



► Über Zuhaltungen

Whitepaper
Juli 2025

PILZ
THE SPIRIT OF SAFETY

Haftungsausschluss

Wir haben unser Whitepaper sehr sorgfältig zusammengestellt. Es enthält Informationen über unser Unternehmen sowie über unsere Produkte. Alle Angaben haben wir nach dem heutigen Stand der Technik und bestem Wissen und Gewissen gemacht. Dennoch können wir für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Angaben, sofern uns nicht der Vorwurf grober Fahrlässigkeit trifft, keine Haftung übernehmen, da sich trotz aller Sorgfalt Fehler nicht vollständig vermeiden lassen. Insbesondere haben die Angaben nicht die rechtliche Qualität von Zusicherungen oder zugesicherten Eigenschaften. Für Hinweise auf Unstimmigkeiten sind wir dankbar.

Urheberrecht

Alle Rechte an dieser Publikation sind der Pilz GmbH & Co. KG vorbehalten. Technische Änderungen behalten wir uns vor. Kopien für den innerbetrieblichen Bedarf des Benutzers dürfen angefertigt werden. Die verwendeten Produkt-, Waren- und Technologiebezeichnungen sind Warenzeichen der jeweiligen Firmen.

Pilz GmbH & Co. KG
Felix-Wankel-Straße 2
73760 Ostfildern

© 2025 by Pilz GmbH & Co. KG, Ostfildern
2. Auflage

Auf einen Blick

Zuhaltungen sind in verschiedenartigsten Applikationen in Produktionsanlagen und Fertigungsmaschinen anzutreffen. Sie sind häufig unabdingbar, um das Risiko an Maschinen und Anlagen zu minimieren. Daher wird auch häufig von Sicherheitszuhaltungen gesprochen. Die Ausprägungen einer Zuhaltung am Markt sind sehr vielfältig und nicht jedes Produkt ist das passende für eine Applikationen.

Die EN ISO 14119:2025 steht als Auswahlhilfe für Zuhaltung zur Verfügung. Was in der EN ISO 14119:2025 nur grundsätzlich und prinzipiell angesprochen wird, wird in diesem Whitepaper in Bezug auf konkrete Zuhaltungen dargestellt.

Dieses Whitepaper beinhaltet nicht alle normativen Aspekte in Gänze. Daher muss zum Beispiel für Konformitätsaussagen einer Anlage die Norm selbst herangezogen werden.

Inhalt

| | |
|--|-----------|
| 1. Sicherheitsfunktion Zuhaltung und Aufbauten von Verriegelungseinrichtungen mit Zuhaltung | 5 |
| 1.1. Funktionen Verriegelung und Zuhaltungen | 5 |
| 1.2. Verriegelung | 6 |
| 1.2.1. Verriegelung mechanischer Ansatz | 7 |
| 1.2.2. Verriegelung RFID-Ansatz | 9 |
| 1.3. Zuhaltungen | 10 |
| 1.3.1. Sicherheitsfaktor bei Kräften und Vorteile in der Wartung | 11 |
| 1.3.2. Kräfte | 12 |
| 1.3.3. Notwendigkeit einer Zuhaltung | 13 |
| 1.3.4. Elektromechanische Zuhaltungen | 14 |
| 1.3.5. Elektronische Zuhaltungen | 16 |
| 1.3.6. Elektro-magnetische Zuhaltung | 18 |
| 1.4. Ansteuerung von Zuhaltungen | 19 |
| 1.5. Arbeitsprinzipen von Zuhaltungen | 19 |
| 1.6. Einschränkungen der Funktion Sicherheitsteilfunktion Zuhaltung | 21 |
| 1.7. Verrastung | 22 |
| 1.8. Reihenschaltung | 23 |
| 2. Unterscheidung sichere Zuhaltung, sichere Stellungsüberwachung und Prozesszuhaltung | 25 |
| 2.1. Die sichere Zuhaltung | 26 |
| 2.2. Die sichere Überwachung der Zuhaltstellung | 29 |
| 2.3. Prozesszuhaltung | 30 |
| 2.4. Übersicht Sichere Zuhaltung, sichere Überwachung der Zuhaltstellung und Prozesszuhaltung | 31 |
| 2.5. Zusammenfassung | 32 |
| 3. Installation an Klappen und begehbaren Türen | 32 |
| 3.1. Beanspruchung bei Klappen | 32 |
| 3.2. Beanspruchung bei Türen | 33 |
| 3.3. Schutz vor unerwartetem Wiederanlauf | 34 |
| 3.4. Hilfs- und Fluchtverriegelungen sowie Notentsperrung | 34 |
| 3.4.1. Notentsperrungen | 35 |
| 3.4.2. Fluchtverriegelung im Betätiger/Griff integriert | 36 |
| 3.4.3. Fluchtverriegelung am Schalter oder abgesetzt | 37 |
| 3.5. Manipulationsschutz | 38 |
| 4. Zusammenfassung und Ausblick | 41 |
| 5. Verzeichnis | 42 |
| 5.1. Abbildungsverzeichnis | 42 |
| 5.2. Tabellenverzeichnis | 43 |
| 6. Dokumentation | 43 |
| 6.1. Normenreferenzen | 43 |

1. Sicherheitsfunktion Zuhaltung und Aufbauten von Verriegelungseinrichtungen mit Zuhaltung

Die Zuhaltung ist eine Sicherheitsfunktion in Maschinen und Anlagen, die als eine Kette von Sensorik, Logik und Aktorik zu verstehen ist.

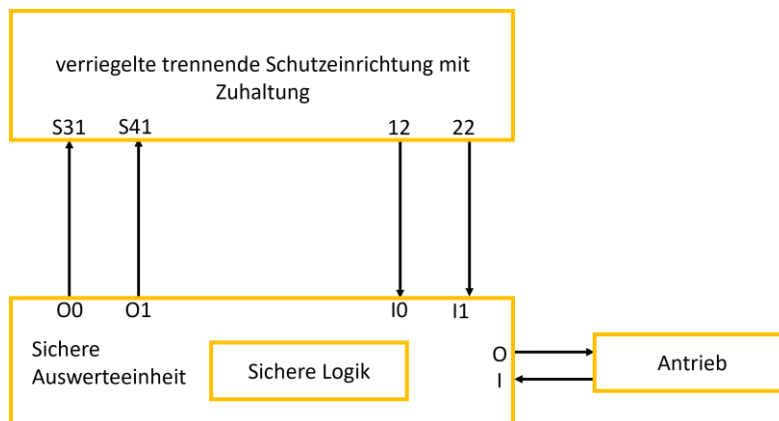


Abbildung 1 Sicherheitsfunktion Zuhaltung

Es wird schnell ersichtlich, dass die Sicherheitsfunktion „Zuhaltung“ nun aus mehreren verbundenen Einrichtungen bzw. Geräten besteht. Um Missverständnisse zu vermeiden, wird für das Gerät in der Normung der Begriff „Verriegelungseinrichtung mit Zuhaltung“ verwendet. Im Fortlaufenden wird sich hier auf den Begriff Zuhaltung beschränkt, so dass es sich aus dem Kontext erschließt, ob es sich um ein Gerät, die Sicherheitsfunktion oder um ein Subsystem der Sicherheitsfunktion handelt.

Wie der normative Begriff schon besagt, sind Zuhaltungen Teil der Funktionen Verriegelung und Zuhaltung. Die unterschiedlichen Teilfunktionen sowie deren technische Prinzipien werden im folgenden Abschnitt vertieft dargestellt.

1.1. Funktionen Verriegelung und Zuhaltungen

Die Verriegelung und die Zuhaltung sind zwei unterschiedliche Funktionen und wie folgt zu verstehen:

- ▶ Verriegelung verhindert die Ausführung von gefahrbringenden Maschinenfunktionen unter festgelegten Bedingungen. Bedeutet beispielweise, dass die Maschine nicht wieder anläuft, solange eine Tür und damit auch die Verriegelung an der Tür nicht geschlossen ist.
- ▶ Zuhaltung hat als Aufgabe eine trennende Schutzeinrichtung, z.B. eine Türe, in Position zu halten und die Zuhaltung wird von der Steuerung der Maschine angesteuert und ausgewertet.

In vereinfachten Worten ausgedrückt bedeutet das:

- ▶ Eine Verriegelung erkennt, ob eine Tür oder Klappe zu ist oder nicht.
- ▶ Eine Zuhaltung hält eine Tür oder Klappe zu.

Beide Funktionen sind typischerweise Merkmale eines Gerätes, müssen es aber nicht: Ein pneumatischer Zylinder kann zum Beispiel die Funktion Zuhaltung übernehmen und die Verriegelung wird mit Hilfe eines magnetischen Sicherheitsschalters ausgeführt.

Auch wenn beide Funktionen in einem Gerät untergebracht sind, lassen sich Verriegelung und Zuhaltung getrennt voneinander im Blockschaltbild von Zuhaltungsgeräten darstellen:

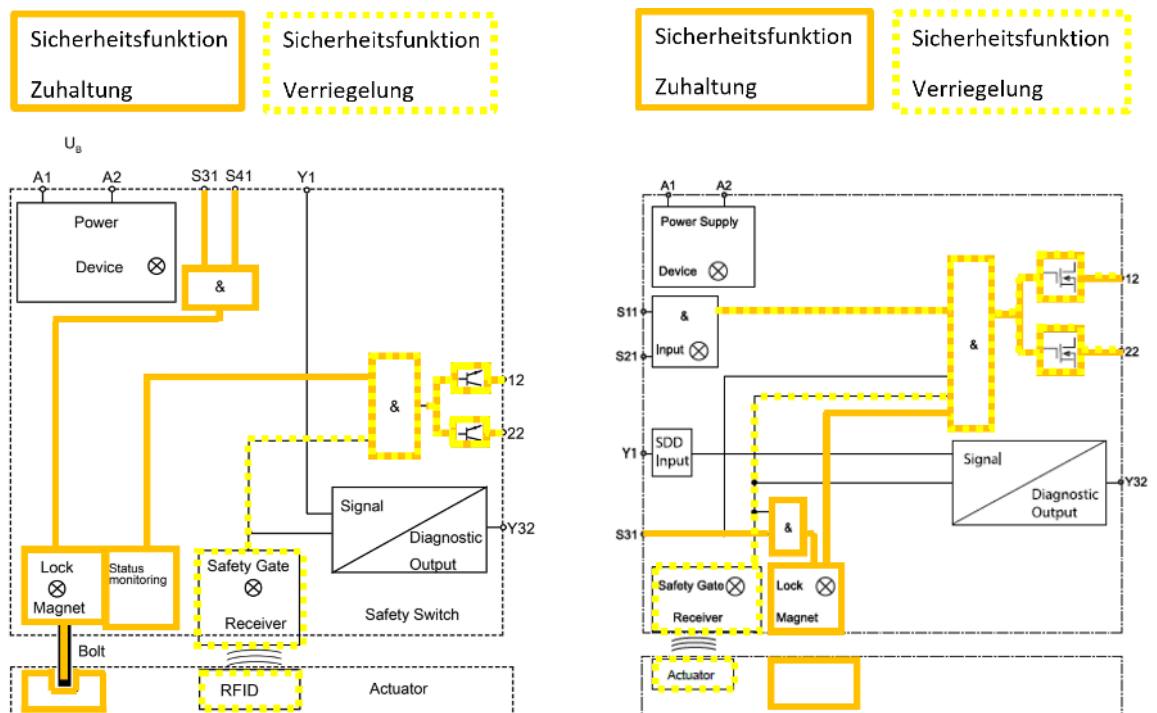


Abbildung 2: Verriegelung und Zuhaltung am Beispiel mittels Blockschaltbildern der der Zuhaltung PSEN m1m ba (links) und des PSEN sl2-G (rechts)

Man erkennt in Abbildung 2, dass beide Funktionen auf die Ausgänge 12 und 22 wirken. Jedoch sind Eingänge und Logik innerhalb dieses Gerätes verschieden, so dass beide Funktionen getrennt voneinander betrachtet werden müssen.

1.2. Verriegelung

Für die Verriegelung werden zumeist eine Mechanik oder eine RFID-Transponderstrecke zum Einsatz gebracht.

1.2.1. Verriegelung mechanischer Ansatz

Verriegelungen dieser Art besitzen elektro-mechanische Kontakte, die durch ein einkanaliges mechanisches direkt wirkendes Stellglied betätigt werden. Das Stellglied wird durch das Einführen des Betätiger bewegt und bleibt verrastend im Schalter stecken. Dadurch bleibt die Türe ohne eine weitere Komponente auch bei Vibrationen in Position.

