89/391/EWG
- Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie 89/655/EWG mit der Änderungsrichtlinie 95/63/EWG.

Diese Richtlinien sind jedoch nur für die allgemeinen Sicherheitsvorschriften einer Krananlage zu beachten und somit nicht speziell für Automatikkrane geeignet und werden deshalb nicht genau untersucht.

2.3 Nationale Vorschriften

Grundlage der nationalen Vorschriften ist das Gerätesicherheitsgesetz (GSG). Aufbauend darauf bestehen die Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften, wie z.B. die Arbeitsstättenverordnung und die UVV „Krane“, als eine Konkretisierung der allgemeinen EG-Richtlinien. Als eine dritte Ebene existieren die allgemein anerkannten Regeln der Technik von z.B. DIN, VDI und VDE.

§3 GSG

„Technische Arbeitsmittel, für die in Rechtsverordnungen nach diesem Gesetz keine Anforderungen enthalten sind, dürfen nur in den Verkehr gebracht werden, wenn sie nach den Regeln der Technik sowie den Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften so beschaffen sind, dass Benutzer oder Dritte bei ihrer bestimmungsgemäßen Verwendung gegen Gefahren aller Art geschützt sind, wie es die Art der bestimmungsgemäßen Verwendung gestattet.“

Im oben zitierten §3 GSG wird auf die Regeln der Technik, wie Unfallverhütungsvorschriften und Normen, hingewiesen, womit diese mehr oder weniger für den Hersteller als verbindlich zu betrachten sind. Allerdings ist zu beachten, dass Normen keine Gesetze sind, sondern dem Konstrukteur eine Hilfestellung geben. Er kann die in der Maschinenrichtlinie genannten Schutzziele auch auf anderem Wege erreichen, muss dies jedoch nachweisen.

2.4 Unfallverhütungsvorschriften

Unfallverhütungsvorschriften sind autonome Rechtsverordnungen, d.h. Regelungen, die gegenüber Mitgliedsbetrieben und Versicherten einer Berufsgenossenschaft wie Gesetze wirken und für sie deshalb gleichermaßen verbindlich sind. Für den Kranbau ist zunächst die UVV „Krane“ von größter Bedeutung. Hier werden Handlungsanweisungen und Maßnahmen zur Unfallvermeidung genannt. Neben vielen allgemein für Krananlagen gültigen Regeln werden in den §§ 23 und 24, die automatisierten Krananlagen behandelt:

§ 23 UVV „Krane“

„Bei programmgesteuerten Kranen müssen Arbeits- und Verkehrsbereiche so gesichert sein, dass Personen weder durch die Kranbewegung noch durch herabfallende Lasten verletzt werden.“

Nach der allgemein gültigen Auslegung aus [15] ist der Schutz gegen Verletzungen durch die Kranbewegungen erfüllt, wenn der Gefahrenbereich abgeschränkt ist.

Ein ausreichender Schutz gegen herabfallende Lasten ist gewährleistet, wenn

- der Lastweg unterfangen
- die Last verklammert oder
- der Gefahrenbereich abgeschränkt ist.

Aufgrund der Personenzugänglichkeit des Kranbereiches widerspricht die Auslegung der UVV „Krane“ hinsichtlich einer Abschränkung dem geforderten Betriebskonzept. Eine Unterfangung ist mit der geforderten Flexibilität für die Anlage, und aus Kostengründen nicht zu vereinbaren.

Ein weiterer Anhaltspunkt zur Sicherheit bei Automatikkränen findet sich in §24 bezüglich Nothalteinrichtungen:

§ 24 UVV „Krane“

„An handbedienten Be- und Entladestellen programmgesteuerter Krane sowie deren Arbeitsbereich müssen Nothalteinrichtungen vorhanden sein, die leicht zugänglich und schnell erreichbar sind, da der Kran bei Gefahr unverzüglich stillgesetzt werden kann. Die Nothalteinrichtungen müssen als solche auffällig gekennzeichnet sein.“

Man erkennt an den vorliegenden Ausschnitten, dass die Unfallverhütungsvorschriften hier nicht greifen, da sie einerseits einem personenzugänglichen Betriebskonzept widersprechen, indem sie eine Absperrung des Kranbereiches fordern und andererseits sehr allgemein gehalten sind.

Andere Unfallverhütungsvorschriften, wie z.B. *Winden, Hub- und Zuggeräte (VBG9)* oder *Lastaufnahmeeinrichtungen im Hebezeugbetrieb (VBG9a)*, können keine weiteren Aufschlüsse hinsichtlich einer Automatisierung geben und sind außerdem zu

allgemein gehalten, um besonders auf Automatikkrane bezogene Sicherheitshinweise zu bekommen.

Neben den Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften gibt es noch die VDI-Richtlinie 3653 „Automatikkrane“. Diese Richtlinie gibt bei den Sicherheitsanforderungen für vollautomatisierte Krananlagen nur pauschale Empfehlungen. Es werden lediglich zum Schutz von Personen folgende Punkte empfohlen:

- Schutz vor bewegten Lasten und Lastaufnahmemitteln, durch
 - Hub- und Fahrwegvorgabe für den Kran mit Wegtrennung zu Personen
- Schutz beim betriebsmäßigen Aufnehmen und Abgeben von Lasten durch
 - Absperrung und berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen
 - Freigabe durch Personen
- Schutz vor Absturz von Lasten durch
 - formschlüssige Lastaufnahme
 - Unterfangen der Last und
 - Absicherung mittels baulicher Einrichtungen.

Diese Punkte widersprechen sich, ähnlich wie bei den Unfallverhütungsvorschriften, zum einen bezüglich der geforderten Personenzugänglichkeit, indem eine Absperrung des Kranbereiches gefordert wird, zum anderen, wenn für eine automatisierte Anlage eine Person zur Freigabe der Lastabsenkung gefordert wird. Weiterhin ist ein Unterfangen der Last oder sind andere baulich geforderten Maßnahmen nicht mit der nötigen Flexibilität der Anlage in Einklang zu bringen.

Vorschrift	Titel
DIN EN 1050	Leitsätze zur Risikobeurteilung
DIN EN 954-1	Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen
DIN EN 0801	Grundsätze für Rechner in Systemen mit Sicherheitsaufgaben
DIN EN 292	Sicherheit von Maschinen
DIN EN 60204	Elektrische Ausrüstung von Maschinen
DIN EN 418	NOT-AUS-Einrichtung
DIN EN 1088	Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen
DIN V 19250	MSR Schutzeinrichtungen
DIN EN 61496-1	Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen
DIN EN 811	Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefahrenstellen
DIN 15018	Krane: Grundsätze für Stahltragwerke
DIN 15030	Abnahmeprüfung von Krananlagen
DIN EN 12077-2	Begrenzungs- und Anzeigeeinrichtungen

Tabelle 2-1: DIN-Normen

Neben den oben genannten Richtlinien von Berufsgenossenschaft und VDI gibt es noch eine Vielzahl von DIN-Normen, die sich direkt oder indirekt mit Kranen und Sicherheitstechnik befassen. Diese Werke sind jedoch, um eine gute Anwendbarkeit

für viele Anlagentypen zu gewährleisten, von Natur aus sehr allgemein gehalten. Viele Normen mit einem Bezug zu Krananlagen sind für einen automatisierten Kran nicht anwendbar. In Tabelle 2-1 werden die wichtigsten Normen für eine automatisierte Krananlage im personenzugänglichen Umfeld für den innerbetrieblichen Behältertransport dargestellt.

Weiterhin existieren noch neben den oben dargestellten Normen weitere Schriften und Reporte von Berufsgenossenschaften, in denen Erfahrungswissen zusammengefasst und aufbereitet ist.

Eine vollständige Liste der wichtigsten Unfallverhütungsvorschriften und Sicherheitsregeln, die mit Kranen in Verbindung stehen, ist in Tabelle 2-2 zusammengefasst.

Vorschrift	Titel
BGV A2	Elektrische Anlagen (bisher VBG 4)
VDI	Steuerungseinrichtungen mit vereinbarter gesicherter Funktion
BGV D6	Krane (bisher VBG 9)
VDI 3653	Automatisierte Kransysteme
BGV D8	Winden, Hub- und Zuggeräte
VBG 9a	Lastaufnahmeeinrichtungen im Hebezeugbetrieb (bisher VBG 8)
ZH 1/547	Richtlinien für Funkfernsteuerungen von Kranen

Tabelle 2-2: Unfallverhütungsvorschriften

Nach Durchsicht aller Richtlinien lässt sich abschließend sagen, dass das bestehende Regelwerk hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen für automatisierte Krananlagen nur allgemeine Vorschläge beinhaltet. Diese Richtlinien sind nicht ausreichend, um dem Hersteller die Gewissheit zu geben, eine von der Berufsgenossenschaft oder vom Gewerbeaufsichtsamt abnahmefähige Anlage zu verkaufen. Den besonderen Anforderungen eines automatisierten Kransystems im personenzugänglichen Umfeld wird letztendlich keine der genannten Normen und Richtlinien gerecht. Es sei festgehalten, dass das bestehende Regelwerk zu einem Großteil allgemeine Sicherheitsanforderungen nennt, die z.Z. eine große individuelle Anwendbarkeit und große Spielräume bei der sicherheitstechnischen Auslegung von Automatikkränen zulassen.

Ausgehend von dieser Situation zeigt sich, dass die Notwendigkeit besteht, ein für Automatikkrane im personenzugänglichen Umfeld für den Hersteller anwendbares Regelwerk zu schaffen, das eine sicherheitstechnische Abnahme der Anlage gewährleistet. Um dieses Ziel zu erreichen, werden im Folgenden die Gefahren, die von einer solchen Anlage ausgehen, mittels einer Gefahrenanalyse gesucht, um anhand eines Gefahrenkataloges ein durchgängiges Sicherheitskonzept zu entwickeln.

Eine Liste die den Stand und Inhalt nationaler Vorschriften wiedergibt, ist in Anhang A angeführt.

2.5 Steuerungstechnik

Die Normen für Steuerungen lassen sich zwischen der funktionalen und der elektrischen Sicherheit unterscheiden. Dabei versteht man unter elektrischer Sicherheit den Schutz vor Gefährdungen, die durch die Elektrizität ausgehen, wie z.B. beim Berührungsschutz. Die funktionale Sicherheit beschreibt den Schutz, mit der die Steuerung und somit die Anlage korrekt funktioniert.

Die noch nicht gültige, aber schon jetzt nutzbare Norm IEC 61508 beschreibt das Thema der funktionalen Sicherheit sehr ausführlich. Die in Abbildung 2-3 dargestellten Normen finden im Bereich der Steuerungen für Krane Anwendung.

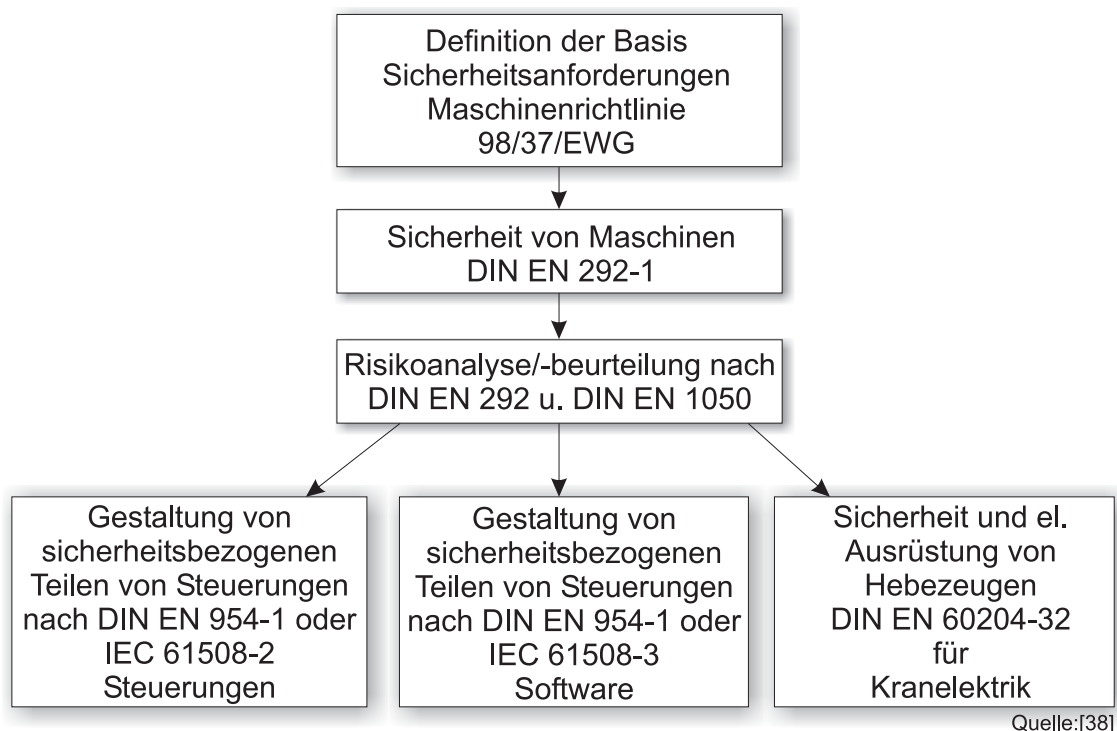


Bild 2-3: Übersicht der Normen

Mit Hilfe der DIN EN 292 und der DIN EN 1050 ist es möglich, wie oben beschrieben, eine Risikoanalyse und Beurteilung durchzuführen. Mit der DIN EN 954 und DIN EN 60204-32 lassen sich dann Maßnahmen festlegen, die notwendig sind, um ein vertretbares Restrisiko zu erreichen.

Norm	Benennung	Wertebereich	Kurzform
DIN V 19250	Anforderungsklasse	1-8	AK1-Ak8
DIN EN 954-1	Kategorie	B; 1-4	B; 1-4
IEC 61508	Safety integrity level	1-4	SIL1-SIL4

Tabelle 2-3: Gegenüberstellung von Klassen/Kategorien bei Normen

Als Ergebnis dieser Risikoanalysen und Risikobewertungen ergeben sich die in Ta-

belle 2-3 dargestellten je nach Norm verschiedenen Kategorien und Klassen. Hierbei ist zu bemerken, dass es keine allgemein gültigen Umrechnungsfaktoren zwischen den einzelnen Normen gibt. Anhand der oben beschriebenen sicherheitstechnischen Anforderungen lassen sich dann verschiedene Steuerungskonzepte aufstellen.

Ein konventionelles Steuerungskonzept besteht aus einer zentralen Steuerung und einer zentralen Ein- / Ausgabe- Peripherie mit einem fest verdrahteten Sicherheitskreis. Gelegentlich kann es auch eine dezentrale Ein- / Ausgabe- Peripherie für große Anlagen geben, um den Verkabelungsaufwand zu minimieren. In diesem Konzept verarbeitet die SPS keine besonderen Sicherheitsfunktionen. Alle sicherheitsrelevanten Signale werden über den fest verdrahteten Sicherheitskreis, der mit entsprechenden Schaltgeräten und Schützsicherheitskombinationen ausgestattet wird, verarbeitet. Vorteilhaft an diesem Aufbau ist, dass dieser sehr einfach und günstig gehalten werden kann. Nachteilig sind die eingeschränkte Verwendung für komplexe Anforderungen und die inflexible Struktur.

Bei einem erweiterten Steuerungskonzept mit redundanter Steuerung werden dann sicherheitsgerichtete Signale durch die Steuerung verarbeitet. Dazu wird parallel zur zentralen Steuerung eine zweite redundante Steuerung verwendet, die antriebsnah in die jeweiligen Antriebsschränke eingebaut ist. Die sicherheitsgerichteten Signale werden sowohl in der zentralen als auch in der redundanten Steuerung verarbeitet. Die erhöhte Sicherheit resultiert dadurch, dass sicherheitsgerichtete Signale, wie Not-Endschalter, Überlast, Überdrehzahl zur Überwachung der Hubwerke usw., redundant verarbeitet werden. Die Vorteile dieser Anordnung sind der Einsatz erprobter Steuerungskomponenten, sicherheitsgerichtetes Verarbeiten von Signalen mit der SPS und eine Softwareerstellung mit standardisierten Programmen ohne besondere Zusatzprogramme. Die Nachteile sind eine doppelte Ein- / Ausgabe- Peripherie für die sicherheitsgerichteten Signale und zusätzliche CPUs sowie eine aufwändige Softwarepflege und ein erweiterter Funktionstest, der zur Abnahme notwendig ist.

Beim erweiterten Steuerungskonzept mit zentraler Steuerung wird im Gegensatz zum vorhergehenden Konzept auf eine zweite Steuerung verzichtet. Die notwendigen Maßnahmen zu Verarbeitung von sicherheitsgerichteten Signalen beschränken sich auf die redundante Ausführung der Ein- / Ausgabe- Karten und den Einsatz spezieller Programmteile und einer speziellen Programmiermethode (z.B. Trennung von normalen und sicherheitsgerichteten Programmteilen). Die Vorteile dieses Konzeptes sind eine einfache Softwarepflege auf nur einer Steuerung sowie die Erstellung der Software mit Standardprogrammen und die Nutzung eines erprobten Industriebusses.

Das sicherheitsgerichtete Steuerungskonzept verwendet nur durchgängig TÜV- geprüfte Geräte. Es wird bei komplexen Krananlagen, bei denen die Risikobeurteilung

entsprechende Maßnahmen vorsieht, angewandt. Dabei kann auch je nach Hersteller auf die fest verdrahteten Sicherheitskreise verzichtet werden. Bei neueren Geräten ist auch die gleichzeitige Nutzung von sicherheitsgerichteter und normaler Technik innerhalb der Steuerung möglich.

Als Alternative zu dem sicherheitsgerichteten Steuerungskonzept kann es auch noch sicherheitsgerichtete Systeme mit einem Standardfeldbus geben, der mit speziell ausgestatteten Ein- / Ausgabe- Modulen verwendet und über einen Sicherheitsmonitor die sicherheitsgerichtete Abschaltung realisiert.

3 Problemstellung

Ein Schlüsselaspekt beim Einsatz von Automatikkrananlagen im produzierenden Umfeld ist die erreichbare Sicherheit. Aus der Notwendigkeit, Transporte im personenzugänglichen Umfeld durchzuführen, und der Tatsache, dass kein Kranführer den Kranbetrieb überwacht, entstehen erhebliche Gefährdungen.

Von diesen Gefährdungen wären nicht nur die unmittelbar mit dem Kran Beschäftigten, sondern auch Personen, die im Arbeitsbereich von Kranen tätig sind, betroffen. Bei Konstruktion, Bau und Betrieb von Kranen ist deshalb die Einhaltung von sicherheitstechnischen Prinzipien unbedingte Voraussetzung für die Vermeidung von Gefährdungen, die sich z.B. aus einem Lastabsturz oder Versagen der Krankonstruktion für Leben und Gesundheit von Personen sowie Sachen und Umwelt ergeben können.

Vorgaben dafür liefert neben den Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften [36] die VDI-Richtlinie 3653 „Automatisierte Kransysteme“ [37]. Aus Gründen der Einbuße an Ortsflexibilität kommen einige mögliche Maßnahmen zur Absicherung der automatischen Lastfahrt, wie z.B. das Unterfangen der Last über Zwischendecken oder Abschränken des Kranbereiches, nicht in Betracht.

Hinzu kommt zukünftig die Anforderung, dass ein Kransystem, welches aus einzelnen Bausteinen zusammengesetzt und in unterschiedlichen Automatisierungsstufen arbeiten kann, in jeder der möglichen Konfigurationen die Sicherheitsanforderungen erfüllen muss. Der in der EG-Maschinenrichtlinie geforderte Sicherheitsnachweis kann mit der Anwendung der genannten Empfehlungen alleine nicht erbracht werden. Zusammenfassend gilt: Den besonderen Anforderungen eines gemeinsam mit Personen in einem Arbeitsraum operierenden automatisierten Kransystem wird letztlich keine der genannten Normen und Richtlinien gerecht.

Zur Erstellung von Sicherheitskonzepten für automatisierte Krananlagen im innerbetrieblichen Behältertransport sind zunächst die bestehenden europäischen Richtlinien sowie nationale Vorschriften und Richtlinien zu analysieren. Im europäischen Recht sind die Maschinenrichtlinie, Niederspannungsrichtlinie sowie die EMV-Richtlinie von

Bedeutung. Auf nationaler Seite sind die im Gerätesicherheitsgesetz verankerten Unfallverhütungsvorschriften, Normen und ZH/1-Schriften und die darin enthaltenen Handlungsanweisungen auf ihre Anwendbarkeit für den beschriebenen Einsatzfall zu überprüfen. Dabei ist festzustellen, dass das bestehende Regelwerk hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen für automatisierte Krananlagen nur allgemeine Vorschläge enthält, die jedoch keineswegs den besonderen Anforderungen eines automatisierten Kransystems gerecht werden.

Dadurch müssen derzeit angewendete Abnahmekriterien für Automatikkrananlagen und Einsatzerfahrungen durch Befragung von Berufsgenossenschaft, Unfallversicherern und Herstellern von Krananlagen ermittelt werden. Ein weiterer Schritt ist, durch eine ausführliche Gefahrenanalyse die Gefahrenpotentiale einer automatisierten Krananlage zu erkennen. Diese Gefahrenanalyse soll dann als Basis zu Erstellung eines Sicherheitskonzeptes dienen.

4 Methode zur Gefahrenanalyse

Aufgrund der im vorhergehenden Kapitel festgestellten fehlenden Anwendbarkeit des bestehenden Regelwerkes für automatisierte Krananlagen im personenzugänglichen Umfeld ist es erforderlich, konkrete Richtlinien zur sicherheitstechnischen Auslegung für den Hersteller zu erarbeiten. Um solche Richtlinien erstellen zu können, muss man die Gefahren, die von einer automatischen Krananlage ausgehen, kennen, um ihnen wirksam begegnen zu können. In diesem Kapitel werden bestehende Methoden für eine Gefahrenanalyse untersucht und auf ihre Anwendbarkeit hin untersucht. Mangels einer vorhandenen geeigneten Methode wird eine eigene Methode zur Gefahrenanalyse entwickelt, die speziell auf die Anforderungen der Richtlinienarbeit zugeschnitten ist.

4.1 Anforderungen an eine Sicherheitsanalyse

Zur Durchführung einer Sicherheitsanalyse für automatische Krananlagen ist es notwendig, ein möglichst vollständiges Verfahren zu wählen, da man sich für dieses neuartige Konzept einer Kransteuerung wegen der mangelnden Erfahrung im Betrieb solcher Anlagen nicht darauf verlassen kann, durch Intuition alle Gefahren zu erkennen. Da es noch keine praktischen Erkenntnisse über die Gefahren einer solchen Anlage gibt, ist es angebracht, die Maschine und ihre Anwendung mit verschiedenen Ansätzen zu untersuchen.

Aus den oben genannten Rahmenbedingungen ergeben sich dann folgende Anforderungen an eine Sicherheitsanalyse für automatische Krananlagen:

- Die Methode soll alle Gefahren erkennen.
- Erfolgsaussichten sollen gewährleistet sein.
- Es soll der Mensch-Maschine-Einfluss berücksichtigt werden.

- Die Methode sollte sich für Analysen in der Planungs- und Betriebsphase eignen, um einerseits unabhängig von bestehenden Anlagen zu sein, und andererseits das Sicherheitskonzept der MATVAR-Versuchsanlage am Lehrstuhl fml untersuchen zu können.
- Das Ziel sollte zunächst das Erkennen und weniger das Bewerten von Gefahren sein, da nur ein Katalog der Gefahrenursachen zusammengestellt werden soll. Die Bewertung wird an anderer Stelle von einem Expertenkreis vorgenommen.
- Die Methode braucht keine Verknüpfung von Fehlern zu berücksichtigen, da eine Ein-Fehler-Sicherheit aus wirtschaftlichen und technischen Gründen als ausreichend erachtet wurde.
- Der Zeitaufwand sollte eine untergeordnete Rolle spielen, da es sich hier um eine Grundlagenarbeit handelt, bei der Sorgfalt an erster Stelle steht.

4.2 Bestehende Methoden

Um eine geeignete Methode für eine Sicherheitsanalyse zu finden, werden zunächst die bestehenden analysiert. Die unten dargestellte Tabelle 4-1 gibt einen Überblick über die gängigen Methoden für eine Sicherheitsanalyse, wobei gleichzeitig eine Bewertung hinsichtlich der oben genannten Kriterien vorgenommen wird. Im Anschluss daran werden diese Methoden ausführlicher beschrieben und auf ihre Anwendbarkeit hin überprüft.

	Phase	Mensch/ Maschine	Aufwand	Ziel	Erfolgs- aussichten	Bemerkung
Vorläufige GA	Vorprojekt Planung	nein	gering	Erkennen von Gefahren	gering	nicht vollständig
W-Methoden	Vorprojekt Planung	ja	gering	Erkennen von Gefahren	informativ	nicht vollständig
Kreative Checklisten	Vorprojekt Planung	nein	gering	Erkennen von Gefahren	gering	nicht vollständig
Fehlerbaumanalyse -zustandsanalyse	Planung Betrieb	ja	groß	Erkennen von Auslösern	detailliert	Berechnungen möglich Wirkung von Schutz erkennbar
PAAG-Verfahren	Planung Betrieb	nein	groß	Erkennen und Bewerten	detailliert	Auswahl Anlagenteil Prüfung auf Ausfall
Gefährdungs- maßnahmenanalyse	Planung Betrieb	nein	groß	Erkennen und Bewerten	gut	wie PAAG
Ausfalleffektanalyse FMEA	Planung Betrieb	nein	groß	mehr Bewertung	informativ	Komponentenbetrachtung wie PAAG
Verfahren von Nohl und Thiemecke	Planung Betrieb	ja	groß	Erkennen und Bewerten	gut	Betrachtung von Arbeitsabläu- fen, dabei Fehlerbetrachtung
MOSAR-Verfahren	Planung Betrieb	ja	groß	Bewerten von Gefahren	k.A.	weniger Erkennen mehr Bewerten, keine Literatur
Fragebogen zur Sicherheitsdiagnose	Betrieb	ja	groß	Erkennen von Gefahren	k.A.	Nicht möglich, da an Anlage noch nicht gearbeitet wurde
Delphi-Methode	Planung Betrieb	ja	groß	Erkennen und Bewertung	k.A.	mehr zur Bewertung des Risikos
Fehlersimulation für Steuerungen	Planung Betrieb	nein	groß	Verifizierung des Systemverhaltens	k.A.	Experimente an der Anlage

Tabelle 4-1: Gängige Methoden zur Sicherheitsanalyse

Checklistenmethoden werden angewendet, um einen groben Überblick über Gefährdungspotentiale, die in einer Anlage offen oder verborgen vorhanden sind, zu erlangen. Die *W-Methode* ist ein Verfahren zur Grobeinteilung eines technischen Systems in Gefährdungsbereiche unterschiedlicher Qualität. Unter Anwendung von mit dem

Buchstaben „W“ beginnenden Frageworten (wie, wer, was, ... usw.) sollen Gefahrenpunkte aufgezeigt werden [5]. Die Checklistenmethoden, wie die *Vorläufige Gefahrenanalyse*, die *W-Methoden* und die *Kreativen Checklisten* können hier keine Anwendung finden, da sie keine vollständige Sicherheitsanalyse liefern, sondern wie schon oben beschrieben, nur einen groben Überblick geben. Sie sind nur für die Vorplanungsphase eines Projektes geeignet.

Die *Fehlerbaumanalyse* ist ein deduktives Verfahren, deren Ziel weniger das Erkennen von Gefahren ist, sondern mehr zum Herausfinden aller kritischen Pfade, die zum unerwünschten Ereignis führen, geeignet ist. Eine wichtige Voraussetzung für die Anwendung dieser Methode ist die genaue Kenntnis des Systems und seiner möglichen Einzelausfallursachen. Durch Abschätzen von Fehlerwahrscheinlichkeiten und Verwendung geeigneter logischer Ausdrücke erlaubt die Analyse Berechnungen über die Zuverlässigkeit und die Wahrscheinlichkeit des Eintritts einer gefährlichen Situation. Die Wirkung von Schutzmaßnahmen kann mit diesem Verfahren schnell überschaut werden. Durch ihren deduktiven Charakter ist die Methode auch gut zur Bestimmung von Unfallursachen geeignet [5]. Die Methode wird in IEC 1025 beschrieben. Das Ergebnis wird in Form eines Fehlerbaumes dargestellt. Diese Methode kann, wie schon oben beschrieben, nur mit einer gewissen Systemkenntnis angewandt werden und eignet sich somit für den hier beschriebenen Fall als Kontrollmethode. Sie kann nach der Durchführung einer anderen Methode angewandt werden, um weitere Fehlermöglichkeiten zu finden, die sonst nicht zu finden wären.

Ziel des *PAAG-Verfahrens* (*Prüfen, Auffinden, Auswirkungen und Gegenmaßnahmen*) ist es, Bauteile zu prüfen, Gefahrenquellen zu finden, die Auswirkungen der Fehler festzustellen, und Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Dazu werden Anlagenteile ausgewählt und deren Sollfunktion definiert. Durch Erzeugung von hypothetischen Störungen anhand eines Leitwortkataloges und einer Überprüfung, ob diese Störungen realisierbar sind, werden die Auswirkungen der Störungen abgeschätzt und Gegenmaßnahmen gesucht. Diese Methode ist für alle Typen von Anlagen in allen Lebensphasen geeignet. Nach Expertenangaben sollen über 90% der Störungen mit diesem Verfahren erkannt werden [5]. Da bei dieser Methode nur Einflüsse von Bauteilen und keine Mensch-Maschine-Einflüsse berücksichtigt werden, ist diese Methode nicht geeignet.

