

SAMSON

SAMSON

HANDBUCH

## Mit Sicherheit kompetent

Applikationshinweise für sicherheitsgerichtete Kreise



Schutzkreis

Instrumentierung

Automatisierung

## Mit Sicherheit kompetent

Applikationshinweise für sicherheitsgerichtete Kreise

---

# SAMSON

AIR TORQUE · CERA SYSTEM · KT-ELEKTRONIK · LEUSCH  
PFEIFFER · RINGO · SAMSOMATIC · STARLINE · VETEC

SAMSON wurde 1907 gegründet und ist heute einer der weltweit führenden Hersteller hochwertiger Stellventile.

Zu SAMSON gehören über 50 Tochtergesellschaften, darunter namhafte Hersteller von Spezialarmaturen.

Mit Niederlassungen in über 80 Ländern ist SAMSON kompetent und kundennah auf allen Kontinenten vertreten.



## Inhalt

1 Anwendungsbereich .....	4
2 Gültigkeit und bestimmungsgemäße Verwendung dieses Handbuchs .....	4
3 Gliederung dieses Handbuchs .....	4
4 Anforderungen aus VDI 2180 .....	5
5 Begriffe und Abkürzungen .....	5
6 Vollständiger Schutzkreis .....	6
7 Das instrumentierte Stellventil .....	9
8 SAMSON-Lieferprogramm für Armaturen in sicherheitsgerichteten Kreisen .....	12
9 Test durch Automatisierung .....	14
9.1 Final element .....	14
9.2 Testverfahren .....	16
9.2.1 Online-Test – Partial Stroke Test (Teilhubtest) .....	16
9.2.2 Weitere Testmöglichkeiten .....	19
9.3 Einbindung in die Leitsystemumgebung .....	20
9.3.1 Architektur .....	20
9.3.2 Registrierung Partial Stroke Test .....	22
9.3.3 Durchgehender Arbeitsablauf (Workflow) .....	22
9.4 Auswirkung auf die sicherheitstechnische Bewertung .....	26
9.4.1 Systematische Fehler .....	26
9.4.2 Zufällige Fehler .....	26
9.4.3 Maßnahmen zur Fehlertoleranz .....	30
10 Life cycle .....	30
11 Literatur .....	31

## 1 Anwendungsbereich

Sicherheitsgerichtete Kreise dienen der Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik. Eine Prozessgröße wie zum Beispiel Druck oder Temperatur wird in Bezug auf einen Grenzwert über einen Sensor überwacht. Bei Über- oder Unterschreitung dieses Grenzwertes wird durch eine sicherheitsgerichtete Steuerung ein Stellventil angesteuert, das entsprechend eine Rohrleitung absperrt oder öffnet.

Diese Stellventile sind mit pneumatischen Antrieben automatisiert, die über Magnetventile angesteuert werden. Teilweise sind sie mit einer Rückmeldung zur Signalisierung der Endlage ausgestattet. Nach neuestem Stand der Technik werden auch Stellungsregler verwendet. Diese werden zur Diagnose während des laufenden Betriebs der Anlage eingesetzt, sie können in geeigneter Ausführung aber auch die Abschaltfunktion des Magnetventiles übernehmen. Entsprechend IEC 61511 und VDI 2180 sind wiederkehrende Prüfungen zur Feststellung der Funktionssicherheit notwendig. Zusätzlich können Prüfungen im laufenden Betrieb durchgeführt werden. Dieses Handbuch gibt Hinweise zur Automatisierung dieser Prüfungen in Bezug auf:

- Komponenten und Aufbau
- Durchführung der Prüfungen
- Anbindung an das Leitsystem oder die sicherheitsgerichtete Steuerung
- Interpretation der Ergebnisse in Hinblick auf IEC 61511 und VDI 2180

## 2 Gültigkeit und bestimmungsgemäße Verwendung dieses Handbuches

Dieses Handbuch soll Planer und Anwender in die Lage versetzen, Verfahren zur Prüfung der Stellventile nach Stand der Technik zu implementieren.

Die Beispiele und Instrumentierungsvorschläge beziehen sich auf ausgewählte Geräte der SAMSON AG. Der bestimmungsgemäße Gebrauch dieser Komponenten entsprechend Sicherheitshandbuch, Typenblatt und Bedienungsanleitung ist zu beachten. Das Handbuch „Mit Sicherheit kompetent – Funktionale Sicherheit für Stellventile, Drehkegelventile, Kugelhähne und Stellklappen“ (WA 236) der SAMSON AG ist zu beachten.

Der Anwender ist für die Erstellung einer Gefahrenanalyse und Spezifizierung der Sicherheitskreise seiner speziellen Anlage verantwortlich. Daraus können Anforderungen an die in Schutzkreisen eingesetzten Stellventile sowie Vorgaben für Prüfungen dieser Stellventile abgeleitet werden.

### 3 Gliederung dieses Handbuches

Einleitend werden die normativen Forderungen entsprechend VDI 2180 dargelegt. Anschließend wird an einem einfachen Beispiel ein sicherheitsgerichteter Kreis (Schutzkreis) beschrieben. Danach wird auf einige mögliche Konfigurationen des in diesem Schutzkreis eingesetzten Stellventiles und der angebauten Komponenten eingegangen. Weiterhin werden Testverfahren diskutiert, die den Stand der Technik darstellen. Hierbei werden folgende Aspekte betrachtet:

- Möglichkeiten für Testverfahren
- Einbindung in die Leitsystemebene
- Auswirkung auf die sicherheitstechnische Bewertung

### 4 Anforderungen aus VDI 2180

In Blatt 5 der VDI 2180 werden praxisgerechte Hinweise für Planung, Errichtung und Betrieb von PLT-Schutzeinrichtungen gegeben. Es wird insbesondere gefordert:

„Schutzeinrichtungen müssen robust gegenüber Fehlern sein.“ Es sind deshalb Maßnahmen zu treffen:

- gegen systematische Fehler
- gegen zufällige Fehler
- zur Fehlertoleranz

„Für jede Schutzeinrichtung [...] müssen immer alle drei Maßnahmen gleichzeitig ergriffen werden“ (VDI 2180 Blatt 5, Abschnitt 3.1). Es wird der Einsatz von **betriebsbewährten Geräten** (siehe NE 130) empfohlen, um insbesondere die Eignung des Gerätes für den gewählten verfahrenstechnischen Prozess zu gewährleisten. Es sind regelmäßige Funktionsprüfungen durchzuführen. Die Ergebnisse der Funktionsprüfung sind zu dokumentieren. Die Durchführung und auch Dokumentation der Funktionsprüfung kann automatisiert erfolgen. Die Wiederholungsprüfung erfolgt bei Anlagenstillstand. Sie weist nach, dass die Schutzeinrichtung frei von Fehlern ist. Daneben können **Prüfungen im laufenden Betrieb** durchgeführt werden. Der Diagnosedeckungsgrad (Diagnostic Coverage, DC) ist spezifisch für das gewählte Verfahren und die eingesetzte Instrumentierung. Weiterhin können **betrieblich erfolgte Auslösungen** des Stellventiles zur Bewertung der Schutzeinrichtung herangezogen werden.

## 5 Begriffe und Abkürzungen

Siehe Handbuch WA 236

Zusätzlich werden verwendet:

Englisch	Abkürzung	Deutsch
Diagnostic coverage	DC	Diagnosedeckungsgrad
Final element		Automatisiertes Stellventil, Absperreinrichtung
Safety PLC		Sicherheitsgerichtete Steuerung
Basic Process Control System	BPCS	Leitsystem
NAMUR contact (IEC 60947-5-6)	NK	NAMUR-Kontakt (IEC 60947-5-6)

## 6 Vollständiger Schutzkreis

Der Begriff „Schutzkreis“ soll an einem einfachen Beispiel (Bild 1) verdeutlicht werden. In diesem Beispiel wird ein Reaktor über einen Wärmetauscher temperiert, ein entsprechender Regelkreis ist durch die Temperaturmessstelle  $T_{10}$  mit Anschluss an das Leitsystem (BPCS) und Durchflusssteuerung des Wärmeträgers über Ventil V1 skizziert. Der Schutzkreis ist vollständig getrennt vom Regelkreis aufgebaut mit eigenem Sensor ( $T_{20}$ ), Steuerung (Safety PLC) und Stellventil V2. Dieser Kreis überwacht das Überschreiten eines vorgegebenen Grenzwertes für die Temperatur und sperrt durch Schließen von V2 die Zufuhr zum Wärmetauscher. Der Kreis arbeitet passiv, bei Betrieb der Anlage innerhalb der zulässigen Grenzen wird V2 nicht betätigt. Für die Schutzeinrichtung muss aufbauend auf der Gefahrenanalyse ein klares **Schutzziel** formuliert sein. Es könnte zum Beispiel lauten: „Bei Erreichen einer Temperatur von T1 ist V2 innerhalb von 5 Sekunden mit einer maximalen Leckagerate von 2 % zu schließen.“ Die Angabe der zum Erreichen des Schutzzieles erforderlichen Schließzeit und Leckagerate ist in der Regel erforderlich, falls nötig können noch weitere Angaben gemacht werden.

