

Projekt:
Durchführung einer Studie und Erstellung
einer Methode zum Nachweis
des „Safety Integrity Levels (SIL)“
für PLT-Schutzeinrichtungen
auf Basis statistischer Daten
realisierter PLT-Schutzeinrichtungen

-Bericht, 3. Teil-

Daniel Düpont
Kaiserslautern, 24.11.2006

Inhalt

1	STRUKTURANALYSE REALISierter PLT-SCHUTZEINRICHTUNGEN	3
1.1	ALLGEMEINE STRUKTURANALYSE.....	3
1.2	AUFBAU DES SENSORTEILS	4
1.2.1	Messprinzipien zur Durchflussmessung.....	4
1.2.2	Messprinzipien zur Druckmessung	5
1.2.3	Messprinzipien zur Temperaturmessung	6
1.2.4	Messprinzipien bei sonstigen Messgrößen.....	7
1.3	AUFBAU DES LOGIKTEILS	8
1.4	AUFBAU DES AKTUATORTEILS.....	9
1.5	MEHRKANALIGE, TYPISCHE PLT-SCHUTZEINRICHTUNGEN (TYPICALS) .	10
2	FEHLERANALYSE	14
3	APPLIKATION STATISTISCHER TOP-DOWN-METHODEN.....	16
	QUELLEN.....	17

1 Strukturanalyse realisierter PLT-Schutzeinrichtungen

1.1 Allgemeine Strukturanalyse

PLT-Schutzeinrichtungen in Anlagen der chemischen und pharmazeutischen Industrie weisen eine Vielzahl unterschiedlicher Strukturen auf [1]. Dennoch kann jede Schutzeinrichtung mittels einer Grundstruktur beschrieben werden, siehe Abb 1.



Abb. 1 – Grundstruktur einer PLT-Schutzeinrichtung

Innerhalb von Sensor-, Logik- und Aktuatorblock jedoch können ein- und mehrkanalige Strukturen auftreten, siehe Abb. 2.