Die *Gefährdungs- und Maßnahmenanalyse* sowie die *Ausfalleffektanalyse* sind dem *PAAG-Verfahren* ähnlich, indem einzelne Komponenten auf ihren Ausfall hin untersucht werden. Allerdings sind deren Erfolgsaussichten nicht so groß, da deren Leitwortkataloge nicht sehr ausgefeilt sind [5].

Nohl und Thiemecke [2], [3] schlagen eine *Systematik zur Durchführung von Gefährdungsanalysen* vor. In diesem Verfahren werden die Arbeitsabläufe in Teilvorgänge

unterteilt. Diese überschaubaren Teilvorgänge können dann wiederum auf ihre Sicherheit hin untersucht werden, indem bewusst der Arbeitsvorgang falsch ausgeführt wird. Abschließend werden die Auswirkungen des Fehlverhaltens untersucht. So hat man mit diesem Verfahren die Möglichkeit, menschliches Fehlverhalten zu berücksichtigen.

Das *MOSAR-Verfahren* [5] dient mehr zu Bewertung von Gefahren und Schutzmaßnahmen und weniger zum Erkennen von Gefahren. Die Anwendung dieser Methode setzt eine große Detailkenntnis der zu untersuchenden Anlage voraus, da Gefahren bereits bekannt sein müssen.

Hoyos und Ruppert haben einen *Fragebogen zur Sicherheitsdiagnose (FSD)* erarbeitet. Dieser Fragebogen beschreibt ein verhaltensorientiertes Verfahren für die betriebliche Sicherheitsarbeit. Die Methode zur Gefahrenerkennung basiert auf einer Liste möglicher schädlicher Energiearten. Diese Liste ist nur sehr oberflächlich gehalten. Das Verfahren ist wie die Checklistenmethoden nicht vollständig, und führt somit nicht zum gewünschten Erfolg.

Die *Delphi-Methode* beruht auf der Befragung von Experten. Ein großer Expertenkreis wird in mehreren Schritten befragt, wobei das Ergebnis des vorhergehenden Schrittes zusammen mit zusätzlichen Informationen allen Teilnehmern übermittelt wird. In weiteren Schritten konzentriert sich die Befragung auf die Punkte, zu denen bisher keine Übereinstimmung erzielt wurde. Dieses Verfahren ist besonders effektiv, weil ausschließlich Fachleute beteiligt sind [5]. Es gibt jedoch nur wenige Fachleute für das Erkennen von Gefahren von automatischen Krananlagen im personenzugänglichen Umfeld. So kann das Verfahren bei der hier genannten Problemstellung höchstens zur Bewertung des Risikos eingesetzt werden, jedoch nicht zur detaillierten Gefahrenerkennung.

Eine *Fehlersimulation von Steuerungen* stellt hier kein viel versprechendes Verfahren dar, weil zu dem Zeitpunkt der Untersuchung eine konkrete Steuerung noch nicht existiert. Weiterhin ist jede Steuerung einer automatisierten Krananlage so spezifisch, dass eine Bewertung zu speziell für eine bestimmte Anlage wäre. Die hier gemachten Aussagen über die Sicherheit sollen jedoch Richtliniencharakter besitzen und somit allgemeinerer Natur sein.

Schmidt [14] hat eine Methode entwickelt, die ausschließlich für das Erkennen von Gefahren geeignet ist. Das *Umweltenkonzept* sieht vor, das u.U. erst geplante oder im Entwurfsstadium stehende System, Teilsystem oder Element in eine lückenlose, geschlossene Hierarchie von Umwelten einzubetten. Die Systemgrenzen sind räumlich geschlossen. Das Systemverhalten und somit auch die daraus resultierenden Gefährdungen können über die Schnittstellen verfolgt werden. So lassen sich Gefahren erkennen, die weder aus dem Arbeitsablauf bedingt sind, noch aus dem Versagen eines

Bauteiles entstehen.

Die Gefahrenanalyse gemäß Maschinenrichtlinie 89/392/EWG (93/68/EWG) Anhang I und EN 1050 unter Anwendung der harmonisierten Normen EN 292 Teil 1 und Teil 2, EN 60204 Teil 1 - Mechanische und ergonomische Gefährdungen, hat sich als zu allgemein und somit als nicht geeignet herausgestellt.

4.3 Entwicklung einer eigenen Methode

Es zeigt sich, dass für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse für automatische Krananlagen im produzierenden Umfeld keine der oben genannten Methoden vollständig geeignet ist. Es werden jeweils nur Teilaspekte einer ganzheitlichen Betrachtung erfasst. So soll im Folgenden eine geeignete Methode entwickelt werden, die den oben genannten Anforderungen entspricht. Dazu werden aus den oben besprochenen Methoden solche Verfahrenselemente ausgewählt, die zusammen eine vollständige Methode bilden, so dass die eingangs beschriebenen Anforderungen abgedeckt werden.

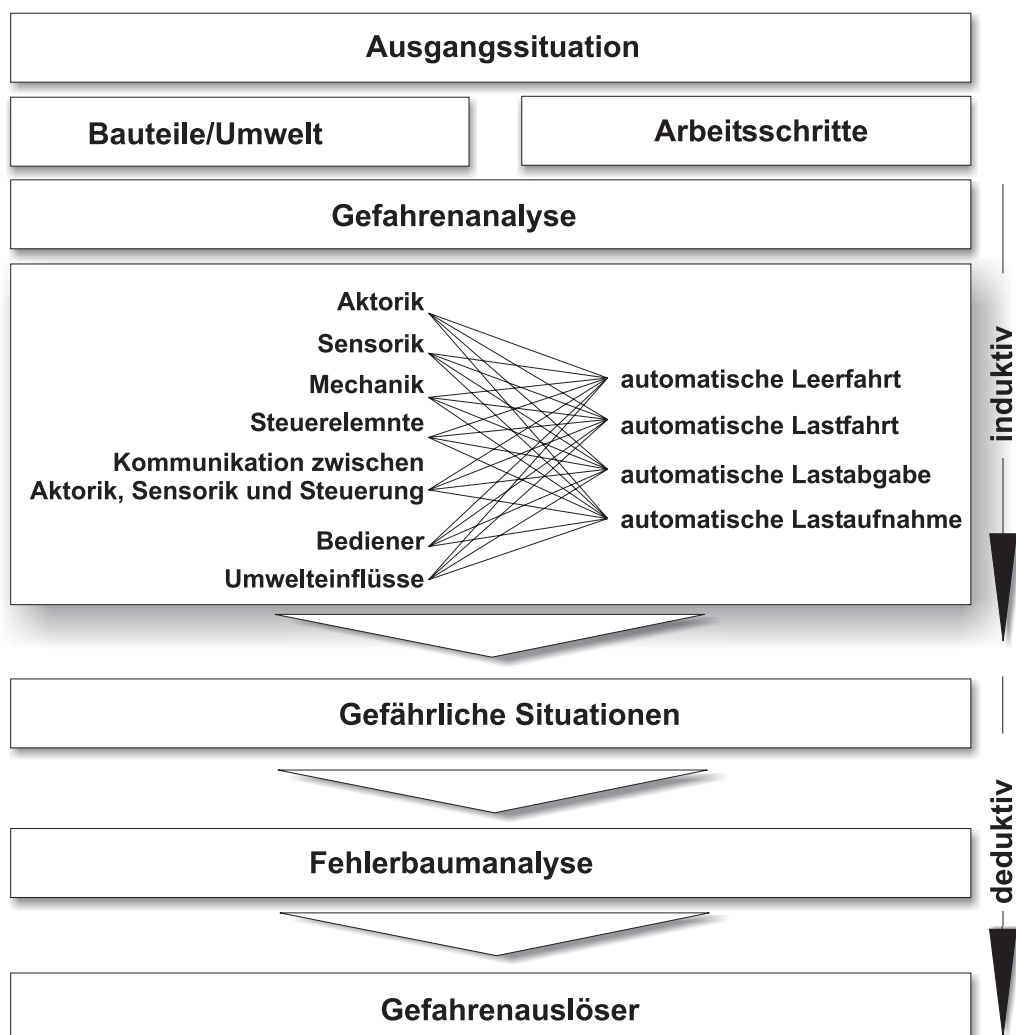


Bild 4-1: Methode der Gefahrenermittlung

Es bietet sich für diese Methode ein Ansatz an, bei dem einerseits die Anlagenkomponenten, die Bedienung und somit die Mensch-Maschine-Schnittstelle sowie die Einordnung der Anlage in ihre Umgebung betrachtet werden. So hat man die drei Gesichtspunkte Mensch, Maschine und Umwelt berücksichtigt. Abbildung 4-1 beschreibt graphisch die Vorgehensweise zur Gefahrenermittlung.

Zur sicherheitstechnischen Beurteilung der Anlagenkomponenten erweist sich das *PAAAG-Verfahren* [5] als besonders viel versprechend, weil es die größten Erfolgsaussichten besitzt. Nach Expertenmeinung sollen auf diese Weise bis zu 90% aller Gefährdungen so aufgedeckt werden. Es sollen, wie es *PAAAG* und viele ähnliche Methoden vorschlagen, Anlagenteile ausgewählt und durch eine hypothetische Störung dieser Teile die Anlage auf ihre Gefahren hin untersucht werden. Die Auswahl der Anlagenteile soll ebenfalls einem systematischen Muster folgen. Hierbei wird zwischen Aktorik, Sensorik und Mechanik unterschieden, wobei nur Anlagenkomponenten betrachtet werden sollen, die unmittelbar mit der Automatisierung und der somit fehlenden menschlichen Überwachung der Anlage zu tun haben. Darunter fallen zunächst alle aktiven Bauteile wie Aktoren, die alle Antriebe des Kranes, sowie die Antriebe des Lastaufnahmemittels umfassen.

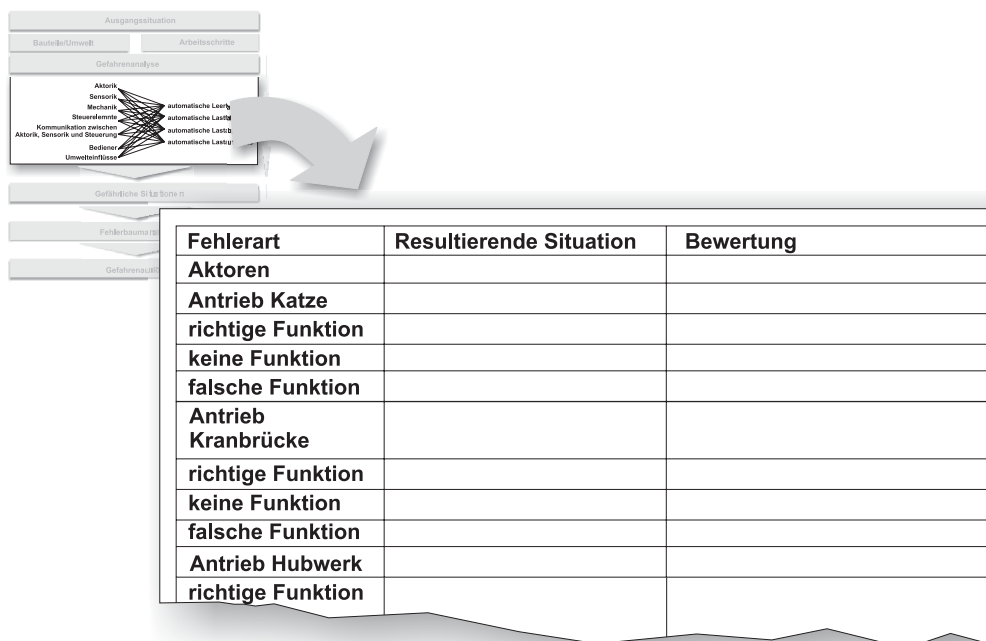


Bild 4-2: Durchführung der Gefahrenermittlung

Das Anlagenverhalten wird jeweils, wie in Abbildung 4-2 verdeutlicht, bei der richtigen Funktion, bei nicht vorhandener Funktion und falscher Funktion des Aktors oder Bauteiles hinsichtlich Gefahren, betrachtet. Unter der Sensorik wird zunächst nur das Wegmesssystem betrachtet. Von der Betrachtung einer weiteren Sensorik für Si-

cherungsmaßnahmen wird hier abgesehen, da dies schon zu einem Sicherheitskonzept gehören würde, das hier nicht zu betrachten ist.

In der Untersuchung folgen die mechanischen Bauteile, wie Katze, Zugmittel, ... usw. (siehe Anhang B). Zuletzt werden Steuerelemente und die Kommunikation zwischen Aktorik, Sensorik und Steuerung betrachtet.

Zur Untersuchung des menschlichen Einflusses auf die Sicherheit im Anlagenbetrieb zeigt sich die *Systematik zur Durchführung von Sicherheitsanalysen* von Nohl und Thiemecke als viel versprechender Ansatz [2], [3]. Wie in diesem Verfahren vorgeschlagen, werden die Arbeitsabläufe der Anlagenbedienung betrachtet. Bei jedem Arbeitsschritt können dann absichtlich Fehler gemacht werden, die dann auf ihre Gefahren hin untersucht werden. Bei der Einteilung in Arbeitsabläufe hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, den verschiedenen Automatisierungsgraden der Anlage zu folgen. Die Bedienung wird hinsichtlich einer richtigen, keiner, einer fehlerhaften, zu frühen und zu späten Bedienung untersucht.

Den umwelt-bezogenen dritten Aspekt liefert das *Umweltenverfahren* von Schmidt [14]. Mit dieser Methode können noch Gefahren, die nicht unmittelbar dem Ausfall eines Anlagenteils oder dem Fehlverhalten eines Bedieners zuzuordnen sind, gefunden werden. Dabei werden thermische, mechanische, elektromagnetische und akustische Einflüsse untersucht. Zu den Umwelteinflüssen wird hier auch ein Energieausfall gezählt.

Aufgrund der Komplexität einer automatischen Krananlage ist es nicht ausreichend, nur eine induktive Gefahrenanalyse durchzuführen. Zur Vervollständigung der Gefahrenanalyse bietet es sich an, von einem deduktiven Ansatz von Gefährdungen ausgehend, die Auslöser für diese Gefährdungen zu suchen. Dafür ist eine *Fehlerbaumanalyse* geeignet. So wird die Anlage mit einem induktiven und deduktiven Ansatz untersucht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit der oben beschriebenen Methode durch einen induktiven Ansatz die Anlagenteile und der Einfluss des Menschen für jeden Arbeitsschritt einzeln betrachtet werden. Durch das *Umweltenverfahren* findet eine Einordnung in die Umgebung der Anlage statt. Mit dem deduktiven Ansatz der Fehlerbaumanalyse wird die Methode vervollständigt.

Die Prüfliste für die einzelnen Arbeitsschritte ist in Anhang B angeführt.

5 Gefährdungen

Die Anwendung der im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Methode für eine Gefahrenanalyse zeigt, welche Gefahren im Betrieb einer automatisierten Krananlage auftreten. Dabei wird anhand aller Tätigkeiten, die im Zusammenhang mit dem automatischen Kranbetrieb auftreten, ein Lastspiel untersucht. In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse dieser Gefahrenanalyse aufgelistet werden.

5.1 Gefahren aus „*Position teachen*“

Bevor man den Kran automatisch fahren lassen kann, sind für den automatischen Betrieb Positionen zu speichern, die der Kran anfahren darf. Diesen Vorgang nennt man „Position teachen“.

- Der Teachprozess kann den Kranbetrieb beeinflussen. Durch Teachprozesse im laufenden Kranbetrieb können Gefährdungen durch unvorhersehbare Steuerungszustände oder nicht erkannte Fehler auftreten.
- Teachen einer falschen Position kann Gefährdungen hervorrufen. Wird eine Position falsch geteacht, z.B. in einem Bereich, der nicht im Automatik-Modus befahren werden darf, oder in Bereichen von Hindernissen, kann dies zu Kollisionen oder unerwarteten Gefährdungen führen.

5.2 Gefahren aus der Kranbewegung

Nachdem die Daten für die Zielposition der Kranfahrt übermittelt worden sind, beginnt der Kran zu seinem Ziel zu fahren. Dabei besteht, bei horizontalen wie auch vertikalen Bewegungen, die Gefahr der Kollision mit anderen Kranen oder Elementen der Umwelt, resultierend aus Fehlern der Steuerung oder des Wegmesssystems.

Wird im teilautomatisierten Betrieb mit einer manuellen Lastfahrt gearbeitet, so ist darauf zu achten, dass die manuelle Kranfahrt den Automatikbetrieb nicht gefährdet, da automatisierte und manuell betriebene Krane sich auf einer Bahn befinden und beeinflussen können.

Wird nur die automatische Leerfahrt betrachtet, so sind nur die Gefahren des Teachprozesses, Kranrufens, und des automatischen Verfahrens zu betrachten. Die hier

auftretenden Gefahren resultieren hauptsächlich aus Fehlern in der Programmierung, der Steuerung oder Fehlern, die durch die Steuerung selbst generiert werden.

Wird im teilautomatisierten Bereich gefahren, auch mit automatisierter Lastfahrt, sind der Kranruf und die automatisierte Lastfahrt sowie das Quittieren der Lastaufnahme und die manuelle Lastaufnahme zu berücksichtigen. Die Gefahren dazu werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

5.3 Gefahren aus der Lastaufnahme

Vom Sicherheitsstandpunkt aus betrachtet, muss die Lastaufnahme von vollautomatisiertem oder teilautomatisiertem Kranbetrieb nicht besonders unterschieden werden, da diese in beiden Fällen den gleichen strengen Kontrollen unterliegen muss, damit ein Lastabsturz im weiteren Verlauf der automatisierten Lastfahrt verhindert werden kann. Denn werden im teilautomatisierten Betrieb Lasten manuell aufgenommen, und diese im automatischen Modus weitertransportiert, können menschliche Fehler zu Gefahren aus einer unkorrekten Lastaufnahme führen. Lediglich das Absenken des Lastaufnahmemittels in den Personenbereich für die Lastaufnahme braucht hier nicht betrachtet werden, da dies im teilautomatisierten Betrieb vom Kranführer überwacht wird.

Gefahren aus der Lastaufnahme ergeben sich durch ungeeignete oder fehlerhafte Ladehilfsmittel, falsche Lasten, die zu groß, zu klein oder zu schwer sind, sowie durch einen unvollständigen nicht formschlüssigen Greifvorgang. Weitere Gefahren ergeben sich aus der Nähe von Personen zu bewegten Kranelementen bei der Positionierung der Last. Eine falsche Positionierung der Last birgt ebenfalls die Gefahr einer Kollision mit dem Lastaufnahmemittel oder einer falschen Lastaufnahme.

5.4 Gefahren aus der Lastabgabe

Gefahren aus der Lastabgabe ergeben sich wie bei der Lastaufnahme aus der Nähe von Personen zu bewegten Kranelementen, sowie einer unvollständigen Lastabgabe. Weiterhin kann die Situation, in der die Last gelöst wird, unpassend sein, wenn die Last noch schwebt oder auf einer unebenen Position steht.

5.5 Gefahren durch Kranruf

Wird der Kran halbautomatisiert betrieben, so muss zunächst der Kran gerufen werden. Dies kann z.B. mittels eines Ruftasters erfolgen. Bei voll automatisiertem Betrieb erfolgt der Kranruf anhand eines Prozessleitsystems zu einer bestimmten Position. Die Gefahren aus dem Kranruf sind folgende:

- Der Kran kann durch einen Steuerungs- oder Programmierfehler in einer anderen z.B. manuellen Beschäftigung beeinflusst werden und somit Personen gefährden, die gerade manuell mit diesem Kran arbeiten.

- Der Kran kann an falsche Position gerufen werden und so Gefährdungen hervorrufen. Das unerwartete Erscheinen eines Kranes kann gefährlich sein, wenn dieser Bereich Hindernisse oder Ähnliches aufweist.
- Der Kran kann irgendeine andere unerwünschte Aktion durchführen. Durch Steuerungs- oder Programmierfehler können allgemein Gefahren auftreten.

5.6 Gefahren aus der Quittierung der manuellen Kranfahrt

Nach Beendigung eines manuellen Arbeitsganges kann der Kran wieder für den Automatikmodus freigegeben werden. Dies birgt jedoch die Gefahr, dass der Kran noch nicht für den Automatikmodus bereit ist, und so in einem unsicheren Zustand unbeobachtet weiterarbeitet. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn sich eine Last noch am Lastaufnahmemittel befindet, die nicht für den automatisierten Betrieb geeignet ist.

5.7 Fehlerbaumanalyse

In dem im vorhergehenden Kapitel durchgeführten Teil der Gefahrenanalyse wurden Gefahren aus der Betrachtung von Arbeitsschritten mit dem Ausfall eines Betriebselementes oder einer fehlerhaften Handlung ermittelt. Ein von den Gefahren ausgehender weiterer Ansatz besteht darin, die Ursachen dafür zu suchen. Dieser zweite deduktive Schritt der Gefahrenanalyse entspricht einer Fehlerbaumanalyse.

Das Ergebnis der oben durchgeführten Gefahrenanalyse lässt sich bei genauerer Betrachtung zu vier Gefahren zusammenfassen, die es von der Ursache her zu untersuchen gilt. Das wichtigste Ereignis ist die Gefährdung eines Menschen. Die Gefährdung kann vier Ursachen besitzen:

- Lastabsturz
- Kollision eines Kranelementes mit einem Element der Umwelt, wobei hier zwischen
 - Kollision Kran mit Kran
 - Kollision Kran mit Mensch
 - Kollision Kran mit Last
 - Kollision Kran mit anderen Umweltelementen

unterschieden werden kann.

Weiterhin sind die Selbstzerstörung der Anlage und der Lastabsturz zu betrachten. Ausgehend von diesen vier Gefährdungen wird im Folgenden die Fehlerbaumanalyse durchgeführt. In den Abbildungen 5-1 bis 5-5 ist das Ergebnis graphisch dargestellt. Diese Fehlerbaumanalyse soll als Basis für eine Detailausarbeitung eines Sicherheitskonzeptes dienen. Jedes Sicherheitskonzept ist dann wiederum einer Sicherheitsanalyse zu unterziehen, damit Gefahren, die aus dem Sicherheitskonzept entstehen, erkannt werden können.

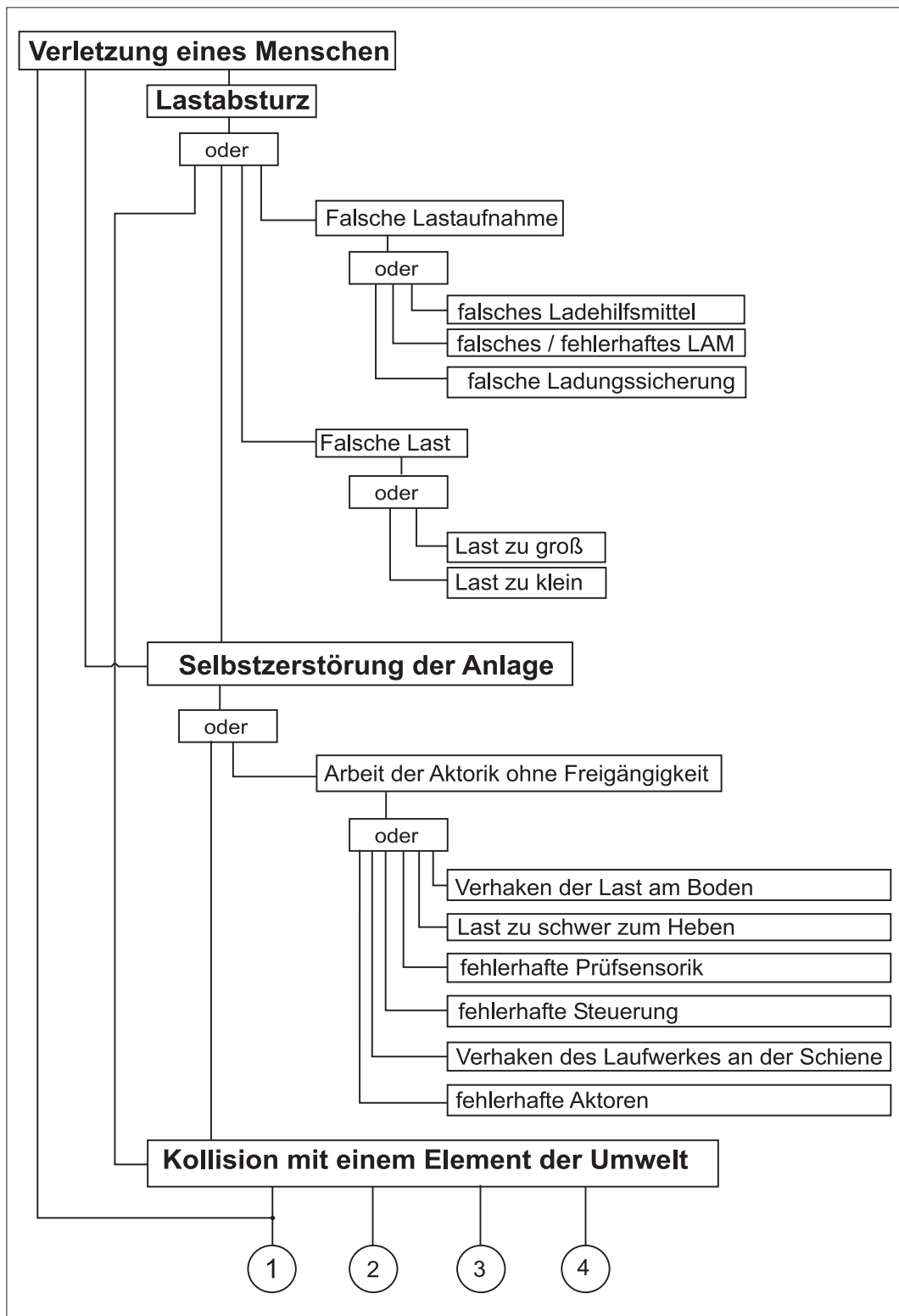


Bild 5-1: Fehlerbaum Teil 1

Abbildung 5-1 zeigt den ersten Teil des Fehlerbaumes. Wie schon oben beschrieben, ist die Verletzung eines Menschen das absolut zu vermeidende Ereignis, von dem ausgehend die Ursachen gesucht werden. Es zeigt sich, dass dies durch einen Lastabsturz,

durch eine Selbstzerstörung der Anlage oder durch eine Kollision mit anderen Elementen der Umwelt entstehen kann. Die Ursachen für die Kollision mit der Umwelt werden in den folgenden Abbildungen 5-2 bis 5-5 dargestellt.

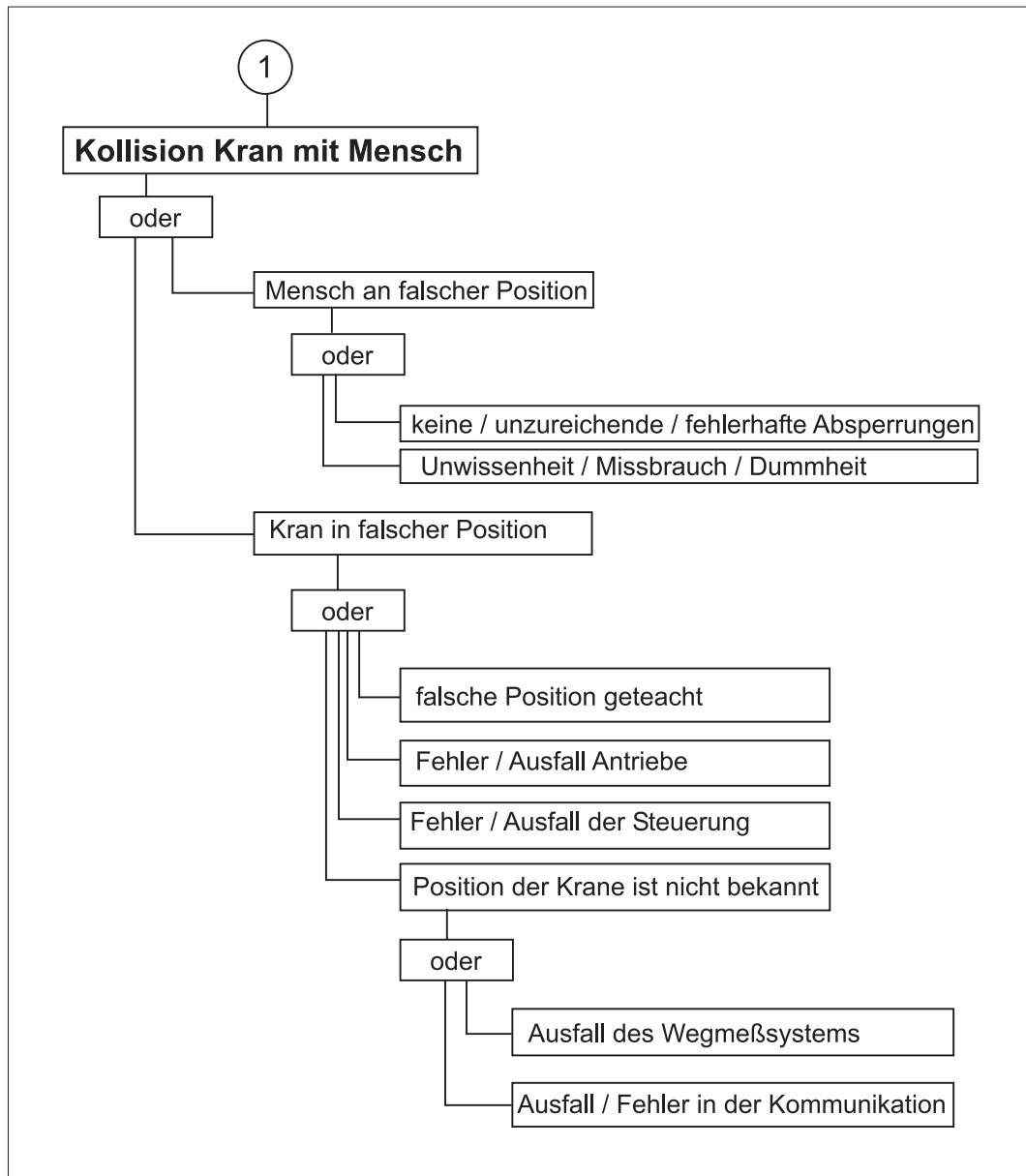


Bild 5-2: Fehlerbaum Teil 2

Abbildung 5-2 zeigt die möglichen Ursachen, die zu einer Kollision des Kranes mit den Menschen führen kann. Dabei sind zunächst zwei Ursachen zu unterscheiden: Erstens kann sich der Mensch in einer falschen Position befinden, und zweitens kann sich der Kran in der falschen Position befinden. Ist der Mensch in falscher Position, so ist dies die Ursache keiner oder unzureichender Absperrungen, vorsätzlichen Missbrauchs oder Unwissenheit der Personen, die sich im Kranbereich aufhalten.

