

Abbildung 35 zeigt die gleiche Grundschialtung, doch wurde der Verriegelungsschalter durch einen Sicherheits-Lichtvorhang ersetzt.

Der Sicherheits-Lichtvorhang ist ein komplexes Gerät. Selbst in seiner einfachsten Form besitzt er eine relativ große Anzahl elektronischer Komponenten einschließlich integrierter Schaltkreise. Anspruchsvollere Ausführungen (mit mehr Leistungsmerkmalen) erfordern möglicherweise auch programmierbare Geräte und Software.

Vorhersehen und Vermeiden aller gefährlichen Fehler in einem elektronischen, aber nicht programmierbaren Gerät wäre eine gewaltige Aufgabe und bei einem programmierbaren Gerät praktisch unmöglich. Deshalb muss akzeptiert werden, dass Fehler möglich sind. Die beste Gegenmaßnahme besteht in der Fehlererkennung und im Einsatz der notwendigen Schutzfunktion (z.B. Ausschaltung und Übergang in einen sicheren Zustand). Es wird also ein Gerät benötigt, das die Anforderungen der Kategorien 2, 3 oder 4 erfüllt. Mit einer einfachen Schaltung wie in Abbildung 35 überwacht der Lichtvorhang auch Verdrahtung und Schütze. Da alle Lichtvorhänge relativ komplex sind, richtet sich die Wahl der Kategorien normalerweise ausschließlich nach den Ergebnissen der Risikobeurteilung. Dies schließt nicht aus, dass mit einer anderen Kategorie gearbeitet werden kann, falls ein Gerät einen unkonventionellen, aber brauchbaren Ansatz bietet.

Die beiden letzten Beispiele zeigen, dass der **gleiche** Schutzgrad durch zwei Arten von Systemen mit Geräten **verschiedener** Kategorien erreichbar ist.

## Weitere Überlegungen und Beispiele

Dieser Abschnitt enthält Beispiele sicherheitsgerichteter Steuerstromkreise mit Hinweisen auf empfohlene Ausführungsregeln und die entsprechenden sicherheitsgerichteten Steuerungskategorien.

### Allgemeine Anforderungen

Das System muss den zu erwartenden Einflüssen standhalten. Diese umfassen Temperatur, Umwelteinflüsse, Leistungslast, Einsatzhäufigkeit, Störeinkoppelungen, Schwingungen usw. Die Norm IEC 60204-1 „Sicherheit von Maschinen — Elektrische Ausrüstung von Maschinen — Allgemeine Anforderungen“ enthält ausführliche Spezifikationen zu den Themen Berührungsschutz, Verdrahtung, Isolierung, Potentialausgleich, Geräte, Netzteile, Steuerstromkreise, Steuerfunktionen usw. Jeder, der sich mit Entwurf und Wartung sicherheitsrelevanter Steuerungen befasst, sollte diese Norm kennen.

### Stromkreis und Überwachungs-Sicherheitsrelais

Die folgenden Beispiele basieren auf der Installation eines Verriegelungsschalters, doch das gleiche Prinzip ist auch auf andere Schaltgeräte (z.B. Not-Aus oder Auslösevorrichtungen) anwendbar.

#### Kategorie 1

Abbildung 36 zeigt einen einfachen sicherheitsgerichteten Steuerstromkreis. Das Verriegelungsgerät arbeitet mit Zwangsbetätigung und erfüllt die Anforderungen von Kategorie 1. Das Schütz ist für seine Aufgabe korrekt gewählt und nach bestimmten Normen ausgelegt und hergestellt. Das für einen Fehler anfälligste Teil des Systems ist die Verdrahtung. Um diesen

Schwachpunkt zu beseitigen, ist die Verdrahtung in Übereinstimmung mit den zutreffenden Bestimmungen der Norm IEC 60204-1 zu installieren. Die Kabel sind auf eine Weise zu verlegen und zu schützen, dass vorhersehbare Kurzschlüsse oder Masseschlüsse vermieden werden. Dieses System erfüllt die Anforderungen von Kategorie 1.