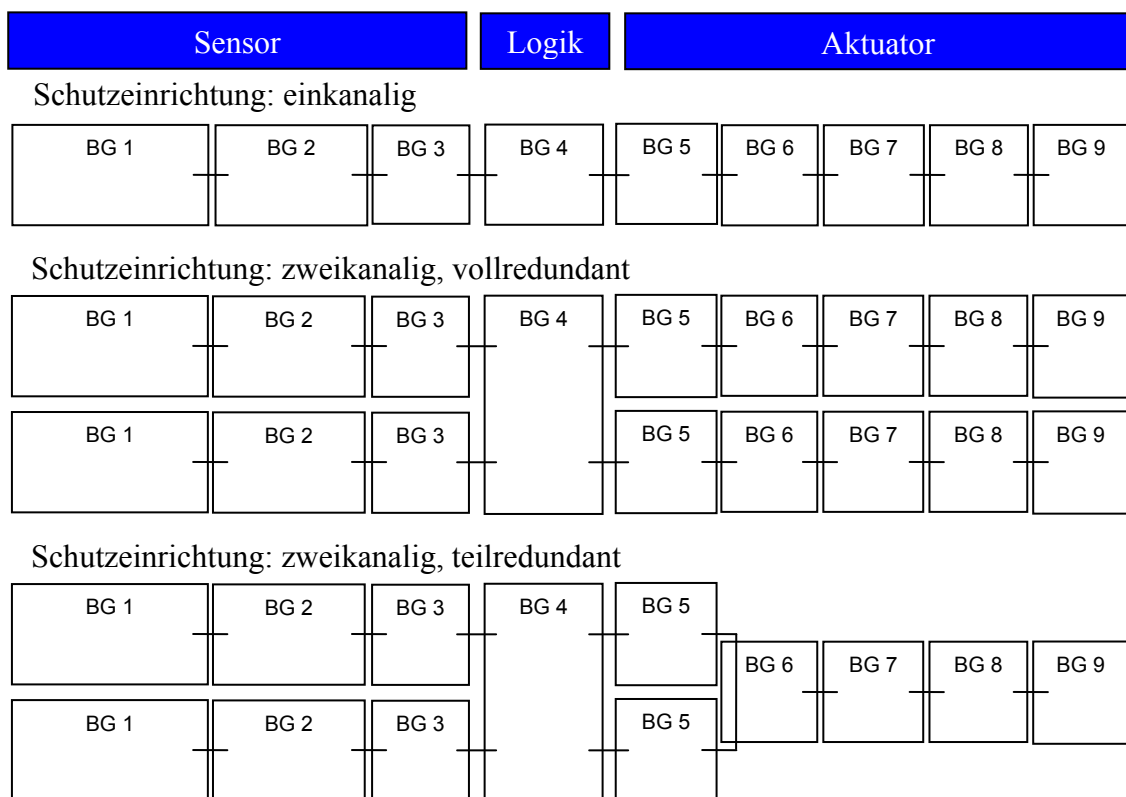


Abb. 2 – Gängige Strukturvarianten bei PLT-Schutzeinrichtungen

Im Falle von SIL 2-Anwendungen wird meist durchgehend einkanalig instrumentiert. Die Zulässigkeit der damit realisierten Hardwarefehlertoleranz von 0 wird mittel folgender Annahmen begründet:

1. Der Anteil sicherer Fehler (*SFF*) liegt in der Spanne 60% bis 90%.
2. Es kommen nur betriebsbewährte Komponenten zum Einsatz.

Mit gleicher Argumentation werden SIL 3-Schutzeinrichtungen in vielen Fällen zweikanalig realisiert. In jedem Block befinden sich hierbei zwei Stränge, die in der Logikverarbeitung in einem 1oo2-Voting stehen. Die beim Strangaufbau verwendeten Gerätearten sind typisch für ihren jeweiligen Block in Abbildung 1. Jedoch wird hinsichtlich eines Vergleichs zweier Kanäle zwischen homogen und diversitär aufgebauten Strängen unterschieden. Bei letzterem kann der sog. „Diversitätsgrad“ durch die Wahl unterschiedlicher Hersteller, Produkte oder Funktionsprinzipien variieren. Als weiteres Unterscheidungsmerkmal sind Teilredundanzen

praktikabel, was eine partiell unterschiedliche Hardwarefehlertoleranz der Schutzeinrichtung von Block zu Block zur Folge hat.

Redundanzgrade höher als zwei treten eher selten auf. Nichtsdestotrotz besitzt die 2oo3-Architektur eine Vorrangstellung unter den höheren Redundanzgraden. Sie wird allerdings weniger aus Gründen erhöhter sicherheitstechnischer Verfügbarkeit eingesetzt, sondern hat eine Steigerung der betriebstechnischen Verfügbarkeit zur Folge. Ist einen Kanal aktiv ausgefallen, wird so nicht unmittelbar ein Auslösen der Schutzeinrichtung herbeigeführt.

1.2 Aufbau des Sensorteils

Grundsätzlich besteht der Sensorkanal einer PLT-Schutzeinrichtung aus drei Gerätetypen: Messwertaufnehmer, Messumformer und Messumformerspeisegerät. Abbildung 3 zeigt ihre strukturelle Anordnung.

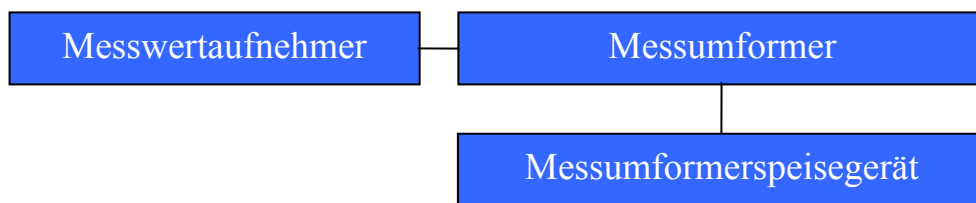


Abb. 3 – Grundstruktur des Sensorkanals

Die technische Realisierung kann als Kombigerät (2in1 oder 3in1) oder durch einzelne Bausteine erfolgen (vgl. Abb. 3). Die 3in1-Variante kommt in sicherheitsrelevanten Kreisen eher selten zum Einsatz. Entscheidend hierfür sind ihre bedingte Wartbarkeit und eingeschränkten Inspektionsmöglichkeiten.