Befindet sich der Kran in falscher Position, so kann dies an falsch gespeicherten

Zielpositionen, fehlerhaften Antrieben oder einer fehlerhaften Kransteuerung liegen. Ein Ausfall des Wegmesssystems oder der Kommunikation zwischen Wegmesssystem und Steuerung mit dem damit verbundenen Verlust der Kranposition kann natürlich auch eine Ursache dafür sein, dass sich der Kran an einer unerwünschten Position befindet.

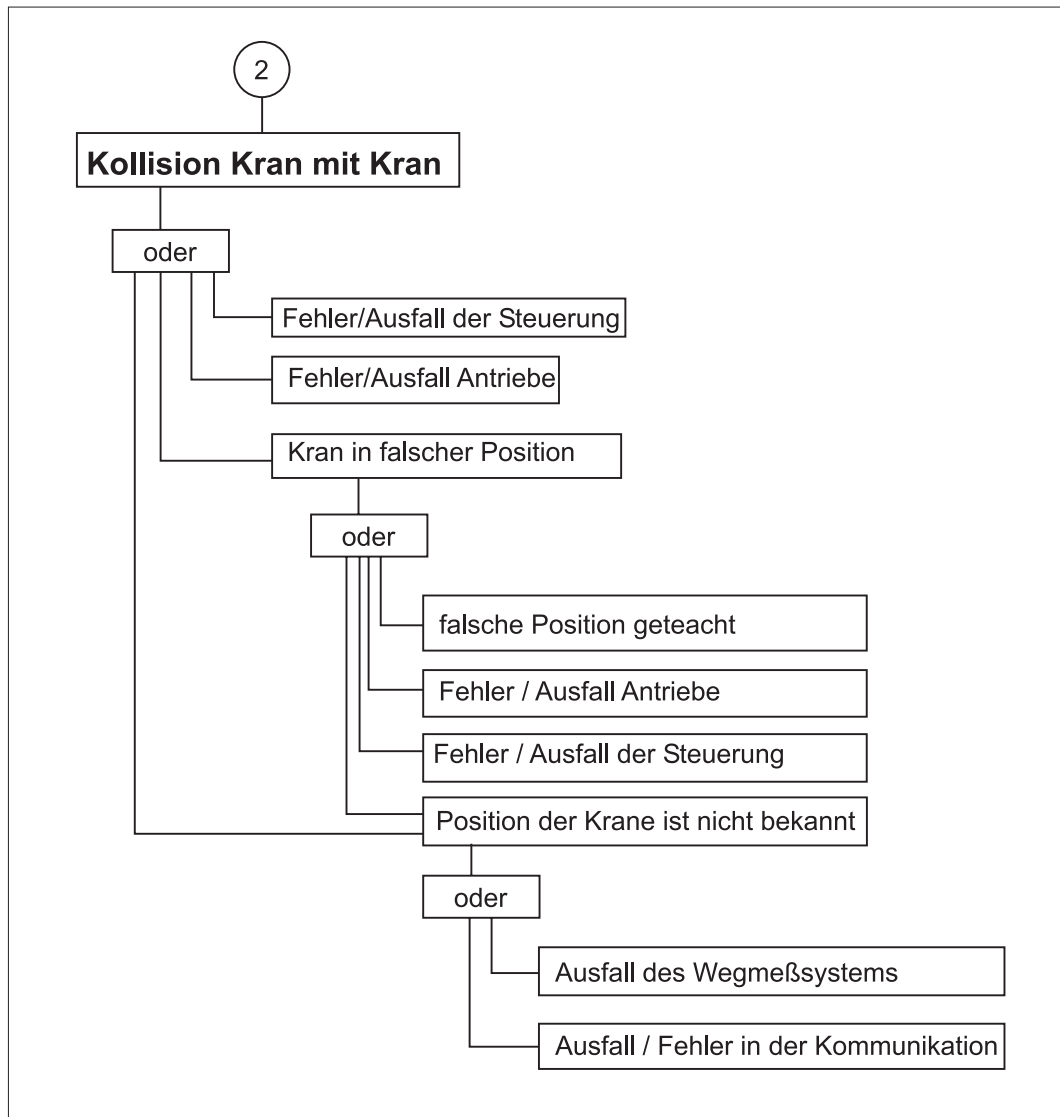


Bild 5-3: Fehlerbaum Teil 3

Sollten zwei Kräne miteinander kollidieren, so ist die Ursache, wie in Abbildung 5-3 dargestellt, hauptsächlich bei einer falschen Kranpositionierung zu suchen. Wie schon oben beschrieben, kann dies durch einen Ausfall des Wegmesssystems, einen Fehler in der Kommunikation oder auch fehlerhafte Hardware wie Antriebe und Steuerungen bedingt sein.

Abbildung 5-4 zeigt die möglichen Gefahrenursachen für eine Kollision des Kranes mit anderen Elementen der Umwelt. Unter anderen Elementen der Umwelt sind die Halle, in der sich die Krananlage befindet, Einrichtungsgegenstände wie Fertigungsmaschi-

nen oder Flurfördertechnik zu verstehen. Weiterhin sind dies auch Gegenstände aller Art, wie Leitern, die z.B. zum Austausch der Deckenbeleuchtung aufgestellt wurden, oder Kartons, die von Mitarbeitern auf Maschinen gelagert werden.

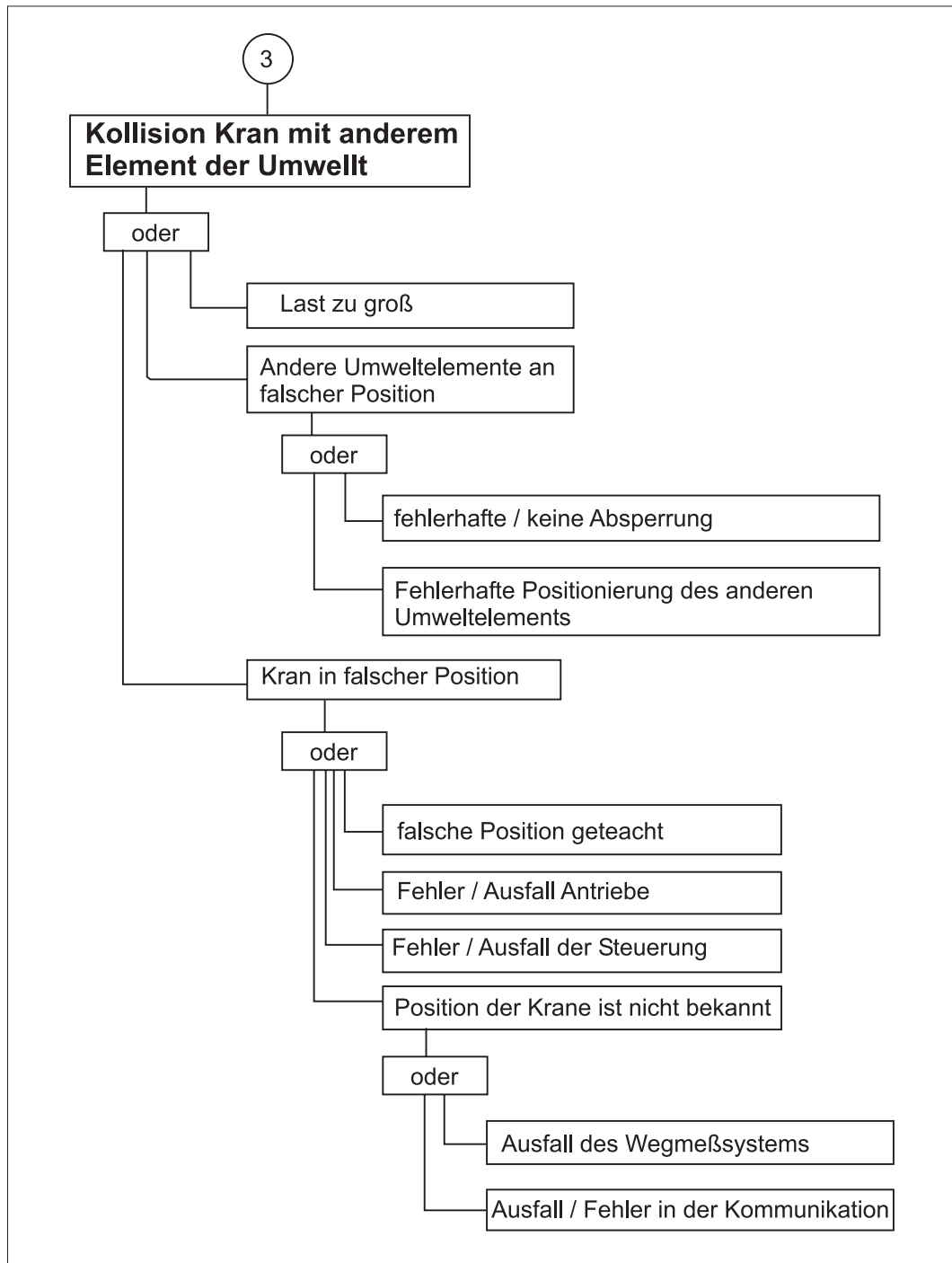


Bild 5-4: Fehlerbaum Teil 4

Die Ursachen für eine Kollision liegen auch wieder in einer falschen Kranposition, einer zu großen Last oder einem anderen Umweltelement, welches sich unzulässigerweise im Bewegungsbereich des Kranes befindet.

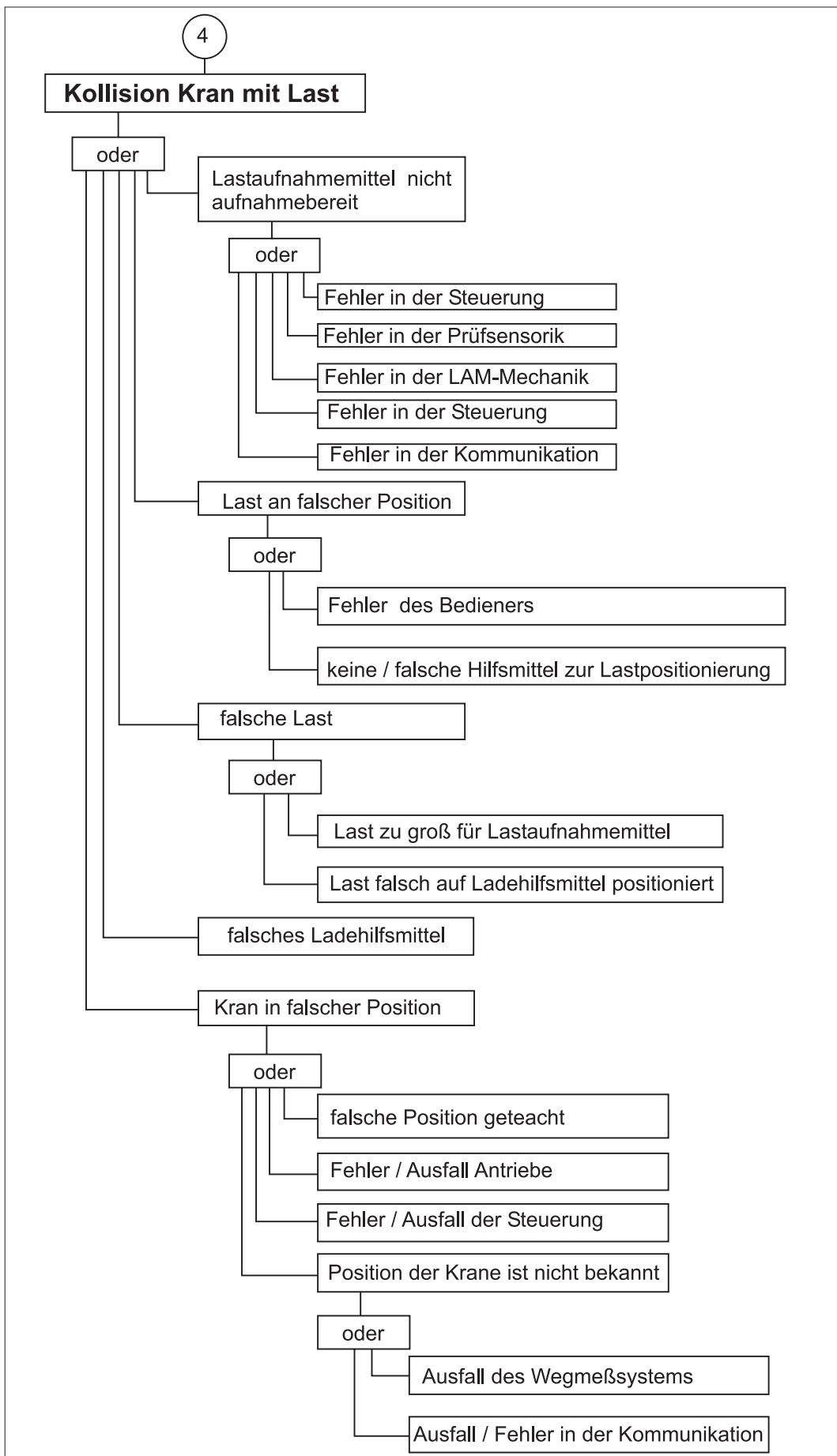


Bild 5-5: Fehlerbaum Teil 5

Der letzte Ast des Fehlerbaumes untersucht, inwieweit eine Kollision des Kranes mit der Last stattfinden kann. Wie in Abbildung 5-5 detailliert dargestellt, sind die Ursachen in einem nicht aufnahmebereiten Lastaufnahmemittel, einer falschen Position des Lastaufnahmemittels, einer falschen Last, einem falschen Ladehilfsmittel oder einer falschen Kranposition zu suchen.

Anhand des Fehlerbaumes zeigt sich, dass Ereignisse, wie z.B. Verlust der Information über die Kranposition, als Gefahrenursache oft zu finden sind. Über die Anzahl, wie oft ein Element des Fehlerbaumes innerhalb des Pfades liegt, kann eine Aussage über die Wichtigkeit eines Fehlers im System gemacht werden. Je größer diese Zahl ist, desto mehr ist bei der Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes auf eine sichere Lösung zu achten.

Aus den Abbildungen 5-1 bis 5-5 ist zu erkennen, dass der Schwerpunkt hinsichtlich der sicherheitsrelevanten Bauteile beim Wegmesssystem, bei der Kommunikation und der Steuerung der Anlage liegt. Da jedoch alle Ursachen, wie eine falsche Lastaufnahme, resultierend aus einem falschen Ladehilfsmittel oder Lastaufnahmemittel, zu einem Lastabsturz mit seinen fatalen Folgen führen können, ist für jedes Element des Fehlerbaumes eine Lösung im Sicherheitskonzept zu finden.

Das Ergebnis der Gefahrenanalyse lässt sich dann bei genauerer Betrachtung in Gefahren für Mensch und Maschine zusammenfassen, die es von der Ursache her zu untersuchen gilt:

- Die Selbstzerstörung der Anlage
- Lastabsturz durch Kollision eines Kranelementes mit einem Element der Umwelt
- Kollision Kran mit Kran
- Kollision Kran mit Mensch

Um aus den oben beschriebenen Gefahren Schlüsse über mögliche Lösungsvarianten für gefahrenmindernde Maßnahmen ziehen zu können, ist zu untersuchen, inwieweit die Gefahrenursachen bzw. die Fehlerursachen voneinander unabhängig sind, da sich viele Gefahren wiederum aus anderen Gefahren ergeben.

6 Konstruktion einer sicheren Maschine

Bei der Konstruktion, dem Bau und Betrieb von Kranen ist die Einhaltung von sicherheitstechnischen Prinzipien unbedingte Voraussetzung für die Vermeidung von Gefährdungen, die sich z.B. aus einem Lastabsturz oder Versagen der Kranonstruktion für Leben und Gesundheit von Personen sowie Sachen und Umwelt ergeben können.

6.1 Erreichen der Sicherheit

Zu den grundlegenden Überlegungen, die das gesamte Normenwerk durchziehen, gehört die in Anhang 1 der Maschinenrichtlinie festgelegte und in EN 292 präzisierte Vorgehensweise bei der Konstruktion einer sicheren Maschine. Dort wird der in Abb. 6-1 dargestellte iterative Vorgang zum Erreichen einer ausreichenden Sicherheit dargestellt. Der Prozess ist durch die Risikoanalyse und die Risikobewertung geprägt. Innerhalb der Risikoanalyse werden in einem ersten Schritt die Grenzen der Maschine einschließlich Lebensdauer, Einsatzbereiche und Ausbildungsniveau der Anwender bestimmt. Die Bestimmung dieser Punkte ist für jede automatische Krananlage anders zu bewerten und lässt so keine allgemeinen Aussagen zu.

In einem weiteren Schritt ist die Identifizierung der Gefährdungen mit einer Gefahrenanalyse durchzuführen. Die verschiedenen Methoden der Gefahrenanalyse sind ausführlich in Abschnitt 4.2 beschrieben worden. Das Ergebnis der Gefahrenanalyse ist in Kapitel 5 dargestellt.

Zuletzt folgt die Risikoabschätzung, die nach folgenden Punkten, die in DIN 1050 vorgeschlagen werden, vorgenommen werden kann (siehe auch EN 954-1, B2, in Abschnitt 6.2 dieses Kapitels):

- Schwere der Verletzung,
- Häufigkeit und/oder Dauer der Gefährdungsexposition und
- Möglichkeit zur Vermeidung der Gefährdung.

Nach der Risikoeinschätzung muss eine Risikobewertung durchgeführt werden, um zu entscheiden, ob eine Risikominderung notwendig ist oder ob Sicherheit erreicht wurde. Falls diese nicht erreicht wurde, ist das Risiko zu vermindern und die Maschine einer erneuten Prüfung zu unterziehen.

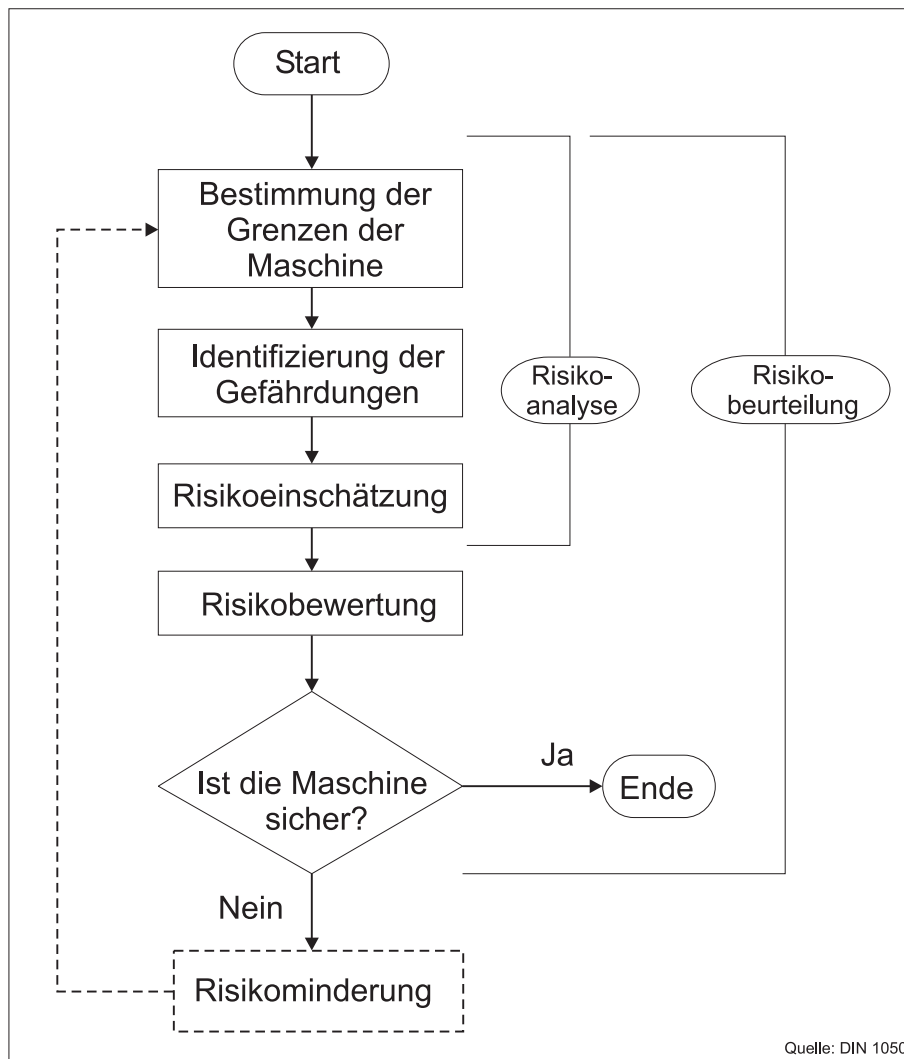


Bild 6-1: Iterativer Prozess zum Erreichen der Sicherheit

Um das von einer Maschine ausgehende Risiko zu reduzieren, muss der Hersteller die Maschine zunächst so konstruieren, dass Gefährdungen vermieden werden (unmittelbare Sicherheitstechnik). Ist dies nicht möglich, müssen Gefährdungen durch Schutzmaßnahmen ausgeschlossen werden (mittelbare Sicherheitstechnik). Wenn auch dies nicht wirksam ist, muss der Hersteller deutlich auf die verbleibenden Restrisiken hinweisen (hinweisende Sicherheitstechnik).

Die Sicherheitsmaßnahmen im Maschinenbau sind in Tabelle 6-1 dargestellt.

1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe	
Risikominderung durch Konstruktion	Technische Schutzmaßnahmen	Benutzerinformation	Zusätzliche Vorsichtsmaßnahmen
unmittelbare Sicherheitstechnik	mittelbare Sicherheitstechnik	hinweisende Sicherheitstechnik	
Gefährdungen vermeiden	Gefährdungen sichern	auf Restrisiken hinweisen	

Tabelle 6-1: Sicherheitsmaßnahmen im Maschinenbau

6.2 Auswahl von Schutzeinrichtungen

Je nach verbleibendem Restrisiko ist für Bauteile und Steuerungen ein Sicherheitsstandard zu finden. EN 954-1 bietet hierzu die Möglichkeit, die Anforderungen an sicherheitsbezogenen Teilen von Steuerungen mittels Kategorien festzulegen. Eine mögliche Auswahl der Kategorien ist in Abb. 6-2 dargestellt.

Zu den Faktoren, die bei der Risikoabschätzung heranzuziehen sind, gehören:

- die Wahrscheinlichkeit einer Verletzung oder Gesundheitsgefährdung
- die Häufigkeit und Dauer der Gefährdungsexposition
- der höchste vorhersehbare Schweregrad einer Verletzung
- die mögliche Umgehung der Vermeidung von Gefährdungen.

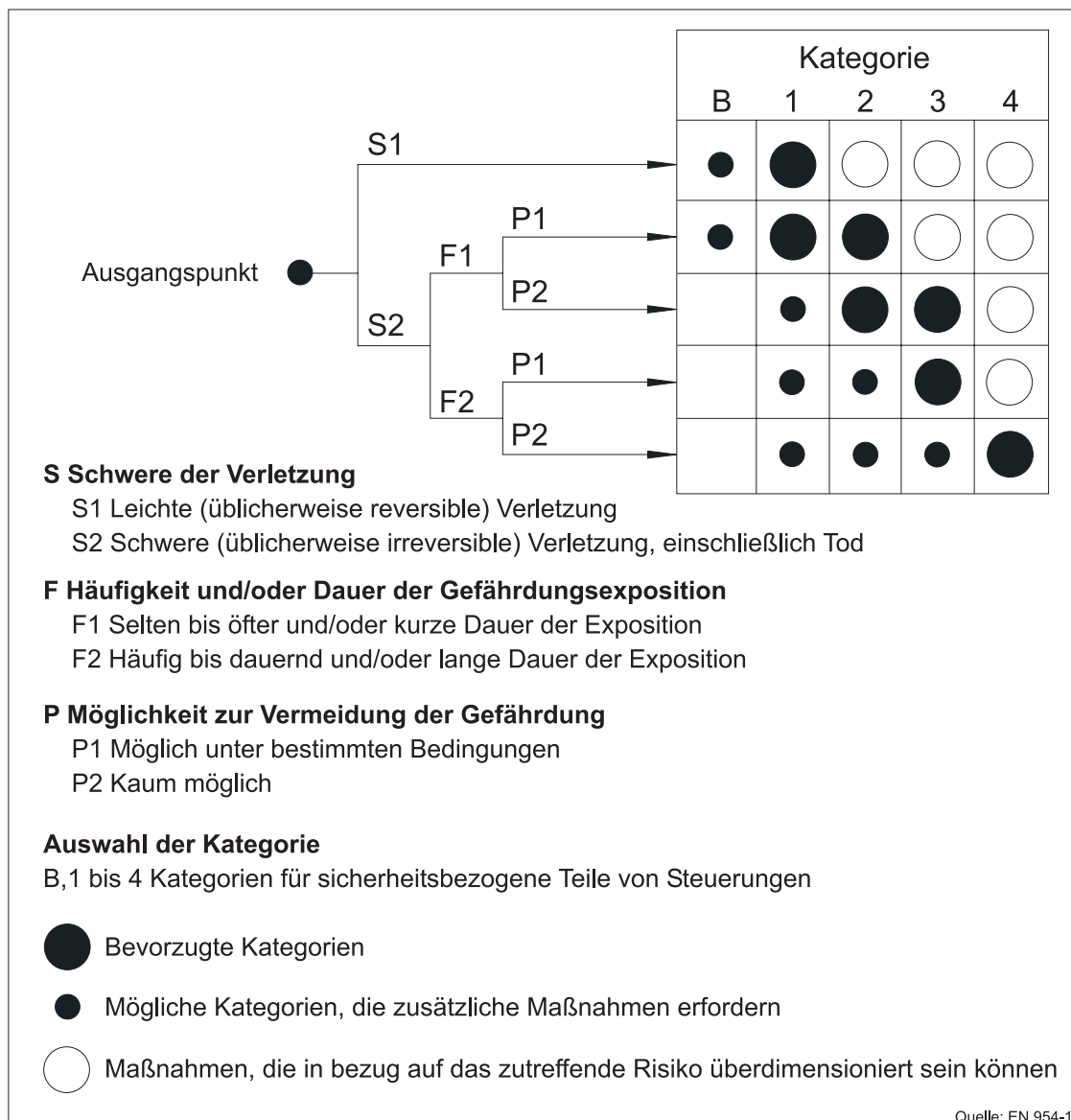


Bild 6-2: Mögliche Auswahl der Kategorien nach EN 954-1

Eine genauere Beschreibung, wie die Parameter S, F und P zu wählen sind, findet

sich in EN 954-1 Anhang B.2

Wenn diese Parameter im Rahmen der Risikoabschätzung bestimmt werden, ergibt sich eine von fünf Steuerungskategorien (B, 1, 2, 3, 4).

Kat. ¹⁾	Anforderungen	Systemverhalten ²⁾	Prinzipien zum Erreichen der Sicherheit
B	Die sicherheitsbezogenen Teile von Steuerungen und/oder ihre Schutzrichtungen sowie ihre Bauteile müssen in Übereinstimmung mit den zutreffenden Normen so gestaltet, gebaut, ausgewählt, zusammengestellt und kombiniert werden, dass sie den zu erwartenden Einflüssen standhalten können.	Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen.	Überwiegend durch Auswahl von Bauteilen charakterisiert
1	Die Anforderungen von B müssen erfüllt sein. Bewährte Bauteile und bewährte Sicherheitsprinzipien müssen angewendet werden.	Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens ist geringer als in Kategorie B.	
2	Die Anforderungen von B und die Verwendung bewährter Sicherheitsprinzipien müssen erfüllt sein. Die Sicherheitsfunktion muss in geeigneten Zeitabständen durch die Maschinensteuerung geprüft werden.	<ul style="list-style-type: none"> • Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion zwischen den Prüfungsabständen führen. • Der Verlust der Sicherheitsfunktion wird durch die Prüfung erkannt. 	Überwiegend durch die Struktur charakterisiert
3	Die Anforderungen von B und die Verwendung bewährter Sicherheitsprinzipien müssen erfüllt sein. Sicherheitsbezogene Teile müssen so gestaltet sein, dass <ul style="list-style-type: none"> • ein einzelner Fehler in jedem dieser Teile nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führt und • wann immer in angemessener Weise durchführbar, der einzelne Fehler erkannt wird. 	<ul style="list-style-type: none"> • Wenn der einzelne Fehler auftritt, bleibt die Sicherheitsfunktion immer erhalten. • Einige, aber nicht alle Fehler werden erkannt. • Eine Anhäufung unerkannter Fehler kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen. 	
4	Die Anforderungen von B und die Verwendung bewährter Sicherheitsprinzipien müssen erfüllt sein. Sicherheitsbezogene Teile müssen so gestaltet sein, daß <ul style="list-style-type: none"> • ein einzelner Fehler in jedem dieser Teile nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führt und • der einzelne Fehler bei oder vor der nächsten Anforderung an die Sicherheitsfunktion erkannt wird. Wenn dies nicht möglich ist, darf eine Anhäufung von Fehlern nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Wenn Fehler auftreten, bleibt die Sicherheitsfunktion immer erhalten. • Die Fehler werden rechtzeitig erkannt, um einen Verlust der Sicherheitsfunktion zu verhindern. 	