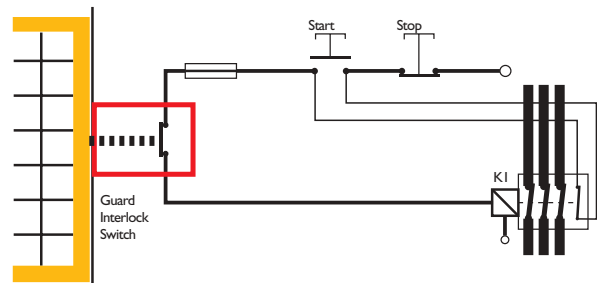


Abbildung 36

Abbildung 37 zeigt eine etwas komplexere Schaltung. In diesem Fall muss das Verriegelungsgerät mehrere Schütze schalten, und jedes Schütz steuert einen anderen Arbeitsstromkreis. Für die Einzelteile gelten die gleichen Anforderungen.

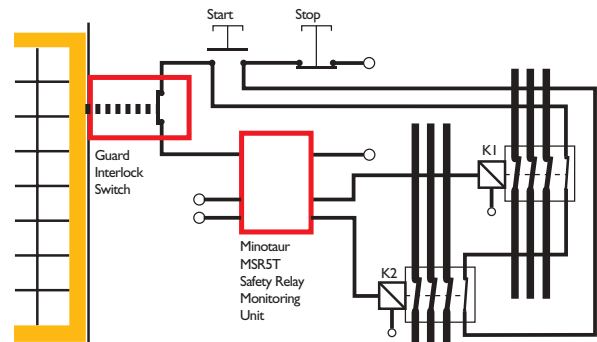


Abbildung 37

Für eine nicht sicherheitsgerichtete Schaltung könnte ein normales Relais zum „Teilen“ des Signals verwendet werden, doch wo es um Sicherheit geht, ist dies nicht akzeptabel, da die Kontakte normaler Relais kleben können (was manchmal auch vorkommt). Deshalb wird ein Überwachungs-Sicherheitsrelais wie das Guardmaster MINOTAUR MSR5T verwendet, um sicheres Schalten zu gewährleisten. Dieses System erfüllt die Anforderungen von Kategorie 1.

#### Kategorie 2

Abbildung 38 zeigt ein System, das die Anforderungen von Kategorie 2 erfüllt und daher einen Test der Sicherheitsfunktion bestehen muss, bevor die Maschine eingeschaltet werden kann. Zusätzlich muss das System in regelmäßigen Intervallen getestet werden. Beim ersten Einschalten lässt das Minotaur-Sicherheitsrelais die Aktivierung des Schützes erst dann zu, nachdem die Schutzvorrichtung einmal geöffnet und geschlossen wurde. Dies veranlasst eine Prüfung auf Einzelfehler im Stromkreis zwischen Schalter und Minotaur. Erst wenn diese Prüfung erfolgreich bestanden ist, wird das Schütz aktiviert. Auch bei jeder folgenden Betätigung der Schutzvorrichtung wird der Stromkreis in ähnlicher Form geprüft.



## Safety Principles

### Weitere Überlegungen und Beispiele

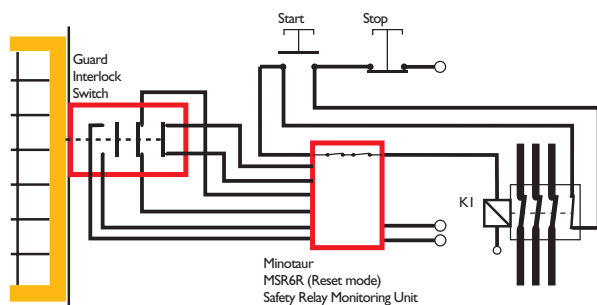


Abbildung 38

#### Kategorie 3

Abbildung 39 zeigt ein System, das die Anforderungen von Kategorie 3 erfüllt und oft für Applikationen mit höheren Risikoabschätzungen geeignet ist. Es handelt sich um ein Zweikanalsystem, das vollständig überwacht wird, einschließlich der beiden Schütze. Beim Öffnen und Schließen der Schutzvorrichtung bewirkt ein einziger gefährlicher Fehler, dass die Speisespannung der Schütze vom Minotaur-Sicherheitsrelais solange blockiert wird, bis der Fehler behoben und das Minotaur zurückgesetzt ist.