Messwertaufnehmer stellen die variantenreichste Baugruppenklasse dar, wobei nicht die Wahl unterschiedlicher Hersteller, sondern die Fülle an Messverfahren für physikalische und chemische Größen maßgeblich ist. Dies wird in mehrkanaligen PLT-Schutzeinrichtungen zur Realisierung von Diversität genutzt, da diversitär redundante Kanäle den Anteil von Fehlern gleicher Ursache (Common-Cause-Fehler) reduzieren.

Der Messumformer wandelt den Messwert in ein normiertes, verstärktes Strom- oder Spannungssignal (z.B. 4...20mA). Durch die Verstärkung wird einerseits die Störempfindlichkeit verringert, andererseits spielt bei Signalströmen die Länge der Leitung keine Rolle mehr.

Das Schlussglied des Sensorkanals bildet das Messumformerspeisegerät bzw. der Trennverstärker, welcher den Messumformer in "Zweileitertechnik" versorgt. Durch die galvanische Trennung des Gerätes wird eine störungssichere Signalübertragung gewährleistet.

1.2.1 Messprinzipien zur Durchflussmessung

Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden der Durchfluss- und Mengenmessung. Jedes Verfahren hat spezifische Eigenschaften, die es für bestimmte Einzelfälle prädestinieren. Abbildung 4 zeigt die wichtigsten Messprinzipien.

In PLT-Schutzeinrichtungen verwendete Sensoren basieren hauptsächlich auf folgenden Verfahren:

- Magnetisch-Induktive-Durchflussmessung (MID),
- Wirkdruck-Messverfahren,
- Wirbel-Durchflussmesser,
- Schwebekörper-Durchflussmesser,
- Ovalrad-Zähler,
- Masse-Durchflussmesser, Coriolis.