Die sicherheitstechnische Verfügbarkeit des Schutzkreises ist zu bewerten. Das zu erreichende Ziel einer sicherheitstechnischen Verfügbarkeit (Probability of failure on Demand, PFD) wird in der Gefahrenanalyse festgelegt. In der Verfahrenstechnik üblich ist eine Einstufung entsprechend SIL 2, für eine Minderzahl der Einrichtungen auch nach SIL 3. Entsprechend den Anforderungen der VDI 2180 ist das Erreichen der Eignung der gewählten Instrumentierung in drei Schritten nachzuweisen:

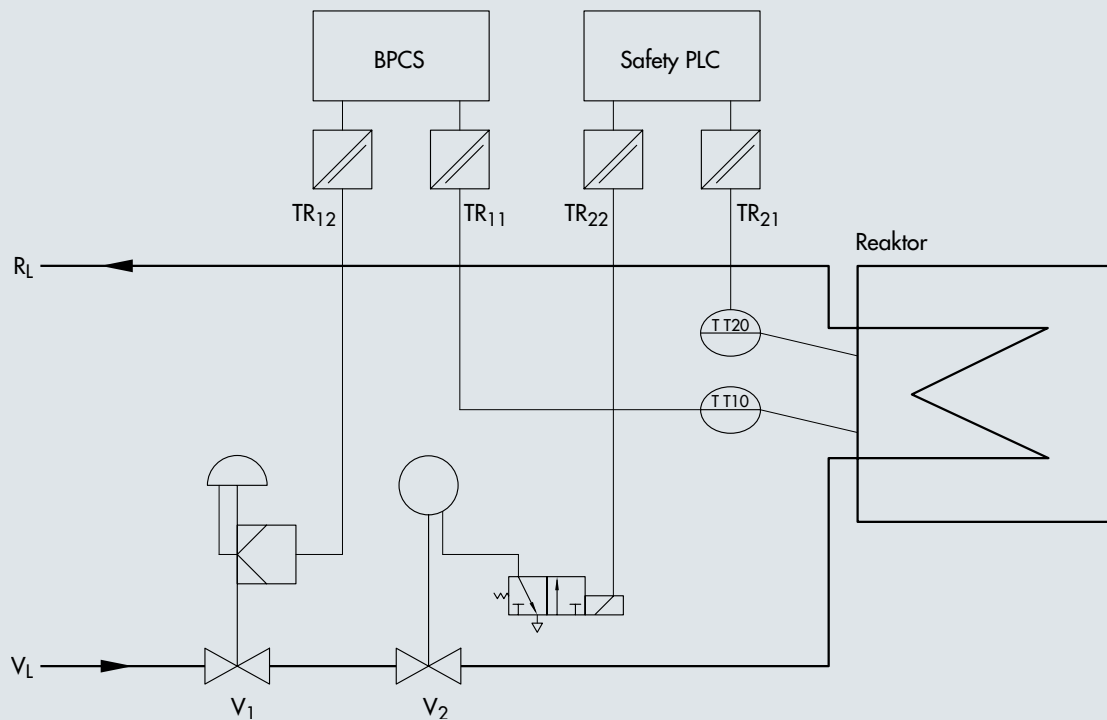


Bild 1 · Beispiel einer sicherheitstechnischen Einrichtung

1. Systematische Fehler sind durch Analyse der Gefährdung entsprechend VDI 2180 und der Hinweise z. B. der WA 236 auszuschließen.
2. Die Rate der zufälligen Fehler ist zu bestimmen. Hierzu ist die stündliche Ausfallrate  $\lambda_{du}$  festzulegen. Der  $PFD_{avg}$ -Wert ist nach Festlegung auf ein Prüfintervall entsprechend Formel (1) zu bestimmen. Der erreichte  $PFD_{avg}$ -Wert ist mit dem Zielwert aus der Gefahrenanalyse des Betreibers zu vergleichen.

■ Formel (1):  $PFD_{avg} = \frac{1}{2} \cdot \lambda_{du} \cdot T_{PR}$

$PFD_{avg}$  Mittlere Wahrscheinlichkeit gefahrbringender Ausfälle einer Sicherheitsfunktion im Anforderungsfall

$\lambda_{du}$  Gesamtausfallrate für gefährliche unerkannte Fehler

$T_{PR}$  Testintervall Wiederholungsprüfung

3. Die HFT (Hardware Fault Tolerance, Redundanzgrad) ist zu bestimmen.

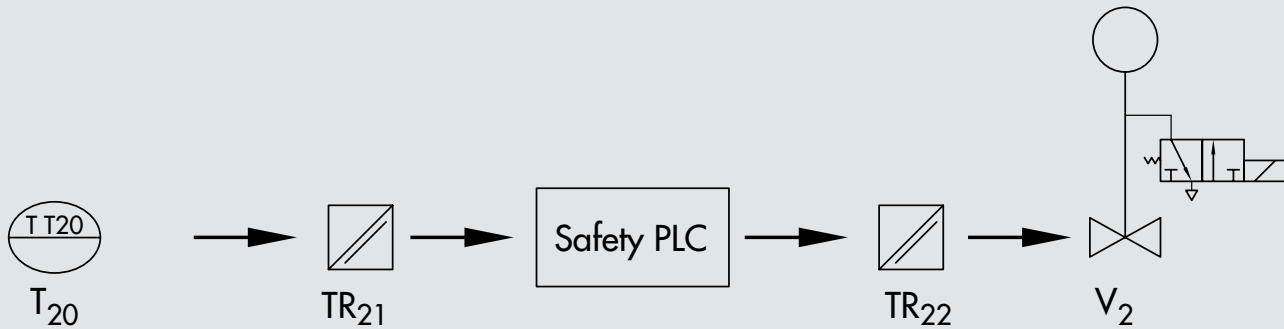


Bild 2 - Struktur des Sicherheitskreises

T <sub>20</sub>	TR <sub>21</sub>	Safety PLC	TR <sub>22</sub>	V <sub>2</sub>	Σ
237 FIT	77 FIT	45 FIT	77 FIT	103 FIT	539 FIT

Bild 2 verdeutlicht die Beurteilung. Zur Festlegung des PFD<sub>avg</sub>-Wertes wird zuerst die Ausfallrate des gesamten Kreises bestimmt. Dies geschieht im Falle eines einkanaligen Aufbaues durch Summation der Ausfallraten der Einzelelemente. Es werden die Herstellerangaben oder Werte aus Betriebserfahrung des Anwenders verwendet. Die Anwendbarkeit für den jeweiligen Prozess muss überprüft werden. Im Beispiel wird mit der Einheit FIT (Failure in Time) = 1 · 10<sup>-9</sup>/h gearbeitet. Es ergibt sich im Beispiel eine gesamte Ausfallrate von 539 FIT, also ein λ<sub>du</sub> von 5,4 · 10<sup>-7</sup>/h. Daraus kann der PFD<sub>avg</sub>-Wert in Abhängigkeit von einem Prüfintervall mit Formel (1) bestimmt werden.

T <sub>PR</sub>	6 Monate	12 Monate	24 Monate
PFD <sub>avg</sub>	1,2 · 10 <sup>-3</sup>	2,4 · 10 <sup>-3</sup>	4,7 · 10 <sup>-3</sup>

Damit erfüllt der PFD<sub>avg</sub>-Wert im gewählten Beispiel sogar bei einem Prüfintervall von zwei Jahren noch die Forderung nach SIL 2. Die Überprüfung der Hardware-Fehlertoleranz (HFT) ist einfach, da einkanalige Komponenten verwendet werden, ist die HFT = 0. Dies ist für eine SIL-2-Anforderung noch zulässig, sofern betriebsbewährte Komponenten verwendet werden.

Für die Berechnung komplexerer Strukturen gibt VDI 2180 Teil 4 praxisgerechte Beispiele und Näherungsformeln.



## 7 Das instrumentierte Stellventil

Im oben beschriebenen Beispiel wurde das Stellventil mit all seinen Komponenten vorerst als monolithischer Block angesehen. Das vollständig instrumentierte Stellventil wird oft auch als „Final element“ bezeichnet. Im nächsten Schritt der Analyse müssen nun die einzelnen Komponenten des *Final element* betrachtet werden.

Es werden vier typische Konfigurationen besprochen:

### 1. Armatur mit pneumatischem Antrieb, Ansteuerung

**durch Magnetventil:** Als Armatur findet z. B. ein Kugelhahn oder ein Hubventil Verwendung, als pneumatischer Antrieb wird ein Schwenkantrieb (in der Regel ein Kolbenantrieb) oder ein Hubantrieb (in der Regel ein Membranantrieb) eingesetzt. Die Ansteuerung erfolgt über ein Magnetventil. Meistens wird die Zuluft noch über eine Zuluftstation geführt. Systematische Fehler sind wieder entsprechend VDI 2180 und WA 236 auszuschließen. Die Rate der zufälligen Fehler ist wie im oben gegebenen Beispiel durch Addition der entsprechenden Werte von Armatur, Antrieb und Magnetventil zu bestimmen.

■ Formel (2):  $PFD_{\text{Gesamt}} = PFD_{\text{Armatur}} + PFD_{\text{Antrieb}} + PFD_{\text{Magnetventil}}$

Da auch die Zuluftstation im pneumatischen Kreis wirkt, ist festzustellen, ob sie in Richtung Ausfall (ungewolltes Belüften) des Antriebes wirken kann. Dies könnte nur dann geschehen, wenn das Magnetventil durch direktes Aufschalten des Zuluftdruckes die Schaltstellung Entlüften nicht mehr anfahren kann. Ein anderer gefährlicher Fehler wäre zum Beispiel durch die Überlastung der Sitz-Kegel-Kombination eines Mikroventiles und resultierender erhöhter Leckagerate gegeben. In der Regel kann also für die Zuluftstation mit Fehlerausschluss argumentiert werden. Häufig werden auch Endlagenschalter instrumentiert, diese sind aber nur im Falle einer Kettenabschaltung mehrerer Armaturen nacheinander Teil der sicherheitstechnischen Betrachtung.

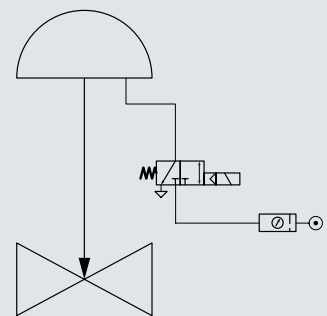


Bild 3 · Verschaltung 1

**2. Stellventil, Magnetventil und Stellungsregler:** Werden auch Stellventile zur sicherheitsgerichteten Abschaltung herangezogen, so ist eine Konfiguration nach Bild 4 gegeben. Alternativ kann dieser Aufbau auch an Auf/Zu-Ventilen zur Durchführung von Prüfungen im laufenden Betrieb (Online-Tests) verwendet werden. Ein wichtiges Beispiel ist der so genannte Partial Stroke Test (PST). Zur Bestimmung der sicherheitstechnischen Eigenschaften werden nur die Komponenten bewertet, die für die Abschaltung erforderlich sind. Im gewählten Beispiel sind dies Armatur, Antrieb und Magnetventil. Die Funktion des Stellungsreglers ist zwar für die betriebstechnische Verfügbarkeit des Aufbaus wichtig, nicht aber für die sicherheitsgerichtete Abschaltung. Die Bewertung erfolgt entsprechend den in Beispiel 1 gegebenen Hinweisen.

**3. Stellventil, Magnetventil, Stellungsregler und Volumenstromverstärker:** Zum Erreichen vorgegebener Ausregel- oder Schließzeiten kann der Einsatz eines pneumatischen Volumenstromverstärkers erforderlich sein. Bild 5 gibt ein Beispiel. Hier ist der Volumenstromverstärker zwischen Magnetventil und Antrieb eingebaut. Dies ist erforderlich, wenn die Luftleistung des Magnetventiles zum Erreichen der vorgegebenen Schließzeit nicht ausreicht. In dieser Konfiguration ist der Volumenstromverstärker Teil der Sicherheitskette und muss zusätzlich zu den in Beispiel 1 gemachten Überlegungen hinsichtlich systematischer und zufälliger Fehler entsprechend bewertet werden.