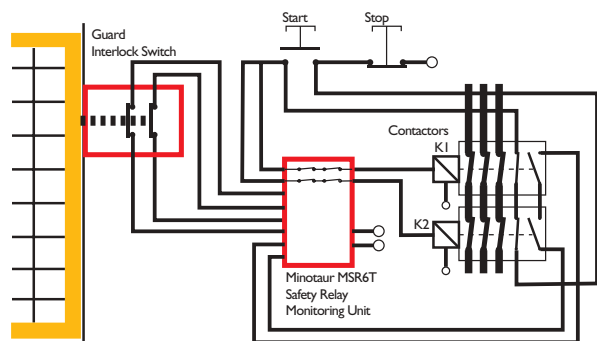


Abbildung 39

#### Kategorie 4

Kategorie 4 fordert, dass die Funktion des Sicherheitssystems auch bei einer Häufung unerkannter Fehler noch gewährleistet ist. Die gängigste Lösung hierfür sind Schaltungen, die mit Dauerüberwachung oder häufiger Überwachung arbeiten. Mit den meisten mechanischen oder elektromechanischen Komponenten (z.B. mechanische Schalter, Relais, Schütze), wie sie in Verriegelungen und Not-Aus-Systemen eingesetzt werden, ist dies nicht machbar.

Diese Techniken sind dazu geeignet (und werden oft dazu verwendet), elektronische Komponenten zu überwachen, da häufige Zustandsänderungen möglich sind und die Lebensdauer der Komponente nicht beeinträchtigt wird. Deshalb ist der Ansatz nach Kategorie 4 oft in autonomen Teilsystemen wie Lichtvorhängen zu finden.

#### Programmierbare elektronische Systeme

In den oben gezeigten sicherheitsgerichteten Schaltungen ist das Schutzgerät direkt an ein oder mehrere Schütz(e) angeschlossen, wobei Kabelverbindungen und einfach oder vollständig überwachte elektromechanische Geräte verwendet werden. Dies ist das

empfohlene Verfahren der „Festverdrahtung“. Ihre Einfachheit ist gleichbedeutend mit Zuverlässigkeit und relativ leichter Überwachbarkeit. Zunehmend wird die Steuerung der normalen Betriebsabläufe von Maschinen durch programmierbare Geräte übernommen. Mit den Fortschritten in der Technologie können programmierbare und komplexe elektronische Steuerungen als das Zentralnervensystem vieler Maschinen betrachtet werden. Jedes Geschehen in der Steuerung wirkt sich auf die Maschine aus und umgekehrt. Wird eine Maschine durch andere Einwirkungen als Steuerbefehle zum Stillstand gebracht, kann es zu schwerer Beschädigung von Werkzeugen und Maschine kommen, außerdem zu Verlust oder Beschädigung von Programmen. Es ist auch möglich, dass sich die Maschine beim Neustart unvorhersehbar verhält, weil die Abfolge der Steuerbefehle durcheinandergeraten ist. Leider bringt die Komplexität der meisten programmierbaren elektronischen Systeme zu viele Ausfallarten mit sich, um ihnen allein das Stillsetzen der Maschine auf den Befehl einer Schutzverriegelung oder eines Not-Aus-Tasters zu überlassen.

Anders ausgedrückt: Stillsetzen ohne Beschädigung der Maschine ODER sicheres Stillsetzen — ABER NICHT BEIDES. Drei Lösungen werden unten vorgestellt:

##### 1. Sicherheitsgerichtete programmierbare Systeme

Theoretisch ist es möglich, ein programmierbares System so auszulegen, dass es eine genügend hohe Funktionssicherheit für sicherheitsgerichteten Einsatz aufweist. In der Praxis wird dies durch besondere Maßnahmen wie Redundanz und Diversität mit Querüberwachung der Funktionseinheiten erreicht. In manchen Fällen mag dies eine Option sein, doch dann müssen diese besonderen Maßnahmen auf alle Aspekte ausgedehnt werden, einschließlich der Entwicklung der Software.