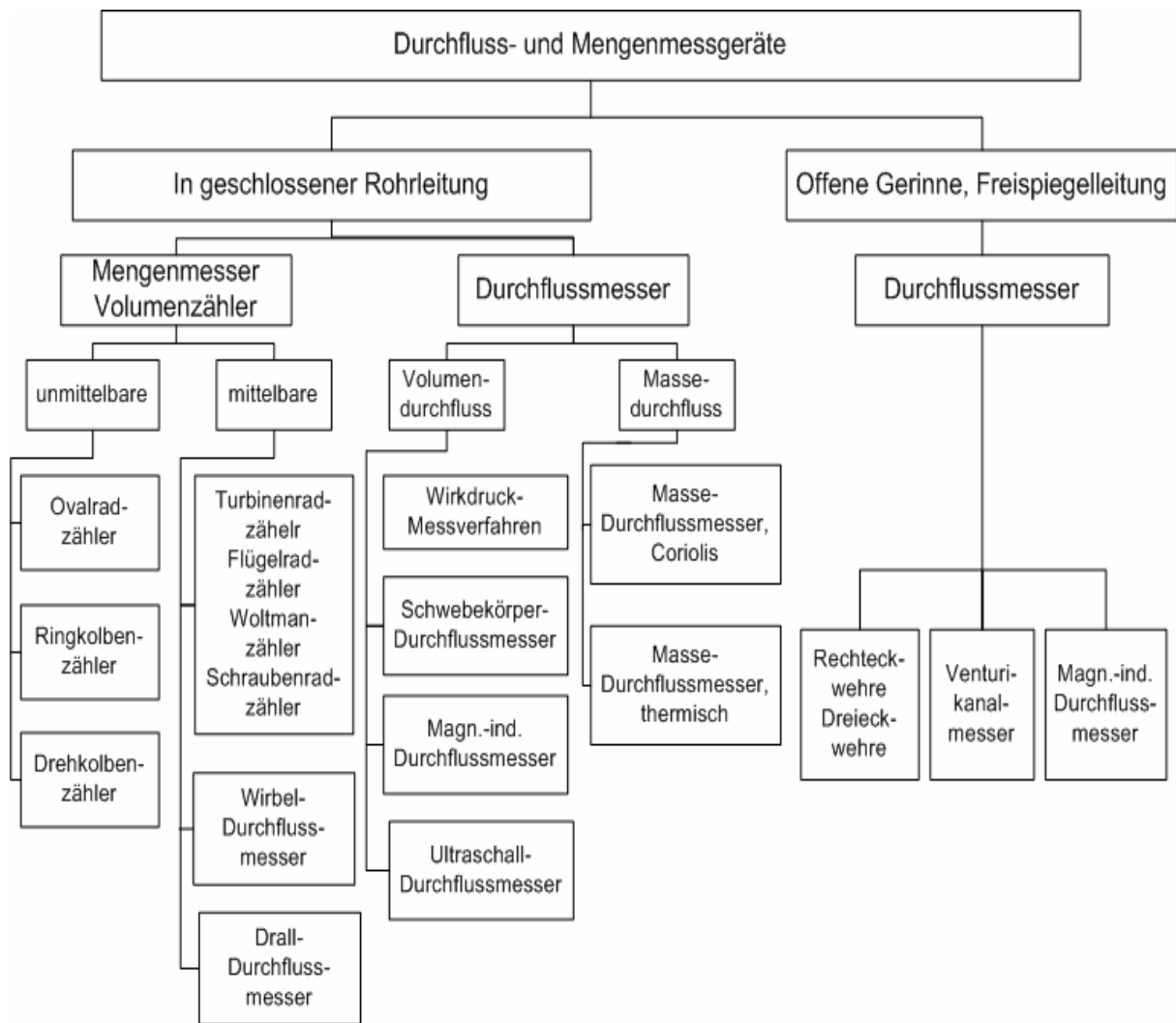


Abb. 4 - Einteilung der Durchfluss- und Mengengeräte

Der Anteil der MID-Messgeräte in sicherheitsrelevanten Durchflussmessungen liegt bei ca. 40%, Tendenz steigend. Einschränkend für die Verwendung ist die Forderung der Eigenschaft eines elektrischen Leiters mit einer Mindestleitfähigkeit für die Flüssigkeit. Mit ebenfalls ca. 40% kommen Wirkdruck-Messverfahren zum Einsatz. Wirkdruckmessgeräte arbeiten bei Gasen und Flüssigkeiten selbst unter extrem hohen Drücken und Temperaturen. Die übrigen Verfahren zur Durchflussmessung teilen sich die restlichen 20%. Dabei wird der Masse-Durchflussmesser nach Coriolis-Prinzip etwas häufiger eingesetzt.

1.2.2 Messprinzipien zur Druckmessung

Man unterscheidet bei Druckmessgeräten zunächst zwischen zwei Gerätegruppen, vgl. Abb. 5.

Flüssigkeitsdruckmessgeräte gehören zu den unmittelbaren Geräten. Hier wird der zu messende Druck p mit der Höhe h einer Flüssigkeitssäule verglichen. Die zweite Unterkategorie dieser Gruppe stellen Druckwaagen/Kolbendruckmessgeräte dar.

Geräte, die Längenänderungen, elektrische, optische oder chemische Auswirkungen einer Druckänderung in ein entsprechendes Signal wandeln, gehören zur zweiten Gruppe (mittelbare Messgeräte). Sie wird durch mechanische Druckmessgeräte, elektrische und optische Drucksensoren sowie Halleffektsensoren repräsentiert.

Am häufigsten werden mechanischen Druckmessgeräte sind mit federelastischen Messgliedern (Bourdonrohr) eingesetzt. Hierbei gelangt der Druck in einen definierten Druckraum des

Messorgan, von dem sich eine oder mehrere der Wände proportional zum Druck elastisch verformen.