1) Die Kategorien sind nicht dazu bestimmt, in irgendeiner gegebenen Reihenfolge oder hierarchischen Anordnung in Bezug auf die sicherheitstechnischen Anforderungen angewendet zu werden.

2) Aus der Risikobeurteilung wird sich ergeben, ob der gesamte oder teilweise Verlust der Sicherheitsfunktion(en) aufgrund von Fehlern akzeptabel ist.

Tabelle 6-2: Steuerungskategorien nach EN 954-1

Für jede der Kategorien werden in EN 954-1 Anforderungen, z.B. an die Fehlerbeherrschung der Steuerung, gestellt. Die Anforderungen, die hinter den Kategorien aus EN 954-1 vereinbart wurden, sind in Tabelle 6-1 zusammengefasst. Im Folgenden wird die oben beschriebene Auswahl der Schutzkategorien für automatisierte Krananlagen im personenzugänglichen Umfeld durchgeführt.

Die Möglichkeiten der Verletzungen, die man durch automatische Krananlagen im personenzugänglichen Umfeld verursachen kann, reichen von leichten bis zu schweren auch irreversiblen Verletzungen bis einschließlich Tod. Diese Verletzungen können durch Kollision eines Menschen mit einem Element der Krananlage oder durch einen Lastabsturz eintreten.

Die Häufigkeit und Dauer der Gefährdungsexposition kann ohne weiteres von häufig bis dauernd eingestuft werden, da sich der Kran im personenzugänglichen Umfeld bewegt und somit Menschen jederzeit Zugang zur Anlage haben.

Im letzten Schritt ist zu prüfen, ob die Möglichkeit zur Vermeidung der Gefährdung gegeben ist. Hierzu wird geprüft, ob die Gefahr direkt oder nur durch Messinstrumente zu erkennen ist. Weitere wichtige Gesichtspunkte sind:

- beaufsichtigter oder unbeaufsichtigter Betrieb
- Betrieb durch Fachpersonal oder Laien
- Geschwindigkeit des Auftretens der Gefahr, z.B. schnell oder langsam
- Möglichkeiten zur Vermeidung der Gefährdung, z.B. durch Flucht oder Eingreifen Dritter
- praktische Erfahrungen mit der Sicherheit in Bezug auf den Prozessverlauf.

In Tabelle 6-3 ist das Ergebnis zur Auswahl der Steuerungskategorien dargestellt.

Kriterien	Auswahl	
Schwere der Verletzung	Schwere Verletzungen, einschließlich Tod durch Lastabsturz möglich	S2
Häufigkeit und/oder Dauer der Gefährdungsexposition	Dauernde Gefährdungsexposition	F2
Möglichkeiten zur Vermeidung der Gefährdung: - beaufsichtigter oder unbeaufsichtigter Betrieb - Betrieb durch Fachpersonal oder Laien - Schnelligkeit des Auftretens der Gefahr, - Möglichkeiten zur Vermeidung der Gefährdung, z.B. durch Flucht Eingreifen Dritter - praktische Erfahrungen mit der Sicherheit in bezug auf den Prozeßverlauf.	- unbeaufsichtigter Betrieb - automatischer Betrieb - sehr schnell bei Lastabsturz - keine Flucht möglich bei Lastabsturz - keine Erfahrungen im Betrieb	P2

Tabelle 6-3: Entscheidungsweg zur Kategorieauswahl nach EN 954-1

Unter Berücksichtigung des oben gezeigten Auswahlschemas erkennt man, dass die Kategorien 1 bis 3 mit Zusatzmaßnahmen oder Kategorie 4 für die Steuerung zu verwenden ist. Nach Absprache mit dem Fachausschuss Hebezeuge der Berufsgenossenschaft in Düsseldorf kann für automatisierte Krananlagen für den innerbetrieblichen

Behältertransport auch Kategorie 3 verwendet werden. Die niedrigeren Kategorien 1 und 2 mit Zusatzmaßnahmen werden hier wegen der mangelnden Erfahrung im Betrieb als zu unsicher ausgeschlossen. So stehen Kategorien 4 und 3 nach EN 954-1 für sicherheitsrelevante Teile der Steuerung und Sensoren zur Verfügung.

6.3 Verhalten bei Fehlern

Beim Kran ist im allgemeinen der sichere Zustand dann erreicht, wenn der oder die Antriebe stillgesetzt, die Bremsen eingefallen und die Leistungsenergie abgeschaltet wurde. Der sichere Zustand muss bei einem Kran in sehr kurzer Zeit erreicht werden. Es ist deshalb erforderlich, die Reaktionszeit der Steuerung so kurz wie möglich zu halten, da ansonsten gefährliche Betriebszustände entstehen können.

Die Steuerung muss dabei auch den Anforderungen, die an die unterschiedlichen Abschaltmethoden gestellt werden, gerecht werden.

In der DIN EN 60204-32 sind unterschiedliche Stopp-Kategorien definiert. Bei Kranen sind folgende unterschiedliche Arten der Abschaltung festgelegt worden:

1. Not-Aus, Vollständiges Trennen vom Netz
2. Not-Halt, Abschalten des Antriebes, sofort Trennen der Energie Kategorie 0
3. Ungesteuertes stillsetzen, sofort Trennen der Energie Kategorie 0
4. Gesteuertes Stillsetzen, erst Stopp dann Trennen der Energie Kategorie 1
5. Gesteuertes Stillsetzen, ohne Trennen der Energie Kategorie 2

7 Sicherheitsleitlinien

Der sichere Zustand einer automatisierten Krananlage ist dann erreicht, wenn die Antriebe stillgesetzt, der Energiezufluss getrennt, die Bremsen eingefallen sind und kein automatischer Wiederanlauf möglich ist. Geht man von dieser Maxime aus, so erhält man eine Krananlage, die immer still steht [38]. Es sind also Lösungen zu finden, die es einerseits ermöglichen, die bestehenden Gefährdungen für Personen zu minimieren und andererseits den Betrieb und die Flexibilität so wenig wie möglich einschränken.

Ausgehend von der in Kapitel 5 durchgeführten Gefahrenanalyse können nun gezielt die Gesichtspunkte in Bezug auf das Sicherheitskonzept einer automatischen Krananlage betrachtet werden, die hinsichtlich einer Gefährdung für Personen von Bedeutung sind. Diese hier vorgestellten Lösungen wiederum werden einer sicherheitstechnischen Prüfung unterzogen, um einerseits deren Wirksamkeit feststellen zu können, und andererseits zeigen zu können, dass von diesen Sicherheitsmassnahmen selbst keine Gefahren ausgehen.

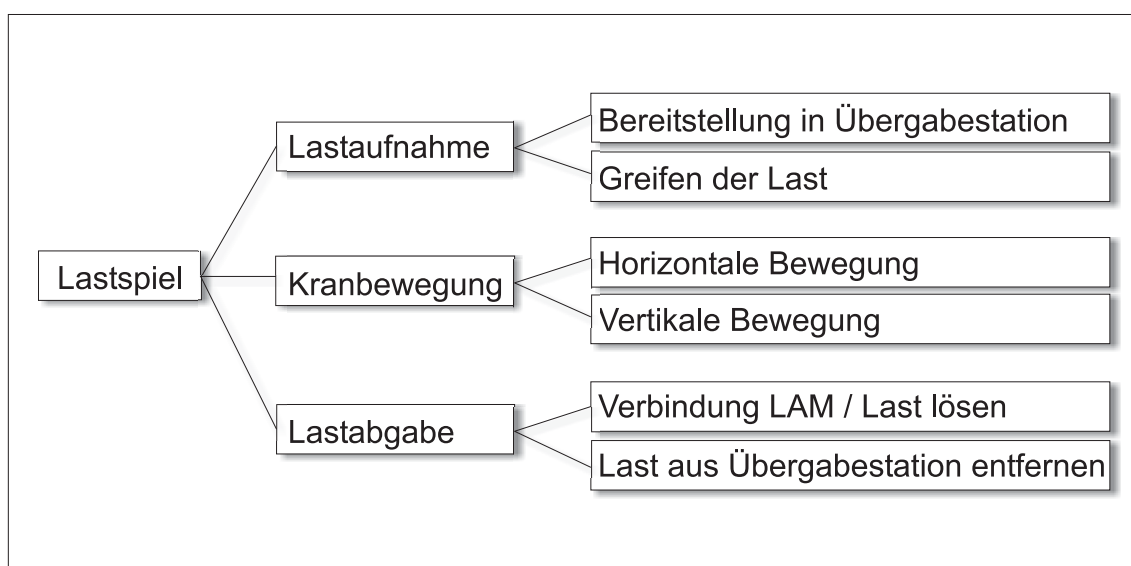


Bild 7-1: Kranlastspiel

Um aus den bekannten Gefahren und dem bekannten Risiko Lösungen zu finden, ist es sinnvoll, sich die auftretenden Gefahren anhand eines Kranlastspieles zu vergegenwärtigen. Dabei lassen sich die drei Teilarbeitsschritte, wie in Abbildung 7-1 dargestellt, in

- Lastaufnahme
- Kranbewegung und
- Lastabgabe

zur genaueren Untersuchung unterscheiden, wobei sich die Lastaufnahme in das „Positionieren der Last in der Übergabestation“ und „Last greifen“ gliedert. Bei der Kranbewegung lassen sich horizontale und vertikale Bewegungen unterscheiden. Die Lastabgabe gliedert sich in „Lösen der Verbindung von Last und Lastaufnahmemittel“ und „Entfernen der Last aus der Übergabestation“ [41], [42].

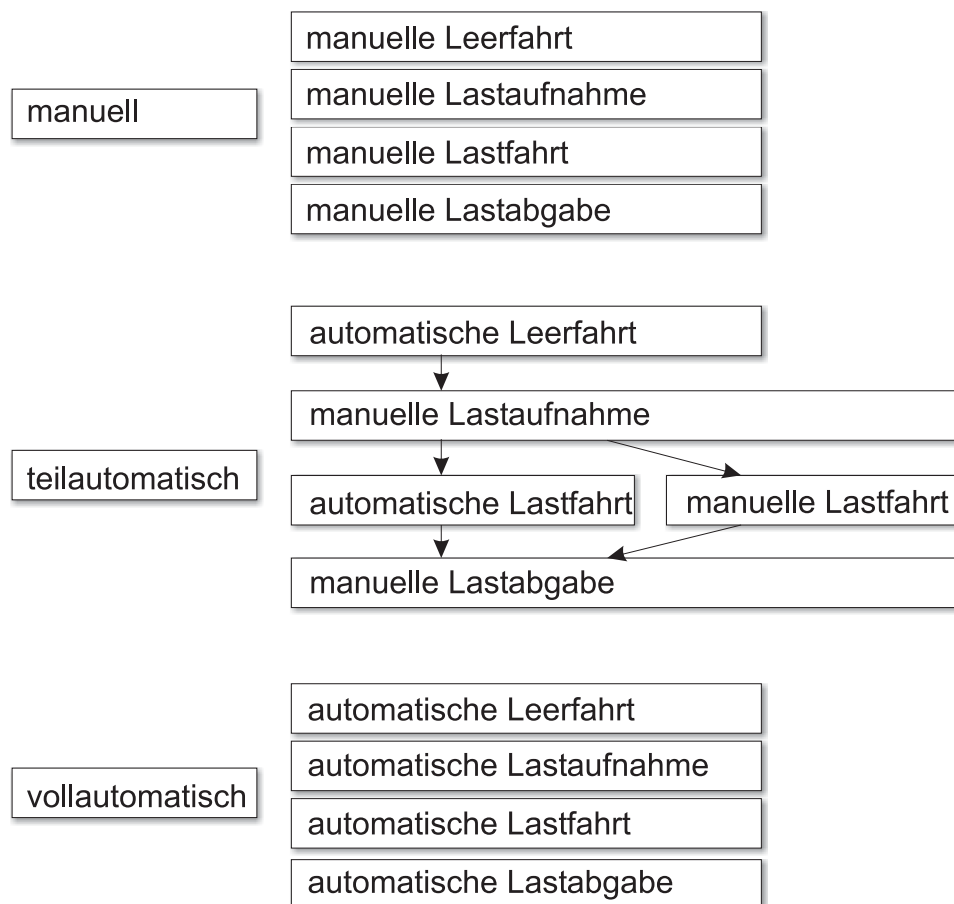


Bild 7-2: Automatisierungsstufen

Neben den zu untersuchenden Arbeitsschritten des Lastspieles ist noch zu unterscheiden, in welchem Automatisierungsgrad der Kran betrieben wird. Dabei sind die Zustände, wie in Abbildung 7-2 dargestellt, manueller Modus, teilautomatisierter Modus und vollautomatischer Modus zu unterscheiden. Im teilautomatisierten Modus ist wiederum zu unterscheiden, ob der Kran nur eine automatisierte Leerfahrt oder auch

eine automatisierte Lastfahrt durchführt. Für die Übergänge zwischen den einzelnen Modi des teilautomatisierten Betriebes, gilt es hier auch entsprechende Lösungen zu finden, die die Risiken für Personen durch den automatisierten Kranbetrieb minimieren.

Der Bereich der rein manuellen Kranbedienung sei hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt. Dafür sind keine besonderen Sicherheitsmaßnahmen notwendig, da es sich hier um einen klassischen Kran handelt, der im Betrieb durch den Kranführer überwacht wird.

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Teilpunkte eines Kranlastspieles erläutert. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Reihenfolge eines Lastspieles immer mit dem Bereitstellen der Last beginnt. Danach folgt die Leerfahrt zur Position der Lastaufnahme. Abgeschlossen wird das Lastspiel mit der Lastfahrt und der anschließenden Lastabgabe.

7.1 Horizontale Kranbewegung

Im folgenden Abschnitt wird darauf eingegangen, wie man das Risiko, das von den automatischen Kranbewegungen ausgeht, minimieren kann. Dabei sind horizontale und vertikale Kranbewegungen zu unterscheiden. Horizontale Kranbewegungen treten bei Leerfahrt oder Lastfahrt auf. Vertikale Kranbewegungen treten vor und nach einer Lastaufnahme oder Lastabgabe auf.

Nach Bereitstellung einer Last zur Lastaufnahme und der Quittierung dieses Vorganges setzen sich der Kran und Katze gemeinsam oder getrennt in Bewegung, nachdem der Kran durch einen Leitrechner oder durch einen manuellen Kranruf einen Fahrauftrag zur Position der Lastaufnahme erhalten hat. Dabei muss nicht unterschieden werden, ob der Kran sich im teilautomatisierten oder im vollautomatisierten Modus befindet, da in beiden Fällen die gleiche automatische Bewegung vorliegt.

Um nun eine Kollision mit Personen oder anderen Elementen der Umwelt zu vermeiden, ist für horizontale Kranbewegungen das Fahren in höchster Laststellung vorgesehen. Um diese Vorgabe zu erfüllen, müssen automatische Kranbewegungen in einem Raum mindestens 2,7 m oberhalb des Personenbereichs stattfinden. Zusätzlich darf der Abstand zu Hindernissen in alle Richtungen eine Entfernung von 0,5 m nicht unterschreiten [DIN 292-1], [DIN 1050], damit hier keine Gefährdungen durch Kollisionen mit Elementen der Umwelt entstehen.

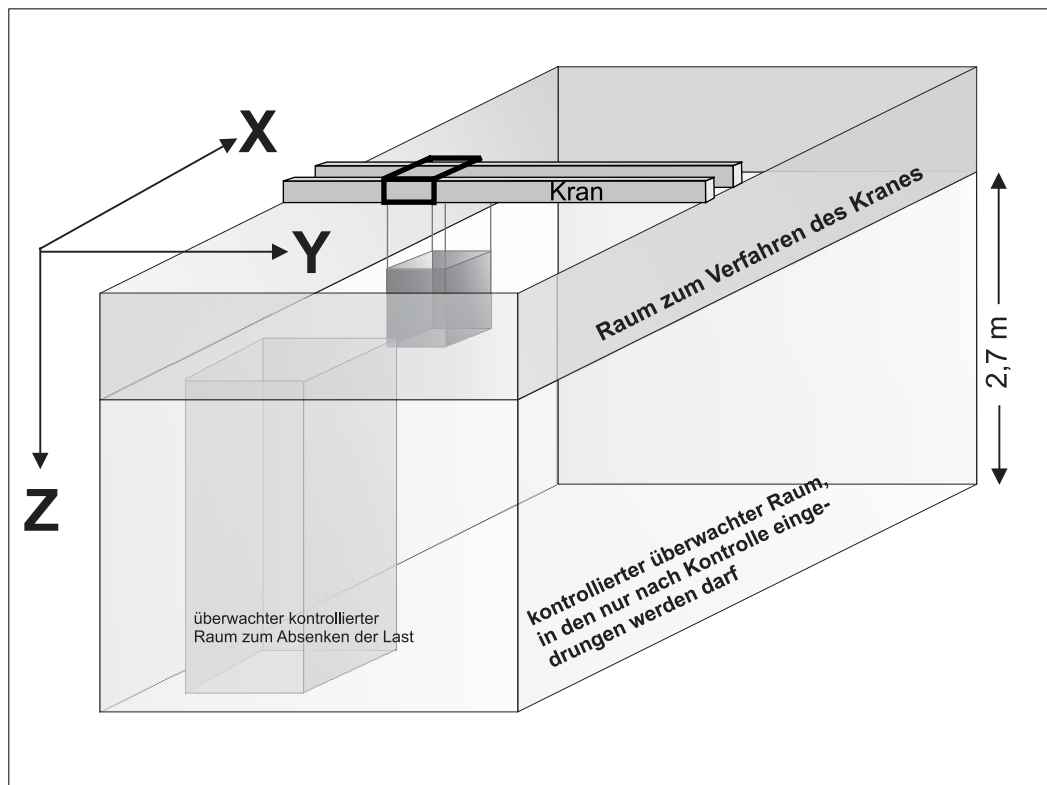


Bild 7-3: Sichere Raumstruktur

So erhält man, wie in Abbildung 7-3 dargestellt, einen überwachten und kontrollierten Raum über einem sog. Schutzraum, in dem sich Menschen aufhalten. Dieser Raum zum Verfahren des Kranes ist frei von Hindernissen, womit eine Kollision mit anderen Umweltelementen weitestgehend ausgeschlossen werden kann. Bei einer Gefahrenanalyse für dieses Konzept stellt sich das Problem, wie ein unbeabsichtigtes Verlassen des Kranes aus seinem Bewegungsraum verhindert werden kann.

Hierzu kann eine Verriegelung zwischen Krankatze und Lastaufnahmemittel zusätzliche Sicherheit hinsichtlich eines ungewollten Absenkens der Last durch Steuerungsfehler, Versagen des Hubwerks (Bruch der Antriebswelle) oder Kippen des Motors in den Personenbereich bringen.

Für Verriegelungen zwischen Krankatze und Lastaufnahmemittel gibt bereits viele bewährte und erfolgreich getestete Systeme. So eine Verriegelung muss selbstsicher gestaltet sein, d.h. dass im energielosen Zustand die Verriegelung sicher greift. Weiterhin muss das Verriegeln auch energielos funktionieren, damit unter allen Umständen der sichere, also verriegelte Zustand, erreicht wird. Hier können beispielsweise federgeführte Haken oder Bolzen, wie in Abbildung 7-4 dargestellt, die elektromagnetisch entriegelt werden eine Lösung darstellen. Bei einem Einsatz von Verriegelungen ist jedoch darauf zu achten, dass bei einem Fehlverhalten keine größere Gefahr ausgeht als ohne Verriegelung. So darf bei einem Absenken der Last ohne vorher geöffnete

Verriegelung kein „Seilsalat“ entstehen, was jedoch durch die Schlaffseilsicherung des Hubwerks verhindert werden kann.

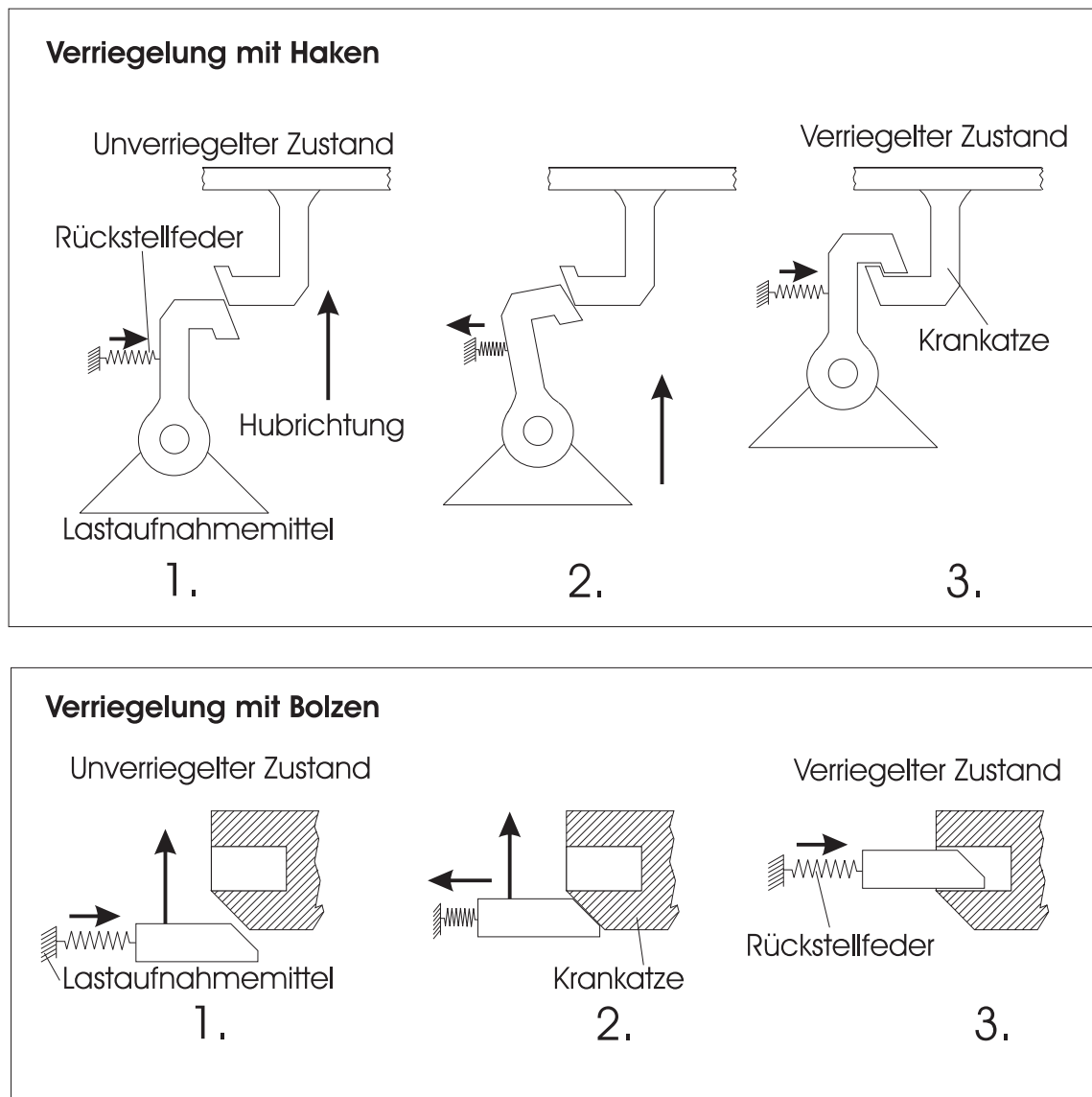


Bild 7-4: Mögliche selbstsichere Verriegelungen

Hat man ein Kranfeld mit mehreren Kranbrücken oder Kranbrücken mit mehreren Krankatzen, so sind Kollisionen von Krankatzen oder Kranbrücken untereinander, hervorgerufen durch Fehler im Steuerungs- oder Wegmesssystem, zu verhindern. Dies kann durch Näherungsschalter an Lanzen und Endschalter verhindert werden. Ein Ausfall dieser Sensoren, z.B. durch einen Drahtbruch, stellt einen aktiven Fehler dar, der das Stillsetzen des Kranes zur Folge haben muss. Passive Fehler dieser Sensoren werden dann nur bei einem gleichzeitigen Fehler der Kransteuerung zu Gefährdungen führen.

Betreibt man ein Kransystem mit mehreren Kranbrücken auf einer Kranbahn und diese gemischt manuell und automatisiert, so ist darauf zu achten, dass es zwischen

Kranen, die in verschiedenen Modi betrieben werden, keine Beeinträchtigungen gibt. Da ein automatisch fahrender Kran die zukünftigen Bewegungsabläufe eines manuell bedienten Kranes nicht vorhersehen kann, ist hier ein gewisses Gefahrenpotential vorhanden. Zu lösen ist dies damit, dass ein automatisch bedienter Kran sich nur bis zu einem bestimmten Bereich an einen manuell bedienten Kran und umgekehrt nähern darf. Dieser Sicherheitsabstand richtet sich nach der Geschwindigkeit und dem Bremsvermögen der beiden Krane, ohne einen Lastabsturz zu provozieren. Ein Mindestabstand von einem halben Meter, wie in Abbildung 7-5 dargestellt, wie auch bei anderen Hindernissen, ist auf jeden Fall einzuhalten. Demnach muss auch einem manuell bedienten Kran im Umfeld von automatisiert fahrenden Kranen die Position der automatisiert fahrenden Krane jederzeit vorliegen, um gegebenenfalls eine Kollision verhindern zu können.

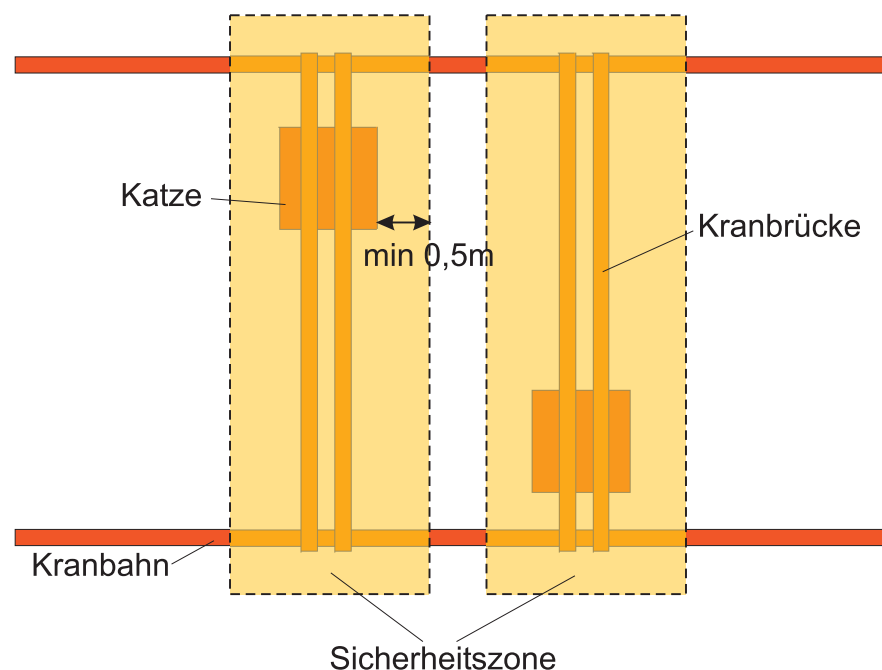


Bild 7-5: Sicherheitsabstand

Bekannte und ortsunveränderliche Hindernisse im Verfahrraum des Kranes müssen durch Umfahrsteuerungen umgangen werden. Dabei sind die Positionen der Katze und Kranbrücke durch ein absolutes Wegmesssystem zu überwachen, damit durch einen Stromausfall kein Verlust der Positionsdaten oder Fehlpositionierungen durch falsche Referenzierungen auftreten können. Bei absoluten Wegmesssystemen bleibt die jeweils erreichte Position im System erhalten oder ist leicht wieder herzustellen. Fehler im Steuerungssystem, die eine falsche Interpretation der Positionsdaten zur Folge haben, können allerdings nur schwer erkannt werden. Daher sind, wie später beschrieben, Sicherheitssteuerungen und die unten beschriebenen Hilfsmittel zur redundanten Positionsüberprüfung zu verwenden.

Das Problem von unvorhergesehenen Hindernissen im Verfahrraum der Kranbrücke oder der Katze ist technisch sehr aufwendig zu lösen, weshalb hier eine Lösung durch hinweisende Sicherheitstechnik und entsprechende Einarbeitung des Personals zum Erreichen der Sicherheit angestrebt wird. Eine technische Lösung erfordert ein dreidimensionales Abtasten des Verfahrraumes nach Hindernissen. Dazu sind Sensoren, wie zum Beispiel Laserscanner, an fünf Seiten, nämlich den vier Seitenflächen und auf der Unterseite, anzubringen, um in alle Verfahrrichtungen eine Raumbewachung zu ermöglichen. Ein Sicherungssystem dieser Art ist einerseits wegen der hohen Investitionskosten unwirtschaftlich und andererseits auch wegen seiner schweren Einstellbarkeit durch nicht immer gleiche Abstände zu Hindernissen nicht zuverlässig zu realisieren. Die Flexibilität und Verfügbarkeit der Anlage wäre damit sehr beeinträchtigt, was dem Grundgedanken, ein automatisiertes flurfreies Fördersystem zu verwenden, diametral widerspricht.