**4. Armatur mit Antrieb und Stellungsregler:** Abschließend sei noch auf eine Möglichkeit hingewiesen, die den neuesten Stand der Technik wiedergibt. Bild 6 zeigt einen besonders einfachen Aufbau. Ein Stellungsregler wird als Abschaltelement anstelle eines Magnetventiles eingesetzt. Dies ist bei Stellungsreglern möglich, deren sicheres Abschalten durch Herstellererklärung oder Zertifizierung einer dritten

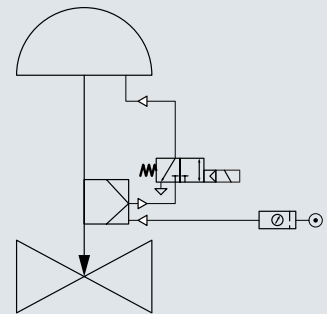


Bild 4 · Verschaltung 2

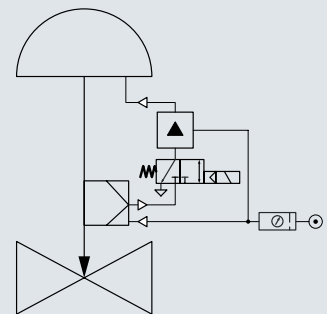


Bild 5 · Verschaltung 3

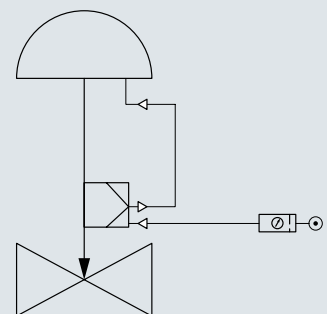


Bild 6 · Verschaltung 4

Stelle bescheinigt ist. Für die Stellungsregler TROVIS SAFE 3730-6 und TROVIS SAFE 3731-3 ist dies der Fall. Hier kann das Abschalten durch einen Signalpegel von 3,8 mA erfolgen. Der Stellungsregler kann in dieser Konfiguration auch für Diagnose und Testverfahren, wie z. B. PST eingesetzt werden. Wird die Abschaltschwelle von 3,8 mA unterschritten und gleichzeitig ein Strom von mehr als 3,6 mA aufrecht erhalten, so ergibt sich als zusätzlicher Vorteil, dass auch der komplette Verfahrensweg des Ventils bis in die Endlage verfolgt, aufgezeichnet und zu Diagnosezwecken ausgewertet werden kann. Damit kann auch die wiederkehrende Prüfung oder eine betrieblich bedingte Abschaltung dokumentiert und ausgewertet werden.

## 8 SAMSON-Lieferprogramm für Armaturen in sicherheitsgerichteten Kreisen

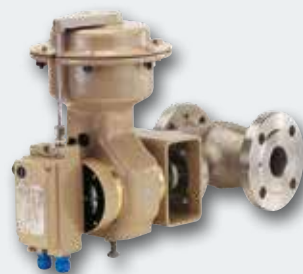
Aufgrund der Gefahrenanalyse legt der Betreiber die Anforderungen an die PLT-Schutzkreise fest. Prinzipiell ist er in der Auswahl der benötigten Komponenten frei. Bei Einsatz beliebiger Komponenten kann der Betreiber durch Feststellung der Betriebsbewährung und entsprechende Dokumentation die Eignung für den Einsatz in Schutzkreisen feststellen. In der Regel werden aber Geräte mit Herstellererklärung zur Eignung bezüglich Einsatz in sicherheitsgerichteten Kreisen und Angabe von sicherheitstechnischen Kennwerten eingesetzt. Auch in diesem Fall ist der Betreiber aber zur Feststellung der Eignung für seinen spezifischen Prozess entsprechend VDI 2180 angehalten.

SAMSON-Geräte mit Herstellererklärung oder Zertifizierung durch unabhängige, fachkundige Stelle:

<b>Kugelhahn</b>	SAMSON PFEIFFER	Typen BR 1a, 1b, 20a, 20b, 26d, 26s
<b>Klappen</b>	SAMSON PFEIFFER	Typen BR 4 b/c
<b>Schwenkantrieb</b>	SAMSON PFEIFFER	Typ BR 31a
<b>Hubventil</b>	SAMSON	Typen 3241, 3251
<b>Hubantrieb</b>	SAMSON	Typen 3277, 3271
<b>Klappe</b>	SAMSON LEUSCH	Typ LTR 43
<b>Stellventil</b>	SAMSON VETEC	Typen 62, 72, 73, 82, 93
<b>Magnetventile</b>	SAMSON SAMSOMATIC	Typen 3963, 3967
<b>Stellungsregler</b>	SAMSON	Bauart 3730
<b>Grenzsignalgeber</b>	SAMSON SAMSON SAMSOMATIC	Typen 3738, 4746 Typen 3776, 4747
<b>Volumenstromverstärker</b>	SAMSON	Typ 3755

Herstellerklärungen und sicherheitstechnische Kennzahlen für diese Geräte sowie Hinweise zum Einsatz dieser Geräte in Sicherheitskreisen finden sich in den SAMSON-Druckschriften WA 236 und TV-SK 9838-5.

**SAMSON-Lieferprogramm (Bild 7)**



## 9 Test durch Automatisierung

### 9.1 Final element

Unter *Final element* versteht man ein Stellventil mit zugehörigen Automatisierungskomponenten. Es werden Magnetventile, Endlagenschalter, Volumenstromverstärker und andere Geräte eingesetzt. Einige mögliche Kombinationen werden untenstehend besprochen:

1. Bild 8 zeigt einen klassischen Aufbau bestehend aus Kugelhahn, Schwenkantrieb, Magnetventil und Endlagenschalter. Die entsprechende Schematik gibt die Einzelheiten wieder.
2. Bild 9 zeigt eine fortgeschrittene Möglichkeit nach Stand der Technik: Endlagenschalter und Magnetventilfunktionalität sind in einem Gerät realisiert. Wie die Schematik zeigt, wird dem Anbieter die gleiche Funktionalität wie beim klassischen Aufbau zur Verfügung gestellt. Zusätzlich beinhaltet dieses Gerät aber noch einen Stellungsregler vom Typ TROVIS SAFE 3730-6 oder TROVIS SAFE 3731-3, der zu Diagnosezwecken eingesetzt werden kann. Der besondere Vorteil liegt darin, dass alle Komponenten in einem Gehäuse zusammengefasst sind. Der Anbau an den Antrieb ist so ausgeführt, dass bewegliche Teile vollständig gekapselt sind. Zusätzlich zum Vorteil der Diagnose stellt diese Variante durch die Minimierung von Schnittstellen und Anbauteilen einen besonders robusten und inhärent sicheren Aufbau dar. Zur Ansteuerung dieser Einheit werden die folgenden Signale verwendet:

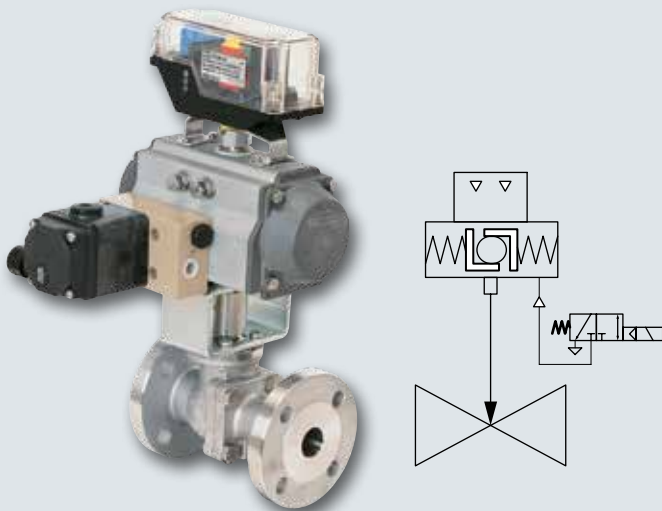


Bild 8 · Automatisierter Kugelhahn

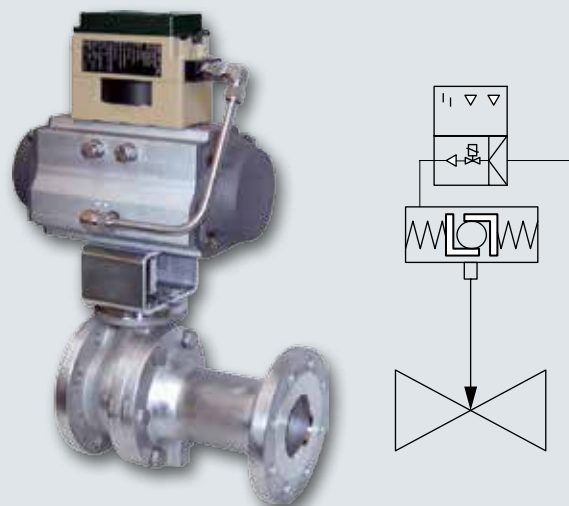


Bild 9 · Kugelhahn mit Stellungsregler

- 24 Volt für das Magnetventil
- NAMUR-Signal (EN 60947-5-6) für die Endlagenschalter und das Alarmsignal
- Stromsignal 4 bis 20 mA zur Ansteuerung des Stellungsreglers

3. Bild 10 stellt einen fortschrittlichen Stand der Technik dar. Der Schwenkantrieb ist nun mit einem intelligenten Grenzsinalgeber Typ 3738-20 automatisiert. Die entsprechenden Ansteuersignale sind:

- 24 Volt für das Magnetventil
- 2 NAMUR-Signale (EN 60947-5-6) für die Endlagenschalter
- 1 NAMUR-Signal (EN 60947-5-6) zur Detektion des Partial Stroke Tests (optional zu verwenden)
- 1 NAMUR-Signal (EN 60947-5-6) als Alarmsignal (optional zu verwenden)

Mit dieser Konfiguration kann die klassische Verkabelung im Feld verwendet werden. Der Grenzsinalgeber Typ 3738-20 bringt zwar alle aufgeführten Signalisierungsmöglichkeiten als Standard in einem Gehäuse mit, die Verwendung der zusätzlichen Signale ist aber, wie durch den Zusatz „optional“ gekennzeichnet, nicht zwingend. Die gezeigte Konfiguration ist als integrierter Anbau ausgeführt. Die Luftführung zwischen Grenzsinalgeber und Schwenkantrieb erfolgt direkt in der Montagefläche zwischen Antrieb und Grenzsinalgeber. Eine externe Verrohrung entfällt. Dadurch ist dieser Aufbau besonders robust und kostengünstig.