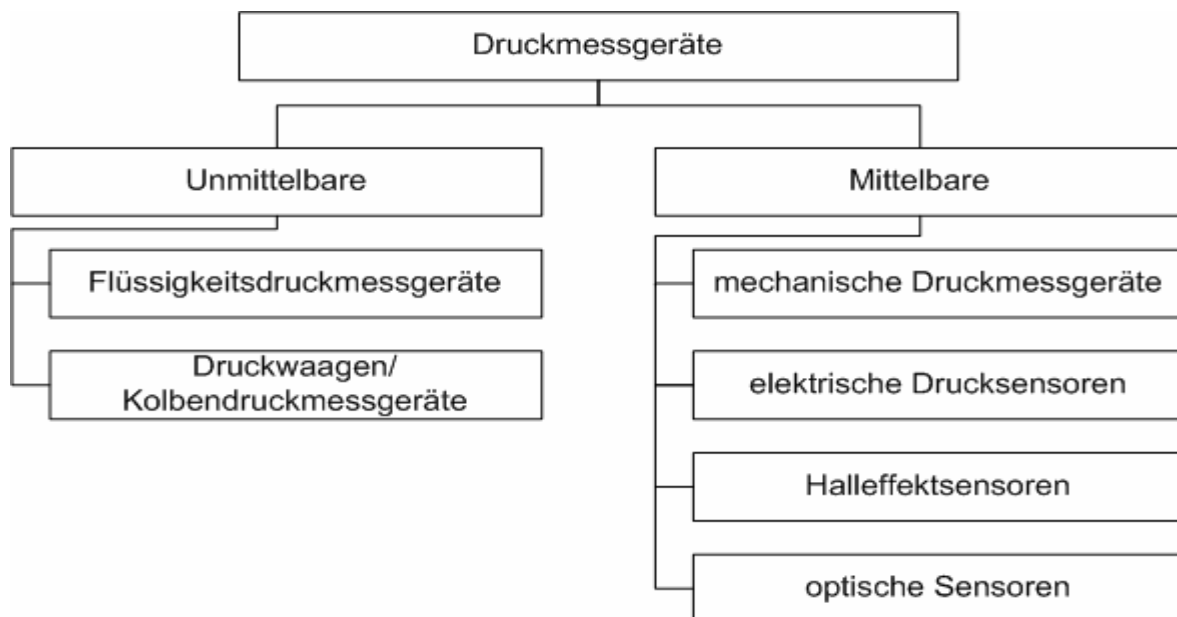


Abb. 5 - Druckmessgeräteeinteilung

Es existiert eine Vielzahl elektrischer Drucksensoren mit unterschiedlichsten Messprinzipien. Am häufigsten werden Dehnungsmess- und Halbleiterdehnungstreifen (piezoresistiver Effekt) verwendet.

Weitere Dehnungsmessstreifen, neben der genannten Halbleitertechnologie, sind Dickschicht-, Dünnschicht- und Foliendehnungsmessstreifen. Andere Vertreter dieser Gruppe sind in Form kapazitiver oder induktive Messwertaufnehmer erhältlich.

Ein Halleffektsensor bestimmt die Änderung eines Magnetfeldes in Abhängigkeit von der Auslenkung einer Membran oder ähnlichem.

Optische Sensoren beruhen oft auf Verbiegung von Fasern. Diese messen die Lichtmenge, die durch die Wand der Faser verloren geht. Darüber hinaus existieren Varianten, die auf Reflexion von Licht oder Veränderungen von Transmissionseigenschaften beruhen oder interferometrische Prinzipien nutzen. Bei allen diesen Sensoren wird entweder die Intensität, die Polarisationsebene oder die Phasenlage eines Lichtstrahls verändert.

Bei drucküberwachenden PLT-Schutzeinrichtungen stellt eine Kombination aus mechanischen und elektrischen Druckmessgeräten mit ca. 99% die am häufigsten eingesetzte Variante. Der Grund hierfür liegt in der Physik elektrischer Sensoren. Prinzipiell dürfen piezoresistive Sensoren nicht direkt mit Flüssigkeiten beaufschlagt werden. Da der Sensor offen (nicht gekapselt) ist, würde sich ein Kurzschluss ergeben, der Sensor könnte zerstört werden. Als Abhilfe werden mechanische Membranadapter verwendet.

1.2.3 Messprinzipien zur Temperaturmessung

Eine Übersicht zu verschiedenen Verfahren der Temperaturmessung ist Abbildung 6 entnehmbar.