Die hinweisende Sicherheitstechnik und entsprechende Einarbeitung des Personals sind nach Ansicht der Berufsgenossenschaft ausreichend, da auch bei manuell bedienten großen Brückenkränen nicht der ganze Verfahrraum des Kranes durch den Kranführer von seinem Führerstand aus kontrolliert werden kann. Es sind also entsprechende Verhaltensregeln beim Gebrauch großer Gegenstände, die in den Verfahrraum des Kranes hineinragen können, wie z.B. Leitern oder Montagegerüste, erforderlich. Die Praxis im Bereich von großen Brückenkränen hat gezeigt, dass das verbleibende Restrisiko vertretbar ist.

Vor einer horizontalen Kranbewegung sind also die vertikale Position des Lastaufnahmemittels und dessen Verriegelung in höchster Laststellung zu überprüfen. Außerdem ist für die Hindernisfreiheit des Fahrweges zu sorgen, um sicher zu stellen, dass sich der Kran in einem freien Fahrbereich befindet.

7.2 Vertikale Kranbewegung

Vertikale Kranbewegungen sind, genauso wie horizontale Kranbewegungen, vom Personenbereich zu trennen. Eine automatische vertikale Kranbewegung darf also nur stattfinden, solange der Kran sich über einem überwachten kontrollierten Raum zum Absenken der Last befindet. Überwachte und kontrollierte Bereiche erhält man durch eingezäunte oder anders abgesicherte Übergabestationen. Innerhalb dieser Bereiche bewegt sich die Last in einem gesicherten Raum, damit es nicht, wie im Fehlerbaum in Abbildungen 5-1 bis 5-5 dargestellt, zu einer Kollision zwischen Kran und Mensch kommt. Eine genauere Beschreibung der Übergabestationen findet sich nachfolgend in Abschnitt 7.6.

Auch bei den vertikalen Bewegungen ist, wie bei den horizontalen Kranbewegungen, sicher zu stellen, dass keine Fehler aus Teachvorgängen oder Fehler des Wegmesssystems wirksam werden. Um sicher zu stellen, dass ein Absenken einer Last

nur innerhalb des kontrollierten und überwachten Raumes stattfindet, ist die Position der Krankatze mit einem diversitären System vor einer automatischen vertikalen Bewegung zu überprüfen. Hierzu bietet sich z.B. ein Lichttaster zwischen Katze und Übergabestation an. Befindet sich die Katze an der richtigen Position, wird das Lichtsignal des Lichttasters durch einen Reflektor, der an der Übergabestation befestigt ist, reflektiert. Somit wird eine Freigabe für das Absenken einer Last erteilt. Der Ausfall dieses Systems birgt keine weiteren Gefahren, da in diesem Fall keine Kranbewegung gestattet wird. Die Empfindlichkeit der Lichttaster kann so weit eingestellt werden, dass eine Reflexion von anderen Gegenständen im Raum ausgeschlossen werden kann, da diese sowieso durch den Sicherheitsabstand von einem halben Meter nicht so nah an den Verfahrraum des Kranes heranreichen dürfen.

Weiterhin sind vor und während des Absenkens einer Last noch weitere Zustände zu prüfen. Es ist sicherzustellen, dass Kranbrücke und Katze vor und während des Hubvorganges nicht in Bewegung sind. Dies kann durch einen kontinuierlichen Vergleich der Soll- und Istwerte der Positionsdaten oder durch die eine Verriegelung der Bremse erreicht werden. Sollten sich die Positionsdaten von Kran oder Katze während des Hubvorganges ändern, ist der Hub sofort zu beenden.

Zusätzlich ist vor dem Absenken des Lastaufnahmemittels zu prüfen, ob ein Kranzugriff auf die Übergabestation erfolgen darf. Erst nachdem eine Freigabe von der Übergabestation vorliegt, darf das Lastaufnahmemittel in diese Übergabestation abgesenkt werden. Eine Freigabe darf erst dann erfolgen, wenn sich kein Mensch in der Übergabestation befindet, und die Zugänge geschlossen und überwacht sind. Weiterhin muss beim Absenken von Lasten in die Übergabestation eine Belegungsprüfung erfolgen, damit nicht zwei Lasten aufeinander gestellt werden können.

Wird ein leeres Lastaufnahmemittel abgesenkt, um eine Last aufzunehmen, sind die Positionen der Greifer am Lastaufnahmemittel zu überprüfen, damit nicht der Greifmechanismus des Lastaufnahmemittels und die Last kollidieren. Außerdem ist die Lastfreiheit des Lastaufnahmemittels zu prüfen, damit nicht zwei Lasten in der Übergabestation kollidieren.

Beim Anheben von Lasten oder des leeren Lastaufnahmemittels ist die Freigängigkeit der Last zu prüfen, um ein Verklemmen oder Verhaken der Last am Boden oder anderen Elementen, z.B. an Zentrierungen, Zaun, Lager zu erkennen. Damit wird eine Selbstzerstörung der Anlage verhindert. Die Freigängigkeit der Last wird mit der Überlastsicherung des Hubwerks bereits geprüft, so dass hier keine weiteren Maßnahmen erforderlich sind.

Zusätzlich ist es sinnvoll, für Senkvorgänge die Schlaffseilsicherung zur Feststellung von Kollisionen bei vertikalen Bewegungen zu verwenden, damit der Senkvorgang beendet wird, falls die Last unvorhergesehen aufsetzt. Es ist allerdings zu vermerken, dass dies bei schweren Lasten keinen Personenschutz darstellt, da diese dann vor

der Schaffseilerkennung verletzt werden. Auf diese Weise können nur ein Kippen der Last, und damit auch Folgegefährdungen, wie z.B. ein Herabfallen von Gegenständen, verhindert werden.

Wird der Kran im teilautomatisierten Modus betrieben, so ist bei vertikalen Bewegungen besonders der Übergang vom manuellen in den automatisierten Modus zu betrachten. Hubbewegungen außerhalb von Übergabestationen können auch im teilautomatisierten Betrieb ab einer Höhe von 2,7m automatisch ablaufen. So ist der Bediener nicht darauf angewiesen den Hubvorgang bis zu Ende zu beobachten, sondern nur innerhalb des Bereiches, in dem Gefahren für Personen auftreten können. Wenn die Last noch nicht in höchster Laststellung verriegelt ist und sich schon Personen unterhalb dieser schwebenden Last aufhalten, entsteht bei dieser Betriebsart ein erhöhtes Risiko. Ein mechanischer Defekt bei Seil oder Hubwerk würde hier gegebenenfalls zum Unfall führen.

Ein automatisches Absenken der Last außerhalb von Übergabestationen, auch nur auf Teilhöhen, verbietet sich von selbst, da hier die Verriegelung aufgehoben wird und somit deren Schutzwirkung aufgehoben ist. Hier darf nur unter Kontrolle eines Bedieners gearbeitet werden.

7.3 Lastaufnahme

Die Lastaufnahme gliedert sich in das Bereitstellen der Last an dem Ort, an dem diese vom Kran aufgenommen werden soll, und in das Greifen der Last durch das Lastaufnahmemittel. Unter „Greifen der Last“ wird hier das Herstellen einer formschlüssigen Verbindung zwischen Last und Lastaufnahmemittel verstanden. Bei vollautomatisiertem Betrieb hat das Bereitstellen der Last in Übergabestationen zu erfolgen. Diese sind so auszuführen, dass Menschen, wie schon oben beschrieben, durch die automatisierte vertikale Kranbewegung nicht gefährdet werden. Eine genaue Beschreibung der Übergabestation folgt in Abschnitt 7.6.

Das Bereitstellen einer Last kann manuell oder automatisiert durch Flurfördertechnik erfolgen. Bevor eine Last in der Übergabestation positioniert wird, ist zu überprüfen, ob die Übergabestation bereit ist, eine Last aufzunehmen. Dabei ist zu prüfen, ob die Übergabestation bereit zum Betreten oder zur automatischen Bereitstellung der Last ist. Dies ist immer dann der Fall, wenn kein Kranzugriff vorliegt, um Gefährdungen durch ein sich absenkendes Lastaufnahmemittel auszuschließen.

Um zu verhindern, dass ein Zutritt zu einer Übergabestation erfolgt, wenn diese durch einen Kranzugriff belegt ist, ist die Zugangstür zu überwachen. Bei einem Öffnen der Tür, ist die Kranbewegung dann unverzüglich still zu setzen. Einen höheren Sicherheitscharakter haben Türzuhaltungen, die die Tür erst nach Beendigung des Kranzugriffes auf die Übergabestation freigeben. Damit ließe sich auch der Vorteil einer erhöhten Verfügbarkeit realisieren, da der Kran in seiner Tätigkeit nicht unab-

sichtlich durch Personen beeinträchtigt wird.

Ist der Mitarbeiter für eine manuelle Bereitstellung der Last in der Übergabestation, ist sicherzustellen, dass kein Zugriff durch einen Kran auf diese Übergabestation erfolgt. Ein Kranzugriff darf nur erfolgen, wenn der Kran eine Freigabe zum Zugriff von der Übergabestation erhalten hat. Diese darf nur, wie schon oben beschrieben, gegeben werden, wenn eine Quittierung für den Bereitstellungsvorgang der Last in der Übergabestation vorliegt.

Damit es zu keiner Kollision von Last und Lastaufnahmemittel bzw. Ladehilfsmittel kommt, sind diese richtig zueinander zu positionieren. Die richtige Positionierung der Last in der XY-Ebene kann auf sehr einfache Weise durch Zentrierschrägen erfolgen, die das Positionieren der Last nur an einer bestimmten Stelle innerhalb der Übergabestation ermöglichen. Weiterhin kann auch ein Greifsystem mit großen Greiftoleranzen Fehler aus einer schlechten Positionierung ausgleichen. Die richtige Positionierung in der Z - Achse (Höhe des LAM zur Last) kann durch optische Sensoren, die sich an der Kontur des Ladehilfsmittels orientieren oder durch Schalter, die beim Aufsetzen auf das Ladehilfsmittel das Hubwerk stillsetzen, erfolgen.

Ist die Last in der Übergabestation positioniert, muss dieser Vorgang vom Mitarbeiter quittiert werden, damit der Kran wieder auf die Übergabestation zugreifen kann. Mit dieser Quittierung bestätigt der Mitarbeiter, dass er die Last richtig in der Übergabestation positioniert hat, und sich nach dem Schließen der Tür keine weiteren Personen in der Übergabestation befinden. Die Quittierung kann nur erfolgen, wenn die Tür zu Übergabestation geschlossen ist. Das Quittieren darf nur über einen von außen erreichbaren Schalter erfolgen, damit der Mitarbeiter, der die Last in der Übergabestation positioniert, diese erst verlassen muss.

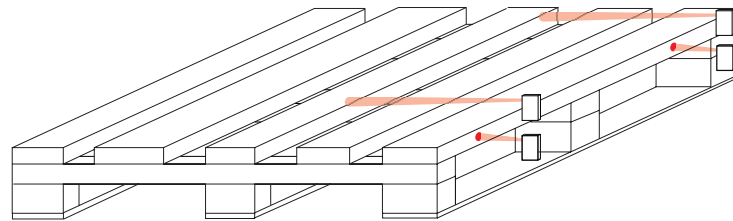
Sind die Last in der Übergabestation positioniert und dieser Vorgang quittiert, fährt der Kran zur Übergabestation und senkt das Lastaufnahmemittel ab, um die Last zu greifen. Für eine erfolgreiche Lastaufnahme ist zunächst auf eine richtige Positionierung von Ladehilfsmittel (z.B. Gitterbox, Palette) und Lastaufnahmemittel (Greifer) zueinander zu achten, damit ein formschlüssiger Greifvorgang stattfinden kann. Nur das formschlüssige Greifen kann als sicher betrachtet werden, da dieses auch bei einem Energieverlust die Last sicher hält.

Für den richtigen Greifvorgang sind die richtige Positionierung in der XY Ebene (Position des Lastaufnahmemittels über der Last) und die richtige Positionierung in der Z Achse (Höhe des Lastaufnahmemittels zur Last) zu überprüfen. Die Positionierung in XY-Ebene erfolgt, wie schon oben beschrieben, über Zentrierschrägen. Die Überprüfung der richtigen Position in Z-Richtung kann durch vielerlei optische und taktile Sensoren erfolgen. Ein Lösungsvorschlag nach Handrich und Bambynek [23],[18] ist das Abtasten der Geometrie durch Lichttaster.

Wie in Abbildung 7-6 dargestellt, werden hier zwei Lichttaster übereinander am Last-

aufnahmemittel montiert. Wird das Lastaufnahmemittel abgesenkt, erhält man je nach Position des Lastaufnahmemittels zum Ladehilfsmittel unterschiedliche Rückmeldungen der Lichttaster. Ein Schließen des Greifmechanismus ist dann erst erlaubt, wenn die unteren Lichttaster kein Hindernis für die Greifer melden und die oberen Lichttaster das Vorhandensein eines Ladehilfsmittels bestätigen.

Positionierung zum Greifen noch nicht erreicht



Positionierung zum Greifen erreicht

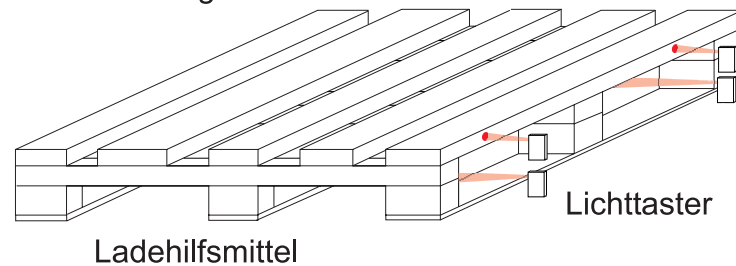


Bild 7-6: Positionierung über Lichttaster

Eine weiterhin sehr praktische Lösung stellt ein Lastaufnahmemittel dar, das sich, wie von Handrich und Bambynek [23],[18] vorgestellt, selbst über der Last zentriert, und somit Positioniertoleranzen ohne aufwendige Sensorik ausgleicht. Auf diese Weise wird ein formschlüssiges und sicheres Greifen der Last ermöglicht.

Neben dem Greifvorgang ist auch die zu transportierende Last auf ihre Transportfähigkeit im automatisierten System zu überprüfen. Die zu greifende Last besteht aus einem Ladehilfsmittel und dem zu transportierenden Gut. Dabei darf das Ladehilfsmittel nicht zu groß sein, um Kollisionen mit dem Lastaufnahmemittel zu vermeiden. Darüber hinaus darf das Ladehilfsmittel nicht zu klein sein, damit ein korrekter formschlüssiger Greifvorgang stattfinden kann, und das Ladehilfsmittel richtig mit dem Lastaufnahmemittel verbunden ist. Weiterhin müssen Lastaufnahmemittel und Ladehilfsmittel zum formschlüssigen Greifen geeignet sein.

Um die oben genannten Punkte wirkungsvoll während des Betriebes überprüfen zu können, ist eine Vielzahl optischer oder taktiler Sensoren notwendig, um eine erforderliche Greifgeometrie zu überprüfen. Andere Punkte, wie der ordnungsgemäße Zustand einer Euro-Palette, sind sehr schwer automatisiert zu überprüfen. Daher ist es sinnvoll, in einem Betrieb standardisierte Behälter zu verwenden, die den An-

sprüchen eines automatisierten Transportes genügen. Lasten auf nicht sicheren Ladehilfsmitteln, wie zum Beispiel Holzpaletten, sind, wie in Abbildung 7-7 dargestellt, für den automatischen Weitertransport auf eine sichere Adapterpalette aus Metall oder Kunststoff zu setzen. Dadurch können beliebige Lasten in den automatisierten Materialfluss sicher eingeschleust werden. Auf diese Weise wird nicht nur die Sicherheit des Kranbetriebes, sondern auch die Flexibilität der Anlage beträchtlich erhöht, da eine uniforme Ladeinheitenbildung vorliegt. Diese standardisierten Adapterpaletten können einfach einer periodischen Kontrolle innerhalb des Betriebes unterzogen werden, um hier sicherheitsgefährdende Beschädigungen frühzeitig zu erkennen. Weiterhin kann man auf diese Weise die Belastungen der verwendeten Ladehilfsmittel kontrollieren, wodurch ein rechtzeitiger Austausch am Ende der Lebensdauer veranlasst werden kann. In Verbindung mit einem geschlossenen Lastaufnahmemittel ergibt sich, wie weiter unten beschrieben, eine sicher transportierbare Einheit.

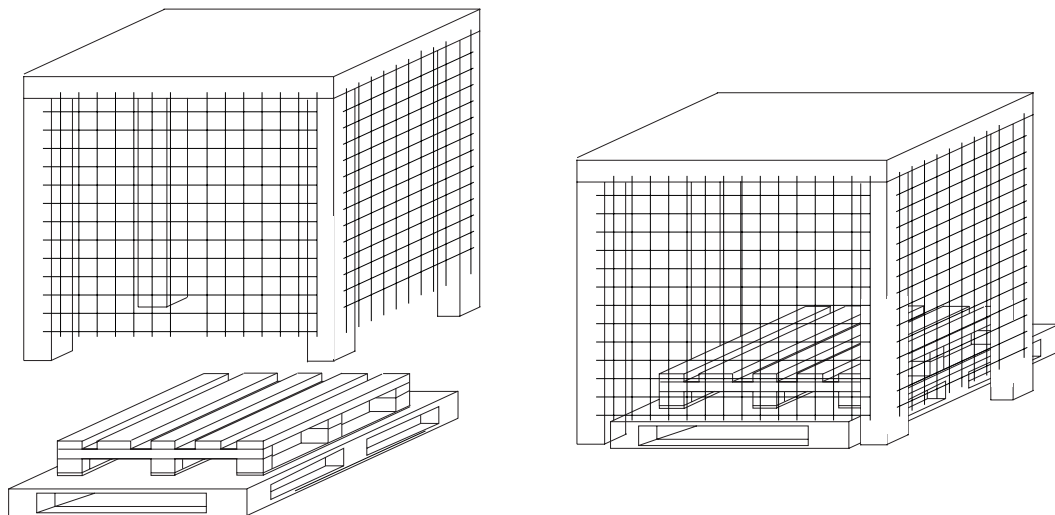


Bild 7-7: Unsicheres Ladehilfsmittel auf Adapterpalette

Neben dem richtigen Ladehilfsmittel ist auch die Richtigkeit der Last zu überprüfen. Dabei sind das Gewicht der Last und deren Größe zu überprüfen. Das Gewicht wird durch eine Standard-Überlastsicherung überprüft. Bei zu hohem Gewicht wird der Hub durch die Steuerung verweigert.

Der Größe der Last kommt eine erhebliche Bedeutung zu. Ist die Last zu groß, kann diese mit Elementen der Umwelt kollidieren, da das Lichttraumprofil des Verkehrsweges überschritten wird. Ist die Last zu klein, kann diese aus einem Behälter, wie z.B. eine Gitterbox, herausfallen. Um diese Gefährdungen ausschließen zu können, ist ein geschlossenes Lastaufnahmemittel, wie in Abbildung 7-7 dargestellt, erforderlich. So kann die Aufnahme zu großer Lasten ausgeschlossen werden, da das Lastaufnahmemittel vor einem Greifvorgang mit der Last kollidiert. Zusätzlich werden durch geschlossene Lastaufnahmemittel oder Ladehilfsmittel sehr kleine Lasten daran ge-

hindert, herab zu fallen. Das Positionieren zu großer Lasten in der Übergabestation kann ausgeschlossen werden, indem die Öffnung der Übergabestation so groß gestaltet wird, dass nur Lasten bis zu einer bestimmten Größe durch diese Öffnung transportiert werden können.

Nach einer erfolgreichen Lastaufnahme mit den oben beschriebenen Überprüfungen ist weiterhin ein Absturz der Last oder von Teilen der Last in den Personenbereich auf jeden Fall zu verhindern, da beim automatisierten Kranbetrieb über Personen hinweg gefahren wird, und sich somit eine besondere Gefährdung darstellt. Wie schon oben dargestellt, sind dazu eigensichere Schutzmaßnahmen, wie ein geschlossenes Lastaufnahmemittel oder geschlossene Ladehilfsmittel, geeignet. Zur sicheren Verbindung vom Lastaufnahmemittel mit der Krankatze sind ein Mehrseilbetrieb und ein Mehrgreiferbetrieb von Bedeutung. Eine gesicherte Kraftkette von Motor bis Seiltrommel ist durch eine Bremse an der Seiltrommel vorzusehen. Mit einer zusätzlichen Maßnahme kann das Lastaufnahmemittel mit einem Netz oder Korb unterfangen oder durch eine mechanische Verriegelung mit der Katze gesichert werden.

Wird die Krananlage manuell oder teilautomatisiert genutzt, ist bei einer manuellen Lastaufnahme auszuschließen, dass nicht geeignete Ladehilfsmittel für einen weiteren automatischen Transport verwendet werden können. Die Lastaufnahmemittel sind derart zu gestalten, dass nur Ladehilfsmittel gegriffen werden können, die für einen weiteren automatisierten Transport sicher sind. Dabei ist weniger die Lastaufnahme, die vom Kranführer überwacht wird, als das Ergebnis der Lastaufnahme sicherheitstechnisch zu betrachten, da dieses für die weitere automatische Handhabung von Bedeutung ist. Aus diesem Grund sind die gleichen Sicherheitsüberprüfungen, wie oben auch für den vollautomatischen Betrieb beschrieben, durchzuführen.

7.4 Lastabgabe

Die automatische Lastabgabe stellt ein geringeres Problem als die Lastaufnahme dar, denn das Ausschleusen von Elementen aus einem automatisierten System ist einfacher als das Einschleusen. Bei der Lastabgabe ist die Situation, in der das Lastaufnahmemittel die Verbindung zum Ladehilfsmittel löst, zu überprüfen. Hier darf das Lastaufnahmemittel nur dann die Verbindung zum Ladehilfsmittel lösen, wenn die Last nicht mehr schwebt, damit es zu keinem Lastabsturz kommt. So ist zu überprüfen, ob das Ladehilfsmittel auf einer geeigneten Stelle steht. Hierbei kann die Überlastsicherung als Waage prüfen, ob das Lastaufnahmemittel lastfrei ist. Weiterhin kann auch mit dem oben beschriebenen Lichttastersystem festgestellt werden, ob das Ladehilfsmittel schon auf festem Grund steht oder noch, auf dem Lastaufnahmemittel ruhend, in der Luft schwebt. Sobald die Last nicht mehr auf dem Lastaufnahmemittel ruht, können die Greifer geöffnet werden. Eine Überprüfung der Lastfreiheit aller einzelnen Greifer ist erforderlich, um festzustellen, dass auch alle Greifer geöffnet werden

können. Sollten hier Differenzen vorliegen, ist davon auszugehen, dass die Last nicht eben steht, und somit auch nicht freigegeben werden darf.

Weiterhin darf, wie bei der Lastaufnahme, der Kran nicht mehr in Bewegung sein. Vor dem Anheben des leeren Lastaufnahmemittels ist die geöffnete Position / Stellung aller Greifer zu kontrollieren, damit das Lastaufnahmemittel die Last nicht asymmetrisch an nur einem Greifer nimmt und diese abstürzen kann. Generell ist beim Wiederanheben das Lastaufnahmemittel auf Lastfreiheit zu kontrollieren, um ausschließen zu können, dass noch irgendein Fremdelement am Lastaufnahmemittel verhakt ist. Hierzu kann auch die Überlastsicherung verwendet werden.

Der letzte Punkt der Lastabgabe besteht darin, die Last aus der Übergabestation zu entfernen. Hier gilt wieder, wie bei der Positionierung der Last in der Übergabestation, dass die Übergabestation bereit zum Betreten ist. Dies bedeutet, dass kein Kranzugriff vorliegen darf, damit ein Mensch, der sich gerade zum Entnehmen einer Last in der Übergabestation befindet, nicht durch das absenkende Lastaufnahmemittel gefährdet wird. Weiterhin ist zu prüfen, dass die Last vollständig aus der Übergabestation entfernt wurde, um spätere Kollisionen zu verhindern. Der Vorgang der korrekten Entnahme der Last, und somit auch die Freigabe der Übergabestation, ist vom Bediener zu quittieren.

Bei der manuellen Lastabgabe sind, analog zur automatischen Lastabgabe, die gleichen Kontrollen am Lastaufnahmemittel durchzuführen, da im teilautomatischen Modus bei einer anschließenden automatischen Leerfahrt keine Gefährdungen entstehen dürfen. Das gleiche gilt, wenn im automatischen Betrieb zwischenzeitlich eine manuelle Lastfahrt erfolgen sollte. Alle manuellen Tätigkeiten sind nach ihrer Beendigung zu quittieren. Dies darf nur erfolgen, wenn die Lastfreiheit des Lastaufnahmemittels und die Position des Lastaufnahmemittels in höchster Laststellung überprüft wurde. Mit diesen Kontrollen werden einerseits der Weitertransport von Lasten, die ohne die besonderen Kontrollen der automatisierten Lastaufnahme nur für den manuellen Transport gedacht waren, und andererseits automatische Bewegungen durch einen Kranruf im personenzugänglichen Raum ausgeschlossen.

7.5 Lastaufnahmemittel

Beim Transport von Lasten mit einem Kran hat das Lastaufnahmemittel die Verbindung zwischen der Last und dem Kran herzustellen. Für den automatisierten Transport sind diese mit Befestigungs- oder Greifmechanismen ausgestattet, um selbständig eine Last greifen zu können.

Für einen automatisierten Transport über Personen hinweg kommen dem Lastaufnahmemittel noch Schutzfunktionen zu, die erforderlich sind, um ein Lastabsturz zu verhindern. Dabei ist es wichtig, wie schon im vorhergehenden Abschnitt beschrieben, dass eine formschlüssige und somit unabhängig von der Energiezufuhr sichere

Verbindung zwischen Last und Lastaufnahmemittel besteht. Weiterhin muss es so gestaltet sein, dass keine falschen, also zu große oder zu kleine Lasten, aufgenommen werden können.

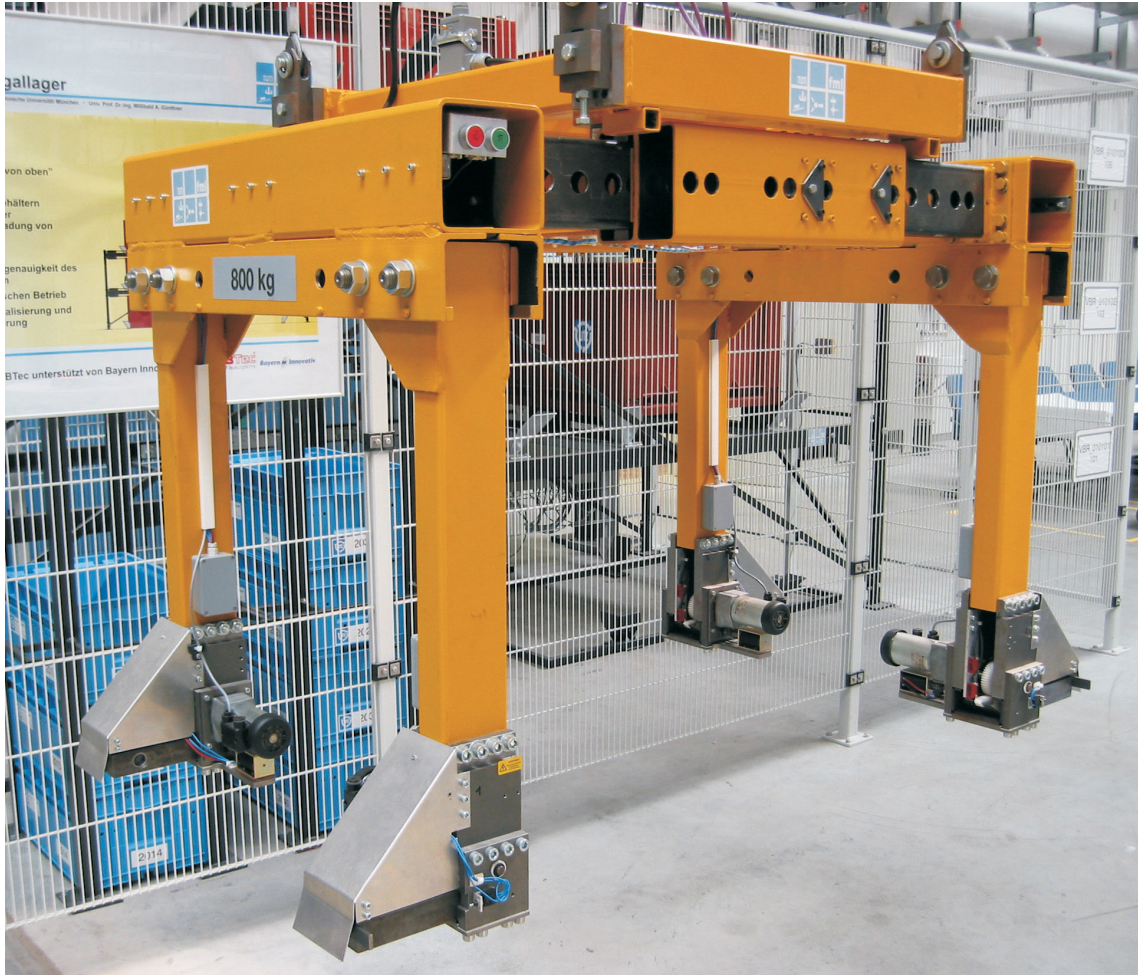


Bild 7-8: Lastaufnahmemittel nur für geschlossene GLT

Abbildung 7-8 zeigt beispielsweise ein Lastaufnahmemittel, das für den Transport von geschlossenen Großladungsträgern (GLT) vorgesehen ist. Diese sind einer Gitterbox mit den Maßen von 1000 x 1200 mm ähnlich. Der GLT wird hier von unten gegriffen, indem an jeder der vier Seiten ein Riegel unter das Ladehilfsmittel geschoben wird. Möchte man eine größere Fördergutflexibilität erreichen, also auch Gegenstände die auf Europaletten gestapelt sind, kann man dieses Lastaufnahmemittel wie in Abbildung 7-9 dargestellt, mit einem Gitter verkleiden. Jetzt übernimmt das Gitter die Schutzfunktion gegen das Herausfallen der Last. Damit kann man mit einer Europalette, wie schon in Abschnitt 7-3 beschrieben, auf einer sicheren Adapterpalette beliebige Güter transportieren. Es ist allerdings darauf zu achten, dass die Größe der Güter nicht kleiner als die Maschenweite des Schutzgitters ist. Andere Materialien als ein Schutzgitter, wie z.B. engmaschige Netze oder Unterfangungen des ganzen

Lastaufnahmemittels, sind möglich. Grundsätzlich darf keine Möglichkeit bestehen, dass Teile der Last oder die ganze Last, bedingt durch Kollisionen oder eine falsche Ladungssicherung auf dem Ladehilfsmittel, in den Personenbereich herunterfallen.