Die grundlegende Frage ist: Lässt sich sicherstellen, dass keine (oder ausreichend wenige) Ausfälle auftreten werden? Eine vollständige Analyse des Ausfallverhaltens kann selbst bei relativ einfachen programmierbaren Geräten übermäßig zeitaufwendig und teuer oder sogar unmöglich sein.

Die Norm IEC 61508 behandelt dieses Thema sehr ausführlich. Wer sich mit sicherheitsgerichteten programmierbaren Systemen befasst, sollte diese Norm durcharbeiten.

Die Entwicklungskosten solcher Systeme lassen sich für Anwendungen rechtfertigen, bei denen diese Systeme erhebliche Vorteile haben oder bei denen kein anderes Verfahren funktioniert.

##### 2. Überwachungsgerät mit zeitverzögertem Umgebungsbehl (siehe Abbildung 40). Dieses System hat die hohe Funktionssicherheit der Festverdrahtung und erlaubt ebenso eine korrekte Ausschaltsequenz, die Maschine und Programm schützt.

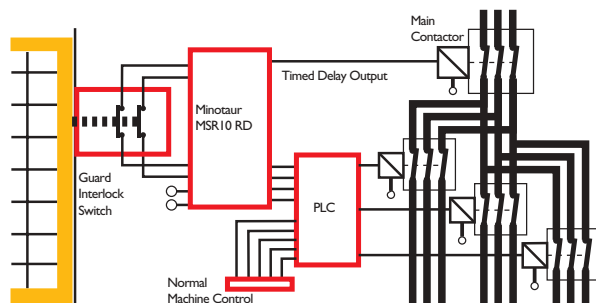


Abbildung 40



Die Hauptausgänge des Guardmaster MINOTAUR MSR10RD sind mit Eingängen am programmierbaren Gerät (z.B. SPS/PLC) verbunden, während die zeitverzögerten Ausgänge mit dem Schütz verbunden sind. Wenn der Verriegelungsschalter der Schutzvorrichtung betätigt wird, schalten die Hauptausgänge am Minotaur sofort. Das programmierbare System veranlasst daraufhin eine korrekt ablaufende Ausschaltsequenz. Nachdem eine hierfür ausreichende Zeit verstrichen ist, schaltet der verzögerte Ausgang am Minotaur und trennt das Hauptschütz.

Die Produktfamilie Guardmaster kann mit verschiedenen Schutzgeräten kombiniert werden und ist auch mit anderen Konfigurationen und Schaltanordnungen lieferbar, um den Anforderungen des jeweiligen Systems gerecht zu werden.

**Anmerkung:** Berechnungen zum Bestimmen der Gesamtanhaltezeit müssen die Verzögerungszeit des Minotaur berücksichtigen. Dies ist besonders wichtig, wenn dieser Faktor die Anordnung von Geräten gemäß Norm EN 999 bestimmt.

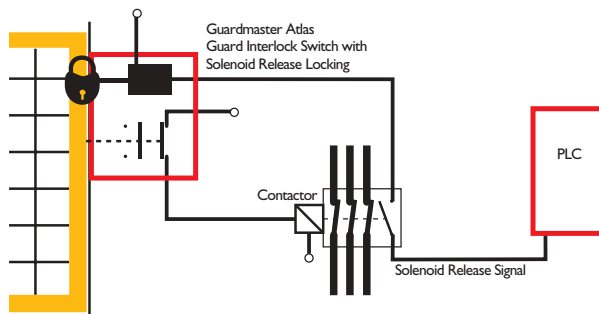


Abbildung 41

3. SPS-gesteuerte Schutzverriegelungsgeräte (siehe Abbildung 41). Auch dieses System bietet die hohe Funktionssicherheit der Festverdrahtung kombiniert mit der Fähigkeit, eine korrekte Ausschaltsequenz ablaufen zu lassen. Das System kann jedoch nur angewendet werden, wenn der Gefahrenbereich mit einer Schutzvorrichtung versehen ist.