Auf der räumlichen Ausdehnung gasförmiger, flüssiger oder fester Stoffe unter Temperatureinfluss beruhen die mechanischen Temperaturmessverfahren: Bei Bimetallthermometern ist das temperaturempfindliche Sensorelement ein als Spiral- oder Schraubenfeder ausgeführter Bimetallstreifen. Im Fall von Gasdruck-Federthermometern ist das gesamte abgeschlossene System mit einem inerten Gas oder Gasgemisch gefüllt. Die temperaturabhängige Gasdruckänderung wird über die Kapillarleitung und die elastische Messfeder zur Anzeige geführt.

Flüssigkeitsglashthermometer sind eine weit verbreitete Form der Ausdehnungsthermometer. Ihre Wirkungsweise beruht auf der thermischen Ausdehnung von Flüssigkeiten.

Die in der Industrie am häufigsten eingesetzten Temperaturmessgeräte repräsentieren die elektrischen Thermometer: Metall-Widerstandsthermometer ändern ihren elektrischen Widerstand in Abhängigkeit der Temperatur. Mit Platin als Element mit den besten Eigenschaften stellt das Pt-Widerstandsthermometer das wichtigste in der Temperaturmesstechnik. Weitere Metalle, die zur Temperaturmessung verwendet werden, sind Kupfer (Cu), Nickel (Ni) oder Molybdän (Mo). Das Messprinzip des Thermoelements beruht auf dem von Seebeck-Effekt. Halbleiter-Sensoren beruhen auf einem ähnlichen Messprinzip wie Metall-Widerstandsthermometer. Der Unterschied liegt nur in den verwendeten Werkstoffen. Bei kapazitiven oder induktiven Temperaturmesssensoren bedient man sich der Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätskonstanten bzw. des magnetischen Moments.