Eine Version des Grenzsinalgebers für die Anwendung mit FOUNDATION™-Fieldbus-Kommunikation steht mit dem Typ 3738-50 zur Verfügung.

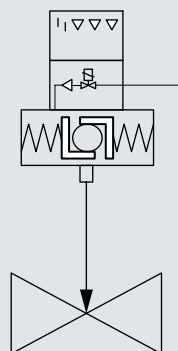


Bild 10 · Intelligenter Grenzsinalgeber Typ 3738-20

## 9.2 Testverfahren

Die obenstehend unter Punkt 2 und 3 beschriebenen Aufbauten ermöglichen die Durchführung von automatisierten Prüfungen im laufenden Betrieb entsprechend VDI 2180 Blatt 5, Abschnitt 4.6. Folgende Punkte können automatisiert oder durch automatisierte Komponenten unterstützt werden:

- Prüfablauf
- Datenerfassung
- Archivierung der Daten

Durch einen entsprechenden Aufbau ist ein reproduzierbarer und konsistenter Ablauf gewährleistet. Dieses Vorgehen ist einem manuellen Test und manueller, womöglich rein qualitativer Datenerfassung überlegen. Die hohe Messgenauigkeit der vorgeschlagenen Geräte kommt der Prüftiefe und damit dem Diagnosedeckungsgrad zugute.

### 9.2.1 Online-Test – Partial Stroke Test (Teilhubtest)

Der Partial Stroke Test sieht eine Bewegung der Armatur im laufenden Betrieb vor. Als typischer Wert kann z. B. 10 % angenommen werden, je nach Prozessanforderungen sind aber andere Werte möglich. Wird ein Stellungsregler eingesetzt, kann die Bewegung als Sprung oder Rampe durchgeführt werden. Bild 11 zeigt als Beispiel ein Testergebnis, das mit einem Stellungsregler der für sicherheitsgerichtete Anwendungen (TROVIS SAFE 3730-6) erzielt wurde. Die Durchführung des Tests und die Erfassung und Speicherung der Daten erfolgt durch den an der Armatur montierten Stellungsregler, eine Online-Verbindung zum Leitsystem ist nicht erforderlich. Die ermittelten Diagnosewerte können jederzeit durch das übergeordnete Asset-Management-System ausgelesen werden. Die Zustandsanalyse der Armatur wird ermöglicht durch:

#### **Während des PST ermittelte Diagnosedaten, z. B.**

- erreichte Endposition des Ventils
- Weg-Zeit-Diagramm
- Weg-Druck-Diagramm
- Totzeit
- Laufzeit
- Bewertung der Ventillbewegung (gleichmäßig, sprunghaft mit Stick-Slip-Effekt) vgl. Bild 12
- Losbrechkraft
- zum Erreichen der Endlage benötigte Kraft

#### **Passiv ermittelte Prozessdaten**

- Anzahl der Betriebsstunden
- Betriebstemperatur
- Überschreitungen der Betriebstemperatur
- Zyklenzähler
- Hubzähler für den Verfahrensweg des Ventiles

Eine detaillierte Beschreibung der Funktionalität findet sich in der Bedienungsanleitung EB 8389-1S.



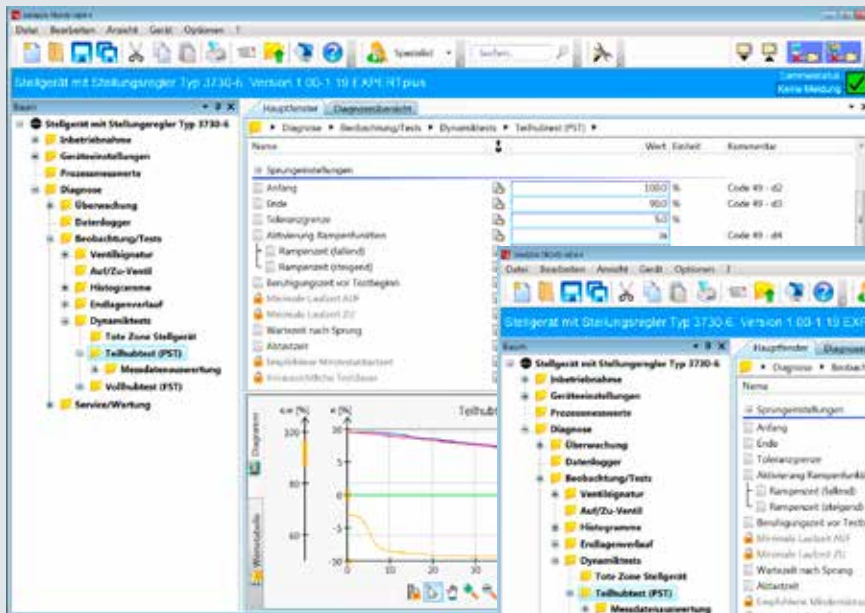


Bild 11 · Teilhubtest (PST)

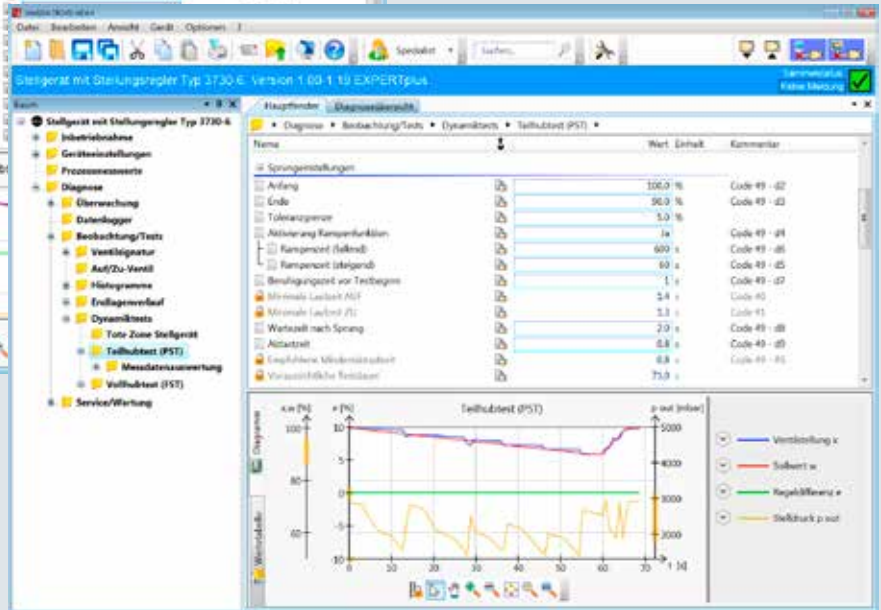


Bild 12 · Detektion erhöhter Reibung

Die Forderung aus VDI 2180 Blatt 5 nach Erfassung von

- Totzeit,
- Verfahrzeit,
- Betätigungskraft und
- Erfassung des Weg-Zeit-Diagramms

ist damit übererfüllt.

Bild 12 zeigt eindrucksvoll, wie sich z. B. erhöhte Reibwerte in den erfassten Diagnosedaten eines Partial Stroke Tests spiegeln. Totzeit, Regelverhalten und Druckverlauf im ansteuernden Antrieb sind signifikant verändert. Im gewählten Beispiel ist die Armatur noch funktionsfähig und könnte im Anforderungsfall noch geschlossen werden. Ein sich aufbauender, interner Schaden z. B. durch Reibungsaufbau kann also bereits im Vorfeld erkannt werden.

## Mit Sicherheit kompetent

Applikationshinweise für sicherheitsgerichtete Kreise

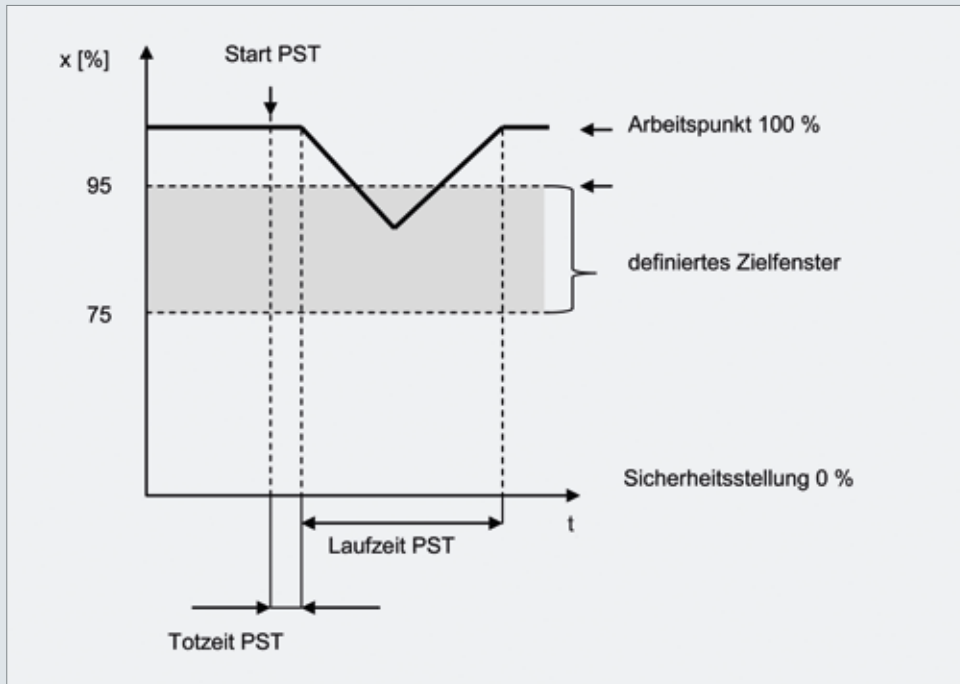


Bild 13 · Advanced Partial Stroke Test mit Grenzsignalgeber Typ 3738

Bild 13 zeigt einen Advanced Partial Stroke Test mit einem elektronischen Grenzsignalgeber Typ 3738-20. Hier wird durch entsprechende Taktung des Magnetventiles ein Zielfenster für die Ventildbewegung angesteuert. Die notwendige Pulslänge wird in einem automatischen Konfigurationslauf ermittelt. Für Test und Abschaltung der Armatur im Anforderungsfall wird das gleiche Magnetventil verwendet und nicht eine besondere Pneumatik eingesetzt (EB 8390). Der sich dadurch ergebende hohe Diagnosedeckungsgrad des Verfahrens ist als besonderer Vorteil anzusehen.