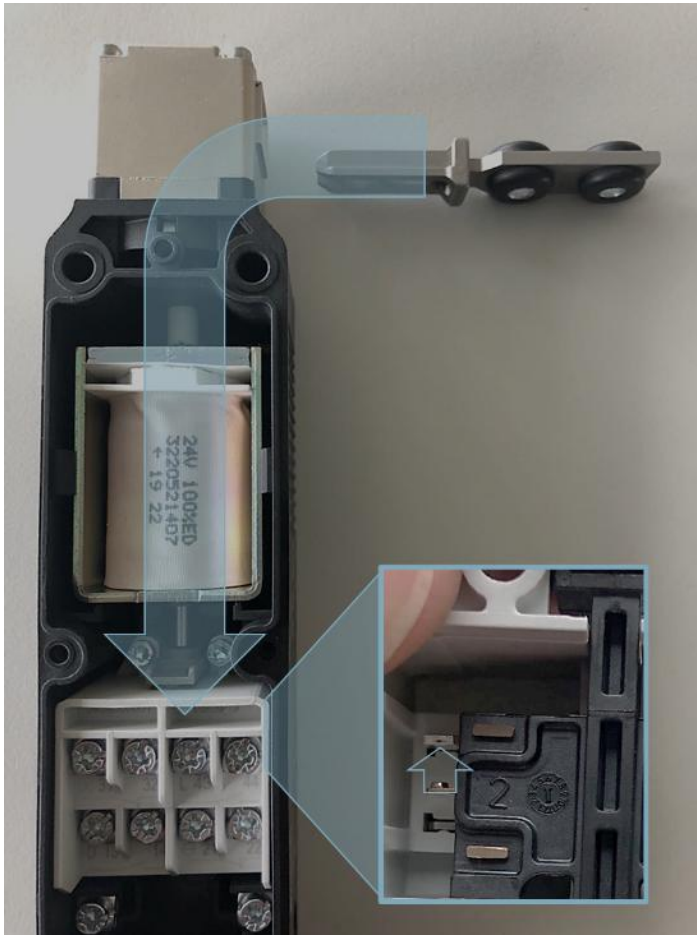


Abbildung 3: Kontaktblock und Kontakte und Stellglieds eines mechanischen Schalters am Beispiel des PSEN me5 von Pilz

Es sind unterschiedliche Kontakte für die Verriegelung wie für die Zuhaltung vorgesehen. Diese sollten auch getrennt voneinander ausgewertet werden. Dies hat die Vorteile, dass für Verriegelung und Zuhaltung verschiedene Betriebsarten, zum Beispiel langsamer und schneller Betrieb, gefahren werden können. Der Zustand kann dann zum Beispiel über Leuchttaster dem Bediener mitgeteilt werden.

Mechanische Schalter besitzen zumeist einen Anschlussraum. Durch den engen Einbauraum und den vielen möglichen Anschlussstellen muss der Einbau konzentriert erfolgen. Einige Hersteller bieten auch M12 Steckverbinder an, um den Anschluss zu vereinfachen und zu beschleunigen, allerdings häufig zu etwas höheren Preisen.

Der Vorteil des Anschlussraums kommt auch gerade bei der Reihenschaltung zu tragen. Im Feld lassen sich Schalter ohne weitere Verdrahtungshilfen in Reihe schalten. Gerade hierbei sollte jedoch auch eine mögliche Fehlermaskierung beachtet werden. Fehlermaskierung bedeutet, dass ein Fehler nicht behoben wird, sondern durch die Betätigung eines weiteren Schaltelementes in Reihe verdeckt wird, siehe EN ISO 14119:2025.

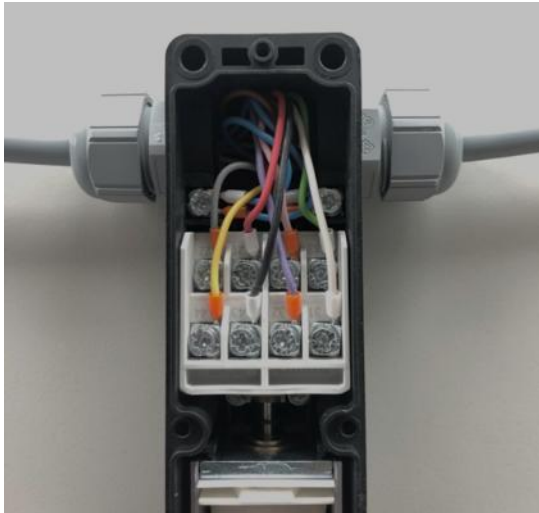


Abbildung 4: Reihenschaltung PSEN me5

Unterschiede in den Betätigern sind zum Teil erheblich. Einfache Betätiger sind aus Blech gelaserte Teile und weisen sehr kleine Toleranzen von 0,5mm horizontal und vertikal auf. Die Betätiger können jedoch als 3D-Form gegossen sein und zusätzlich mit Ausgleichsringen oder gar gefederten Lagerungen ausgestattet sein.

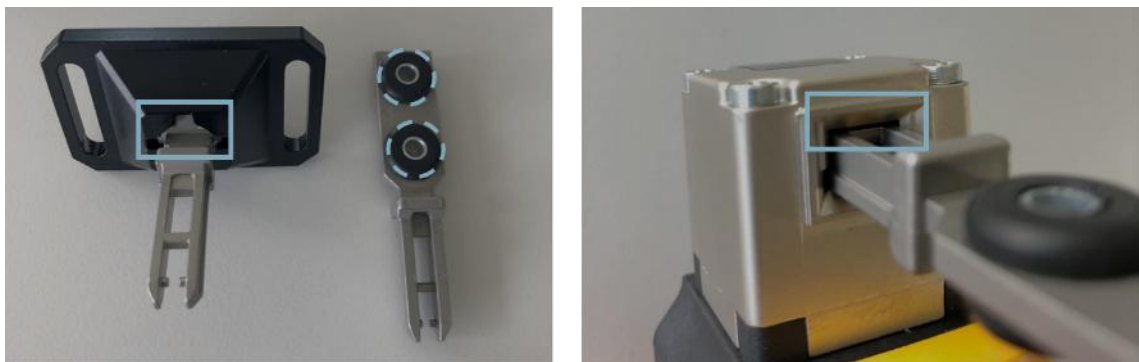


Abbildung 5: Toleranzen bei mechanischen Betätigern

Üblicherweise haben die mechanischen Verriegelungen eine niedrige Kodierstufe. Die Hürde zur Manipulation durch Ersatzbetätiger ist eher niedrig, wenn Schalter zum Beispiel in direkter Reichweite verbaut sind und relativ leicht ein Betätiger am Schlüsselbund mitgeführt werden kann. Eine Verrastung des Betätigers vereinfacht nochmal eine Manipulation. Um der Manipulation entgegenzuwirken, können Schalter verdeckt eingebaut werden. Zudem sollte nach dem Prüfgrundsatz GS-ET-19 E das Verriegeln mit einfachen Werkzeugen wie zum Beispiel zwei Schraubenzieher nicht möglich sein.

Vorteile von mechanischen Verriegelungen

- Einfaches und preisgünstiges Design
- Einfache Reihenschaltung im Feld durch Verdrahtung möglich
- EMV immun
- Kontakte können einen weiten Spannungs- und Strombereich aushalten, d.h. sowohl 24V wie auch 110V oder 230V DC wie auch AC. Der begrenzende thermische Strom bei 24V liegt im Bereich einiger Amper, typisch 2...5A.

Zu beachten:

- Minimaler Strom der Kontakte: Hintergrund ist die hohe Dichte von Eingängen bei Auswerteeinheiten. Diese führt zu minimalen Strömen, um Abwärme zu beherrschen und energieeffizient zu arbeiten. Auf Schalterseite sind kleinste Ströme bei mechanischen Kontakten für das saubere Schließen eine Herausforderung.
- Prellen der mechanischen Kontakte: Eingangsfilter gerade bei schneller Steuerung und hier als programmierte Filter ggf. notwendig.
- Fehlermaskierungen
- Limitierung des Performance Levels durch den einkanalen Aufbau
- Geringe Manipulationssicherheit
- Meist recht kleine Toleranzen. Bei größerem Türversatz kann es zur Beschädigung kommen und damit zum Verlust der Sicherheit
- Anfällig gegenüber Schmutz, Stäube und Gase
- Bei einfachen Betätigern Verletzungsgefahr
- Die Verletzungsgefahr lässt sich nicht generell bestimmen, jedoch kann von stark verschlissene Betätigern aus dünnem Blech eine Verletzungsgefahr ausgehen

1.2.2. Verriegelung RFID-Ansatz

Elektronische Zuhaltungen setzen meist bei der Verriegelung auf RFID. Das heißt eine elektrische Spule im Schalter sendet Energie aus und eine elektrische Spule im Betätiger fängt diese Energie ein und sendet ein Signal mit Informationen zurück.

Meist kommen 125kHz RFID-Signale zum Einsatz. 13.56 MHz RFID Systeme ermöglichen einen schnelleren und umfangreicheren Datenaustausch im Vergleich zu 125kHz Systeme. Jedoch haben 125kHz ein robusteres Schaltverhalten bei unterschiedlichen Einbausituationen und Montagematerialien.

Elektronische Ein- und Ausgänge sowie RFID für die Verriegelung haben den Vorteil von:

- Verschleißfreiheit
- Sehr geringe Fehlerwahrscheinlichkeit
- Reihenschaltfähig auch in der Verriegelung bis PL e nach EN ISO 13849-1:2023, fehlermaskierungsfrei in der Reihenschaltung
- Keine Teilbetätigung im Sensorteil – Teilbetätigung nur noch durch Ein- und Ausgänge und Kabelfehler
- Ein sehr hoher Manipulationsschutz kann erreicht werden
- Höherer mechanischer Versatz möglich, typisch +/- 2...5mm bei Zuhaltungen

Zu beachten

- Nicht so preisgünstiges Design
- Spannungsabfall bei langen Leitungen und Reihenschaltung
- EMV-Störungen können die Verfügbarkeit limitieren



Abbildung 6: Betätiger: Versatz bei RFID Betätigern, elektromagnetische Zuhaltung

1.3. Zuhaltungen

Die Zuhaltung ist eine weitere Funktion neben der Verriegelung. Zuhaltung bedeutet, dass ein Betätiger vom Schalter in geschlossener Position gehalten werden kann.

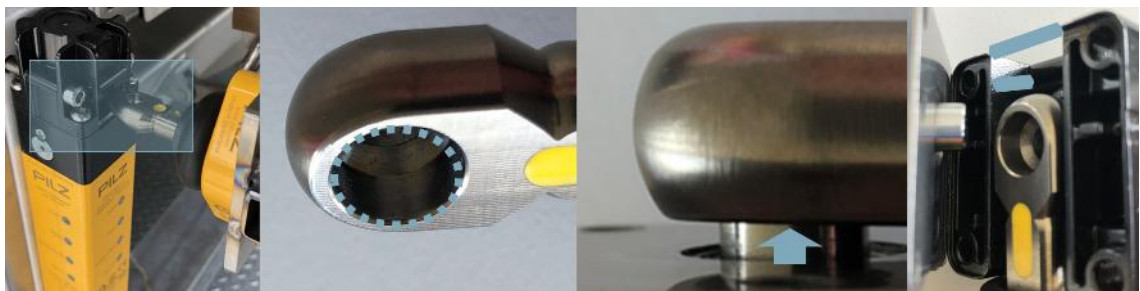


Abbildung 7 Mechanik Zuhaltung: Zunge, Bolzen, Einfahrschacht

Es gibt neben mechanischen Zuhaltungen, die elektronisch oder elektrisch arbeiten, auch elektromagnetische Zuhaltungen.

Da Verriegelungen und Zuhaltungen zwei verschiedene Funktionen sind, ergeben sie nach der Risikobeurteilung zwei unterschiedliche erforderliche Performance Level PLr. Deshalb sollten je Funktion unterschiedliche sicherheitstechnische Werte in den Angaben zum Zuhaltungsgerät aufgeführt werden.

Die Zuhaltung darf jedoch nur aktiv werden, wenn der Schalter verriegelt ist. Diese Bedingung nennt sich Fehlschließesicherung: Es wird sichergestellt, dass die Zuhaltung nur bei gestecktem Betätiger erfolgen kann und die Türe wirklich zugehalten wird.

Heute verbreitete Zuhaltungen basieren im technischen Design auf einem internen Magneten, der

- a) gegen eine Feder arbeitet und einen Bolzen blockiert bzw. freigibt. Je nach Konstruktion und Position der Feder spricht man von Federkraft verriegelt bzw. Ruhestromprinzip (englische Bezeichnungen Spring Type / Power to Unlock / closed circuit current principle) oder Magnetkraft verriegelt bzw. Arbeitsstromprinzip (englische Bezeichnungen Magnet Type / Power to Lock / Open circuit current principle).
- b) in 2 Endlagen verharrt und daher bistabil genannt wird. Auch er treibt einen Bolzen an.

Somit ist der Bolzen das zentrale Element in der Sicherheitsarchitektur. Ausnahme sind elektromagnetische Zuhaltungen, bei denen der Magnet selbst das zentrale Element ist.