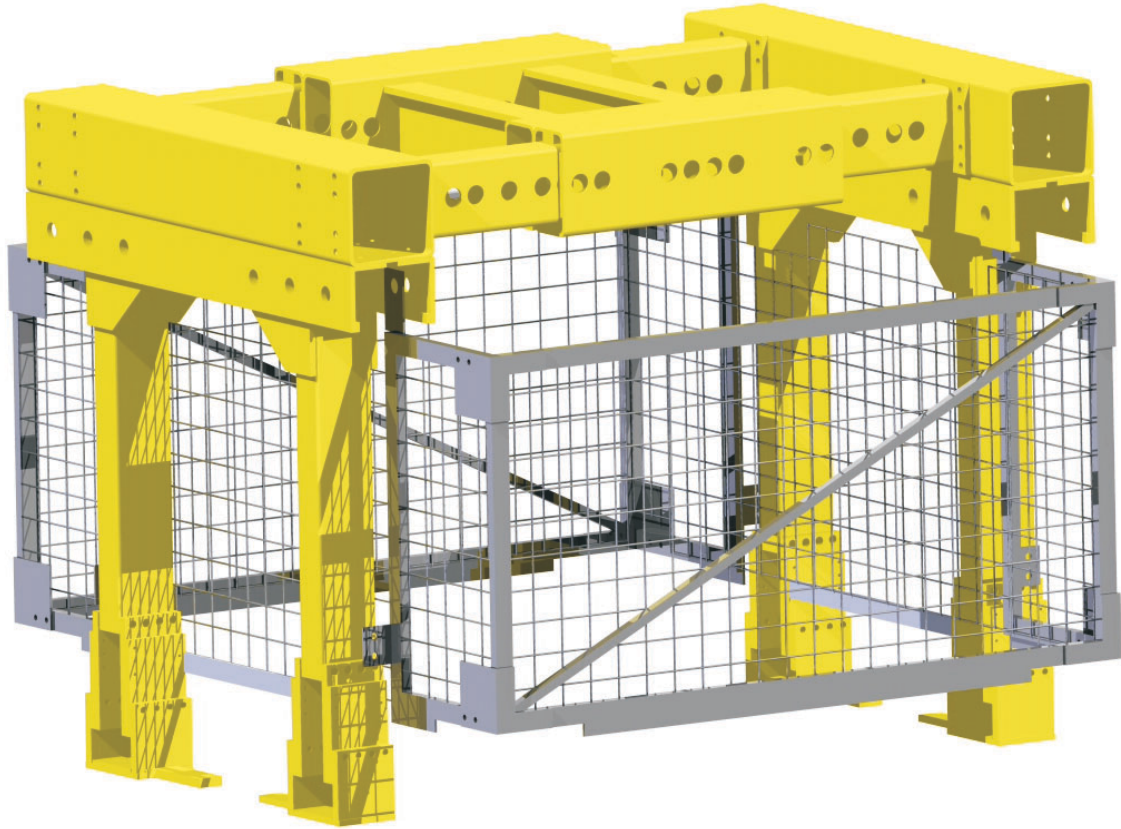


Bild 7-9: Geschlossenes Lastaufnahmemittel

Bei der Gestaltung des Greifmechanismus ist darauf zu achten, dass dieser ein formschlüssiges Greifen ermöglicht. Um die Sicherheit gegen einen Lastabsturz durch ein ungewolltes Öffnen des Greifmechanismus zu erhöhen, kann die Leistung der Antriebe zum Öffnen der Greifer so gering ausgelegt werden, dass diese nur im lastfreien Zustand öffnen können. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Reibwert zwischen Ladehilfsmittel und Greifer des Lastaufnahmemittels so weit zu erhöhen, dass diese nur im lastfreien Zustand betrieben werden können. Zusätzlich verhindert eine Verriegelung der Greifer in ihrer geschlossenen Position ein ungewolltes Öffnen des Lastaufnahmemittels.

7.6 Übergabestationen

Als Schnittstelle für einen verketteten Materialfluss zwischen der automatisierten Krananlage und dem Personenbereich oder anderer Flurfördertechnik dienen Übergabestationen, in den die Last in das automatisierte System ein bzw. ausgeschleust wird. Diesen Übergabestationen obliegt eine besonders wichtige Sicherheitsaufgabe, da hier das Gefahrenpotential durch die große Nähe von Personen zu den automatisch bewegten Maschinenteilen am größten ist.

Im ersten Schritt eines jeden Lastspieles muss eine Last an einer Übergabestation positioniert sein, damit diese vom Kran aufgenommen werden kann. Übergabestationen für automatische Krananlagen sind so auszuführen, dass Menschen, durch die in Kapitel 5 dargestellten Gefahren, nicht gefährdet werden. Durch geeignete Maßnahmen sind

- Kollision von Last oder Kran mit Personen,
- Kollision von Last oder Kran mit Teilen der Übergabestation

zu verhindern.

Aus den oben beschriebenen Gefahren ergibt sich zwingend, die Übergabestation so zu gestalten, dass Personen vor bewegten Kranteilen, nämlich dem Lastaufnahmemittel mit oder ohne Last beim Heben oder Senken, geschützt werden. Die Absicherung muss einen gesicherten und überwachten Eingangsbereich besitzen. Weiterhin muss sichergestellt sein, dass ein Absenken der Last in den Personenbereich auch immer innerhalb des gesicherten Bereiches einer Übergabestation stattfindet. Dafür ist die Kranposition auf redundante und diversitäre Art festzustellen.

Um Personen im Bereich von Übergabestationen zu schützen, bieten sich eingezäunte Bereiche an, in denen der Kran sich bewegt. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Übergabestation ohne Zaun, also offen zu gestalten, aber dann über Lichtschranken oder Lichtvorhänge im Vorfeld abzusichern. Dabei ist zu beachten, dass der Abstand zwischen den optischen Sicherungselementen und der Übergabestation so groß gewählt wird, dass die Reaktionszeit des Kranes zum Stillsetzen der Antriebe berücksichtigt bleibt. Mischformen aus Zaun und optischen Sensoren, wie in Abbildung 7- 10 dargestellt, sind auch denkbar. So kann der Bereich der Übergabestation durch einen Zaun abgesperrt, der Zugang allerdings durch Lichtschranken gesichert sein. Zugänge sollten nach Möglichkeit so gestaltet sein, dass nur Lasten und nicht Personen den Gefahrenbereich erreichen können. Hierzu bieten sich Öffnungen an, die nur die Größe der Last besitzen, aber für Personen zu klein sind.

Bei der Absicherung durch einen Zaun mit einem durch eine Tür gesicherten Zugangsbereich kann man durch eine Türzuhaltung, die bei einem Kranzugriff aktiviert wird, oder durch einen Türkontaktschalter, der während eines Kranzugriffes beim Öffnen der Tür das Hubwerk stillsetzt, die geforderte Sicherheit erreichen. Aus Gründen der Verfügbarkeit des Systems ist allerdings die Türzuhaltung vorzuziehen, da hier der

Kran bestimmt, wann die Übergabestation betreten werden kann, womit unnötige Störzeiten ausgeschlossen werden können.

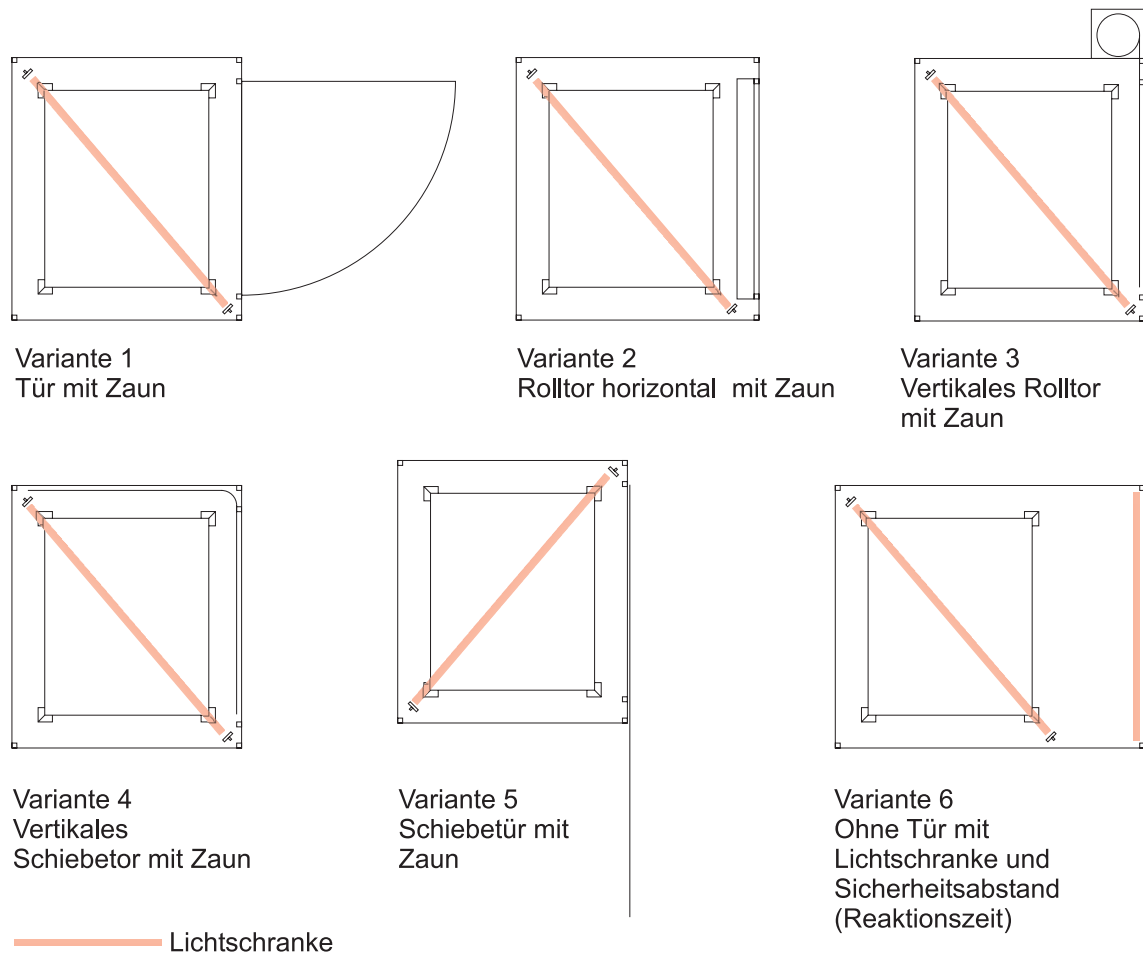


Bild 7-10: Varianten zur Sicherung von Übergabestationen

Um sicherzustellen, dass das automatische Absenken einer Last auch immer innerhalb des gesicherten Bereiches einer Übergabestation stattfindet, ist es notwendig, durch ein redundantes und diversitäres Wegmesssystem die Position von Kran und Katze zu bestimmen.

Da nur oberhalb der Übergabestationen eine Redundanz notwendig ist, kann auch von einem Positionserfassungssystem gesprochen werden, da nur eine bestimmte Position des Kranes verifiziert werden muss. In den anderen Bereichen des Kranes ist diese redundante und diversitäre Positionserfassung nicht erforderlich, da hier ein Absenken in den personenzugänglichen Bereich während des automatischen Betriebes nicht stattfindet.

Um eine sichere Positionsüberprüfung an Übergabestationen zu gewährleisten, sind die folgenden Anforderungen zu berücksichtigen:

- Schaffung eines redundanten und diversitären Systems zu einem Wegmesssystem für die genaue Positionserfassung: Die Diversität soll durch die Installation eines Sensorsystems geschaffen werden, welches auf einer zum existenten Messsystem unterschiedlichen Technologie beruht.
- Bei der Implementierung des Wegmesssystems muss berücksichtigt werden, dass der betrachtete Automatikkran durch die Installation eines redundanten Wegmesssystems nicht in seiner Flexibilität bzw. Wandelbarkeit beeinträchtigt wird.

Die Überprüfung der Position kann auf zwei Arten erfolgen: Entweder man implementiert ein zweites Wegmesssystem und bestimmt mit beiden Systemen die absolute Position der Krankatze bzw. Kranbrücke im Raum; sollten bei einem Vergleich der beiden Positionswerte zu große Unterschiede auftreten, ist davon auszugehen, dass ein Fehler in der Positionserfassung vorliegt. Oder man kann nur eine relative Position zur Übergabestation, z.B. mittels eines Lichttasters oder Induktivsensors, bestimmen und nur so den wirklich sicherheitstechnisch relevanten Bereich redundant untersuchen.

Da eine Bestimmung der relativen Position zur Übergabestation gänzlich ausreichend ist, um die Sicherheitsanforderungen zu erfüllen, sollen im Folgenden Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie dies durch Sensoren realisiert werden kann.

In früheren Jahren bestand die Positionssensorik aus mechanischen Endschaltern, die zu Signalerfassungsaufgaben herangezogen wurden. Aufgrund von zunehmenden Taktfrequenzen und steigender Präzisionsanforderungen sind heute vor allem in der Automatisierungstechnik differenziertere Lösungen gefragt. Mechanische Schalter sind für die Erkennung einer bestimmten Kranposition nicht geeignet, da dieser Schalter an der Übergabestation befestigt vom Kran aus bedient werden müsste.

Induktive und kapazitive Näherungsschalter werden in der Automatisierungstechnik zum berührungslosen Erfassen von metallischen und nichtmetallischen Gegenständen eingesetzt. Zur Erkennung von metallischen Gegenständen aller Art eignen sich insbesondere induktive Näherungsschalter. Typische Einsatzgebiete sind beispielsweise Druckmaschinen, Förderanlagen, Roboter, Aufzüge, Pressen und Schweißautomaten. In der Fördertechnik wird dieser Sensortyp häufig zum Erkennen von Endpositionen (z.B. Kranposition) eingesetzt. Während das Wirkungsfeld von induktiven Näherungsschaltern auf metallische Gegenstände beschränkt ist, können mit kapazitiven Näherungsschaltern auch nichtmetallische Materialien z.B. Glas, Keramik, Kunststoff, Holz, Öl, Wasser, Pappe, Papier identifiziert werden. Eine herausragende Eigenschaft dieses Sensortyps stellt die Fähigkeit dar, Gegenstände durch nichtmetallische Materialien hindurch erkennen zu können. Dementsprechend vielfältig sind die Einsatzgebiete von kapazitiven Näherungsschaltern.

Optoelektronische bzw. optische Näherungsschalter, wie z.B. Lichttaster oder Licht-

schränken, werden in vielen Bereichen der Automatisierungstechnik zur berührungslosen Erfassung von Objekten aller Art eingesetzt. Sie finden sich in nahezu allen automatisierten Anlagen wieder.

Man unterscheidet

- Reflexionslichttaster, die Sender und Empfänger in einer Einheit vereinen. Es wird ein Lichtstrahl vom Lichttaster ausgestrahlt, welcher am zu erkennenden Objekt reflektiert wird, um ihn mit dem Empfängerteil zu detektieren. Somit ist kein Reflektor nötig. Reflexionslichttaster mit Hintergrundaussblendung haben durch eine Empfindlichkeitseinstellung die Möglichkeit, den Hintergrund „auszublenden“.
- Reflexionslichtschranken arbeiten nach demselben Prinzip wie Lichttaster (Sender und Empfänger in einem Gehäuse). Die Reflexion des Lichtstrahls erfolgt jedoch mittels eines Reflektors. Somit kann eine Störung durch eine ungewollte Reflexion des Lichtstrahls an einem Störobjekt minimiert werden.
- Einweglichtschranken bestehen aus getrennten Sender- und Empfängerteilen. Auf diese Weise lassen sich größere Reichweiten realisieren, da der vom Lichtstrahl zurückzulegende Weg im Gegensatz zu Reflexionslichtschranken halbiert wird.

Durch eine enge parallele Anordnung von mehreren Lichttastern bzw. Lichtschranken können sog. Lichtvorhänge oder Lichtgitter gebildet werden, welche eine Absicherung einer größeren Fläche oder eines Bereiches erlauben („unsichtbarer Zaun“). Optoelektronische Sensoren werden in der Industrie zum Erfassen von Objekten jeder Art verwendet. Insbesondere in der Sicherheitstechnik spielen sie bei der Absicherung von Bereichen gegenüber unerlaubtem Betreten eine besondere Rolle.

Lasersensoren sind ebenfalls Bestandteil der optoelektronischen Sensoren und werden zur Positionsbestimmung verwendet. Diese sollen hier jedoch nur der Vollständigkeit halber aufgeführt werden, da deren Messgenauigkeit und Kosten in keiner wirtschaftlichen Relation zur verlangten Positionskontrolle stehen. Es werden bei automatisierten Krananlagen weder so genaue Wegmessungen verlangt, noch sind große Reichweiten zu überbrücken.

Bei der Auswahl eines geeigneten Sensors ist zu beachten, dass induktive oder kapazitive Sensoren den Nachteil einer relativ kurzen Messstrecke besitzen. Es ist jedoch der Sicherheitsabstand von mindestens 0,5m zwischen Übergabestation und Krankatze zu überbrücken. Ein Reflexionslichttaster hat sich somit als am besten geeignet herausgestellt. Denn

- es besteht keine Möglichkeit für eine Kollision und Beschädigung,
- eine genaue Positionierung ist möglich,
- er besitzt einen einfachen Aufbau,
- er ermöglicht eine gute Wandelbarkeit des Systems in Hinblick auf die Flexibilität der Anlage und
- die Lösungsvariante ist sehr kostengünstig.

Dieses System hat jedoch den Nachteil, dass die richtige Position durch Schwanken der Krankatze oder durch Verschmutzung der Reflexionsspiegel nicht erkannt wird. In beiden Fällen entsteht jedoch keine weitere Gefahr, denn das System verhält sich dann so als wenn keine Übergabestation vorhanden wäre und der Kran senkt die Last nicht ab. Lediglich ist mit einer geringeren Verfügbarkeit des Kranes zu rechnen. Mit einer periodischen Reinigung der Reflektorspiegel, die mit im Zuge einer obligatorischen Inspektion der Übergabestation einhergeht, sollte dieser Nachteil nicht weiter ins Gewicht fallen.

Ein Ausfall des Systems während des Lastabsenkens stellt einen aktiven Fehler dar, und bewirkt, dass das Absenken einer Last in den Bereich der Übergabestation gestoppt wird. Durch dieses System ergibt sich somit keine weitere Gefahr.

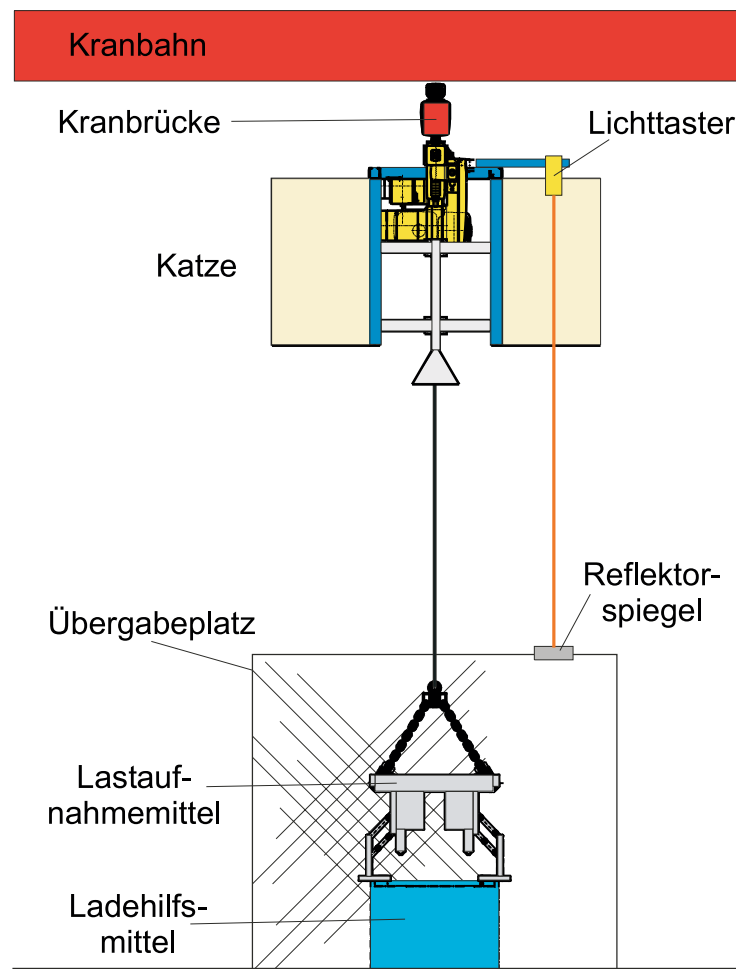


Bild 7-11: Lichttaster zur Positionsüberwachung

Das vorliegende Konzept zur redundanten Bestimmung der Kranposition über einer Übergabestation, wie in Abbildung 7-11 dargestellt, stellt eine einfache und kostengünstige aber dennoch sehr zuverlässige Lösung dar. Gerade im Hinblick auf die Forderung nach Wandelbarkeit bietet das System sehr große Freiheitsgrade, da die Sensoren bei einer Neustrukturierung des Materialflusses ihre Position mit verändern,

und die Einrichtzeit auf einen einfach durchzuführenden Einstellprozess des Reflektorspiegels beschränkt ist.

Nach jedem Zutritt von Personen in den Bereich der Übergabestation ist das Verlassen der Person und der ordnungsgemäße Zustand für einen automatisierten Zugriff auf die Übergabestation zu quittieren. Diese Quittierung muss durch den Bediener erfolgen, der die Last in der Übergabestation positioniert. Die Quittierung darf nur dann möglich sein, wenn, wie in Abschnitt 7-2 beschrieben, sich keine Personen mehr im Gefahrenbereich aufhalten. Wenn der Quittierschalter derart an der Übergabestation angebracht ist, dass dieser nur außerhalb des Gefahrenbereiches zu bedienen ist, erhält man die Gewissheit dass sich keine Person mehr im Gefahrenbereich aufhält, wenn das Bereitstellen einer Last nur durch eine Person erfolgt. Dadurch, dass beim Quittieren die Tür der Übergabestation geschlossen sein muss, kann man eine fahrlässige Quittierung durch eine zweite Person ausschliessen.

Weiterhin ist ein Sensor zur Belegungsprüfung der Übergabestation notwendig. Damit wird geprüft, ob sich eine Last in der Übergabestation befindet und die Übergabestation für eine Laustaufnahme oder eine Lastabgabe bereit ist. Ist die Übergabestation belegt, darf nur eine Lastaufnahme erfolgen, da sonst bei einer weiteren Lastabgabe zwei Lasten aufeinander gestapelt würden. Dies stellt zwar nicht eine unmittelbare Gefahr für Personen dar, jedoch kann es so zu Schäden an der Anlage kommen, was zumindest deren Verfügbarkeit beeinträchtigt. Ist die Übergabestation nicht belegt, und der Kran möchte eine Last aufnehmen, besteht keine Gefahr, da keine Last aufgenommen werden und keine Kollision stattfinden kann. Es sollte nur eine Fehlermeldung für eine nicht vorhandene Last abgegeben werden.

Zuletzt sei noch beispielhaft beschrieben, wie eine Übergabestation, wie in Abbildung 7-8 dargestellt, für den Einsatz eines automatisierten Kranes im innerbetrieblichen Behältertransport aussehen kann. Die hier dargestellte Übergabestation ist auf drei Seiten mit einem Zaun umgeben. Auf der vierten Seite befindet sich die Tür für den Zugang. An der Tür ist eine Zuhaltung montiert, um den Zutritt in den Gefahrenbereich während eines Kranzugriffes zu verhindern.

Im Inneren befinden sich die Zentrierschrägen, um die genaue Positionierung der Last sicher zu stellen. Eine Lichtschranke diagonal zur Abstellposition prüft die Belegung der Übergabestation.

Der Quittierschalter ist so montiert, dass dieser nur außerhalb der Übergabestation bedient werden kann, damit die Bedienperson während eines Kranzugriffes nicht im Inneren der Übergabestation verweilen kann. Die redundante Überwachung der Kranposition wurde hier mit dem oben beschriebenen Lichttaster realisiert, um sicher zu stellen, dass das Lastaufnahmemittel nur in den gesicherten Bereich der Übergabestation abgesenkt werden kann.

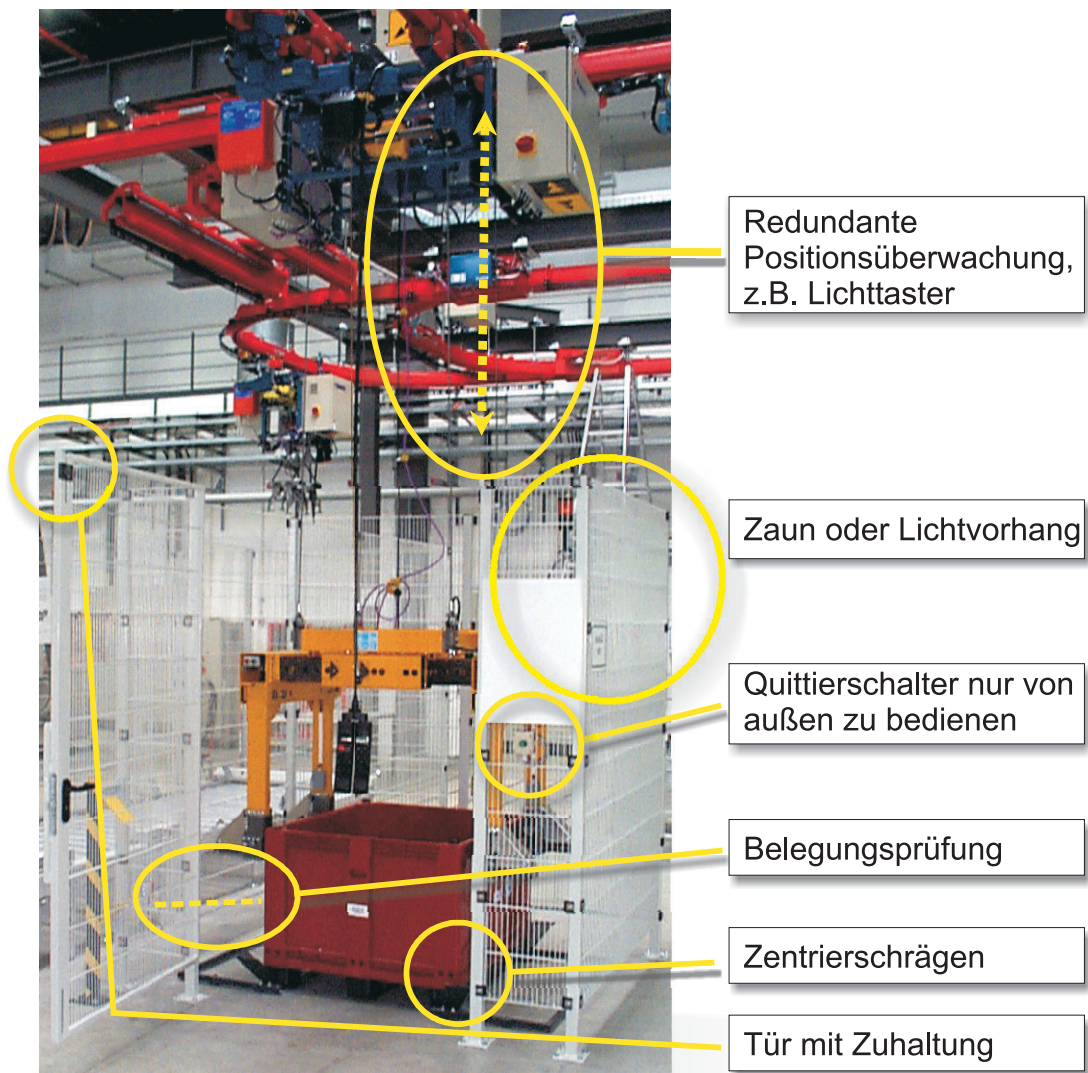


Bild 7-12: Übergabestation

7.7 Steuerung und Kommunikation

An die Steuerung, die Hubwerke und Fahrantriebe des Kranes steuert und die die einzelnen oben beschriebenen sicherheitsrelevanten Überprüfungen vorzunehmen hat, sind besondere Anforderungen zu stellen. Dieses Steuerungs- und Kommunikationssystem muss Fehler der Steuerung ausschließen, damit die Krananlage nicht in unkontrollierte Zustände gebracht wird, zumal diese in nächster Umgebung zu Personen eine große Gefahr darstellen. In der DIN V 19251 wird bei den Fehlerklassen zwischen zufälligen Fehlern, systematischen, aktiven und passiven Fehlern unterschieden. Für die Betrachtungsweise der Sicherheit der Anlage werden nur Fehler bewertet, die einen Einfluss auf die Sicherheitsfunktionen der Anlage selbst haben. Unter aktiven Fehlern versteht man solche Fehler, die einen direkten Übergang in den sicheren Zustand der Anlage bewirken. Hierzu zählt der Drahtbruch zu einem Endschalter, der aber

durch das Ruhestromprinzip der Schaltung erkannt wird. Fehler dieser Klasse werden durch die Anlagensteuerung selbst erkannt und bedürfen keiner weiteren Maßnahme zur Beherrschung. Gefährlicher sind nach sicherheitstechnischem Verständnis passive Fehler, die die Anlage nicht in einen sicheren Zustand überführen und somit unentdeckt bleiben können. Diese passiven Fehler müssen durch das Steuerungskonzept sicher erkannt werden [39].