## 9.2.2 Weitere Testmöglichkeiten

Die Diagnosefähigkeit intelligenter Feldgeräte kann auch eingesetzt werden (VDI 2180, Blatt 5) zur:

- Automatisierten Durchführung und Dokumentation der Wiederholungsprüfung
- Automatischen Erfassung betrieblich erfolgter Auslösung des Stellventiles

Die Möglichkeiten zur Diagnose entsprechen denen im Abschnitt 9.2.1 „Online-Test – Partial Stroke Test“ beschriebenen. Besonders interessant ist die Erfassung betrieblich erfolgter Auslösungen (spurious trips). Zum Beispiel können Stellungsregler der Bauart 3730 und 3731 mit Hilfe des internen Datenloggers und einer entsprechenden Möglichkeit zur Triggerung Ventillbewegungen aufzeichnen. Der dabei erzeugte Datensatz wird im Stellungsregler mit Zuordnung zum Betriebsstundenzähler versehen und netzausfallsicher abgespeichert. Er kann zur rückwirkenden Bewertung der Funktionsfähigkeit von Stellventil und Sicherheitskreis verwendet werden.

## 9.3 Einbindung in die Leitsystemumgebung

### 9.3.1 Architektur

Für die erfolgreiche Nutzung der obenstehend beschriebenen automatisierten Testverfahren ist die Einbettung in den gesamten betrieblichen Ablauf, präziser in den *Safety life cycle* entscheidend. Das *Final element* muss durch Anbindung an die sicherheitsgerichtete Steuerung die einwandfreie Funktion im Anforderungsfall gewährleisten. Die Einbindung in das Asset-Management-System muss Test, Datenerfassung und -archivierung ermöglichen. Drei Architekturvorschläge sollen kurz erläutert werden:

Bild 14 zeigt eine naheliegende Möglichkeit für die Anbindung eines Stellventiles entsprechend Bild 9. Gezeigt wird die Anbindung an Leitsystem und sicherheitsgerichtete Steuerung. Das Magnetventil zur Betätigung der Armatur im Anforderungsfall wird über ein 24-V-Signal von der sicherheitsgerichteten Steuerung (Safety PLC) betätigt. Der zusätzlich vorhandene Stellungsregler gestattet die oben beschriebenen Testmöglichkeiten. Er wird vom Leitsystem (BPCS) angesteuert. Dabei kann z. B. das HART®-Protokoll oder ein Feldbusprotokoll zur Parametrierung, Testauslösung und Auslesen der gewonnenen Diagnosedaten benutzt werden. Dieser Aufbau realisiert den in VDI 2180 Blatt 5 beschriebenen Stand der Technik. Nachteilig ist allerdings, dass die durch den Stellungsregler durchgeführten Tests das Magnetventil nicht erfassen. Ein hier möglicherweise auftretender Fehler wird also nicht detektiert.

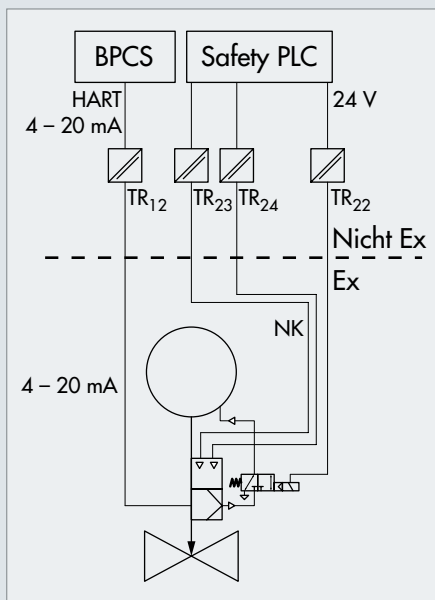


Bild 14 · ESD-Konfiguration 1

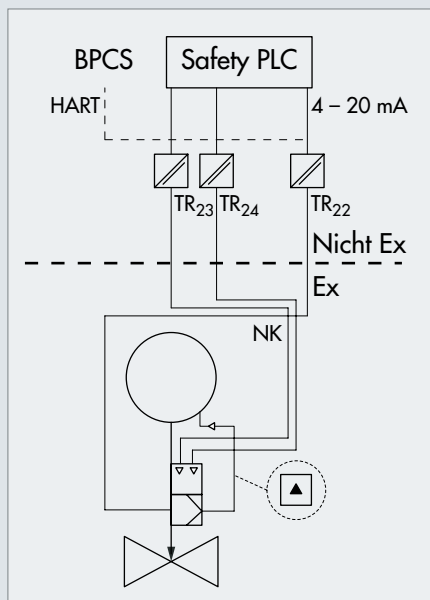


Bild 15 · ESD-Konfiguration 2

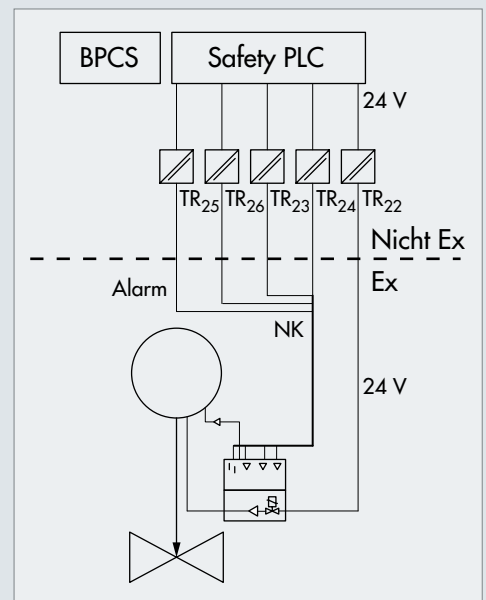


Bild 16 · ESD-Grenzsignalgeber Typ 3738-20

Bild 15 zeigt eine andere Konfiguration. Hier handelt es sich um einen Vorschlag mit weitreichenden Konsequenzen. Der Stellungsregler der Bauart 3730 wird nicht nur zum Test sondern auch zur sicherheitsgerichteten Abschaltung eingesetzt. Dazu wird der pneumatische Ausgang des Stellungsreglers direkt an den Antrieb angeschlossen. Sollte im Fall großer Ventile die Luftleistung des Stellungsreglers nicht ausreichen, so kann der Volumenstromverstärker Typ 3755 zwischengeschaltet werden. Die Ansteuerung des Stellungsreglers erfolgt über ein 4-bis-20-mA-Signal. Die Anforderung „Verfahren in Endlage“ wird über 3,8 mA signalisiert. Der Stellungsregler ist hinsichtlich der beiden Kriterien für sicheres Abschalten

- sichere Erkennung des 3,8-mA-Signals und Ansteuerung der internen Pneumatik und
- sichere Funktion der internen Pneumatik

durch externe, sachkundige Stelle (TÜV Rheinland®) zertifiziert. Für die sicherheitsgerichtete Steuerung sind zertifizierte Ausgangskarten mit 4-bis-20-mA-Signal verfügbar. Das gleiche gilt für die erforderlichen Ex-Trenner, in diesem Fall 4-bis-20-mA-Strom/Strom-Wandler. Der gesamte Kreis kann also mit marktgängigen Komponenten aufgebaut werden.

Die beschriebene Konfiguration testet den gesamten pneumatischen Weg, es ist eine hohe Diagnoseabdeckung gegeben. Folgende Kriterien werden erfüllt:

- Online-Test der angeschlossenen Armatur
- Online-Test des Pneumatikpfades
- Digitale Kommunikation für Parametrierung, Teststeuerung und Übertragung der Diagnosedaten
- Erfassung betrieblich erfolgter Auslösung des Stellventiles
- Durchführung der Wiederholungsprüfung
- Regeln am Arbeitsplatz

Der letzte Anstrich obiger Aufzählung nimmt auf ein besonders fortschrittliches Verfahren zum Betrieb der sicherheitsgerichteten Armatur Bezug. Hierbei wird die Armatur im Betriebsfall nicht durch Luft- bzw. Kraftüberschuss in der gewünschten Endlage (z. B. Offenstellung) gehalten, sondern es wird eine Offenposition von z. B. 98 % angeregt. Ein solches Verfahren erhöht einerseits die Zuverlässigkeit, da ein Festsetzen in der Endlage verhindert wird. Andererseits werden weitere, im Stellungsregler abgelegte Diagnoseverfahren ermöglicht.

Bild 16 zeigt die Architektur bei Verwendung des intelligenten Grenzsinalgebers Typ 3738-20. Die Anbindung an die Leitebene entspricht der gängigen Verkabelung, insbesondere bei Nachrüstung von Altanlagen ist dies ein besonderer Vorteil. Eine Alarmierung im Fall einer Störung erfolgt hier über NAMUR-Kontakt.

### 9.3.2 Registrierung Partial Stroke Test

Sollen die durch einen Test gewonnenen Daten eingesetzt werden um z. B. eine Prüfzeitverlängerung zu erreichen, so ist die Durchführung des Partial Stroke Tests zweifelsfrei zu belegen. Hierzu kann ein Aufbau nach Bild 16 (schematische Darstellung in Bild 17) gewählt werden. Ein Endlagenschalter eines Stellungsreglers Typ 3730-x oder der dritte Wegkontakt des Grenzsinalgebers Typ 3738-20 wird hierbei auf den Zielwert für die Ventillbewegung eingestellt. Im Falle des Stellungsreglers kann hierzu die Option „mechanischer Endlagenschalter“ verwendet werden, es handelt sich hierbei um eine zertifizierte Komponente. Im Falle des Grenzsinalgebers ist die Funktionalität „sichere Anzeige“ der eingestellten Schaltungspunkte durch NAMUR-Signal durch externe, sachkundige Stelle bestätigt. Das Signal des Endlagenschalters wird durch die sicherheitsgerichtete Steuerung erfasst, mit einem Zeitstempel versehen und archiviert.