Charakteristische Werte für eine Zuhaltung

1. Kraft F_{1max} , bis zu der eine Zuhaltung geschlossen bleibt
2. Kraft F_{zH} ist die um einen Sicherheitsfaktor reduzierte Kraft F_{1max} , die der Türauslegung entsprechen muss
3. Betätigungskraft, die zum Schließen einer Türe benötigt wird
4. Rückhaltekraft, die zum Öffnen einer verrasteten, sprich geschlossenen, aber nicht mehr zugehaltenen Türe benötigt wird
5. Anzahl des mechanischen Schaltspiels, bevor ein Fehler auftritt und spezifizierte Zuhaltungswerte noch erreicht werden
6. Minimaler Türradius
7. Strombedarf im geöffneten, im geschlossenen Zustand sowie bei der Zustandsänderung

1.3.1. Sicherheitsfaktor bei Kräften und Vorteile in der Wartung

Nach EN ISO 14119:2025 sollten mindestens Sicherheitsfaktoren von 1,3 angenommen werden. Einige Zuhaltungen berücksichtigen einen Sicherheitsfaktor von 2,0 und dafür entfällt die regelmäßige Kontrolle des Schalters auf Funktion inklusive unversehrtem Erscheinungsbild und auf intakter Befestigung.

Neu in der EN ISO 14119:2025 Abschnitt 9.2.2.5 ist, dass wenn durch den Hersteller der Zuhaltung ein Fehlerausschluss auf die Zuhaltung gemacht wird, auf mechanische Elemente im Schalter der Sicherheitsfaktor 2,0 angenommen werden muss.

Fehlerausschlüsse des Herstellers müssen auch ab EN ISO 14119:2025 in der Bedienungsanleitung aufgelistet sein.

1.3.2. Kräfte

Die Zuhalkraft einer Zuhaltung sollte so dimensioniert sein, dass sie inklusive Türhebel und Materialtoleranzen des Zuhaltungsproduktes nicht von einer Person gezielt überwunden werden kann. Gerade bei Schwingtüren können große Hebelkräfte wirken. Für die Kräfte, die eine Person aufbringen kann, gibt die EN ISO 14119:2025 im Anhang H Referenzwerte an: Zum Beispiel einhändig vertikal ziehender Griff 700N und beidhändig vertikal ziehender Griff 1100N. Die maximale genannte Kraft sind 1400N. Die Größe und Position von Türgriffen sowie Abstützpunkte für die Person spielen hier eine Rolle.



Abbildung 8 Hebelwirkung auf einer Zuhaltung an Türen

Die allermeisten Zuhaltungen am Markt arbeiten mit einer einzigen Zunge und machen dann für PL d und PL e Bewertungen nach EN ISO 13849-1:2023 eines Fehlerausschluss. Ggf. müssen Hersteller Einschränkungen in der Bedienungsanleitung aufführen.

Es gibt Unterschiede in der Anordnung des RFID-Tag bei Betätigern. Wird der RFID-Tag direkt in der Zunge untergebracht, können Zuhaltungen in der Regel dichter nebeneinander gebaut werden. Im Weiteren bietet ein solches Design in vielen Fällen einen hohen Manipulationsschutz. Die Zuhaltung und im Folgenden das Ausgangssignal Schaltelement, sprich die OSSDs, werden nur aktiv, wenn wirklich der Betätiger in der Sollposition, sprich eingefahren ist und die Zuhaltung wirklich die Türe zuhält.

1.3.3. Notwendigkeit einer Zuhaltung

Die EN ISO 14119:2025 regelt in Kapitel 7.2.1 die Notwendigkeit einer Zuhaltung (als Sicherheitsfunktion zu verstehen): Ist der Nachlauf des gesamten Systems größer als die Zugangszeit bedarf es einer sicheren Zuhaltung.

1.3.3.1. Nachlauf und Zugangszeit an Türen und Klappen

Nachlauf

Die EN ISO 13855:2025 Kapitel 5.4 definiert den Nachlauf: Die Reaktionszeiten der sicheren Verriegelungseinrichtung, der sicheren Auswertung und des Antriebs werden hierbei betrachtet.

$$T_{\text{Nachlauf}} = T_{\text{Verriegelungseinrichtung}} + T_{\text{Anhaltezeit Auswertung und Antrieb}} + T_{\text{Toleranzfaktor}}$$

Formel Nachlaufzeit

Zugangszeit

Die EN ISO 13855:2025 Kapitel 12 erläutert die Zugangszeit an Türen und Klappen nach der üblichen Formel: $S = (K \times T) + D_{GT}$ mit S als Mindestabstand und $K = 1600 \text{ mm/s}$, D_{GT} als Mindestabstand für das Hindurchreichen und T als T_{Nachlauf} . D_{GT} kann vernachlässigt werden, wenn das Spaltmaß der Türen kleiner 4mm ist. Bei größeren Spaltmaßen ist auf die Tabellen 4 der EN ISO 13857:2019 zurückzugreifen. Zugangsverzögerung nach Ansprechen der Verriegelung werden in der Fassung 2025 nicht mehr berücksichtigt. Trotzdem ist es manchmal offensichtlich, dass Verzögerung auftreten. Diese könnte beispielsweise sein: eine Zwangsbewegung beim Öffnen der Türe, beidhändiges Öffnen durch Größe oder Schwere der Tür oder des Griffes, Kraftüberwindung durch Verrastung. Die Berücksichtigung ist dann nur über eine individuelle Risikobewertung möglich.

Ein Beispiel der Verrastung ist die integrierte Magnetverrastung des PSENSlock 2, deren Kraft von 30N, 110N bzw. 200N überwunden werden muss. Die Magnetkraft nimmt exponentiell mit dem Abstand ab und liegt nach wenigen Millimetern nahe 0N. Dieser plötzliche Abfall der Rastkraft beim Türöffnen ist so schlagartig, dass Koordinationszeit des Bedieners notwendig ist, bevor er mit einer Hand in den Gefahrenbereich fassen kann, siehe Kapitel 1.7.

1.3.4. Elektromechanische Zuhaltungen

Der Aufbau eines solchen Zuhaltungsgerätes sieht beispielweise wie folgt aus:



Abbildung 9 Innenansicht elektromechanische Zuhaltung PSEN me5

Ein Stellglied wird durch die magnetische Kraft einer Spule gegen eine Feder bewegt. Die Ströme, die durch die Spule fließen, liegen zwischen 2,5VA bis 8VA. Zudem sind die Spulen auf unterschiedliche Spannungsbereiche optimiert, so dass es unterschiedliche Schaltervarianten gibt. Zum Beispiel eine Variante für 24V und eine weitere Variante 230V.

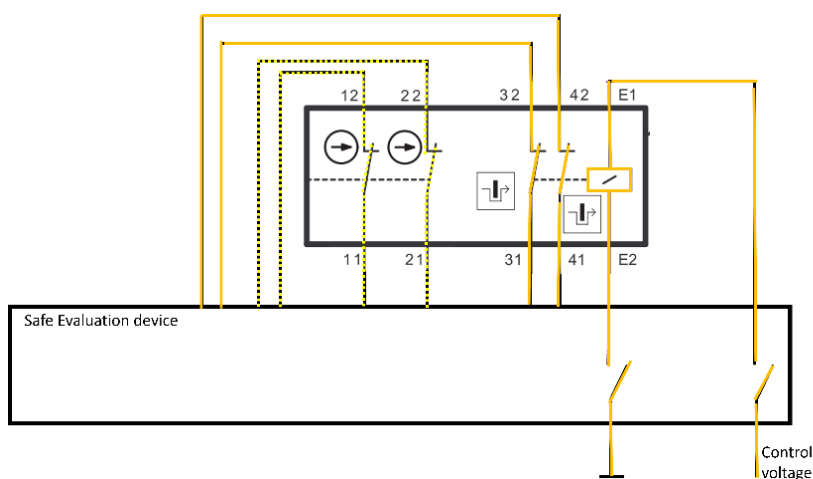


Abbildung 10 Blockschaltbild elektromagnetische Zuhaltung

Mechanische Zuhaltungen sind aus einfachen Komponenten aufgebaut. Es bedarf einer externen sicheren Auswertung und Ansteuerung, um die Sicherheitsfunktionen zu bilden. D.h. für diese Komponenten wird ein B10_D-Wert angegeben. Hier wird oft der gleiche Wert für Verriegelung wie Zuhaltung in den Bedienungsanleitungen der Geräte angegeben.

Korrekterweise sollte für eine Teilsicherheitsfunktion in Bezug auf sichere Zuhaltung und sichere Überwachung der Zuhaltstellung, ein Fehlerausschluss über das Sperrsystem gemacht werden, dass es nicht selbständig in die Entriegelungsstellung gehen kann, siehe GS-ET-19 E Kapitel 5.6.1.1.

Für die Zuhaltungsteilfunktion ist es wichtig, dass die Kontakte zur Zuhaltungsüberwachung formschlüssig mit der Stellung des Sperrriegels verbunden sind. Um das Teilsystem der Zuhaltung korrekt zu berechnen, muss auch separat der $B10_D$ -Wert des Schalters für die Zuhaltung genommen werden. Diese Berechnung berücksichtigt dann unter anderem Verkabelung, gemeinsame Fehlerursachen und Umwelteinflüsse. Aus diesem Grund werden von Herstellern trotz teilweiser Fehlerausschlüsse $B10_D$ -Werte angegeben.

Wie oben in Kapitel 1.3 beschrieben, muss darauf geachtet werden, ob eine Fehlschließsicherung bereits mechanisch realisiert ist. Gegebenenfalls muss dies sonst über die Steuerung als Sicherheitsfunktion realisiert werden.

Der erreichbare Performance Level für elektromechanische Zuhaltungen ist durch den einkanaligen Aufbau des Stellgliedes limitiert. Durch einen vorrauseilenden Riegel und einem Anschlag, können in bestimmten Applikationen Fehlerausschlüsse gemacht werden. Bei einer 2-kanaligen Auswertung kann daher maximal PL d, Kategorie 3, nach EN ISO 13849:2023 erreicht werden. Die Firma Pilz stellt hierzu eine Application Note bereit, siehe Referenzen.

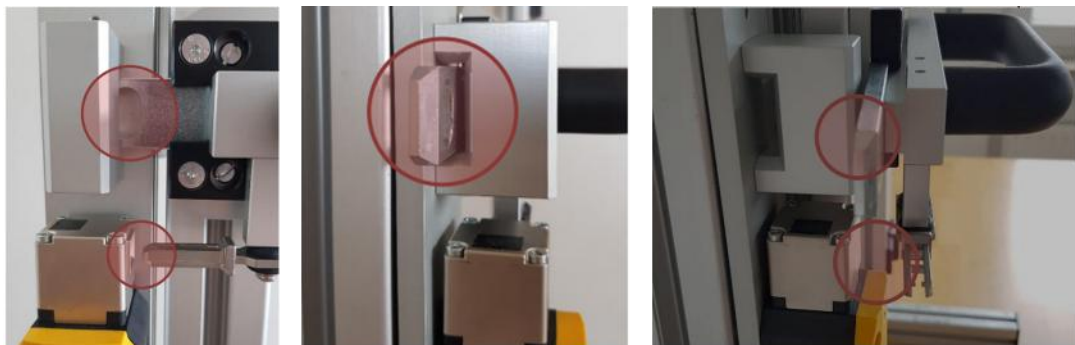


Abbildung 11 Fehlerausschluss aufgrund vorrauseilendem Riegel

Neben den genannten Vor- und Nachteilen bei der Verriegelung kommen gesondert für die Zuhaltung hinzu:

- ▶ Vorteile
 - 230V Ansteuerung möglich
- ▶ Nachteile
 - Verletzungsgefahr durch starke Eigenerwärmung. Oberflächentemperaturen des Schalters deutlich über 50°C möglich

1.3.5. Elektronische Zuhaltungen

Hier sind nun konstruktiv Verriegelung und Zuhaltung zwei getrennte Systeme.

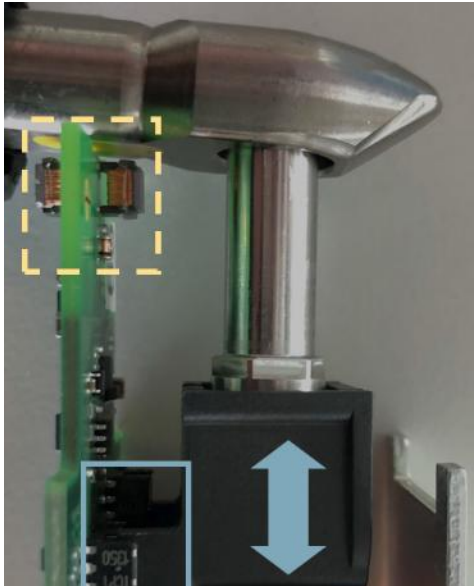


Abbildung 12 Gelb: RFID-Verriegelung / Blau: Zuhaltung mit Lichtschranken am Beispiel des PSENmlock

Die Verriegelung ist in der Regel mit RFID umgesetzt. Wie zuvor gezeigt, wird eine Antennenspule und ein RFID-Tag benutzt. In diesem Fall ist der RFID-Tag im gelben Verguss.