Um Öffnen der Schutztür zu ermöglichen, muss der Elektromagnet des Guardmaster ATLAS ein Freigabesignal von der SPS erhalten. Dieses Signal wird erst nach Abarbeitung einer Ausschaltbefehlsfolge gegeben. Dies stellt sicher, dass kein Werkzeugschaden oder Programmverlust eintritt. Wenn der Elektromagnet aktiviert ist, kann die Tür geöffnet werden. Daraufhin trennen die Steuerstromkontakte am ATLAS das Maschinenschütz.

Bei nachlaufenden Maschinen oder unerwünschten Freigabesignalen kann es notwendig sein, in Verbindung mit der SPS das Zeitverzögerungsgerät Guardmaster CU1 oder das Bewegungserkennungsgerät CU2 einzusetzen (für diese Applikation eignen sich Guardmaster Atlas oder TLS-GD2).

## Weitere Überlegungen

### Wiederanlauf von Maschinen

Wenn beispielsweise eine verriegelte Schutztür an einer laufenden Maschine geöffnet wird, stoppt der Sicherheits-Verriegelungsschalter die Maschine. In den meisten Fällen ist es eine zwingende Notwendigkeit, dass die Maschine nicht sofort nach dem Schließen der Schutztür wieder anläuft. Ein übliches Verfahren, dies zu erreichen, ist Anlauf mit selbsthaltendem Schütz, siehe Abbildung 42. Hier dient eine verriegelte Schutztür als Beispiel, doch die Anforderungen gelten auch für andere Schutzgeräte und Not-Aus-Systeme.

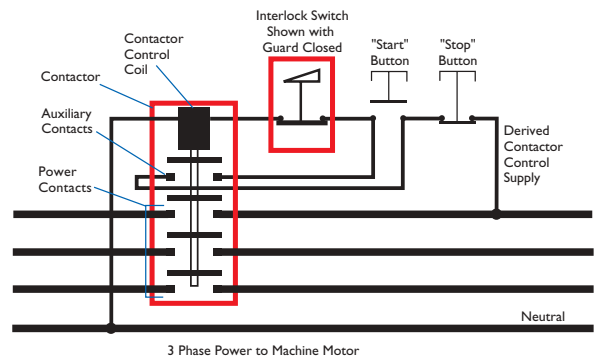


Abbildung 42

Kurzes Drücken des Starttasters aktiviert die Steuerspule im Schütz, wodurch die Arbeitsstromkontakte schließen. Solange Strom über die Arbeitsstromkontakte fließt, bleibt die Steuerspule durch die mechanisch mit den Arbeitsstromkontakten verbundenen Hilfskontakte des Schützes erregt (elektrisch gerastet). Bei Unterbrechung der Hauptspannung oder Steuerspannung wird die Spule stromlos, und die Arbeitsstrom- und Hilfskontakte öffnen. Die Verriegelung der Schutztür ist im Steuerstromkreis des Schützes verdrahtet. Dies bedeutet, dass Wiederanlauf nur möglich ist, wenn die Schutztür geschlossen und die Maschine anschließend mit dem normalen Einschaltknopf in Betrieb gesetzt wird. Dadurch wird das Schütz zurückgestellt, und die Maschine läuft wieder an.

Die Anforderung für normale Verriegelungssituationen regelt ISO 12100-1, Absatz 3.22.4 (Auszug):

*Bei geschlossener Schutzvorrichtung sind die von der Schutzvorrichtung abgedeckten gefährlichen Maschinenfunktionen betriebsfähig, doch Schließen der Schutzvorrichtung selbst darf nicht die Maschine in Betrieb setzen.*

Viele Maschinen besitzen bereits Einfach- oder Doppelschütze, die wie oben beschrieben funktionieren (oder besitzen ein System, mit dem das gleiche Ergebnis erreicht wird). Beim Nachrüsten einer Verriegelung an vorhandenen Maschinen ist zu prüfen, ob die Steueranordnung für den Arbeitsstrom dieser Anforderung entspricht. Gegebenenfalls sind zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen.