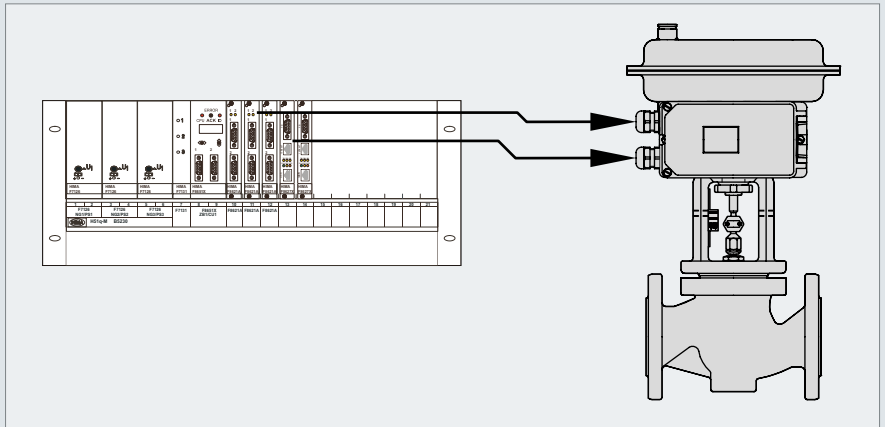


Bild 17 · Registrierung PST durch sicherheitsgerichtete Steuerung (Bild HIMA)

### 9.3.3 Durchgehender Arbeitsablauf (Workflow)

Ein kompletter Testablauf lässt sich in folgende Einzelschritte gliedern:

- Auslösung des Tests
- Durchführung – Anfahren des Zielwertes
- Datenerfassung
- Datenspeicherung
- Auswertung der Daten
- Alarmgenerierung
- Eintrag der Daten in ein manipulationssicheres Archiv
- Trendbildung aus mehreren Testabläufen



Workflow								
Trigger	Perform	Record online	Record online	Store	Evaluate	Alarm	Archive	Trending
Positioner online connection								
Manual/automatic	Ramp/step response	Parameters, travel/time		Parameter diagram	Positioner information	Generate alarm		
DCS system								
Manual/automatic		Register event by limit switch	Record transmitted data	Parameter diagram	Instrument conditions	Generate alarm	Store in database	Compare results

Bild 18 · Workflow – Partial Stroke Test

Die Stärke der Stellungsregler-Bauart 3730 liegt in der hohen Funktionalität bezüglich Diagnose. Die oben aufgeführten Punkte können für den Einzeltest autark durch den Stellungsregler durchgeführt werden. Im Rahmen des gesamten *Safety life cycle* ist eine Verzahnung mit einem durchgehenden Asset-Management-Konzept des Anwenders sinnvoll. Ein möglicher Vorschlag dazu findet sich im Bild 18. Archivierung der einzelnen Datensätze und Trendbildung über mehrere Einzelmessungen können durch ein Softwaretool wie „TROVIS SOLUTION“ unterstützt werden. Hieraus lassen sich Hinweise für eine vorbeugende Wartung ableiten.

Im „Smart Valve Integration Center“ der SAMSON AG wird die Einbindung in verschiedene Leitsysteme erprobt. Details finden sich in der SAMSON-Druckschrift WA 232 „Kompetenz in der Geräte-Integration“. Bild 19 zeigt die Integration eines Stellungsreglers in Yokogawa „Centum“. Die Integration der Stellungsregler-Diagnose am Beispiel Partial Stroke zeigt Bild 20 für das Yokogawa-System „PRM“ und Bild 21 für Emerson „AMS“. Besonders interessant ist der von Yokogawa entwickelte Scheduler (Bild 22). Dieses Programm ermöglicht die übersichtliche Festlegung und Überwachung von Online-Tests an Stellungsreglern.