Die Zuhaltung wird nun im Gegensatz zu elektromechanischen Schaltern getrennt von der Verriegelung umgesetzt. Unabhängig vom RFID-Tag wird ein Bolzen in Stellung gebracht und zum Beispiel durch Lichtschranken sicher überwacht.

In der Elektronik findet nun die logische Verknüpfung von RFID und Zuhaltung in einem Mikrocontroller statt.

Für diese Geräte wird aufgrund des nicht einfachen Aufbaus nach EN ISO 13849-1:2023 ein Performance Level und ein PFHD-Wert angegeben.

| Operating mode | EN ISO 13849-1: 2015 PL | EN ISO 13849-1: 2015 Category |
|-----------------------|------------------------------------|--|
| 1-ch. guard locking | PL d | Cat. 2 |
| 2-ch. guard locking | PL e | Cat. 4 |
| 2-ch. OSSD | PL e | Cat. 4 |
| Escape release | | Cat B |

Abbildung 13 Angabe von sicherheitstechnischen Kenndaten am Beispiel PSEnMlock

Neben den genannten Vor- und Nachteilen bei der RFID-Verriegelung kommen gesondert für die Zuhaltung hinzu:

- ▶ Besondere Vorteile
 - Zuhaltung PL e nach EN ISO 13849-1:2023 möglich
 - Geringer Stromverbrauch und geringe Oberflächentemperatur bei bistabilen Zuhaltungen möglich
 - Kleinste Baumaße möglich
 - Lange Reihenschaltungsketten durch intelligentes Weiterleiten der Zuhaltesignale möglich

1.3.6. Elektro-magnetische Zuhaltung

Auch bei magnetischen Zuhaltungen sind Verriegelungen und Zuhaltungen zwei getrennte Systeme.

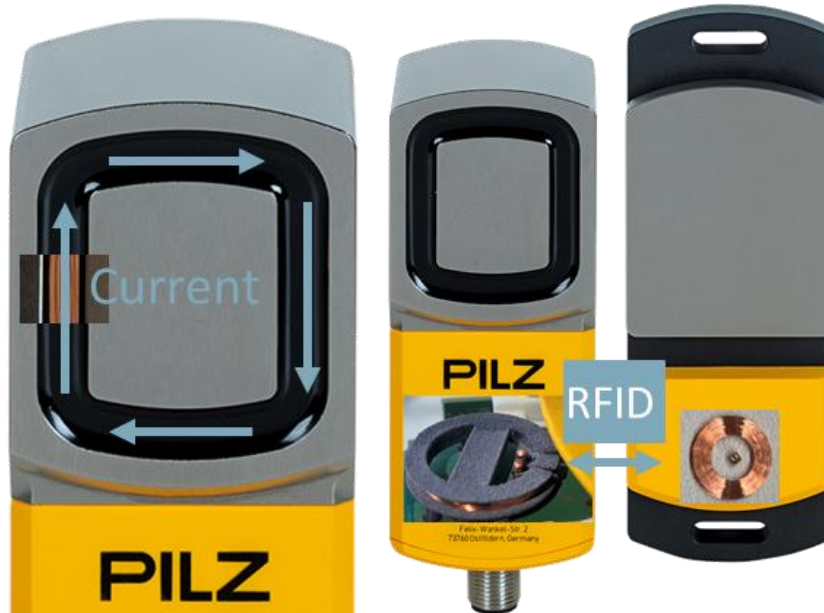


Abbildung 14: Beispiel PSENslock 2 mit Stromschleifen für die Zuhaltung und RFID-Übertragung für die Verriegelung

Die Zuhaltung wird über elektromagnetische Kräfte erreicht. Aufgrund des Platzbedarfes der Spulen und des ferro-magnetischen Körpers, liegen die Kräfte im Vergleich zur mechanischen Zuhaltung eher niedriger. Zum Beispiel wird F1max beim PSENslock 2 als elektromagnetische Zuhaltung mit 2000N ausgewiesen und beim PSENmlock mit bis zu 15.000N. Hier ist es umso wichtiger die notwendigen Kräfte, siehe Abbildung 8, richtig zu bewerten.

Für die sicheren elektro-magnetischen Zuhaltungen sind zyklische Messungen notwendig. Eine einzige Messung wie bei nicht sicheren Zuhaltungen ist nicht ausreichend. Bei den Messungen werden mehrere Strom- und Spannungsparameter überwacht und geregelt.

► Besondere Vorteile

- Verschleißarm
- Wash-Down am besten geeignet
- Mechanisch robuste Zuhaltungen
 - Höchste mechanische Versätze in allen Richtungen
 - Höchste mechanische Aufprallenergie: mechanischer Anschlag
 - Keine hervorstehenden beweglichen Teile (keine Zunge)

► Nachteile

- Haftende Schmutzschichten können die Verfügbarkeit reduzieren
- Typischerweise nur Power to Lock Zuhalteprinzip

1.4. Ansteuerung von Zuhaltungen

Bei mechanischen Zuhaltungen wirken die Ansteuersignale direkt auf den Magneten, der die Zuhaltung aktiviert oder deaktiviert. Das bedeutet die Ansteuerungssignale müssen Leistungssignale sein, d.h. es fließen höhere Ströme meist $>>100\text{mA}$.

Elektronische Zuhaltungen erlauben eine Entkopplung des Ansteuersignals vom Strom, der durch den Zuhaltmagneten fließt. D.h. elektronische Zuhaltungen haben meist ein Steuersignal und die benötigte Energie kommt über die Spannungsversorgung. Zudem können zum Beispiel Ruhestrom Ansteuersignale verwendet werden und bistabile Magneten, um die Zuhaltung zu aktivieren und zu deaktivieren.

Steuersignale haben den Vorteil, dass sie nur geringe Leistungen erbringen müssen und daher günstiger sind.

Leistungssignale haben den Vorteil für den Sensorhersteller, dass die Sensoren kleiner dimensioniert werden können und dass weniger Hitze erzeugt wird.

1.5. Arbeitsprinzipien von Zuhaltungen

Die allermeisten Zuhaltungen haben einen bistabilen oder einen monostabilen Magneten, um die Zuhaltung zu aktivieren und zu deaktivieren. Die EN ISO 14119:2025 Kapitel 6.6.1 fordert, dass Energie für die Deaktivierung der Zuhaltung zugeführt wird, siehe untere Tabelle normativer vorgegebener Ansatz bistabiler Magnet und monostabiler Magnet mit Ruhestrom Ansteuerung.

Bei einigen Applikationen ist es jedoch notwendig, dass Zugang zu Maschinen und Anlagen im energielosen Zustand gewährt werden muss, um Schaden zu verhindern oder einzudämmen. Dies könnte zum Beispiel bei Anlagen der Fall sein, bei denen das laufende Gut sich leicht entzünden kann oder bei denen der Prozess mit großer Hitze oder Feuer arbeitet. Hier kommen monostabile Magnete mit Arbeitsstrom Ansteuerung zur Auswahl.

Die Notwendigkeit der Risikoanalyse für jede einzelne Maschine ist ersichtlich, die auf die verschiedenen Zustände einer Maschine und das Verhalten der Zuhaltung eingeht:

| Magnettyp | Bistabil* | | Monostabil | |
|---|--|------------------------------|--|--------------------------------------|
| | PSENmlock | PSENmlock mini | PSENm5 | PSENm5 M/ PSENslock 2 |
| Normativ vorgegebener Einsatz | Ja | Ja | Ja | Nur mit Nachweis durch Risikoanalyse |
| Ansteuerung | Puls | Ruhestrom | Ruhestrom | Arbeitsstrom |
| Aktivierung der Zuhaltung | Definierbar durch Anwenderprogramm | Bei Erkennung des Betätigers | Bei Erkennung des Betätigers | Nach Bedienbefehl |
| Deaktivierung der Zuhaltung | Nach Bedienbefehl | | | |
| Spannungsabfall | Letzter Zustand | | Geschlossen | Offen |
| Runterfahren | Wahl offen oder geschlossen | | Geschlossen | Offen |
| Hilfsentriegelung | Notwendig | | | Über Stromversorgung realisierbar |
| Risikoanalyse stromloser Zustand | Ggf. Betrachtung Brand → Notensperrung | | | Betrachtung offene Tür |
| Erhöhter Strombedarf | Nur im Zustandswechsel | | Geöffnete Tür | Geschlossene Tür |
| 0V Hochlauf Maschine | Letzter Zustand bleibt | Geschlossen | Geschlossen | Offen |
| Reihenschaltung | Eher mehr Geräte | | Mögliche Begrenzung durch Rundsteckverbinder | |
| Prozesszuhaltung bzw. OSSD nur auf Verriegelung | Möglich | | | |
| Sichere Zuhaltung | Möglich | | | |
| Sichere Überwachung der Zuhaltstellung | Möglich | | | |

* bistabil bedeutet, dass die Zuhaltung ohne Energie ihren Zustand aktiviert oder deaktiviert nicht ändern kann (Fehlerausschluss auf Herstellerseite).

Tabelle 1: Arbeitsprinzipien von Zuhaltungen

Daraus ergeben sich verschiedene Zeitdiagramme:

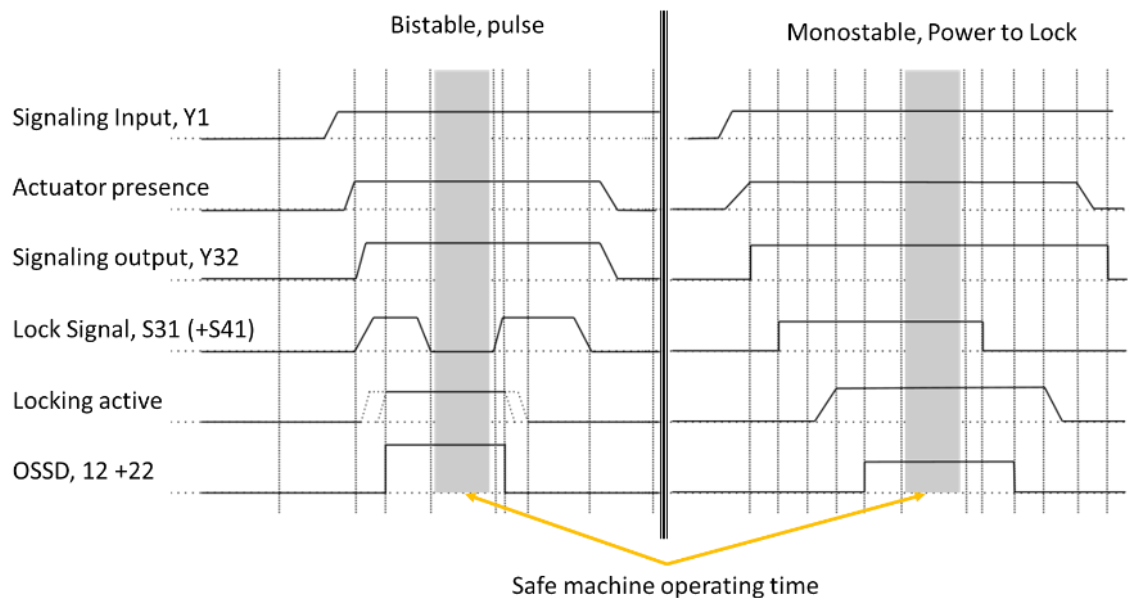


Abbildung 15 Zeitdiagramme von bistabilen und monostabilen Zuhaltungen

Man kann erkennen, dass bei beiden Varianten der Betätiger ruht, wenn die Zuhaltung aktiv wird. Hier sollten keine dynamischen Kräfte durch ein Zurückprellen der Türe vorliegen. Diese Kräfte können Schalter erheblich beanspruchen, so dass auch die EN ISO 14119:2025 Kapitel 7.2.2 darauf hinweist und siehe Kapitel 1.3.

Im Speziellen hat die Pulsansteuerung die zusätzliche Eigenschaft, dass weder Spannungsverlust noch ein Neustart der Steuerung zu einem Öffnen der Zuhaltung führen. Hier ist die Annahme, dass beim Neustart einer Steuerung Ausgänge nicht kurzfristig „High“ geschaltet werden und einem Öffnungsimpuls entsprechen.

Bei der Impulsansteuerung könnte das Problem in der Reihenschaltung auftreten, dass Zuhaltungsgeräte nicht synchron die Zuhaltung aktivieren bzw. deaktivieren. Durch einen zeitlichen Versatz der Pulse auf den beiden Ansteuersignalen lässt sich das Problem lösen, siehe zum Beispiel PSEN ml sa Varianten.