Seit dem Inkrafttreten der einschlägigen Normen und Richtlinien bezüglich der Sicherheit von Menschen, Maschinen und Anlagen gibt es neben den bewährten speicherprogrammierbaren Steuerungen für die nicht-sicheren Signale einen oder mehrere Schaltkreise für sicherheitsrelevante Funktionen. Diese Schaltkreise wurden in der Vergangenheit grundsätzlich konventionell, d. h. mit Sicherheitsschaltgeräten, gelöst. Die wachsenden Anforderungen an sicherheitstechnische Funktionen und ihre zunehmende Komplexität machen den Einsatz sicherer Elektronik sinnvoll und notwendig. Die programmierbaren Sicherheitssteuerungen bieten wesentliche Vorteile hinsichtlich Projektierung, Abnahme und Betrieb. Die Funktionen herkömmlicher Sicherheitsschaltgeräte übernehmen nun von der BG bzw. vom TÜV abgenommene und verschlüsselte Softwarebausteine. Fehler- und Diagnosetools runden die komfortable Handhabung dieses elektronischen Sicherheitssystems ab. In Verbindung mit sicheren Sensoren erhält man mit dieser Systemkombination eine sichere Komplettlösung von der Eingangs- bis zur Ausgangsseite.

Geprüfte und abgenommene Standardfunktionsbausteine für alle wichtigen Funktionen, von NOT-AUS bis zur Steuerung einer kompletten Maschine, z. B. einer Presse, stehen zur Verfügung. Sie verkürzen und erleichtern die Entwicklung und Inbetriebnahme. Zur Kommunikation mit übergeordneten Systemen oder zum Anschluss eines Visualisierungssystems stehen serielle Schnittstellen oder entsprechende Kommunikationsbaugruppen zur Verfügung.

Für die Verarbeitung der sicherheitsrelevanten Signale sind daher Sicherheitssteuerungen zu verwenden. Bei Sicherheitssteuerungen besteht die zentrale Recheneinheit CPU aus mehreren unabhängig voneinander arbeitenden Mikrorechnern. Jeder Mikrorechner besteht aus einer Prozessoreinheit, einem Bussystem und einem Bus-Interface. Jeder dieser Rechner bearbeitet unabhängig das Anwenderprogramm. Um die geforderte hohe Sicherheit zu erreichen, überwachen sich die Rechner gegenseitig. Die Eingangssignale werden verglichen. Nur bei fehlerfreiem Abgleich wird das Anwenderprogramm bearbeitet. Ist der Abgleich fehlerhaft, schaltet die Sicherheitssteuerung in den sicheren Zustand.

Ausgangssignale werden nur dann ausgegeben, wenn alle Kanäle die gleichen Werte berechnet haben. Ist der Abgleich fehlerhaft, schaltet die Sicherheitssteuerung in den sicheren Zustand. Die durch die unterschiedlichen Bearbeitungszeiten beim Ein- und Auslesen der Daten der Prozessoren erforderliche Synchronisation wird vom Betriebs-

system der Steuerung durchgeführt.

Die Kommunikation zwischen den Steuerungen hat über ein Sicherheitsbussystem zu erfolgen, damit Übertragungsfehler ausgeschlossen werden. Den Anforderungen von Standard-Feldbussystemen stehen in der Sicherheitstechnik einige Besonderheiten entgegen. In der Sicherheitstechnik besteht die Forderung nach störungsunanfälligen, d.h. sicheren und daher meist gekapselten Einheiten. Diese speziellen Anforderungen der Sicherheitstechnik münden heutzutage in kleine Dimensionen der Netze für störunanfällige bzw. sichere Einheiten und eine lokale Konfiguration der Sicherheitskomponenten.

Sicherheitsbussysteme verhindern Fehler in der Kommunikation, z.B. durch das „Umkippen“ eines Bits, die zu einer Gefährdung des Menschen führen können. Verschiedene Sicherheitsprotokolle sowie interne Plausibilitätsprüfungen und das redundante Rechnen mit zwei verschiedenen CPUs ermöglichen es, dass von der logischen Verarbeitung keine Gefährdungen ausgehen.

Um geeignete Sicherheitsbussysteme für den automatisierten Kranbetrieb zu finden, wurde in Bereichen der Automobil- und Luftfahrtindustrie nach vorhandenen Systemen gesucht, da hier schon viele Sicherheitsfunktionen über Bussysteme realisiert sind, wie z.B. „fly by wire“ oder „steer by wire“. Nicht nur in der Automobilentwicklung, sondern auch in der Kranentwicklung ist es ein eindeutiger Trend elektronische Systeme statt mechanischer Komponenten einzusetzen und dabei immer mehr Sicherheitsfunktionen zu realisieren. Dies bedeutet eine ständig steigende Komplexität der Elektronik mit schnell wachsender Anzahl von Funktionen, Sensoren und Aktuatoren. Diese Anforderungen sind mit einem zentralen Steuergerät nicht zu realisieren. Durch die verlangte Flexibilität eines automatisierten Kransystems ist eine klassische Parallelverdrahtung aller sicherheitsrelevanten Signale nicht mehr möglich. Gute Diagnosemöglichkeiten für effektiven Service und Sicherheit verlangen eine flexible Bandbreitennutzung. Zudem erfordert die wachsende Zahl von Funktionen eine leichte Erweiterbarkeit des Systems. Zusätzlich sind die Berücksichtigung von allgemeinen Rahmenbedingungen, wie z.B. kürzer werdende Entwicklungszeiten, schnelle Reaktionszeiten auf neue Marktanforderungen sowie hohe Qualitätsanforderungen bei niedrigen Systemkosten, weitere Grundvoraussetzungen. Die Lösung ist eine Vernetzung der verschiedenen Elektronikbaugruppen über einen Hochleistungs-Datenbus zur Reduzierung des Verkabelungsaufwandes und Mehrfachnutzung von Sensordaten [28].

Um diese oben genannten Anforderungen alle gleichermaßen erfüllen zu können, wurden verschiedene Datenprotokolle für sicherheitsgerichtete Hochleistungsdatenbussysteme entwickelt.

Einige wichtige Vertreter dieser Bussysteme sind:

- Das `byteflight`-Protokoll [25], das von der BMW AG in Zusammenarbeit mit den Firmen Motorola, Siemens AG und ELMOS AG für sicherheitsrelevante Anwendungen entwickelt wurde. Es bietet ein deterministisches Verhalten, eine flexible Bandbreitennutzung und Systemerweiterbarkeit, eine hohe Übertragungsrate und Datenintegrität, eine durch die optische Übertragung sehr hohe Störsicherheit der Kommunikation, einen Software-Download über den Bus und eine Online-Diagnosemöglichkeit.
- FlexRay [26], das von einem Konsortium (bestehend aus BMW, DaimlerChrysler, Motorola und Philips) entwickelt wurde, soll einmal für die Karosserie-Kontrolle in Autos eingesetzt werden. Es unterscheidet sich von den anderen Bussystemen dadurch, dass seine Funktionalität in zeit- und ereignisgesteuerte Aktivitäten aufgeteilt ist. FlexRay kann sowohl eine „aktive“ Stern-Topologie oder eine „passive“ Bus-Topologie aufweisen. FlexRay ist aufgrund seiner Mischung aus zeit- und ereignisgesteuerter Operation interessant und aufgrund der industriellen Herkunft seiner Entwickler potentiell bedeutsam. Vollständige Details aber sind der Öffentlichkeit nicht zugänglich, deswegen basieren die Vergleiche auf den Informationen, die öffentlich bekannt gegeben wurden. Das FlexRay-Kommunikationsprotokoll bietet für sicherheitskritische Anwendungen folgende Vorteile:
 - Synchroner und asynchroner Frame Transfer
 - Multi-Master Uhr-Synchronisation
 - garantierte Frame Latenz-Zeiten während eines synchronen Transfers
 - Definition von vorrangigen Frames während einer asynchronen Übertragung
 - Fehler entdecken und signalisieren.
- INTERBUS Safety [27]: Bei INTERBUS muss der Anwender neben sicheren E/A-Einheiten lediglich eine auch nachträglich installierbare Überwachungseinheit (SafeControl) in den Bus integrieren, die ausschließlich die Sicherheitstechnik überwacht. Hintergedanke bei der Entwicklung des INTERBUS-Systems war es, die damals vorherrschende Parallelverkabelung durch eine serielle Verkabelung zu ersetzen und damit alle in der Automatisierungstechnik zu übertragenden Signale erfassen und ausgeben zu können. Um mit Einführung der seriellen Verkabelung signifikante Geschwindigkeitsverluste zu verhindern, musste das Bussystem über ein möglichst effektives Protokoll verfügen. Nachrichtenorientierte Verfahren, die einzelne Komponenten jeweils mit einem eigenen Telegramm ansprechen und auf entsprechende Antworten der angesprochenen Teilnehmer warten müssen, sind hierzu nur bedingt geeignet. Um in solchen Systemen eine erträgliche Zykluszeit zu erreichen, sind hohe Datenraten, die das Bussystem störanfälliger machen, erforderlich. In einem INTERBUS-System

hingegen erhalten alle Teilnehmer einen eigenen Slot im Protokollrahmen, in dem sie ihre Daten ohne zusätzliche Angaben (CRC-Byte, Start-Ende Byte) einfügen können. Die notwendigen Protokoll Daten, wie z.B. das „loopbackword“ und die CRC-Summe, befinden sich dabei jeweils nur am Anfang bzw. am Ende des gesamten Datenrahmens. Das im INTERBUS verwendete und unter dem Namen Summenrahmenprotokoll beschriebene Verfahren ist sehr effizient, so dass für das gleiche Datenaufkommen weitaus weniger Zeit zur Übertragung benötigt wird wie z.B. in nachrichtenorientierten Feldbussystemen. Der Vorteil von INTERBUS liegt in diesem Zusammenhang darin, dass er mit einer niedrigeren Datenrate auskommt. Hieraus folgt einerseits, dass die Daten weniger störanfällig sind und andererseits, dass unter physikalischen Gesichtspunkten noch erhebliche Leistungsreserven im INTERBUS zur Verfügung stehen. Die wesentlichen Vorteile des INTERBUS-Safety-Systems sind:

- Klare Trennung von Prozess- und Sicherheitsdaten
- Kurze Prozess- und Sicherheitsreaktionszeiten
- Keine Technologiebrüche durch unterlagerte Systeme
- Kürzere Abnahmephasen durch kleinere Sicherheitsprogramme
- Verfügbarkeit für alle Steuerungssysteme
- Flexibel erweiterbar

Jedoch benötigt man einen größeren Projektierungsaufwand wegen der alternativen Pfade, um einen absolut sicheren Prozessablauf gewährleisten zu können.

- HIMA Safe Ethernet [40] von der Firma HIMA, das besonders in den Bereichen der sicheren Anlagenautomatisierung und der Verfahrenstechnik Anwendung findet.
- und SafetyBus p von Pilz [29], von dem ein echter Sicherheitsbus auf CAN-Technologie basierend entwickelt wurde, der zusammen mit Sicherheitssteuerungen ein in sich geschlossenes Sicherheitssystem bildet.

Bussysteme zur Übertragung der sicherheitsrelevanten Daten lassen sich grundsätzlich in zeitgesteuerte (time-triggered) und ereignisgesteuerte (event-triggered) Busstypen einteilen. Die im vorliegenden Bericht behandelten Bussysteme basieren alle auf einer zeitgesteuerten Aktivität. Zur Behandlung von besonderen Vorkommnissen (Fehler, Ausfälle von Knoten etc.) wurden aber teilweise von den Herstellern ereignisgesteuerte Zusätze in die Protokolle mit integriert.

In einem zweiten Schritt ist das Steuerungsprogramm so zu gestalten, dass es selbst wiederum Plausibilitätsprüfungen vornimmt, um Fehler aus der Programmierung unwirksam werden zu lassen. Als selbstverständlich werden qualitätssichernde Maßnahmen, wie sie in DIN V 19250 für sicherheitsgerichtete Software dargestellt sind, bei

der Programmierung begleitend angewandt. Eine geeignete Simulation sowie ein intensiver Testbetrieb sind unbedingte Voraussetzung, bevor das Produkt in den Normalbetrieb überführt wird.

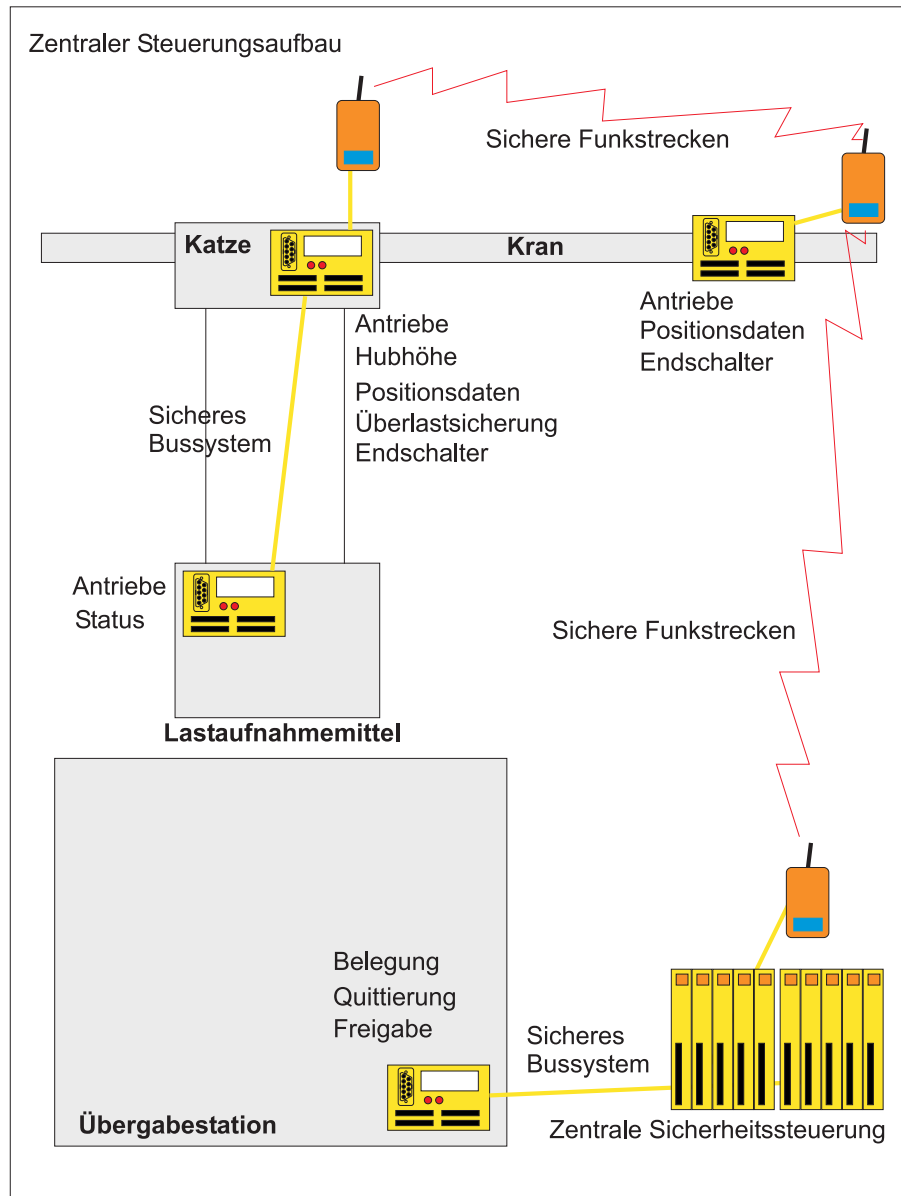


Bild 7-13: Zentrale Steuerung

Bei der Gestaltung des Steuerungsprogramms ist die Modularität, wie sie die Anlage schon durch ihre mechanische Ausprägung besitzt, beizubehalten. Dabei kann eine zentrale oder dezentrale Steuerungsarchitektur verwendet werden. Bei einer zentralen Steuerungsarchitektur werden die einzelnen Komponenten, wie in Abbildung 13 dargestellt, über sichere Eingabemodule und einen Sicherheitsbus mit der Steuerung verbunden. Die zentrale Steuerung übernimmt in diesem Fall alle Überwachungs- und Steuerungsaufgaben. Sollte in einem Bereich des Sicherheitssystems ein Fehler auftreten, so kann dieser Bereich bei entsprechender Aufteilung in Sicherheitsgruppen,

über die sicheren Eingabemodule einzeln stillgesetzt werden, ohne die Sicherheitseinrichtungen der anderen Bereiche lahm zu legen.

Im Falle einer dezentralen Steuerung hat jede größere Krankomponente, wie Hubwerk, Katzantrieb, Lastaufnahmemittel und Kranbrückenantrieb, seine eigene Steuerung. Dabei kommunizieren die einzelnen Steuerungen über den Sicherheitsbus miteinander. Eine Steuerung erhält den Master-Status und kontrolliert somit das System.

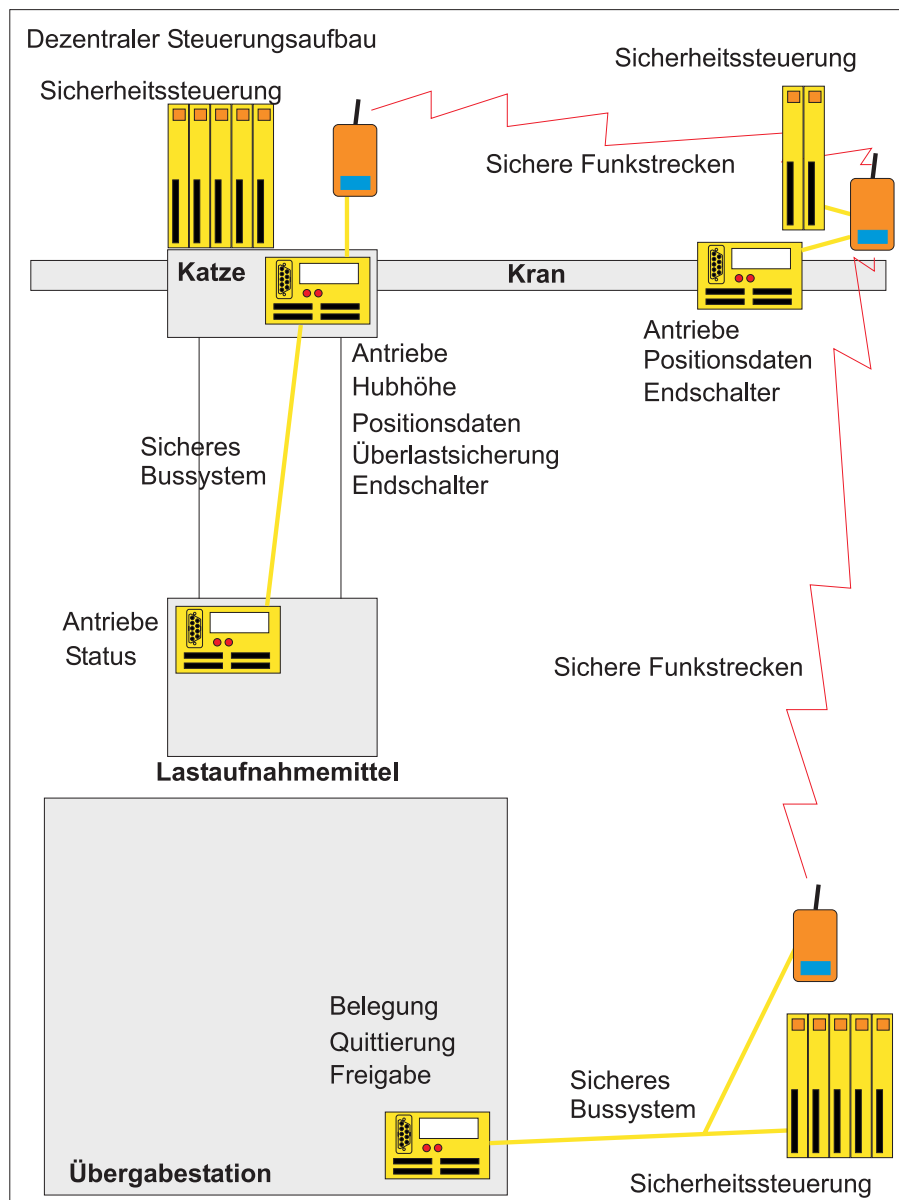


Bild 7-14: Dezentrale Steuerung

Falls man einen weiteren Kran in das System implementieren möchte, ist der Vorteil dieser Anordnung, dass hier eine größere Flexibilität des Systems vorliegt, und die Komponenten nur über Standardprotokolle miteinander kommunizieren. Diese Standardprotokolle beschränken sich dann auf die Freigaben und Quittierungen zum Heben, Senken, Kranfahren sowie auf die Lastaufnahmemittel zum Öffnen und Schlie-

ben. Der eigentliche Ablauf wird dann über die lokale Steuerung abgewickelt, bis entweder dieser die Freigabe durch einen Sicherheitsfall entzogen, oder die Tätigkeit vollendet und als fertig quittiert wurde. So steuert die Zentralsteuerung nur die Betriebszustände von Kranelementen.

Dies hat auch den Vorteil, dass solche einzelnen Programmabschnitte einfacher auf ihre Sicherheit hin überprüft werden können. Dabei sind Kranbrücke, Krankatze und Lastaufnahmemittel für die Kranseite und die Übergabestationen für die flurbundene Seite zu nennen. Wenn jedes dieser Baugruppen mit Eingabemodulen für dezentrale Baugruppen ausgestattet ist, und diese über ein Sicherheitsbussystem verbindet, erhält man ein in sich geschlossenes in einzelnen Gruppen abschaltbares Steuerungssystem.

Die Unterteilung in kleine Gruppen hat sich außerdem als sinnvoll erwiesen, da somit bei Störungen nur einzelne Bereiche abgeschaltet werden und andere Sicherheitsfunktionen weiterlaufen können. So können einzelne Kranelemente abgeschaltet werden, ohne dass allgemeine Sicherheitsfunktionen ausgelöst werden.

7.8 Leitlinienkatalog

Im Folgenden seien die genannten Lösungsvorschläge tabellarisch zusammengefasst.

Teilarbeitsgang Last in Übergabestation positionieren

zu erreichen	Lösungsvorschläge
kein Betreten der Übergabestation bei Kranzugriff	Absperrung der Übergabestation durch Zäune oder Sichern durch Lichtschranken im Reaktionsabstand zum Gefahrenbereich
	Türen in Absperrung mit Türzuhaltung, die bei Kranzugriff aktiviert wird oder Türkontaktschalter, der während eines Kranzugriffs beim Öffnen der Tür das Hubwerk stillsetzt, und solange kein Kranzugriff vorliegt, keine Reaktion auslöst
zu erreichen	Lösungsvorschlag
keine falsche Position der Last innerhalb der Übergabestation	Zentrierschragen für die Last in der Übergabestation

Teilarbeitsgang: Kranbewegung horizontal

zu erreichen	Lösungsvorschläge
keine Kollision mit der Umwelt (Hindernisfreiheit des Fahrweges)	Fahren in höchster Laststellung
	Fehler im Wegmesssystem redundant durch Näherungsschalter und Endschalter verhindern
	Abstand von mindestens 0,5m zu allen Umweltelementen
	Umfahrsteuerungen für bekannte feste Hindernisse
zu prüfen	Hinweisende Sicherheitstechnik, um unvorhergesehene Hindernisse im Fahrraum des Kranes zu verhindern oder optische Sensoren zum dreidimensionalen Abtasten des Raumes auf Hindernisse
	Lösungsvorschlag
Lastaufnahmemittel in höchster Laststellung	Verriegelung des Lastaufnahmemittels in höchster Laststellung
	Endschalter am Lastaufnahmemittel

Teilarbeitsgang: Kranbewegung vertikal

Allgemein	
zu erreichen	Lösungsvorschläge
keine Kollision mit der Umwelt (Hindernisfreiheit des Hubweges)	automatische vertikale Bewegungen nur in abgesperrten und überwachten Bereichen (Übergabestationen)
	Schlauffseilsicherung zur Erkennung von Kollisionen beim Absenken
zu erreichen / zu prüfen	Lösungsvorschlag
richtige Position der Last über der Aufgabe- / Abgabeposition	redundante Kontrolle der Position der Katze z.B. mit Lichttaster zwischen Katze und Übergabestation
zu prüfen	Lösungsvorschläge
keine Person in der Übergabestation	nur von außen erreichbare Freigabetaster für Bediener an der Übergabestation
	Türzuhaltung, um Zutritt während der Übergabe zu verhindern
	Türkontaktschalter mit Not-Halt verknüpft
	Belegungsprüfung durch Lichtschranken
zu erreichen	Lösungsvorschlag
redundante Hubhöhenmessung	Endschalter für höchste und niedrigste Hubposition des Lastaufnahmemittels
zu prüfen	Lösungsvorschläge
Katze und Kranbrücke nicht in Bewegung	Verriegelung der Fahrwerke, während Lastaufnahmemittel nicht in höchster Laststellung
	Kontrolle der Kranposition mit Lichttaster zwischen Katze und Übergabestation
	zusätzlich Werte des Wegmesssystems auf Veränderung kontrollieren
Heben von Lasten	
zu prüfen	Lösungsvorschlag
Freigängigkeit der Last (Verklemmen am Boden)	Erkennen durch Überlastsicherung
Senken von Lasten	
zu prüfen	Lösungsvorschlag
keine Last in der Übergabestation	Belegungsprüfung durch Lichtschranken
	Sensorik am Lastaufnahmemittel, die eine Belegung der Übergabestation feststellt, z.B. Bilderkennungssystem
Senken des leeren Lastaufnahmemittels	
zu prüfen	Lösungsvorschlag
Richtige Stellung der Greifer am Lastaufnahmemittel	Erkennen durch Prüfschalter

Teilarbeitsgang: Lastaufnahme (manuell und automatisch)

Allgemein	
zu prüfen / zu erreichen	Lösungsvorschläge
Richtige Positionierung in der XY - Ebene (Position des Lastaufnahmemittels über der Last)	Positionierung über Wegmesssystem
	Zentrierhilfen am Lastaufnahmemittel
	Greifsystem mit großen Toleranzen im Greifbereich
	Zentrierschrägen zur Ausrichtung der Last in der Übergabestation
	Optische Sensoren, die sich an der Kontur des Ladehilfsmittels orientieren

Teilarbeitsgang: Lastaufnahme (manuell und automatisch) Fortsetzung

zu prüfen / zu erreichen	Lösungsvorschlag
Richtige Positionierung in der Z - Achse (Höhe des LAM zur Last)	Optische Sensoren, die sich an der Kontur des Ladehilfsmittels orientieren
	Schalter, die beim Aufsetzen auf das Ladehilfsmittel das Hubwerk stillsetzen
Lastaufnahmemittel	
zu prüfen	Lösungsvorschlag
Ladehilfsmittel zum automatischen Transport geeignet (Kein Herausfallen oder Überstehen der Last möglich)	Nur standardisierte und geschlossene Ladehilfsmittel formschlüssig greifbar, geeignet für den automatisierten Transport verwenden oder
	hinweisende Sicherheitstechnik für geeignete Ladehilfsmittel
	geschlossene Lastaufnahmemittel verwenden
zu prüfen	Lösungsvorschlag
Ladehilfsmittel nicht beschädigt	Wiederholte Prüfungen in festgelegten Zeiträumen zur Kontrolle der Ladehilfsmittel
	Hinweisende Sicherheitstechnik mit Hinweistafel auf intaktes Ladehilfsmittel
	optische Sensoren zur Kontrolle
zu prüfen	Lösungsvorschlag
Ladehilfsmittel zum formschlüssigen Greifen geeignet	Optische oder taktile Sensoren, die eine erforderliche Greifgeometrie am Ladehilfsmittel überprüfen
zu prüfen	Lösungsvorschlag
Ladehilfsmittel nicht zu groß	Lastaufnahmemittel als Lehre verwenden. Durch ein vorzeitiges Aufsetzen auf dem zu großen Ladehilfsmittel wird die Last nicht gegriffen.
zu prüfen	Lösungsvorschlag
Ladehilfsmittel nicht zu klein	Überprüfung der Größe des Ladehilfsmittels mit optischen Sensoren (Lichttaster oder Scanner)
Last	
zu prüfen	Lösungsvorschlag
Last nicht zu schwer	Überlastsicherung
	Leistungsaufnahme des Hubwerks kontrollieren
	Last in Übergabestation wiegen
zu prüfen	Lösungsvorschlag
Last nicht zu groß	Geschlossene Lastaufnahmemittel
	Erkennen durch optische Sensoren
	Einhausung und Öffnung der Einhausung der Übergabestation so gestalten, dass keine größeren Teile als erlaubt einzuschleusen sind
zu prüfen	Lösungsvorschlag
Last nicht zu klein	Geschlossene Lastaufnahmemittel
	Geschlossene Ladehilfsmittel
zu prüfen	Lösungsvorschlag
Korrekturer Zugriff des Greifmechanismus (formschlüssiges Greifen)	Geschlossene Position der Greifer überprüfen
	Greifer verriegeln

Teilarbeitsgang: Lastabgabe (manuell und automatisch)

zu erreichen	Lösungsvorschläge
Last nicht mehr schwebend	Überlastsicherung als Waage verwenden
	Schwache Greiferantriebe, die wegen der aufliegenden Last sich nicht öffnen lassen
	Lichttaster zur Kontrolle der Stellung von Ladehilfsmittel und Lastaufnahmemittel zueinander
zu prüfen	Lösungsvorschlag
Last steht auf geeigneter Stelle	Überprüfung der Lastfreiheit aller einzelnen Greifer
zu prüfen	Lösungsvorschlag
Kran nicht mehr in Bewegung	siehe Kranbewegung vertikal
zu prüfen	Lösungsvorschlag
Geöffnete Stellung aller Greifer	Lichttaster oder Schalter
zu prüfen	Lösungsvorschläge
Lastfreiheit des Lastaufnahmemittels beim Wideranheben	Überlastsicherung zur Lasterkennung verwenden
	Kontrolle der Leistungsaufnahme des Hubwerks
	Lichttaster zur Belegungsprüfung des Lastaufnahmemittels

Teilarbeitsgang: Last aus Übergabestation entfernen

zu erreichen	Lösungsvorschläge
Übergabestation bereit zum Betreten	siehe „Last in Übergabestation positionieren“
zu erreichen	Lösungsvorschläge
vollständiges Entfernen der Last	Lichtschranke
	nur von außen erreichbare Freigabetaster für Bediener an der Übergabestation
	Waage in der Übergabestation

Schutz vor Steuerungsfehlern

zu erreichen	Lösungsvorschläge
keine Steuerungsfehler	Gesichertes Bussystem
	Sicherheits- SPS
	Kommunikation über Lichtwellenleiter, um elektromagnetischen Einflüssen vorzubeugen
	Qualitätssichernde Maßnahmen (DIN 19250)
	Verriegelung der Aktoren zum Schutz vor ungewollten Bewegungen
	Plausibilitätsprüfungen vor Freigabe der Aktoren

Schutz vor mechanischen Fehlern

zu erreichen	Lösungsvorschläge
keine mechanischen Fehler	Mehrseilbetrieb am Lastaufnahmemittel
	Verriegeln der Last in höchster Laststellung als Sicherung für ein Versagen des Antriebsstranges im Hubwerk
	Mehrgreiferbetrieb am Lastaufnahmemittel

8 Zusammenfassung

Für einen sicheren automatisierten Kranbetrieb bedarf es eines konsequenten Sicherheitskonzeptes, das über ein ganzes Lastspiel hinweg greift. Angefangen bei der richtigen Lastaufnahme über die sichere Kranfahrt bis zur Lastabgabe, sind die Vorgänge zu sichern, um Gefährdungen für die Umwelt auszuschließen. In dem hier vorliegenden Bericht werden sowohl der teilautomatisierte, als auch der vollautomatisierte Kranbetrieb im personenzugänglichen Umfeld ermöglicht. Die dazu vorgeschlagenen Sicherheitskonzepte sind zusätzlich flexibel, um Veränderungen der Krananlage mittragen zu können.