## Mit Sicherheit kompetent

Applikationshinweise für sicherheitsgerichtete Kreise

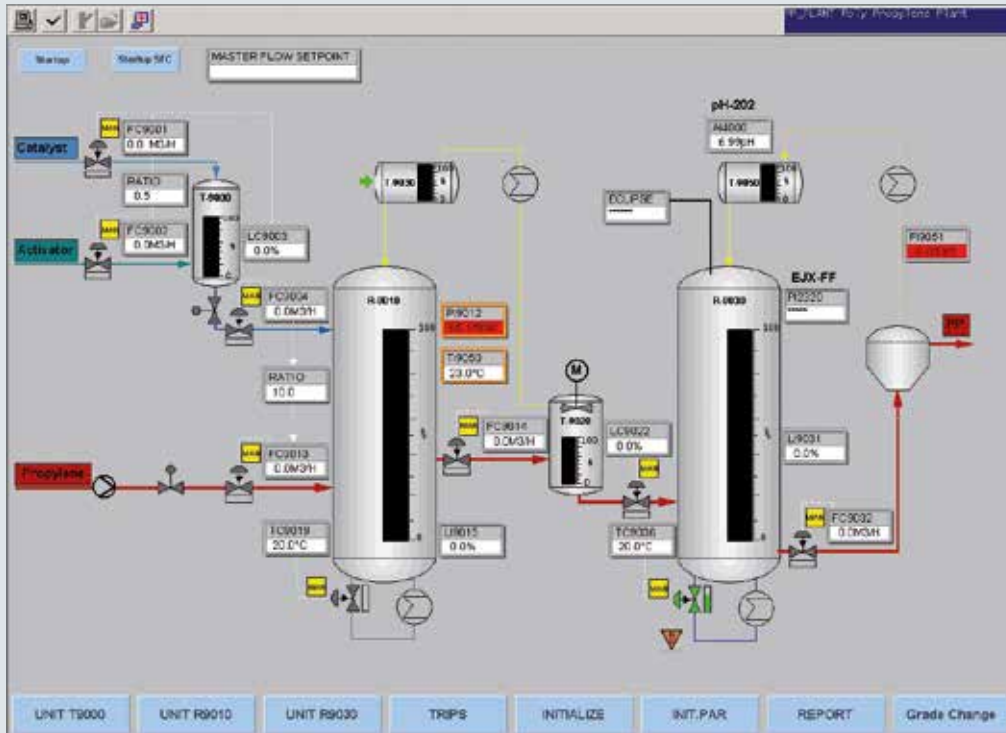


Bild 19

Leitsystem Yokogawa „Centum“

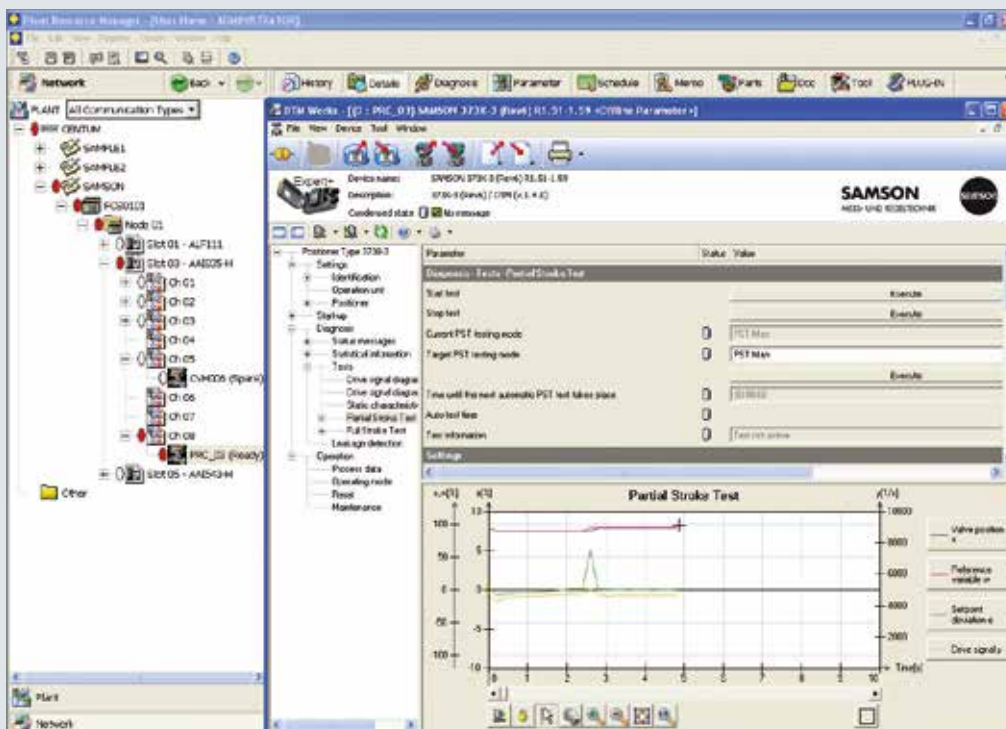


Bild 20

Integration in Yokogawa „PRM“



**Mit Sicherheit kompetent**  
 Applikationshinweise für sicherheitsgerichtete Kreise

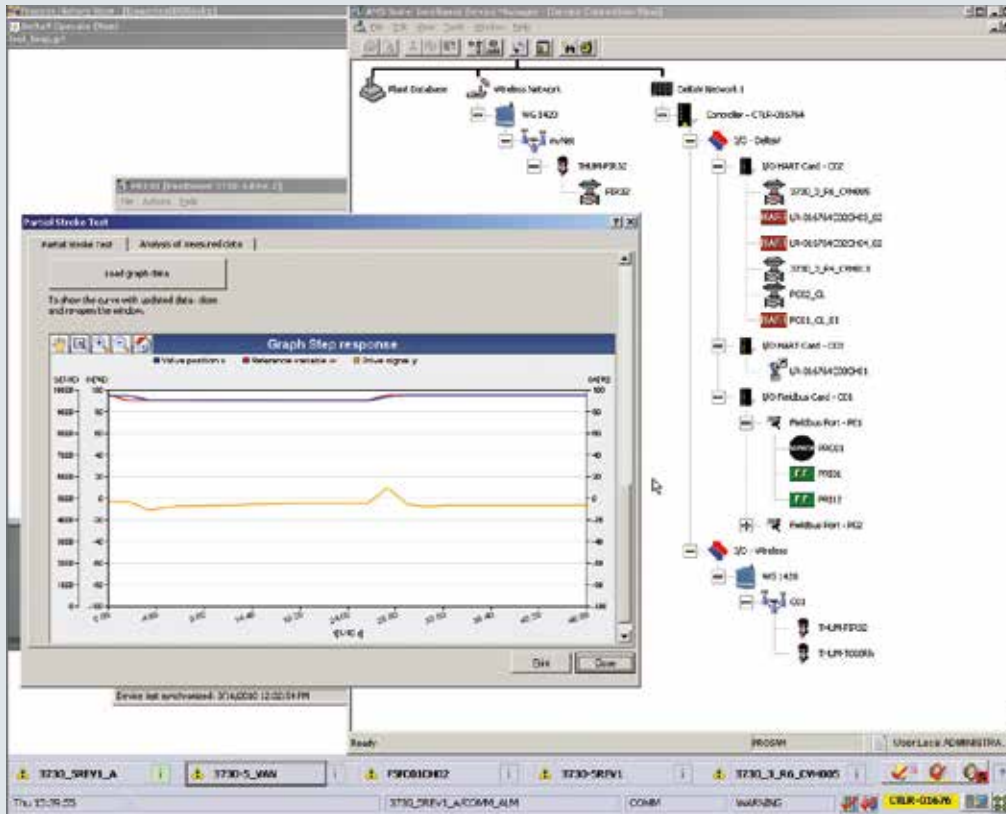


Bild 21  
 Integration in Emerson „AMS“

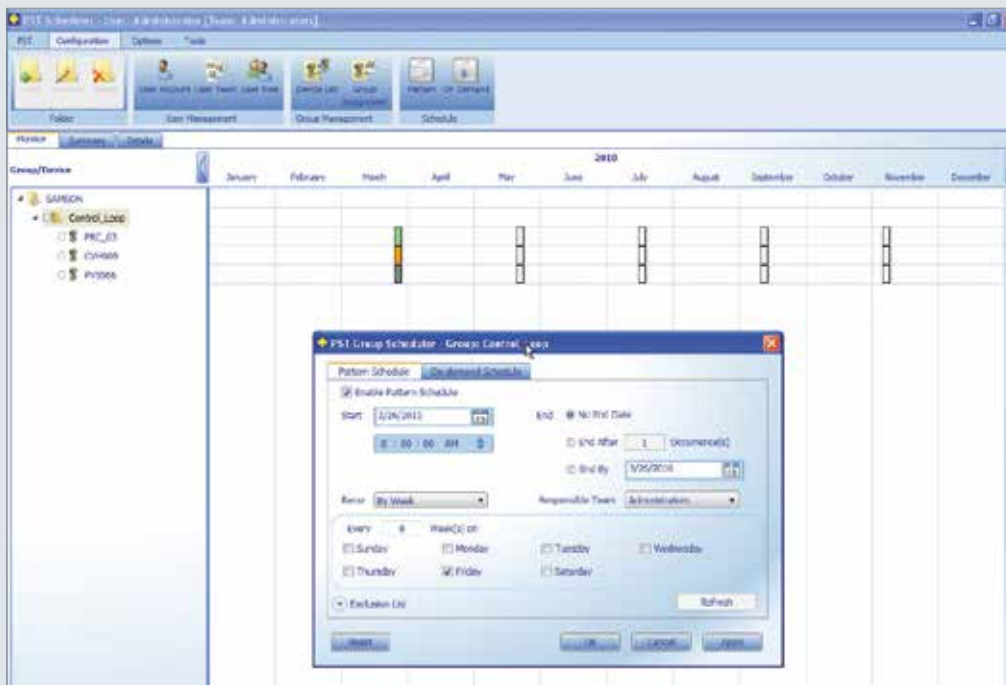


Bild 22  
 Yokogawa „PST Scheduler“

## 9.4 Auswirkung auf die sicherheitstechnische Bewertung

### 9.4.1 Systematische Fehler

Systematische Fehler müssen durch die Gefahrenanalyse und Festlegung entsprechender Maßnahmen ausgeschlossen sein. Insbesondere bei neuen Prozessen oder bei Laufzeiten, die über die Standardprüffristen hinausgehen, können besondere Maßnahmen zur Aufdeckung unerkannter systematischer Fehler sinnvoll sein. Nach VDI 2180 Blatt 5, Abschnitt 4.6 können automatisierte Prüfungen im laufenden Betrieb zur zusätzlichen Absicherung gegen unerkannte systematische Fehler beitragen.

### 9.4.2 Zufällige Fehler

Durch Prüfung im laufenden Betrieb können Fehler erkannt werden. Stellt der Betreiber sicher, dass auf erkannte Fehler durch einen festgelegten Maßnahmenplan mit Reparatur oder Abschalten der Anlage reagiert wird, so verringert sich die Anzahl der gefährlichen, unerkannten Fehler. Damit verbessert sich im Ergebnis der  $PFD_{avg}$ -Wert.

Zur quantitativen Behandlung ist zuerst die Festlegung des Diagnosedeckungsgrades (DC) erforderlich. Der Diagnosedeckungsgrad gibt an, welcher Anteil der Gesamtfehlerzahl durch ein Testverfahren aufgedeckt werden kann. Im Falle Partial Stroke Test ist unmittelbar einsichtig, dass das Festsitzen der Armatur in der Endlage durch den Test erkannt werden kann, eine fehlerhafte Stelle im Ventilsitz entzieht sich dagegen der Entdeckung. Untersuchungen zeigen, dass mangelnde Drehmomentreserve die Hauptursache für das Versagen z. B. von Kugelhähnen in sicherheitsgerichteten Kreisen ist, insofern kann von einem hohen Diagnosedeckungsgrad ausgegangen werden. Der Diagnosedeckungsgrad hängt vom Fehlerbild des spezifischen Prozesses und von den Diagnosemöglichkeiten ab. Entsprechend schlägt VDI 2180 Blatt 5 in Tabelle 2 als Mittel zur Festlegung des DC eine Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) vor, deren Zeilen durch die Diagnosemöglichkeit in der speziellen Anlage ergänzt wird (Tabelle 1). Durch dieses Verfahren ist eine quantitative Festlegung eines DC möglich. Eine reine Herstellerangabe, ohne Bezug auf einen spezifischen Prozess, womöglich noch unter Angabe von drei signifikanten Stellen erscheint nicht seriös.

## Mit Sicherheit kompetent

Applikationshinweise für sicherheitsgerichtete Kreise

Fehlerbild	Mögliche Fehlerursache	Fehler erkennbar? Partial Stroke Test (PST)	Fehler erkennbar? Vollhubtest	Fehler-erkennung
Magnetventil schaltet nicht	Ansteuerung zum Magnetventil defekt	erkennbar	erkennbar	Erkennung über Stellungsrückmeldung
Magnetventil schaltet nicht	Magnetventil defekt	erkennbar	erkennbar	Erkennung über Stellungsrückmeldung
Stellventil reagiert zu langsam	Luftleitung zum Stellventil Querschnitt verringert	erkennbar	erkennbar	Erkennung durch Überwachung der Zeit bis zur erfolgten Stellungsrückmeldung
Stellventil reagiert zu langsam	Stellventil schwergängig	erkennbar	erkennbar	Erkennung durch Überwachung der Zeit bis zur erfolgten Stellungsrückmeldung
Ventil schließt nicht oder nicht vollständig	Ventilsitz „vernarbt“, Kegel „ausgewaschen“	nicht erkennbar	erkennbar	Erkennung über PST nicht möglich
Ventil schließt nicht oder nicht vollständig	Ventilsitz enthält Ablagerungen	nicht erkennbar	erkennbar	Erkennung über PST nicht möglich
Ventil schließt nicht	Kegelstange blockiert	erkennbar	erkennbar	Erkennung über Stellungsrückmeldung

Tabelle 1 · Fehlerbilder und Erkennbarkeit

Ist der Diagnosedeckungsgrad (DC) festgelegt, kann der sich ergebende, verbesserte  $PFD_{avg}$ -Wert nach Formel (3) berechnet werden:

- Formel (3):  $PFD_{avg} = \frac{1}{2} \lambda_{du} \cdot DC \cdot T_{PST} + \frac{1}{2} \lambda_{du} \cdot (1 - DC) \cdot T_{PR}$

$PFD_{avg}$  Mittlere Wahrscheinlichkeit gefahrbringender Ausfälle einer Sicherheitsfunktion im Anforderungsfall

$\lambda_{du}$  Rate gefährlicher, unentdeckter Fehler (1/h)

DC Diagnosedeckungsgrad

$T_{PST}$  Testintervall PST

$T_{PR}$  Testintervall Wiederholungsprüfung

Beim Partial Stroke Test nicht erkannte Fehler bleiben in ihrer Auswirkung auf den  $PFD_{avg}$ -Wert bestehen, erkennbare Fehler können in ihrer Auswirkung eliminiert werden. Dazu sollte das Testintervall PST deutlich höher als das der wiederkehrenden Prüfung gewählt werden, also z. B. 10- bis 20-fach. Bild 23 vergleicht für einen speziellen Schutzkreis den erzielten  $PFD_{avg}$ -Wert. Die Zahlen sind so gewählt, dass im Beispiel der Schutzkreis nach einem Jahr getestet werden muss, um ein SIL-2-Niveau zu erreichen. Als Annahme für den DC wurden 0,6 (60 %) gewählt, ein typischer, eher konservativer Wert. Bei diesem Wert kann die Frist durch monatlichen PST auf zwei Jahre verlängert werden. Dieses Ergebnis ist plausibel: Mehr als die Hälfte der gefährlichen, unerkannten Fehler sind eliminiert, damit ergibt sich in etwa eine Verdopplung der Prüffrist.

Dies soll an einem zahlenmäßigen Beispiel erläutert werden. Es wird angenommen:

- $\lambda_{du} = 1,14 \cdot 10^{-6}/h$
- $T_{PR} = 1 \text{ Jahr (8760 Stunden)}$

Daraus ergibt sich mit Formel (1) ein  $PFD_{avg}$ -Wert von  $5 \cdot 10^{-3}$ . Dies entspricht der Hälfte der für SIL 2 geforderten sicherheitstechnischen Verfügbarkeit. Der Kreis kann also bezüglich des  $PFD_{avg}$ -wertes als SIL 2 eingesetzt werden, für die anderen Komponenten des Kreises bleibt noch ein gleich großer Betrag übrig. Auf den Kreis soll nun ein Partial Stroke Test angewendet werden. Es wird angenommen:

- DC = 0,6
- $T_{PST} = 1 \text{ Monat}$
- $T_{PR} = 2 \text{ Jahre}$

Mit diesen Zahlen ergibt sich aus Formel (3) ein  $PFD_{avg}$ -Wert von  $4,2 \cdot 10^{-3}$ . Damit ist also bei einem ungefähr gleichen  $PFD_{avg}$ -Wert wiederum eine SIL-2-Einstufung möglich, nun aber mit einem auf zwei Jahre verlängerten Intervall für die wiederkehrende Prüfung.