1.6. Einschränkungen der Funktion Sicherheitsteilfunktion Zuhaltung

Es gibt eine Vielzahl an Geräten am Markt, bei denen die sicheren Ausgänge nur auf die Anwesenheit des Betätigers reagieren, unabhängig ob die Zuhaltung aktiv ist oder nicht. Hier reduziert sich die Sicherheitsfunktion auf die sichere Verriegelung.

1.7. Verrastung

Eine Verrastung ist keine Zuhaltung und stellt somit keine Risikominimierung dar. Verrastungen sind jedoch unerlässlich für den reibungslosen Prozess an den Maschinen: Die Zuhaltungen an mehreren Türen werden geöffnet, jedoch springen die Türen nicht sofort auf, da sie verrastet bleiben. Maschinenbediener können ihren Weg entlang den Türen gehen. Daher die Forderung aus der EN ISO 14120:2015 Kapitel 5.3.12 und Kapitel 5.3.13, dass das Öffnen einer Türe eine bewusste Handlung sein muss und dass eine geschlossene Türe in Position gehalten werden muss, unabhängig ob eine Zuhaltung verwendet wird oder nicht.

Auch beim Schließen einer Türe soll die Türe in der richtigen Position, für das konkrete Einfahren der Zuhaltebolzen, gehalten werden. Auch die Betätigererkennung wird durch eine gute Verrastung stabil aufrechtgehalten.

Verrastungen sind mechanisch wirkend, zum Beispiel gegen eine Feder, oder sie können magnetisch realisiert werden. Sie haben gewöhnlich eine Kraft zwischen 10N bis 200N, wobei höhere Werte meist durch eine zusätzliche Bestromung realisiert werden.

Um Belastung und körperliche Anstrengung für den Maschinenbediener gering zu halten, fordert die EN ISO 14120:2015 Kapitel 5.2.5.3 kleine Betätigungskräfte. Zusätzlich wird auf die EN ISO 12100:2010 verwiesen. Diese Norm besagt in Kapitel 6.2.8, dass die Körpergrößen der Bediener, der Kraftaufwand und die Körperhaltungen, der Bewegungsumfang und die Frequenz sich wiederholender Tätigkeiten zu berücksichtigen sind.

Das heißt, bei häufiger Benutzung, ungünstigen ergonomischen Verhältnissen und hohen erforderlichen Haltekraften können andere Feststelleinrichtungen sinnvoller sein als die Verrastung durch die Zuhaltung: zum Beispiel ein Klemmhebel.



Abbildung 16: PSENslock 2 mit einstellbarer Rastkraft von 30Nm, 110Nm oder 200Nm

1.8. Reihenschaltung

An vielen Maschinen werden Sicherheitszuhaltungen in Reihe geschaltet. Es gibt folgende Gründe Zuhaltungen in Reihe zu schalten:

- Einsparen von Eingängen und Ausgängen auf Steuerungsebene, auch bei IP67-I/O Modulen
- Vereinfachte Logik auf Steuerungsebene: FS-PLC: Einfaches PLC Programm, FS-konfigurierbare Relais: einfacheres Verschalten von Konfigurationsblöcken, Sicherheitsrelais: aufwendige Reihenschaltung von Relais entfällt
- Reduzierung der Dicken von Kabelbäumen, wenn Reihenschaltung im Feld umgesetzt
- Reduzierung des Verdrahtungsaufwandes auf Klemmleisten im Schaltschrank, wenn Reihenschaltung im Feld und mit Verdrahtungshilfe umgesetzt

Sicherheitsgerichtete Aspekte bei der Reihenschaltung

Hier müssen verschiedene Aspekte je nach Technologieansatz der Zuhaltung betrachtet werden.

Elektromechanische Zuhaltungen:

Verkleinerung des Diagnosedeckungsgrades. Da die Geräte in Reihe die Signale nicht elektrisch oder elektronisch verarbeiten, sondern nur elektrisch weiterleiten, wird nur der B10D Wert des jeweiligen Schalters genommen. Es gibt jedoch eine Fehlermaskierung zu beachten, die die Risikominimierung limitiert: Fehlermaskierung durch Reihenschaltung der Kontakte. Ein Kontakt eines Schalters besitzt einen Fehler, der durch das Auswertegerät detektiert wird. Trotzdem ist es möglich, die Maschine wieder in Gang zu setzen, in dem der Kontakt in Reihe eines anderen funktionstüchtigen Schalters bedient wird. Die vereinfachte Limitierung wird in EN ISO 14119:2025 Tabelle J.1 angegeben.

Elektronische Zuhaltungen:

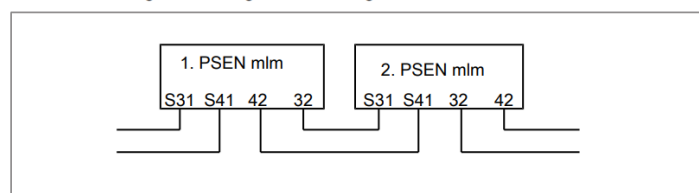
Erhöhung der Ausfallwahrscheinlichkeit. Die Signale werden elektrisch oder elektronisch verarbeitet und diese Verarbeitungen erhöhen die Ausfallwahrscheinlichkeit. Es ist also die gesamte Kette zu betrachten und diese in einem Tool wie Sistema zu berechnen. Denn es muss immer die gesamte Kette mit Auswertegerät und Aktorik berücksichtigt werden. Für die Sensorik, also in diesem Falle die Zuhaltungen in Reihe, berücksichtigt der angegebene PFH-Wert schon den Maximalausbau, teilweise muss er für jeden Schalter in Reihe extra genommen werden.

Elektrische Aspekte der Reihenschaltung von Zuhaltungen

Zuhaltung: Hier gibt es verschiedene Optionen der Ansteuerung in der Reihenschaltung eine Rolle:

- Parallelverdrahtung führt zum synchronen Schalten: Vorteil ist, dass sofort alle Türen offenstehen, Nachteil ist, dass die Stromspitze im Schaltvorgang des Zuhaltungsbolzens von allen Sensoren sich überlagern: Y-Verteiler und auch Netzteile kommen hier schnell an ihre Grenzen. Die Stromspitzen bewegen sich meist zwischen 0,5-1,5A, so dass bei 4 Sensoren zwischen 2A...6A zustande kommen.
- Reihenschaltung mit sequenziellem Schalten: Vorteil ist, dass die Strombelastung durch den Schaltvorgang des Zuhaltungsbolzens sich auf einen Schalter reduziert. Nachteil ist, dass der Sensor weitere Ausgänge benötigt.

▸ Reihenschaltung der Hubmagnetansteuerung



▸ Reihenschaltung der OSSD-Ausgänge

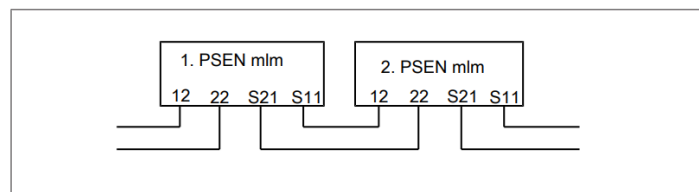


Abbildung 17 Beispiel PSEN m/m für das sequenzielle Schalten in der Reihenschaltung

Zusätzliche Funktionale Aspekte bei der Reihenschaltung

Es gibt bei den Zuhaltungen Unterscheidungen, die sich durch die rein funktionalen Aspekte wie Kabellänge, Reihenschaltung auch im Feld und nicht nur auf der Klemmleiste ergeben.

Reihenschaltung über

- Im Schaltschrank über Klemmleiste – Kabel werden über Sternverteilung verlegt
- Im Feld über Y-Stecker im Feld
- Im Sensor über Anschlusskontaktblock

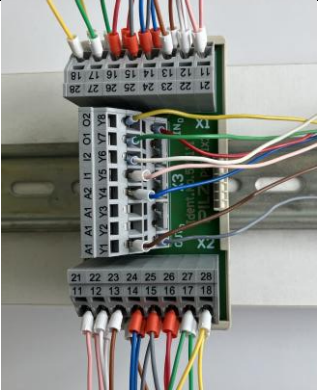

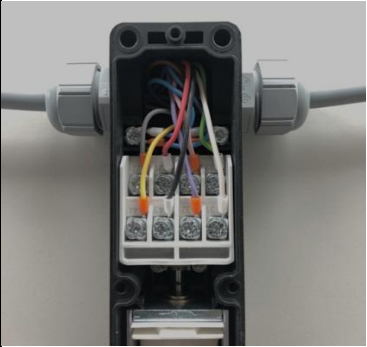
| Reihenschaltung im Schaltschrank | Im Feld | Im Sensor |
|---|--|---|
|  |  |  |
| PSEN ix2 F4 code für nicht Prozesszuhaltungen M12/8 pol | IP67 Adapter für Prozesszuhaltungen M12/8pol PSEN sl2 | PSEN me5 |

Tabelle 2 Übersicht Reihenschaltungsmöglichkeiten

2. Unterscheidung sichere Zuhaltung, sichere Stellungsüberwachung und Prozesszuhaltung

Wie zuvor erklärt, sind Zuhaltung und Verriegelung zwei unterschiedliche Teilfunktionen. Nun gibt es die Funktion der Zuhaltung für den Personenschutz in unterschiedlichen Ausprägungen: Die sichere Zuhaltung ist eine andere Sicherheitsfunktion als die sichere Überwachung der Zuhaltstellung. Zusätzlich gibt es noch die Zuhaltung für den Prozessschutz.

Eine sichere Zuhaltung wird als Aktor verstanden, der von einer Auswerteeinheit

- a) sicherheitsgerichtet mittels sicherer Ausgänge angesteuert wird: Zuhaltung als Aktor.
- b) sicherheitsgerichtet mittels sicherer Eingänge ausgewertet wird: Zuhaltung und Verriegelung als Sensor.

Im Falle der sicheren Überwachung der Zuhaltstellung wird das Gerät als Sensor verstanden, der von einer Auswerteeinheit

- a) sicherheitsgerichtet mittels sicherer Eingänge ausgewertet wird: Zuhaltung und Verriegelung als Sensor.

2.1. Die sichere Zuhaltung

Um eine sichere Zuhaltung als Gesamtsicherheitsfunktion zu realisieren, muss also auch das sichere Auswertegerät und die sichere Überwachung des sicheren Zustands des Antriebs (zum Beispiel Stillstandüberwachung) hinzugezogen werden, EN ISO 14119:2025 Abschnitt 9.3:

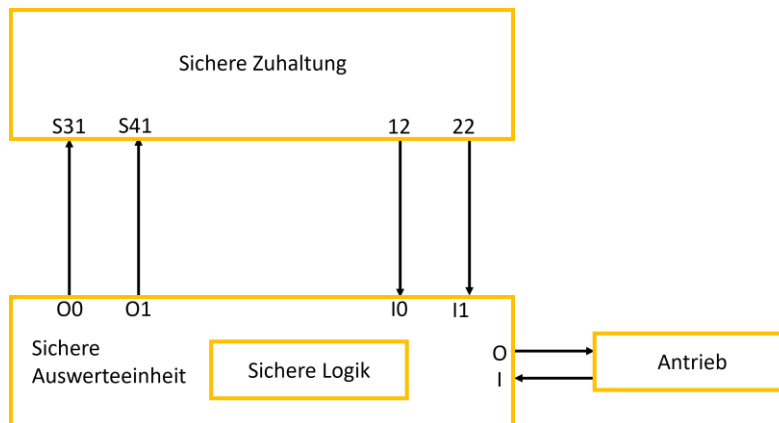


Abbildung 18 Sicherheitsfunktion Sichere Zuhaltung

Unabhängig von der Zuhaltung steuert eine sichere Auswerteeinheit den Antrieb an, um in einen sicheren Zustand zu gehen. Dies wird von einer sicheren Logik überwacht, zum Beispiel durch ein Zeitglied oder einen direkten Signalaustausch. Die sichere Logik steuert dann über sichere Ausgänge die sicheren Eingänge der Zuhaltung an. Die Eingänge und die interne Weiterverarbeitung im Zuhaltungsgerät müssen dafür auch sicherheitsgerichtet ausgelegt sein.

Das bedeutet, dass Fehler in der Logik, in den Ausgängen oder in den Kabeladern zum Sensor hin durch das Auswertegerät beherrscht werden. Fehler vom Sensor zur sicheren Logik werden durch die Ausgänge, sogenannte Output Signal Switching Device kurz OSSD, im Sensor beherrscht.