Die Kranbewegungen werden von Personen und Hindernissen getrennt, indem der Kran sich in einem Raum oberhalb von Personen und anderen Hindernissen bewegt. Ein Absenken in den Personenbereich findet nur nach vorhergehender Überprüfung in abgesperrten und gesicherten Bereichen statt. Die Lasten werden über standardisierte Ladehilfsmittel formschlüssig gegriffen und durch ein geschlossenes Lastaufnahmemittel sicher über Menschen hinweg transportiert. Die Lastabgabe erfolgt ebenso wie die Lastaufnahme nach vorhergehender Überprüfung in Übergabestationen. Die Anlage wird über mit einem Sicherheitsbussystem verbundene Sicherheitssteuerungen, die durch interne Plausibilitätsprüfungen Fehler ausschließen, gesteuert.

Für das Erarbeiten des Sicherheitskonzeptes wurden die bestehenden Regelwerke zur sicherheitstechnischen Auslegung von automatisierten Krananlagen analysiert und auf ihre Anwendbarkeit hin überprüft. Aufgrund der großen Spielräume bei der Auslegung dieser Regeln, die eine konkrete Anwendung erschweren, wurden anwendbare Sicherheitsleitlinien für automatisierte Krananlagen entwickelt.

Hierzu zeigt der Bericht anhand einer Gefahrenanalyse die Gefahren von automatisierten Krananlagen im personenzugänglichen Umfeld auf. Dafür wurden die bestehenden Methoden der Gefahrenanalyse untersucht und auf ihre Anwendbarkeit hin überprüft. Aufgrund der schlechten Anwendbarkeit der bestehenden Verfahren zur Durchführung einer Gefahrenanalyse für automatisierte Krananlagen, wurde eine eigene Methode entwickelt, die einen induktiven und einen deduktiven Ansatz zur Gefahrenermittlung verfolgt.

Die Ergebnisse der Gefahrenanalyse wurden als Ausgangspunkt für die Entwicklung eines durchgängigen Sicherheitskonzeptes verwendet, indem die in der Gefahrenanalyse aufgezeigten Gefahren Schritt für Schritt durch Sicherungsmaßnahmen minimiert werden.

Die Sicherheitsleitlinien für automatisierte Krananlagen im personenzugänglichen Umfeld stellen ein rationelles Werkzeug für die Planung flexibler Materialflusssysteme dar. Besonders die kleinen und mittelständischen Unternehmen (kmU) der Kranhersteller können mit den vorliegenden Sicherheitsleitlinien für automatisierte Krananlagen sehr schnell auf Anfragen zur Planung flexibler und skaliert automatisierbarer Krananlagen für den europäischen Raum reagieren. Neben der schnelleren Planung, lässt sich das wirtschaftliche Risiko bezüglich der Unsicherheit über die Abnahme einer Anlage senken. Die Unternehmen werden damit in die Lage versetzt, ihre Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern.

Das gesetzte Forschungsziel wurde im vollen Umfang erreicht und noch übertroffen. Das Projektergebnis wird als Entwurf für eine VDI-Richtlinie übernommen. Es soll auf diese Weise zum allgemeinen Stand der Technik erklärt und damit allen Unternehmen zugänglich gemacht werden.

9 Glossar

- Bus** Verbindet alle Busteilnehmer des Netzwerks über ein gemeinsames Kommunikationsmedium; besteht aus einem Kanal oder auch aus mehreren Kanälen.
- Busteilnehmer** Siehe Knoten.
- Buswächter** Schützt einen Kanal vor fehlerhaften Zugriffen eines Knotens. Dazu ist er mit dem Interface eines Busteilnehmers verbunden. Je nach Protokoll kann der Buswächter eine eigene physische Einheit darstellen oder auch nur in Form einer Software in einen Knoten integriert sein.
- CRC** Der Cyclic Redundancy Code befindet sich üblicherweise am Ende eines Frames und dient zur Überprüfung der Konsistenz eines Frames.
- Ereignisgesteuerter Bus** Es werden nur Daten gesendet, wenn ein wichtiges Ereignis eingetreten ist oder wenn eine Anweisung von der Steuerung zur Datenübertragung vorliegt. Der Vorteil dieses Übertragungsverfahrens liegt in der geringen benötigten Übertragungsbandbreite, nachteilig ist aber, dass Fehler mitunter nicht oder zu spät der Steuerung mitgeteilt werden.
- Frame** Enthält alle wesentlichen Informationen, die innerhalb eines Zeitfensters auf einem Kanal übertragen werden. Der Aufbau und Inhalt eines Frames sind dabei vom verwendeten Protokoll abhängig.
- Gateway** Ein Knoten kann auch als Gateway konfiguriert werden und zwei oder mehrere Netzwerke miteinander verbinden.
- Hamming Distanz** Minimaler Abstand von zwei Bytes/Codewörtern innerhalb eines Frames.
- Host** Ist der Teil eines Busteilnehmers, in dem die Anwendungssoftware ausgeführt wird.

- Interconnect Im englischen Sprachgebrauch verwendete Bezeichnung für Topologie.
- Interface Ist die Schnittstelle, die den Busteilnehmer mit dem Übertragungsmedium verbindet.
- Kanal Ist eine physische Verbindung zwischen mehreren Busteilnehmern. Ein redundanter Kanal besteht aus zwei Kanälen, die beide mit demselben Knoten verbunden sind.
- Knoten Stellt eine physische Einheit in einem Netzwerk dar. In ihm wird die zur Ausübung seiner Funktion notwendige Software ausgeführt. Er kann je nach Sicherheitsanforderung ein Interface oder auch mehrere enthalten.
- Nachrichten Daten werden innerhalb eines Frames verschickt. Mehrere solcher Nachrichten können (je nach Protokoll) in einem Frame zusammengefasst werden.
- Netzwerk Besteht aus einer Ansammlung von Knoten/Busteilnehmern, die miteinander über einen Bus verbunden sind. Ganze Netzwerke können über Gateways miteinander gekoppelt werden.
- Time-Slot Zeitdauer, in der einem Busteilnehmer der Zugriff auf das Kommunikationsmedium gestattet ist.
- Topologie Netzwerke können auf verschiedene Art und Weise strukturiert sein. Je nach Anordnung der Busteilnehmer in einem Netzwerk unterscheidet man zwischen Baum-, Linien-, Ring- und Sterntopologie. Es gibt noch einige andere Varianten, die aber meist nur eine Mischform aus den üblichen Netzwerkmustern darstellen.
- Zeitgesteuerter Buszugriff Bei dieser Art des Buszugriffs werden sämtliche Daten (time-triggered) (Prozessdaten, Maschinendaten) zu einem festen Zeittakt übertragen. Die Steuerung ist deshalb zu jedem Zeitpunkt über den Zustand des gesamten Systems informiert. Übertragungsfehler werden spätestens beim nächsten Zyklus erkannt.

10 Literaturverzeichnis

- [1] Kuhlmann, A.: Einführung in die Sicherheitswissenschaft, Köln, 1981.
- [2] Nohl, J., Thiemecke, H.: Systematik zur Durchführung von Gefährdungsanalysen, Teil 1: Theoretische Grundlagen, Bremerhaven, 1987
- [3] Nohl, J., Thiemecke, H.: Systematik zur Durchführung von Gefährdungsanalysen, Teil 2: Praxisbezogene Anwendung, Bremerhaven, 1987
- [4] Strnad, H., Vorath, B.-J., Kutter, M., Teherani, I.: Entwickeln und Konstruieren gefahrenfreier technischer Arbeitsmittel, Berlin, 1985
- [5] Rindfleisch, H.-N.: Untersuchung zur Methodik von Sicherheitsanalysen, Dortmund, 1984
- [6] Hoyos, C., Ruppert, F.: Der Fragebogen zur Sicherheitsdiagnose FSD, Bern, 1993
- [7] Teherani, I.: Sicherheitstechnische Lösungskataloge Entwicklung Aufbau und Gebrauch, VDI-Fortschrittbericht Reihe 1 Nr.: 102, Düsseldorf, 1983
- [8] Frey, H.: Computerorientierte Methodik der Systemzuverlässigkeits- und Sicherheitsanalyse, Zürich, 1973
- [9] Gockeln, R. Hoyos, C., Palecek, H.: Handlungsorientierte Gefährdungsanalysen an Unfallschwerpunkten der Stahlindustrie, München, 1981
- [10] IVSS, Sekt. Maschinenschutz: Methode zur Risikoanalyse an verschiedenen Typen von Maschinen mit Walzen, Mannheim, 1986
- [11] Handrich, W., Entwicklung eines stufenweise automatisierbaren Leichtförder-systems im Überflurbereich, in: Günthner, W.A., Reinhart, G.: Forschungsprojekt MATVAR - Abschlussbericht, München, 2000
- [12] Kapp, K.-H.: Eine Methode zur Konstruktion und Überprüfung sicherheitsrelevanter Automatisierungssoftware, Karlsruhe, 1985
- [13] Konakovsky, R.: Definition und Berechnung der Sicherheit von Automatisierungssystemen, Braunschweig, 1977

-
- [14] Schmidt, E.: Sicherheit und Zuverlässigkeit aus konstruktiver Sicht; Ein Beitrag zur Konstruktionslehre, Darmstadt, 1981
 - [15] Hannover, H.-O., Mechtold, F., Koop, J., Lenzkes, D.: Sicherheit bei Kranen, 7. Auflage, Heidelberg, 1997
 - [16] Krywald, P.-H.: Anwenderhandbuch EG-Konformität für Maschinen, Heidelberg, 1998
 - [17] Verwaltungsgemeinschaft Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft Hütten- und Walzwerks-Berufsgenossenschaft (Hrsg.): Europäisches Recht für Krananlagen, Düsseldorf, 1999
 - [18] Bambynek, A.: Flurfreie Fördersysteme im automatisierten Materialfluss, München, 2000
 - [19] Niederspannungsrichtlinie 73/23/EWG
 - [20] Richtlinie über die elektromagnetische Verträglichkeit 89/336/EWG - EMV
 - [21] Arbeitsschutz-Rahmenrichtlinie 89/391/EWG
 - [22] Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie 89/655/EWG mit der Änderungsrichtlinie 95/63/EWG
 - [23] Handrich, W.: Flexible. flurfreie Materialflusstechnik für dynamische Produktionsstrukturen, München: Herbert Utz Verlag, 2001
 - [24] Günthner, W.A; Bambynek, A.; Handrich, W.: Automatikkrane im Produktionsumfeld: Wie lässt sich die geforderte Sicherheit erreichen? F+H Fördern und Heben 51 (2001) Nr. 10 S. 742-744
 - [25] Grießbach, Robert; Berwanger, Josef; Peller, Martin: byteflight - neues Hochleistungs-Datenbussystem für sicherheitsrelevante Anwendungen. Automotive Electronics, Sonderausgabe von ATZ und MTZ, 1999
 - [26] Belschner, Ralf; Berwanger, Josef; Führer, Thomas; u.a.: FlexRay Requirements Specification. Version 1.9.7, 7.September 2001
 - [27] INTERBUS Club Deutschland e.V.: White Paper INTERBUS Safety, Blomberg: INTERBUS Club Deutschland, 2000
 - [28] Rushby, John: A Comparison of Bus Architectures for Safety-Critical Embedded Systems. Menlo Park, USA: SRI International, September 2001
 - [29] Pilz GmbH, Ostfildern, FS Systembeschreibung S.4-2 bis 4-3 Systemhandbuch modulare/kompakte PSS
 - [30] Bauer, C.-O.: Risiko- und Gefahrenanalyse - verbindliche rechtliche Forderung - unklare praktische Durchführung

- [31] Pauly, B.: Neue Konzeptionen für flurfreie Materialflußsysteme, Technica, Band 44 (1995) Heft 10, S. 39-43
- [32] Günthner, W.A., Handrich, W.: Einsatzmöglichkeiten eines Leichtfördersystems im Überflurbereich, Logistik aktuell: Automatisierte Krane- Einsatzverfahren und Entwicklungstendenzen, Dresden, 15. Mai 1998, Hrsg.: H.-G. Marquardt
- [33] Günthner, W.A., Handrich, W.: Ein Ansatz für mehr Flexibilität: Leichtfördersystem im Überflurbereich, fördern und heben: f+h 48 (1998) Nr. 5, S. 349-352
- [34] Hesse, W.: Technik und Anwendung automatisierter Krane, Hebezeuge und Fördermittel, Band 35 (1995) Heft 12, S. 521-524
- [35] Günthner, W.A., Bambynek, A.: Schnittstellenbaukasten: Integrierbarkeit eines flurfreien Leichtfördersystems, Hebezeuge und Fördermittel, Band 38 (1998), S. 593-595
- [36] VBG 9: UVV Krane, VBG9a: UVV Lastaufnahmeeinrichtungen im Hebezeugbetrieb, VBG 8: UVV Winden Hub und Zuggeräte, VBG 4: Elektrische Anlagen
- [37] Verein Deutscher Ingenieure, VDI 3653 Automatisierte Kransysteme, Beuth, Düsseldorf 1995
- [38] Pietryga, U.: Trends in der Steuerungstechnik von Großkranen, Tagungsbeiträge zur 11. Kranfachtagung 16. Mai 2003, Dresden, S.116-131
- [39] Pietryga, U.: Sicherheit von Steuerungen, fördern und heben, 48 (1998) Nr. 10 S.773-775
- [40] Janzer, T., HIMA Paul Hildebrandt GmbH + Co KG Industrie Automatisierung: Flexible Automatisierungslösungen für dezentrale zeitkritische Sicherheitsanwendungen, www.hima.de
- [41] Günthner, W.A., Schubert, I.: Sicher unter schwebender Last, Hebezeuge und Fördermittel, Berlin 42 (2002) Heft 9, S.428-430
- [42] Günthner, W.A., Schubert, I.: Konzepte zum sicheren Betrieb von automatisierten Krananlagen im personenzugänglichen Umfeld, 10. Internationale Kranfachtagung 2002, Otto von Guericke Universität Magdeburg, IFSL Berichte aus dem Institut Reihe III: Tagungsberichte Nr.: 16 S.15-30

Anhang A

Liste der wichtigsten nationalen Vorschriften

Vorschrift	Titel	Fassung
Unfallverhütungsvorschriften		
VBG 1	Allgemeine Vorschriften	01.07.91
VBG 4	Elektrische Anlagen und Betriebsmittel	01.04.79
VBG 5	Kraftbetriebene Arbeitsmittel	01.01.93
VBG 8	Winden, Hub- und Zuggeräte	01.04.96
VBG 9	Krane	01.10.93
VBG 9a	Lastaufnahmeeinrichtungen im Hebezeugbetrieb	01.01.93
VBG 11	Schienenbahnen	01.01.93
VBG 12	Fahrzeuge	01.01.93
VBG 74	Leitern und Tritte	01.10.92
VBG 121	Lärm	10.96
Sicherheitsregeln / Richtlinien		
ZH 1/26	Sicherheitsregeln für höhenbewegliche Steuerstände von Kranen	04.90
ZH 1/64	Richtlinien für Kranführeraufzüge	04.83
ZH 1/74	Sicherheitsregeln für Hydraulik-Schlauchleitungen	04.88
ZH 1/461	Sicherheitsregeln für hochziehbare Personenaufnahmemittel	10.89
ZH 1/547	Richtlinien für Funkfernsteuerungen von Kranen	06.76
DIN-Normen		
DIN 685-2	Geprüfte Rundstahlketten; Sicherheitstechnische Anforderungen	11.81
DIN 685-3	Geprüfte Rundstahlketten; Prüfung	11.81
DIN 685-4	Geprüfte Rundstahlketten; Kennzeichnung, Prüfzeugnis	11.81
DIN 685-5	Geprüfte Rundstahlketten; Benutzung	11.81
DIN 1142	Drahtseilklemmen für Seil-Endverbindungen bei sicherheitstechnischen Anforderungen	01.82
DIN 3051-4	Drahtseile aus Stahldrähten; Grundlagen; Technische Lieferbedingungen	03.72
DIN 3052	Drahtseile aus Stahldrähten; Spiralseil 1 x 7	03.72
DIN 3053	Drahtseile aus Stahldrähten; Spiralseil 1 x 19	03.72
DIN 3054	Drahtseile aus Stahldrähten; Spiralseil 1 x 37	03.72
DIN 3055	Drahtseile aus Stahldrähten; Rundlitzenseil 6 x 7	03.72
DIN 3056	Drahtseile aus Stahldrähten; Rundlitzenseil 8 x 7	03.72
DIN 3057	Drahtseile aus Stahldrähten; Rundlitzenseil 6 x 19 Filler	03.72
DIN 3058	Drahtseile aus Stahldrähten; Rundlitzenseil 6 x 19 Seale	03.72
DIN 3059	Drahtseile aus Stahldrähten; Rundlitzenseil 6 x 19 Warrington	03.72

Vorschrift	Titel	Fassung
DIN 3060	Drahtseile aus Stahldrähten; Rundlitzenseil 6 x 19 Standard	03.72
DIN 3061	Drahtseile aus Stahldrähten; Rundlitzenseil 8 x 19 Filler	03.72
DIN 3062	Drahtseile aus Stahldrähten; Rundlitzenseil 8 x 19 Seale	09.73
DIN 3063	Drahtseile aus Stahldrähten; Rundlitzenseil 8 x 19 Warrington	09.73
DIN 3064	Drahtseile aus Stahldrähten; Rundlitzenseil 6 x 36 Warrington-Seale	03.72
DIN 3065	Drahtseile aus Stahldrähten; Rundlitzenseil 6 x 35 Warrington gedeckt	03.72
DIN 3066	Drahtseile aus Stahldrähten; Rundlitzenseil 6 x 37 Standard	03.72
DIN 3067	Drahtseile aus Stahldrähten; Rundlitzenseil 6 x 38 Warrington-Seale	03.72
DIN 3068	Drahtseile aus Stahldrähten; Rundlitzenseil 6 x 24 Standard + 7 Fasereinlagen	03.72
DIN 3069	Drahtseile aus Stahldrähten; Spiral-Rundlitzenseil 18 x 7, drehungsarm	03.72
DIN 3070	Drahtseile aus Stahldrähten; Flachlitzenseil 10 x 10, drehungsarm	03.72
DIN 3071	Drahtseile aus Stahldrähten; Spiral-Rundlitzenseil 36 x 7, drehungsfrei	07.72
DIN 3089-1	Drahtseile aus Stahldrähten; Spleiße; Spleißverbindungen an Drahtseilen	05.90
DIN 3089-2	Drahtseile aus Stahldrähten; Spleiße; Langspleiß	04.84
DIN 3090	Kauschen; Formstahlkauschen für Drahtseile	08.89
DIN 3091	Kauschen; Vollkauschen für Drahtseile	12.88
DIN 3093-1	Preßklemmen aus Aluminium-Knetlegierungen; Rohlinge aus Flachovalrohren mit gleichbleibender Wanddicke; Technische Lieferbedingungen	12.88
DIN 3093-2	Preßklemmen aus Aluminium-Knetlegierungen; Preßverbindungen; Sicherheitstechnische Anforderungen	12.88
DIN 3095-1	Flämische Augen mit Stahlpreßklemmen; Stahlpreßklemmen; Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfung	12.88
DIN 3095-2	Flämische Augen mit Stahlpreßklemmen; Formen; Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfung	12.88
DIN 4132	Kranbahnen; Stahltragwerke; Grundsätze für Berechnung, bauliche Durchbildung und Ausführung	02.81
DIN 5648-1	Rundstahlketten für Hebezeuge; Güteklasse 5, lehrenhaltig, geprüft	05.84
DIN 5648-2	Rundstahlketten für Hebezeuge; Güteklasse 6, lehrenhaltig, geprüft	05.84
DIN 5648-3	Rundstahlketten für Hebezeuge; Güteklasse 8, lehrenhaltig, geprüft	05.84
DIN 5687-1	Rundstahlketten; Teil 1: Güteklasse 5; mittel toleriert, geprüft	04.96
DIN 15003	Hebezeuge; Lastaufnahmeeinrichtungen, Lasten und Kräfte; Begriffe	02.70
DIN 15006	LKW-Ladekrane; Anordnung und Betätigungsrichtung von Stellteilen bei der Handbedienung am Kran vom Flur aus	02.81
DIN 15018-1	Krane; Grundsätze für Stahltragwerke; Berechnung	11.84
DIN 15018-2	Krane; Stahltragwerke; Grundsätze für die bauliche Durchbildung und Ausführung	11.84
DIN 15018-3	Krane; Grundsätze für Stahltragwerke; Berechnung von Fahrzeugkranen	11.84

Vorschrift	Titel	Fassung
DIN 15019-1	Krane; Standsicherheit für alle Krane außer gleislosen Fahrzeugkranen und außer Schwimmkranen	09.79
DIN 15019-2	Krane; Standsicherheit für gleislose Fahrzeugkrane; Prüfbelastung und Berechnung	06.79
DIN 15020-1	Hebezeuge; Grundsätze für Seiltriebe; Berechnung und Ausführung	02.74
DIN 15020-2	Hebezeuge; Grundsätze für Seiltriebe; Überwachung im Gebrauch	04.74
DIN 15025	Krane; Betätigungssinn und Anordnung von Stellteilen in Krankabinen	01.78
DIN 15026	Hebezeuge; Kennzeichnung von Gefahrenstellen	01.78
DIN 15030	Hebezeuge; Abnahme von Krananlagen; Grundsätze	11.77
DIN 15063	Hebezeuge; Seilrollen; Technische Lieferbedingungen	12.77
DIN 15070	Krane; Berechnungsgrundlagen für Laufräder	12.77
DIN 15085	Hebezeuge; Laufräder; Technische Lieferbedingungen	12.77
DIN 15105	Lasthaken für Hebezeuge; Bundhaken	08.85
DIN 15106	Lasthaken für Hebezeuge; Hakenmaulsicherung	09.82
DIN 15400	Lasthaken für Hebezeuge; Mechanische Eigenschaften, Werkstoffe; Tragfähigkeiten und vorhandene Spannungen	06.90
DIN 15401-1	Lasthaken für Hebezeuge; Einfachhaken, Rohteile	11.90
DIN 15401-2	Lasthaken für Hebezeuge; Doppelhaken; Fertigteile mit Gewindeschäft	09.83
DIN 15404-1	Lasthaken für Hebezeuge; Technische Lieferbedingungen für geschmiedete Lasthaken	12.89
DIN 15404-2	Lasthaken für Hebezeuge; Technische Lieferbedingungen für Lamellenhaken	11.88
DIN 15405-1	Lasthaken für Hebezeuge; Überwachung im Gebrauch von geschmiedeten Lasthaken	03.79
DIN 15405-2	Lasthaken für Hebezeuge; Überwachung im Gebrauch von Lamellenhaken	11.88
DIN 15407-1	Lasthaken für Hebezeuge; Lamellen-Einfachhaken für Roheisen- und Stahlgießpfannen; Zusammenstellung, Hauptmaße	09.77
DIN 15407-2	Lasthaken für Hebezeuge; Lamellen-Einfachhaken für Roheisen- und Stahlgießpfannen; Einzelteile	08.89
DIN 15410	Serienhebezeuge; Unterflaschen für Elektrozüge; einrollig und zweirollig; Zusammenstellung	07.82
DIN 15411	Hebezeuge; Lasthaken-Aufhängungen für Unterflaschen	08.83
DIN 15428	Hebezeuge; Lastaufnahmeeinrichtungen; Technische Lieferbedingungen	08.78
DIN 15429	Hebezeuge; Lastaufnahmeeinrichtungen; Überwachung im Gebrauch	07.78
DIN 15434-1	Antriebstechnik; Trommel- und Scheibenbremsen; Berechnungsgrundsätze	01.89
DIN 15434-2	Antriebstechnik; Trommel- und Scheibenbremsen; Überwachung im Gebrauch	01.89
DIN 15436	Antriebstechnik; Trommel- und Scheibenbremsen; Technische Anforderungen für Bremsbeläge	01.89
DIN 15437	Antriebstechnik; Bremstrommeln und Brems Scheiben; Technische Lieferbedingungen	01.89

Vorschrift	Titel	Fassung
DIN 31001-1	Sicherheitsgerechtes Gestalten technischer Erzeugnisse; Schutzeinrichtungen; Begriffe, Sicherheitsabstände für Erwachsene und Kinder	04.83
DIN 31003	Ortsfeste Arbeitsbühnen einschließlich Zugänge; Begriffe, Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfung	02.81
DIN VDE 0100-726	Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V; Hebezeuge	03.90
DIN VDE 0100-726 A1	Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V; Teil 726: Hebezeuge; Änderung 1	04.95

Quelle: [17]

Anhang B

Tabelle zur Gefahrenanalyse

Teilarbeitsvorgang

Situation	Resultierende Situation	Bewertung
Aktoren		
Antrieb Katze		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		
Antrieb Kranbahn		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		
Antrieb Hubwerk		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		
Antrieb Lastaufnahme- mittel		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		
weitere Aktoren...		
Sensoren		
Wegmeßsystem		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		
Mechanik		
Kranbahn		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		
Katze		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		

Teilarbeitsvorgang

Situation	Resultierende Situation	Bewertung
Fortsetzung Sensoren		
Überlastsicherung		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		
weitere Sensoren...		
Mechanische Bauelemente		
Kranbrücke		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		
Katze		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		
Zugmittel		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		
Lastaufnahmemittel		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		
Ladehilfsmittel		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		
weitere mechanische Bauelemente		
Steuerelemente		
Handsteuerschalter		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		
Rufschalter		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		
dezentrale Steuerelemente		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		
Leitrechner		
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		

Teilarbeitsvorgang

Software	Resultierende Situation	Bewertung
richtige Funktion		
keine Funktion		
falsche Funktion		
Kommunikation zwischen Aktorik Sensorik und Steuerung		
richtige Kommunikation		
keine Kommunikation		
falsche Kommunikation		
Kommunikation zwischen Steuerung und Katze		
richtige Kommunikation		
keine Kommunikation		
falsche Kommunikation		
Situation		
Kommunikation zwischen Steuerung und Kranbrücke		
richtige Kommunikation		
keine Kommunikation		
falsche Kommunikation		
Kommunikation zwischen Steuerung und Lastaufnahmemittel		
richtige Kommunikation		
keine Kommunikation		
falsche Kommunikation		
Kommunikation zwischen Steuerung und Wegmeßsystem		
richtige Kommunikation		
keine Kommunikation		
falsche Kommunikation		
weitere Steuerelemente...		
Bediener		
Aufgabe ausführen		
Aufgabe nicht ausführen		
Aufgabe unkorrekt ausführen		
Aufgabe zu früh ausführen		
Aufgabe zu spät ausführen		
Umwelteinflüsse		
thermisch		
mechanisch		
elektrisch		
akustisch		
Energieausfall		
weitere Umwelteinflüsse...		