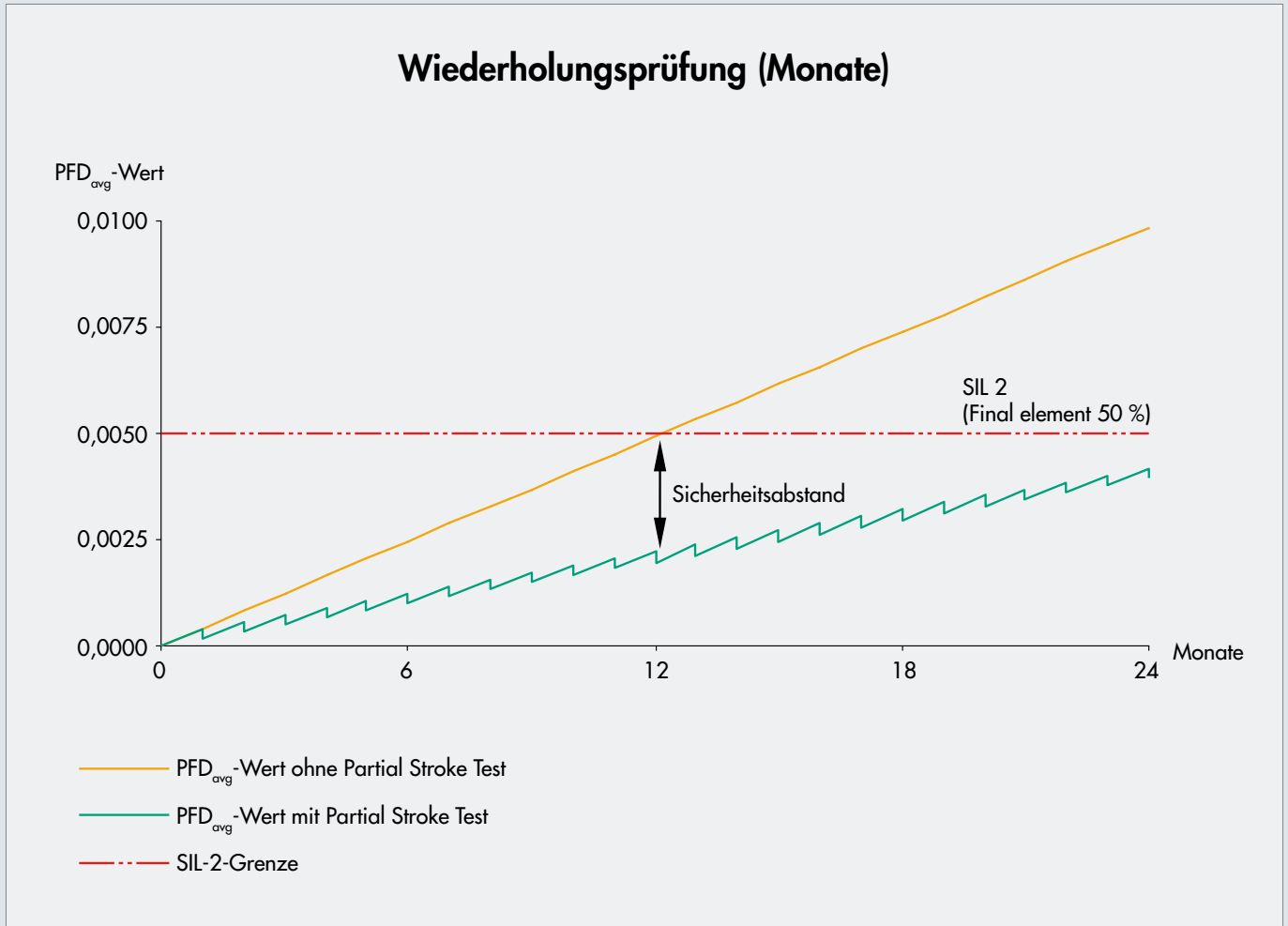


Bild 23 · PFD<sub>avg</sub>-Wert mit Partial Stroke Test

### 9.4.3 Maßnahmen zur Fehlertoleranz

IEC 61511 und VDI 2180 ziehen eine strikte Grenzlinie: Nur bis SIL 2 kann einkanalig instrumentiert werden, und auch dies ist nur bei Verwendung betriebsbewährter Geräte möglich. Ein Schutzkreis mit Risikoabdeckung nach SIL 3 erfordert in jedem Fall Redundanz, also zwei Armaturen. Diese Festlegung wird durch Online-Testverfahren nicht berührt.

## 10 Life cycle

Im Vorangegangenen wurden Hinweise für die Automatisierung von sicherheitsgerichteten Stellventilen gegeben. Die Darstellung wurde bewusst knapp gehalten, um die Gesamtstruktur der Betrachtungsweise zu verdeutlichen. Es ist festzuhalten, dass der *Safety life cycle* Dreh- und Angelpunkt für kostengünstigen Betrieb, hohe Verfügbarkeit und hohe Sicherheit ist. Dieser *Life cycle* kann in vielen Phasen durch moderne Instrumentierung wirkungsvoll unterstützt werden (Bild 24).

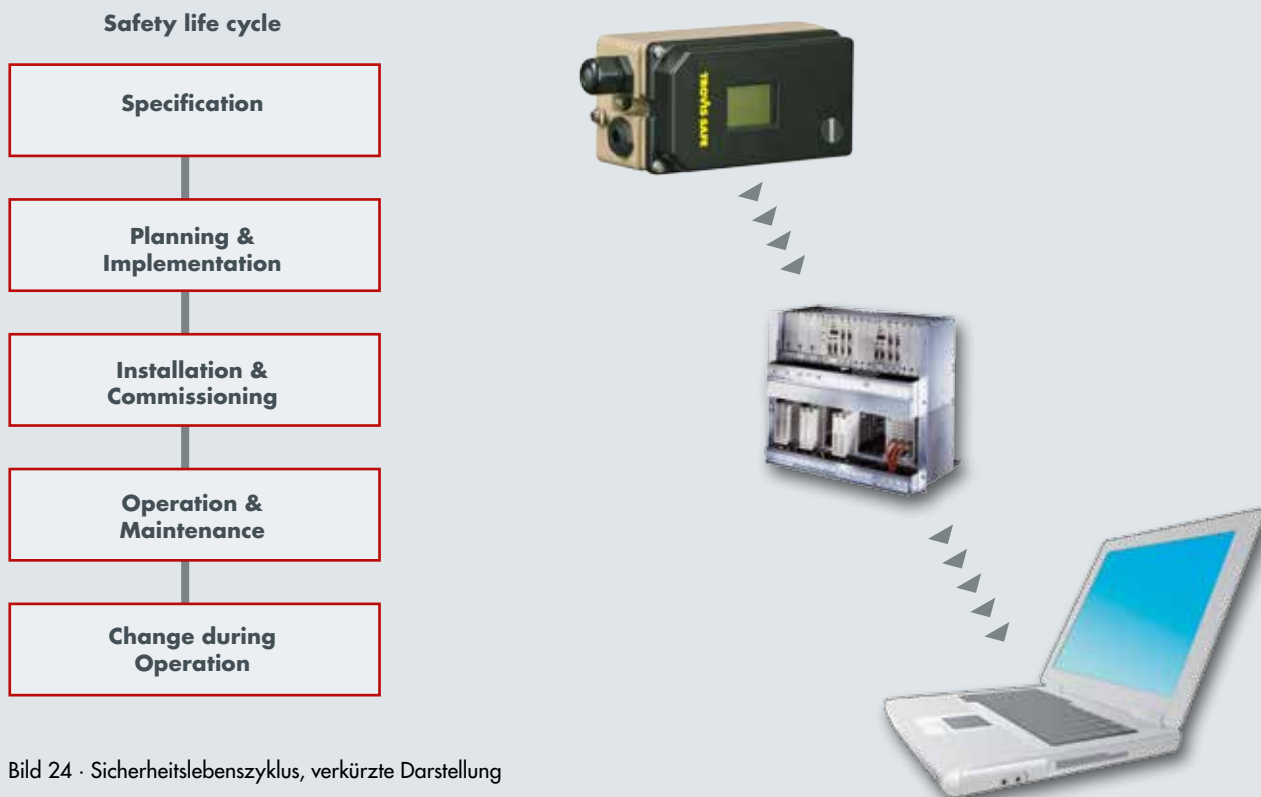


Bild 24 · Sicherheitslebenszyklus, verkürzte Darstellung

## 11 Literatur

- IEC 61511
- VDI 2180 Blatt 5
- NAMUR-Empfehlung NE 130
- „Mit Sicherheit kompetent – Funktionale Sicherheit für Stellventile, Drehkegelventile, Kugelhähne und Stellklappen“, SAMSON AG, WA 236
- „Kompetenz in der Geräte-Integration – SMART VALVE INTEGRATION CENTER“, WA 232
- „Handbuch für den Einsatz der Stellungsregler des Typs 373x-x in sicherheitsgerichteten Kreisen“, SAMSON AG, TV-SK 9838-5
- „Elektronischer Grenzsinalgeber Typ 3738-20“, SAMSON AG, EB 8390
- „Bauart 3730 – Elektropneumatischer Stellungsregler Typ 3730-3“, Firmwareversion 1.5x, SAMSON AG, EB 8384-3
- „Bauart 3730 und 3731 – Elektropneumatischer Stellungsregler Typ 3730-2, 3730-3, 3730-4, 3730-5 und Typ 3731-3 – Ventildiagnose EXPERTplus“, SAMSON AG, T 8389
- „Bauart 3730 und 3731 – Elektropneumatischer Stellungsregler Typ 3730-2, 3730-3, 3730-4, 3730-5 und Typ 3731-3 – Ventildiagnose EXPERTplus“, SAMSON AG, EB 8389
- „TROVIS SOLUTION“, SAMSON AG, WA 290
- „Realisierung von Schutzeinrichtungen in der Prozessindustrie – SIL in der Praxis“, Götz, Hildebrandt, Karte, Schäfer, Ströbl, atp 8/2008
- „Diagnosefähige Ventilstellungsregler und ihre Anwendung in sicherheitsgerichteten Kreisen“, T. Karte, J. Kiesbauer, Industriearmaturen 3/2008
- „Partial Stroke Testing For Final Elements“, T. Karte, J. Kiesbauer, Proceedings of Petroleum and Chemical Industry Conference (PCIC) Europe 2005, Basle, Switzerland
- „Intelligenter Grenzsinalgeber für Auf/Zu-Armaturen in der Prozesstechnik“, J. Kiesbauer, T. Karte, K. Schärtner, atp 5/2009
- „Smart und sicher bei Auf/Zu-Automatisierungstrends bei Armaturen“, J. Kiesbauer, G. König, Industriearmaturen 4/2007
- „Ganzheitliches Asset Management bei Stellgeräten“, J. Kiesbauer, G. König, Industriearmaturen 4/2005
- „Kennwerte und Einsatz von Ventilen in der Prozessindustrie entsprechend IEC 61508/61511“, T. Karte, E. Nebel, M. Dietz, H. Essig, atp 2/2005
- „Partial Stroke Testing an Stellgeräten zur Verlängerung der Anlagenlaufzeit“, T. Karte, K. Schärtner, atp 4/2005
- „Diagnosefähige Aktorik in sicherheitsgerichteten Kreisen – Ein Vergleich von Architekturkonzepten“, T. Karte, B. Schäfer atp 6/2012, WA 284

SAMSON

**SAMSON**

HANDBUCH

Mit Sicherheit kompetent



● Production sites    ● Subsidiaries

SAMSON AKTIENGESELLSCHAFT  
Weismüllerstraße 3 · 60314 Frankfurt am Main  
Telefon: 069 4009-0 · Telefax: 069 4009-1507  
E-Mail: [samson@samson.de](mailto:samson@samson.de) · Internet: [www.samson.de](http://www.samson.de)