Die verschiedenen Elemente einer sicheren Zuhaltung werden in den folgenden Bildern dargestellt:

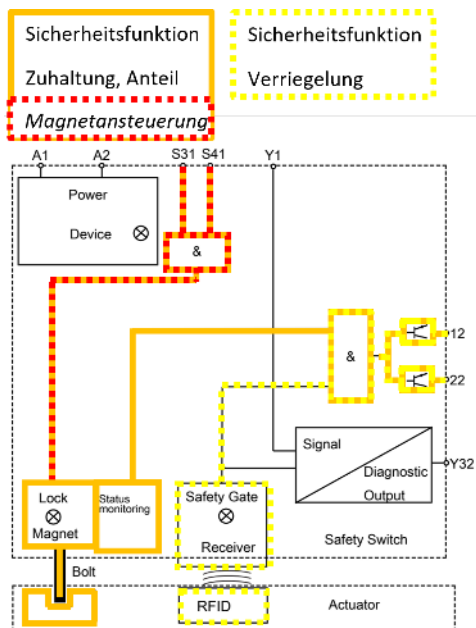


Abbildung 19 Sicherheitsfunktionen: Hellgelb gestrichelt Verriegelung, dunkelgelb inklusive rot gestrichelt die die sichere Zuhaltung am Beispiel PSEN mlm ba

Realisierungen einer sicheren Zuhaltung sind unabhängig eines Performance Levels und unabhängig der Technologie. So gibt es sichere Zuhaltungen als Gesamtfunktion mit elektro-mechanischen, elektro-magnetischen und elektronischen Zuhaltungen in der Anwendung.

Eine mögliche Umsetzung einer Ansteuerung, Verarbeitung und Auswertung einer sicheren Zuhaltung ist im Folgenden dargestellt.

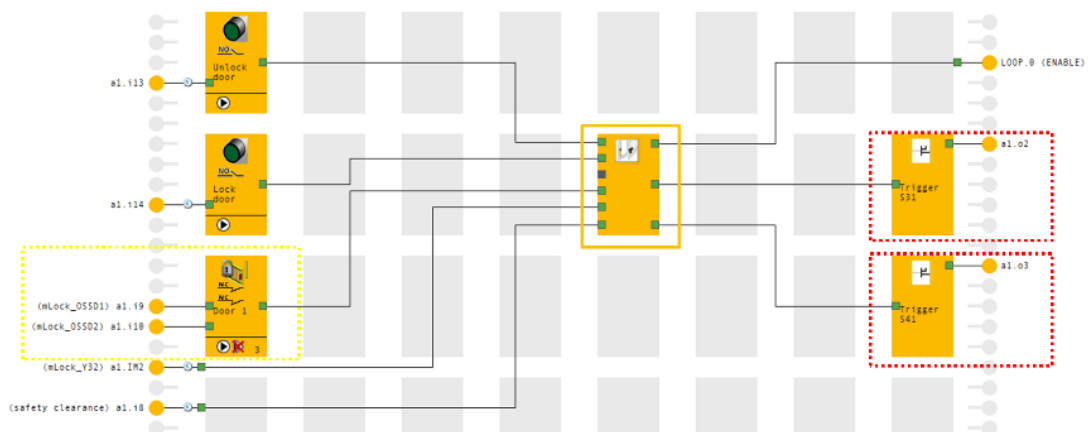


Abbildung 20: Realisierung einer sicheren Zuhaltung auf Steuerungsebene am Beispiel PNOZmulti Konfigurator mit Funktionsbaustein PSENmlock

Beispielsweise sehen für die Betrachtung des Sensors und der Logik die Berechnungen für die Zuhaltung und für die Verriegelung wie folgt aus:

The image shows two screenshots of the SISTEMA software interface, version 2.0.8, used for safety function calculations. The first screenshot shows the 'Interlock (Stellungsabfrage)' function, and the second shows the 'Guardlock (Zuhaltung)' function. Both screenshots display a project tree on the left, a context panel with various parameters, and a table of subsystems on the right.

Screenshot 1: Interlock (Stellungsabfrage)

Kontext:

- PLr: d
- PL: e
- PFHD [1/h]: 2,8E-8
- SB: -
- PL: -
- PFHD [1/h]: -
- Kat.: -
- MTTFD [a]: -
- DCavg [%]: -
- CCF: -
- BL: -
- MTTFD [a]: -
- DC [%]: -
- EL: -
- MTTFD [a]: -
- DC [%]: -

Subsysteme:

| Status | Name | BMK | PL | PL-Software | PFHD [1/h] |
|--------|------------------|-----|----|-------------|------------|
| ✓ SB | PSEN ml b 1.1 | | e | n.a. | 2,4E-9 |
| ✓ SB | PNOZ m EF 8DI4DO | | e | n.a. | 4,3E-11 |
| ✓ SB | PNOZ m EF 8DI4DO | | e | n.a. | 2,8E-10 |
| ✓ SB | PNOZ m B1 | | e | n.a. | 4,2E-10 |
| ✓ SB | PNOZ m EF 8DI4DO | | e | n.a. | 1,6E-10 |
| ✓ SB | Leistungsschütze | | e | n.a. | 2,5E-8 |

Screenshot 2: Guardlock (Zuhaltung)

Kontext:

- PLr: c
- PL: e
- PFHD [1/h]: 5,1E-9
- SB: -
- PL: -
- PFHD [1/h]: -
- Kat.: -
- MTTFD [a]: -
- DCavg [%]: -
- CCF: -
- BL: -
- MTTFD [a]: -
- DC [%]: -
- EL: -
- MTTFD [a]: -
- DC [%]: -

Subsysteme:

| Status | Name | BMK | PL | PL-Software | PFHD [1/h] |
|--------|------------------|-----|----|-------------|------------|
| ✓ SB | PNOZ m B1 | | e | n.a. | 4,2E-10 |
| ✓ SB | PNOZ m EF 8DI4DO | | e | n.a. | 2,8E-10 |
| ✓ SB | PNOZ m EF 8DI4DO | | e | n.a. | 1,6E-10 |
| ✓ SB | PSEN ml b 1.1 | | e | n.a. | 4,2E-9 |

Abbildung 21 Ausschnitt Berechnung Zuhaltung und Verriegelung am Beispiel PSEnmlock und PNOZmulti mit Hilfe von Sistema Version 2.0.8

Man erkennt, dass es zu unterschiedlichen Werten kommt. Das Zuhaltungsgerät hat für beide Funktionen unterschiedliche Werte. Auf der sicheren Auswertegeräteseite werden unterschiedliche Werte, sogar unterschiedliche Komponenten, herangezogen. Dies zeigt nochmals deutlich, dass Verriegelung und Zuhaltung zu differenzieren ist.

2.2. Die sichere Überwachung der Zuhaltstellung

Bei der sicheren Überwachung der Zuhaltstellung kann die Zuhaltung mit einem nicht sicheren Signal angesteuert werden.

Dies bedeutet ein Restrisiko! Bei der Umsetzung einer solchen Lösung besteht immer ein Restrisiko, weil Fehler und Zugriff zusammentreffen können. Dies ist insbesondere gefährlich, da systematische Fehler auftreten können: es gibt hier keine zwingende funktional sichere Fehlerreaktion.

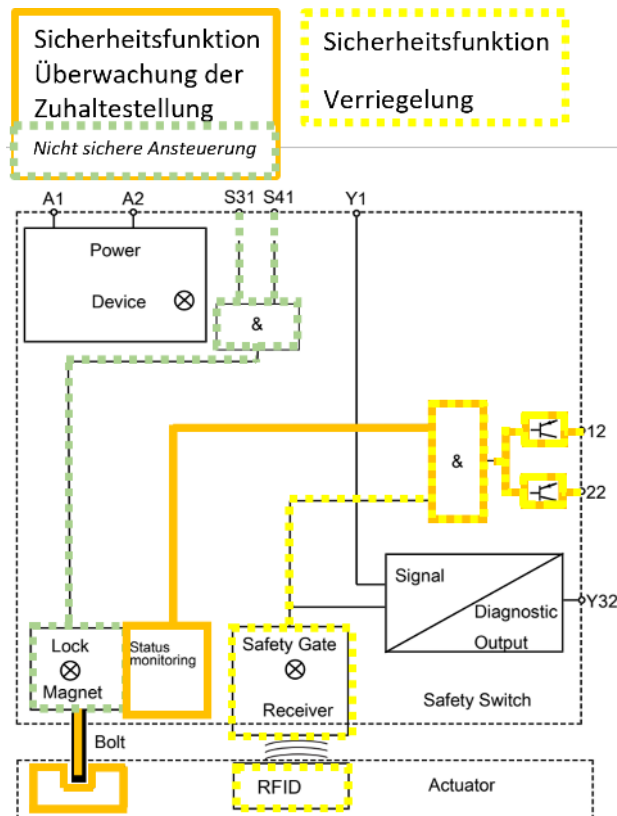


Abbildung 22: Die sichere Überwachung der Zuhaltstellung, theoretisches Beispiel

Das ist zunächst unabhängig davon wie die Zuhaltung selbst realisiert ist. Bei Zuhaltungen, die nur für die sichere Überwachung der Zuhaltung ausgelegt sind, gibt es nicht sichere Eingänge für die Zuhaltung und auch intern wird der Zuhaltungsmagnet nicht sicherheitsgerichtet angesteuert. Dann aber wird die Stellung des Bolzen sicherheitsgerichtet überwacht und auf dessen Stellung reagieren die OSSDs sicherheitsgerichtet. Diese wiederum müssen von einem sicheren Auswertegerät weiterverarbeitet werden.

Für einige Applikationen kann die sichere Überwachung der Zuhaltstellung ausreichend sein, siehe Kapitel 2.4.

Die sichere Überwachung der Zuhaltstellung ist nicht immer ausreichend: Fehler können hier zustandsabhängig oder sporadisch auftreten und sind für den Bediener nicht immer als Fehler erkennbar. Da die Maschine sich nicht wie erwartet verhält, wird nach dem Fehler gesucht und eine offene – also eine nicht zugehaltene Türe – kann dann den Bediener nicht mehr schützen, wenn zum Beispiel die gefährbringende Bewegung noch nicht abgebremst ist.

2.3. Prozesszuhaltung

Das entsprechende Blockschaltbild einer Prozesszuhaltung kann wie folgt aussehen:

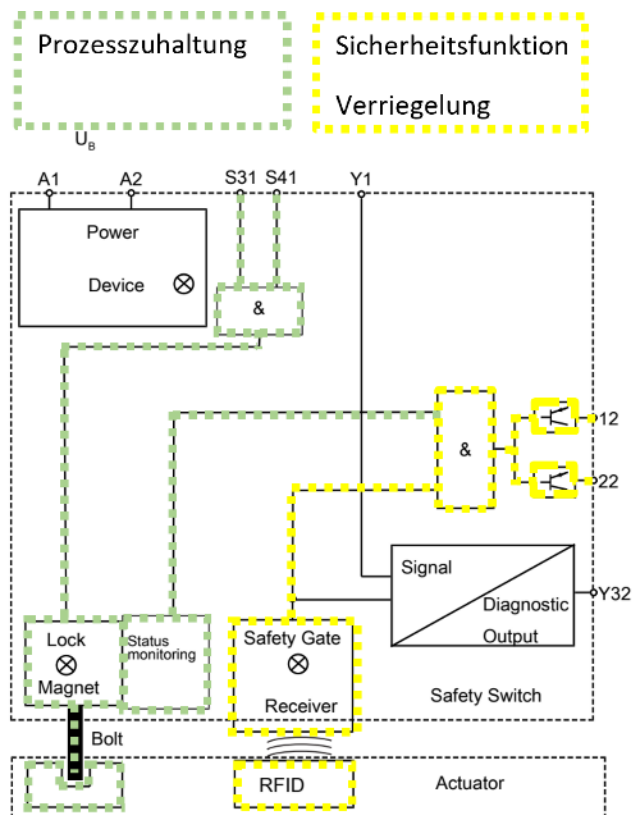


Abbildung 23 Prozesszuhaltung mit sicherer Verriegelung und nicht sicherer Zuhaltung, theoretisches Beispiel




Prozesszuhaltungen sollen den Prozess vor dem Bediener schützen. Das bedeutet, dass Eingriffe nicht zu beliebigen Zeitpunkten erfolgen sollen, da ein unkontrollierter Stopp lange Einrichtzeiten und damit geringe Verfügbarkeit der Maschine bedeuten.

Das heißt bei einer Prozesszuhaltung ist nur die Verriegelung sicherheitsgerichtet ausgeführt. Es gibt verschiedene Varianten am Markt, bei den die Zuhaltung zusätzlich auf die Ausgänge des Sensors wirkt oder auch nicht.

Aus sicherheitstechnischer Perspektive ist hier kein Unterschied: in beiden Fällen muss die Zugriffszeit zur gefährlichen Bewegung größer sein als die Maschine an Zeit für den sicheren Zustand / Stillstand braucht.

Für den Maschinenbetrieb kann es jedoch von Vorteil sein, dass Türen nicht mehr zugehalten sind, aber die Maschine weiterläuft und der Prozess beobachtet werden kann. Der Bediener kann dann schneller in den Prozess eingreifen, wenn dies notwendig ist und sonst die Maschine weiterlaufen lassen.

2.4. Übersicht Sichere Zuhaltung, sichere Überwachung der Zuhaltstellung und Prozesszuhaltung

| | Sichere Zuhaltung | Sichere Überwachung der Zuhaltstellung | Prozesszuhaltung |
|--|---|---|--|
| Produktbeispiele | PSENmlock, PSEN sl 2-G, PSENmlock mini, PSEN me5 | *** | ***, PSEN sl 2-D |
| Sicherheitsgerichtete Ansteuerung | Zwingend | Möglich | möglich |
| Fehlerbeherrschung | Entsprechend Performance Level | <ul style="list-style-type: none"> a) Fehlerhafte Ansteuerung bei nicht sicherheitsgerichteter Ansteuerung möglich. b) Öffnen der Zuhaltung zum falschen Zeitpunkt aufgrund Sensor internem Fehler. c) D.h. Anlauf der Maschine bei defekter Zuhaltung durch Abfrage der Zuhaltung verhindert. | <ul style="list-style-type: none"> a) Fehlerhafte Ansteuerung bei nicht sicherheitsgerichteter Ansteuerung möglich. b) Öffnen der Zuhaltung zum falschen Zeitpunkt aufgrund Sensor internem Fehler. c) OSSDs reagieren nicht auf Zustand der Zuhaltung d) D.h. Anlauf der Maschine bei defekter Zuhaltung möglich. |
| Typische Anwendungen | Zutritt zu einem Gefahrenbereich, bei dem gefahrbringende Bewegung nicht unmittelbar erkennbar und überschaubar ist oder bei denen der Antriebsstrang länger* zum Stillstand braucht.** | Zutritt zu einem Gefahrenbereich. Gefahr ist nicht unmittelbar hinter der Tür, sondern einsehbar und der Antriebsstrang kann unmittelbar* zum Stillstand gebracht werden. | Antriebsstrang kann in sehr kurzer Zeit* zum Stillstand gebracht werden. |
| Beispiele |  |  |  |

* Hier geht es um die Zugriffszeit und Abstände zu der Gefahr, die individuell bestimmt werden müssen.

** siehe EN ISO 14119:2025 Abschnitt 9.3

*** Produkte, die für die sichere Zuhaltung geeignet sind, sind auch für die sichere Überwachung der Zuhaltstellung und für die Prozesszuhaltung geeignet.

Tabelle 3: Unterschiede in der Anwendung der verschiedenen Ausprägungen einer Zuhaltung

2.5. Zusammenfassung

Das bedeutet, dass nur die linke Spalte für Personenschutz bei Anlagen mit nennenswertem Nachlauf verwendbar ist.

3. Installation an Klappen und begehbaren Türen

Die EN ISO 14120:2015 beschreibt die allgemeinen Anforderungen an Gestaltung und Bau von Türen und Klappen. In der Qualität der funktionalen Sicherheit dürfen Geräte zur Risikominderung keinen Unterschied machen. Unterschiede gibt es jedoch in der Beanspruchung und der notwendigen Ausstattung.

| | Klappen | Begehbare Türen |
|--------------------------------------|---|---|
| Höhe der Tür | Typisch: 25 ...75cm | Typisch: 230cm |
| Tür-/ Klappenradius bei Schwenktüren | Typisch: 10...100cm | Typisch: 60...150cm (Schiebetüren wären deutlich größer) |
| Versatz bei Schwenktüren | Typisch: +/- 1mm mit jedem Schließvorgang | Typisch: +/- 2mm Verschleiß über die Lebensdauer |
| Gewicht | Eher leichter, z.B. <50kg | Eher größer, z.B. >50kg |
| Schutz vor unerwartetem Wiederanlauf | Meistens nicht notwendig | Zwingend, mechanisch oder elektrisch |
| Fluchentriegelung | Meistens nicht notwendig | vorzusehen |
| Integrierte Tasten | ggf. bei Schiebeklappen | Häufig bei Schwenk- und Schiebtüren |
| Anschlag | Separat oder Werte in den technischen Daten des Schalters beachten. | |

Tabelle 4: Klappen und begehbare Türen

Hinweis zum Anschlag: EN ISO 14119:2025 besagt, dass Kräfte in der Bedienungsanleitung des Zuhaltungsgerätes angegeben werden müssen und diese Kräfte in der Applikation nicht überschritten werden dürfen. Gerade für große Türen ist das Überschreiten der Kräfte jedoch vorhersehbar, so dass ein weiterer Anschlag angebracht werden sollte. Angaben des Herstellers und auch die Befestigungsmöglichkeiten, die Schalter und Türe bieten, haben direkten Einfluss auf die Lebensdauer des Schalters an der Maschine.

3.1. Beanspruchung bei Klappen

Aufgrund des kleineren Gewichtes können kleinere Klappen mit einer Hand gut geführt werden. D.h. Scharniere sind kleiner und der Versatz kann sich von Schließvorgang zu Schließvorgang ändern, je nach ergonomischer Position des Bedieners. Deshalb ist auf Versatz durch Verschleiß im Scharnier oder Lockerung der Befestigungsschrauben zu achten: Falls der

Versatz größer wird als in den technischen Daten der Zuhaltung angegeben, wird der Schalter außerhalb der Spezifikation betrieben.

Der kleinere Türradius stellt die besondere Herausforderung dar. Wenn der Betätiger nicht mehr seinen Einfahrschacht findet, kann es zur Beschädigung des Betätigers, eventuell auch des Schalters, kommen.

| Winkeladapter und Zentrierring | Offener Einfahrschacht |
|--|---|
|  |  |
| <p><u>Winkeladapter:</u> Optimierung des Einfahrwinkels bei kleinen Klappenradien oder größerer paralleler Versetzung vom Schalter und Scharnier</p> <p><u>Zentrierring:</u> Bei kleinen Türradien Limitierung des Versatzes, um Einfahrschacht zu treffen</p> | <p>Diese offene Konstruktion ermöglicht in einer und nur in einer Ebene sehr kleine Radien.</p> |

Tabelle 5: Beispiele für Lösungen für kleine Türradien

3.2. Beanspruchung bei Türen

Im Vergleich zu Klappen haben Türen meist eine größere frei schwingende Masse von größeren Ausmaßen. D.h. meistens hat der Bediener keinen direkten Einfluss auf den Versatz und kann auch limitierter ein Zurückprellen der Türen am mechanischen Anschlag abfangen. Hier hat die Power to Lock und die bistabile Ansteuerung den Vorteil, dass erst in der Ruhelage die Zuhaltung schließt und aus der Ruhe heraus Kräfte auf die Zuhaltung wirken können.

Versetzbarer flexibler Betätiger:

Betätiger bleibt in der versetzten Lage und wird kaum in die Mitte zurückgezogen



Abbildung 24 Beispiel Toleranzausgleich für Lösungen an großen Türen

3.3. Schutz vor unerwartetem Wiederanlauf

Betreten Bediener eine Gefahrenzone, müssen sie sich davor schützen, dass die Maschine wieder in Bewegung gesetzt wird, während sie sich in der Gefahrenzone aufhalten, insbesondere bei nicht einsehbaren Bereichen in der Gefahrenzone.

| Zusätzliche Gefahrenzonenüberwachung durch Radar oder Scanner | Mechanisches Schloss im Betätiger | Mechanisches Schloss am Schalter | Mechanische oder elektrische Schlüssel |
|--|--|---|---|
|  |  |  |  |
| Unabhängig von der Schalterfreigabe wird auf die Freigabe z.B. des Radars gewartet, bevor eine Maschine wiederanläuft. | Schloss verhindert das Einfahren des Betätigers und der Schalter gibt keine Sicherheitsfreigabe. | Schloss verhindert das Erkennen des Betätigers und der Schalter gibt keine Sicherheitsfreigabe. | Unabhängig von der Schalterfreigabe wird auf die Freigabe des Schlüssels gewartet. |
| ≥1 Tür Lösung | Ein-Tür Lösung | Ein-Tür Lösung | Mechanisch: 1 Tür Lösung Elektrisch: ≥1 Tür Lösung |
| Geräteabsicherung | Administrative Regelung | Administrative Regelung | Geräteabsicherung und Administrative Regelung |

Tabelle 6: Möglichkeiten vor Schutz des unerwarteten Wiederanlaufs

In EN ISO 14119:2025, Kapitel 6.8, wurden explizit Schutzmaßnahmen gegenüber unerwartetem Wiederanlauf aufgenommen. Da obige Maßnahmen versagen können, bzw. aufgrund von Anwenderfehlern nicht zum Tragen kommen, ist aufgrund der Risikoanalyse häufig eine Fluchtentriegelung an der Zuhaltung notwendig, siehe Kapitel 3.4.

Hinweis: Eine einzelne der oberen Optionen reicht meist nicht aus. Gerade bei Schlüsseloptionen sind zum Beispiel ein verzögerter Start mit Warnsignalen notwendig. Häufig muss von Fehlern in den Arbeitsschritten ausgegangen werden.

3.4. Hilfs- und Fluchtentriegelungen sowie Notentsperrung

Vor dem Hintergrund des Versagens des Schutzes vor unerwartetem Wiederanlauf zeigen Risikoanalysen häufig auf, dass begehbare Türen mit einer Fluchtentriegelung ausgestattet werden müssen. Diese bieten den Bedienern die Möglichkeit, durch eine manuelle Aktion die Gefahrenzone zu verlassen.

Neben der Fluchtentriegelung gibt es noch die Hilfsentriegelung und die Notentsperrung als zusätzliche Entsperrmöglichkeiten an Zuhaltungen. Denn ist im Notfall ein Zugang von außen notwendig, müssen diese Zuhaltungen auch eine Notentsperrung besitzen.

In der Regel weisen alle Zuhaltungen, die auf einem bistabilen Magneten oder einem monostabilen mit Power to Unlock Ansteuerung eine Hilfsentriegelung auf.

3.4.1. Notentsperrungen

Das Zurücksetzen einer Notentsperrung kann mithilfe eines Werkzeuges passieren, einer Reparatur oder auf Steuerungsebene. Es soll Missbrauch der Notentsperrung als schneller Zugang verhindert werden.

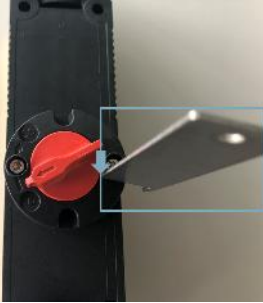

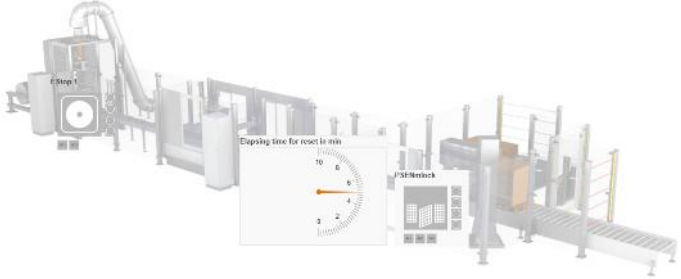
| | |
|---|--|
| <p>Notentsperrung mit Zurücksetzen durch Werkzeug</p> |  |
| <p>Notentsperrung mit manuellem Zurücksetzen und Reparatur</p> |  |
| <p>Notentsperrung mit manuellem Zurücksetzen und Aufhebung auf Steuerungsebene. Anzeige auf der Visualisierung.</p> |  |

Tabelle 7: Realisierungen von Notentsperrungen

Hinweis: Die Norm EN ISO 14119:2025 fordert nur, dass der normale Weiterbetrieb verhindert wird. Daher ist weiterhin der Zugriff auf verschiedene Maschinenfunktionen möglich, nur eben der normale Weiterbetrieb nicht.

Es werden Zuhaltungen am Markt angeboten, die sich unterschiedlich im elektronischen Zurücksetzen verhalten. In der Regel dürfen nur Geräte mit Power-Reset für die Notentsperrung verwendet werden, um den normalen Weiterbetrieb zu verhindern. Zuhaltungsgeräte mit Automatic-Reset werden eher nicht mit einer Notentsperrung ausgestattet und dürfen nur mit einer Hilfs- und Fluchtentriegelung ausgestattet werden.

3.4.2. Fluchtentriegelung im Betätiger/Griff integriert

Insbesondere für begehbare Türen, können Fluchtentriegelungen direkt im Betätiger bzw. in der Griffereinheit integriert sein. Dies hat die Vorteile, dass kein weiteres Loch im Türrahmen vorgesehen werden muss und dass kein weiter Platz für den Zugang am Türrahmen geschaffen werden muss.

Es sollte bei sehr leichten Türen das Gewicht des Handgriffes von über 1kg beachtet werden. Die etwas geringen Zuhaltekräfte sind vertretbar, da der Griff nur eine Hand zulässt und keine Hebel wirken kann. Deshalb liegen die meisten Geräte am Markt deutlich über den geforderten statischen Mindestkräften von 700N, vergleiche EN ISO 14119:2025 Tabelle H.1.



Abbildung 25 Fluchtentriegelung im Griff integriert am Beispiel PSENmlock door handle module (roter Griff)

3.4.3. Fluchtentriegelung am Schalter oder abgesetzt

Fluchtentriegelungen am Schalter sind in der Beschaffung deutlich günstiger als eine integrierte Fluchtentriegelung im Griff.

Auch sind Griffe keine Option, wenn der Schalter oberhalb 1.7m nach EN IEC 60204-1:2016 montiert werden soll. Um den nach EN ISO 14119:2025 Kapitel 6.9.1 einfache Betätigung gerecht zu werden, muss die Fluchtentriegelung aus der Distanz betätigt werden. Hier bieten die meisten Hersteller eine Fluchtentriegelung an, die über ein mechanisches Kabel bzw. Seil mit dem Schalter verbunden ist.



Abbildung 26 Fluchtentriegelung am Beispiel der Remote Fluchtentriegelung des PSENmlock

3.5. Manipulationsschutz

Manipulation bedeutet das Umgehen von Schutzeinrichtungen. Dadurch setzt sich der Bediener Gefahren aus. Dies geschieht, um einen Vorteil in der Maschinenverfügbarkeit, in der Ergonomie beim Bedienen der Maschine oder in der Produktivität allgemein zu haben. Das Umgehen von Schutztüreinrichtungen ist der häufigste Grund für Unfälle mit Personenschaden. Diese führte zu der besonderen Bedeutung der Manipulation in der ISO 14119. Das Ablaufdiagramm in Bild 8 und die Maßnahmen in Tabelle 5 sind daher ein sehr zentraler Punkt der Norm und diese wurde in der Fassung 2025 auch für Zuhaltungen erweitert.

| Grundsätze und Maßnahmen | Bauart 2, niedrig codiert | Bauart 4, niedrig codiert | Bauart 4, hoch codiert |
|---|------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| | PSEN me5 | PSEN ml b 1.1 | PSEN ml 2.1 |
| Zusätzlicher Schalter und Plausibilitätsprüfung | R | R | |
| Anbringen außer Reichweite | X | X | |
| Hindernis/Abschirmung | | | |
| Anbringen in verdeckter Position | | | |
| Zustandsüberwachung oder periodische Prüfung | | | |
| Nicht-lösbare Befestigung des Betätiger | M | M | M |
| Nicht-lösbare Befestigung des Positionsschalters | R | R | R |
| M = anzuwendende Maßnahme; X = Mindestens einer dieser Maßnahmen ist anzuwenden; R = empfohlene Maßnahmen; | | | |

Tabelle 8 Ausschnitt Tabelle 5 EN ISO 14119:2025 für elektromechanische und elektronisch codierte Zuhaltungen an Mindestmaßnahmen an Schutz gegen Manipulation

In Tabelle 5 der EN ISO 14119:2025 steht das Manipulieren durch Entfernen von Betätigern und Schaltern im Fokus, weshalb diese besonders gesichert sein sollen. Neben Verkleben von Schrauben zählen Einwegschrauben und Antriebsverschlüsse zu den üblichsten und praktischsten Realisierungen für Sicherheitsgeräte.

| | Schraubenkleber | Einwegschrauben | Antriebsverschlüsse |
|-----------------------------|---|---|---|
| Beispiel- bilder |  <p>Zum Beispiel Loctite 2700</p> |  |  |
| Vorteil | <ul style="list-style-type: none"> • Herkömmliche Schrauben können verwendet werden | <ul style="list-style-type: none"> • Einfachste Handhabung • Schrauben aus Edelstahl möglich | <ul style="list-style-type: none"> • Herkömmliche Schrauben können verwendet werden • Schnelle Montage |
| Nachteil | <ul style="list-style-type: none"> • Schraube und Bohrloch müssen sauber sein • Zeitaufwendig, wenn die Klebung zum Beispiel bei der Maschinenübergabe passiert | <ul style="list-style-type: none"> • Mögliches Neupositionieren nicht möglich, wenn einmal fest angezogen | <ul style="list-style-type: none"> • Steht der Schraubenkopf hervor und hat einen Zylinderkopf, kann die Schraube durch eine Zange bei niedrigen erlaubten Anzugsmomenten gedreht werden |
| Mögliches Lösen | <ul style="list-style-type: none"> • Hohe Kraftaufwendung • Hohe Wärme • Schraube aufbohren oder befestigtes Gerät zerstören | <ul style="list-style-type: none"> • Manche Einwegschrauben lassen sich durch spezielle Schraubenzieher wieder lösen. • Schraube aufbohren oder befestigtes Gerät zerstören | <ul style="list-style-type: none"> • Antriebsverschluss aufbohren • Befestigtes Gerät zerstören |

Tabelle 9 Praktische Beispiele von Schraubensicherungen

Ein weiterer Weg Schutzüreinrichtungen zu Umgehen ist das Setzen von elektrischen Brücken. Dies setzt Kenntnisse über das Pining des Schalters voraus, die Service-Techniker oder Instandsetzer haben. Das Setzen von Brücken im Schaltschrank wird durch Abschließen des Schaltschranks und der Schaltpläne erheblich erschwert. Im Feld können Kabelverbindungen gebrückt werden. Folgende Maßnahmen erschweren das Manipulieren im Feld:

| Geräte mit angegossenem Kabel | Geräte mit Pigtail und nicht zugänglicher Verbindung | Clips in M12 oder M8 |
|---|--|---|
|  |  |  |
| <p>PSEN ma1.4a (Safety switch without guard locking)</p> | <p>Zuhaltung mit Pigtail</p> | <p>PSEN sl 2 mit Rundsteckverbinder und Clip</p> |

Tabelle 10 Praktische Beispiele des Schützens der Verkabelung vor Manipulation

An dieser Stelle sollte auch der positive Beitrag von Betriebsartenwahlschaltern erwähnt werden. Durch das Setzen von Betriebsarten können zum Beispiel langsame Maschinenabläufe bei geöffneter Schutztür für geschultes Personal erlaubt sein. So, kann ein Prozess beobachtet werden, sprich ein Serviceeinsatz durchgeführt werden, ohne sich der Gefahr einer im normalen Betriebszustand laufen Maschinen ausgesetzt zu sein. Maschinenzutritt, Betriebsartenwahl und verschiedene Maschinenabläufe gehen Hand-in-Hand.





| Zutrittskontrolle | Betriebsartenschalter | Logik | Antrieb |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| <p>PITreader key</p> | <p>PITmode fusion</p> | <p>PNOZmulti</p> | <p>PMC SI6</p> |

Tabelle 11 Komponenten für die Betriebsartenwahl

4. Zusammenfassung und Ausblick

Um Zuhaltungen normenkonform umsetzen, muss man viele Aspekte berücksichtigen. Es gibt viele mögliche Lösungen mit ihren eigenen Vor- und Nachteilen. Dieses Whitepaper erläutert Merkmale und Eigenschaften von Zuhaltungen, um normative Anforderungen besser zu verstehen und Zuhaltungsgeräte in der Praxis korrekt auszuwählen und einzusetzen. Neue Normenausgaben sowie technologische Weiterentwicklungen werden weitere Auflagen dieses Whitepapers abverlangen, um auf dem aktuellen Stand zu bleiben.

Hinweis: Zum Redaktionsschluss ist in Europa die Normenausgabe 2013, also EN ISO 14119:2013, harmonisiert und damit verpflichtend zu betrachten. Es ist davon auszugehen, dass in Kürze die EN ISO 14119:2025 in Ihrem Wortlaut harmonisiert wird. Deshalb wurde schon die EN ISO 14119:2025 in dieser zweiten Auflage des Whitepapers betrachtet.

5. Verzeichnis

5.1. Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1 Sicherheitsfunktion Zuhaltung..... | 5 |
| Abbildung 2: Verriegelung und Zuhaltung am Beispiel mittels Blockschaltbildern der der Zuhaltung PSEN mlm ba (links) und des PSEN sl2-G (rechts)..... | 6 |
| Abbildung 3: Kontaktblock und Kontakte und Stellglieds eines mechanischen Schalters am Beispiel des PSEN me5 von Pilz | 7 |
| Abbildung 4: Reihenschaltung PSEN me5 | 8 |
| Abbildung 5 Toleranzen bei mechanischen Betätigern | 8 |
| Abbildung 6: Betätiger: Versatz bei RFID Betätigern, elektromagnetische Zuhaltung | 10 |
| Abbildung 7 Mechanik Zuhaltung: Zunge, Bolzen, Einfahrschacht | 10 |
| Abbildung 8 Hebelwirkung auf einer Zuhaltung an Türen..... | 12 |
| Abbildung 9 Innenansicht elektromechanische Zuhaltung PSEN me5 | 14 |
| Abbildung 10 Blockschaltbild elektromagnetische Zuhaltung..... | 14 |
| Abbildung 11 Fehlerausschluss aufgrund vorrauseilendem Riegel..... | 15 |
| Abbildung 12 Gelb: RFID-Verriegelung / Blau: Zuhaltung mit Lichtschranken am Beispiel des PSENmlock..... | 16 |
| Abbildung 13 Angabe von sicherheitstechnischen Kenndaten am Beispiel PSENmlock..... | 17 |
| Abbildung 14: Beispiel PSENSlock 2 mit Stromschleifen für die Zuhaltung und RFID-Übertragung für die Verriegelung | 18 |
| Abbildung 15 Zeitdiagramme von bistabilen und monostabilen Zuhaltungen | 21 |
| Abbildung 16: PSENSlock 2 mit einstellbarer Rastkraft von 30Nm, 110Nm oder 200Nm..... | 22 |
| Abbildung 17 Beispiel PSEN mlm für das sequenzielle Schalten in der Reihenschaltung | 24 |
| Abbildung 18 Sicherheitsfunktion Sichere Zuhaltung | 26 |
| Abbildung 19 Sicherheitsfunktionen: Hellgelb gestrichelt Verriegelung, dunkelgelb inklusive rot gestrichelt die die sichere Zuhaltung am Beispiel PSEN mlm ba..... | 27 |
| Abbildung 20: Realisierung einer sicheren Zuhaltung auf Steuerungsebene am Beispiel PNOZmulti Konfigurator mit Funktionsbaustein PSENmlock | 27 |
| Abbildung 21 Ausschnitt Berechnung Zuhaltung und Verriegelung am Beispiel PSENmlock und PNOZmulti mit Hilfe von Sistema Version 2.0.8 | 28 |
| Abbildung 22: Die sichere Überwachung der Zuhaltstellung, theoretisches Beispiel..... | 29 |
| Abbildung 23 Prozesszuhaltung mit sicherer Verriegelung und nicht sicherer Zuhaltung, theoretisches Beispiel | 30 |
| Abbildung 24 Beispiel Toleranzausgleich für Lösungen an großen Türen | 33 |
| Abbildung 25 Fluchentriegelung im Griff integriert am Beispiel PSENmlock door handle module (roter Griff) | 36 |
| Abbildung 26 Fluchentriegelung am Beispiel der Remote Fluchentriegelung des PSENmlock..... | 37 |

5.2. Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Arbeitsprinzipien von Zuhaltungen..... | 20 |
| Tabelle 2 Übersicht Reihenschaltungsmöglichkeiten | 25 |
| Tabelle 3: Unterschiede in der Anwendung der verschiedenen Ausprägungen einer Zuhaltung | 31 |
| Tabelle 4: Klappen und begehbare Türen | 32 |
| Tabelle 5: Beispiele für Lösungen für kleine Türradien | 33 |
| Tabelle 6: Möglichkeiten vor Schutz des unerwarteten Wiederanlaufs | 34 |
| Tabelle 7: Realisierungen von Notensperrungen | 35 |
| Tabelle 8 Ausschnitt Tabelle 5 EN ISO 14119:2025 für elektromechanische und elektronisch codierte Zuhaltungen an Mindestmaßnahmen an Schutz gegen Manipulation | 38 |
| Tabelle 9 Praktische Beispiele von Schraubensicherungen | 39 |
| Tabelle 10 Praktische Beispiele des Schützens der Verkabelung vor Manipulation | 40 |
| Tabelle 11 Komponenten für die Betriebsartenwahl | 40 |

6. Dokumentation

6.1. Normenreferenzen

Folgende Referenzen zu Normen und Application Notes wurden verwendet:

| Nr. | Beschreibung |
|-----|---|
| 1 | EN ISO 13849:2023 |
| 2 | EN ISO 14119:2013 |
| 3 | EN ISO 13855:2025 |
| 4 | EN ISO 13857:2019 |
| 5 | EN ISO 14120:2015 |
| 6 | EN ISO 12100:2010 |
| 7 | ISO/TR 24119:2015 |
| 8 | GS-ET-19 E |
| 9 | https://www.pilz.com/download/open/AN_PSEN_me5_Fault_Exclusion_1005752-EN-01.pdf |
| 10 | EN ISO 14119:2025 |
| 11 | EN IEC 60204-1:2016 |