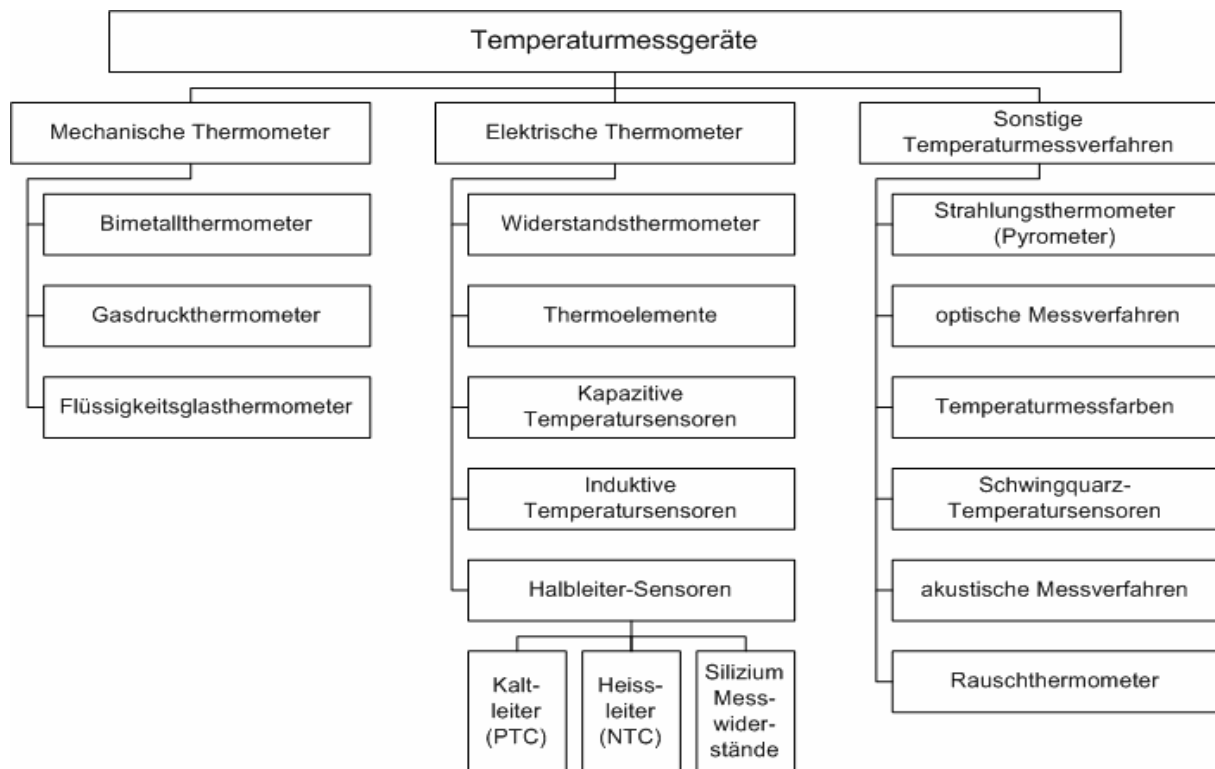


Abb. 6 - Einteilung der Temperaturmessgeräte

Unter den sonstigen Temperaturmessgeräten sind Pyrometer, die auf dem Wärmeaustausch durch Strahlung aufbauen, am weitesten verbreitet. Optische Messverfahren beschäftigen sich mit der Bestimmung der Intensität oder Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung eines Körpers in Abhängigkeit von der Temperatur. Dagegen nutzen Schwingquarz-Temperatursensoren die temperaturbedingte Änderung der Resonanzfrequenz eines Quarzkristalls.

In PLT-Schutzeinrichtungen werden mit einem Anteil von über 99% Platin-Widerstandsthermometer eingesetzt. Der am häufigsten verwendete Sensor ist der WTH-PT100. Dieser besitzt bei 0 °C einen Widerstand von 100 Ω und kann bei Temperaturen von -200 °C bis 850 °C eingesetzt werden.

1.2.4 Messprinzipien bei sonstigen Messgrößen

Neben Durchfluss, Druck und Temperatur existieren weitere Messgrößen, die durch PLT-Schutzeinrichtungen überwacht werden. Dazu zählen überwiegend Füllstands- und Analyse-messungen.

Füllstand wird meist mittels Mikrowellen-, Radar-, Vibrations- oder Bodendruckmessungen erfasst. Unter dem Begriff „Analysemessungen“ werden mehrere Verfahren zur Bestimmung chemischer Stoffeigenschaften zusammengefasst. Dazu gehören unter anderem pH-Wert, Wasserhärte, Stoffmenge bzw. Konzentration (Sauerstoff-, Nitrat-, Wasserstoffgehalt usw.), Leitfähigkeit und Stoffreinheit (Trübungsmesssysteme).

1.3 Aufbau des Logikteils

Eine Möglichkeit, die oftmals in älteren PLT-Schutzeinrichtungen zu finden ist, repräsentiert die Logikrealisierung durch Hartverdrahtung. Diese Variante ist in ihrer Flexibilität jedoch sehr eingeschränkt und verursacht im Vergleich zu Alternativen relativ hohe Kosten.

Der Logikteil einer PLT-Schutzeinrichtung besteht heutzutage aus einer SPS bzw. SSPS und den dazugehörigen Ein- und Ausgangskarten, wobei diese ggf. bei einer Kompakt-SPS fest integriert sind.



Abb. 7 – Grundstruktur eines Logikkanals

Die (S)SPS-Ein- und Ausgangskarten bilden die Schnittstellen zum Sensor- und Aktuatorteil der PLT-Schutzeinrichtung und dienen gleichzeitig als A/D- bzw. D/A-Wandler. Die eigentliche Logikverarbeitung spielt sich in der CPU der (S)SPS ab.

Die in Abbildung 7 dargestellte Struktur eines Logikkanals enthält starke Vereinfachungen gegenüber der tatsächlichen Realisierung. Selbstverständlich wird nicht für jeden Kanal eine (S)SPS bereitgestellt. Vielmehr werden Multicore-Systeme verwendet, welche in einer (S)SPS mehrere CPUs besitzen. Auf diese Weise wird bei einer redundanten PLT-Schutzeinrichtung für jeden Kanal eine CPU bereitgestellt.

Doch auch bei Mehrprozessor-Systemen (SPS) gibt es einige Unterschiede hinsichtlich des Redundanzgrades (vgl. Abb. 8).

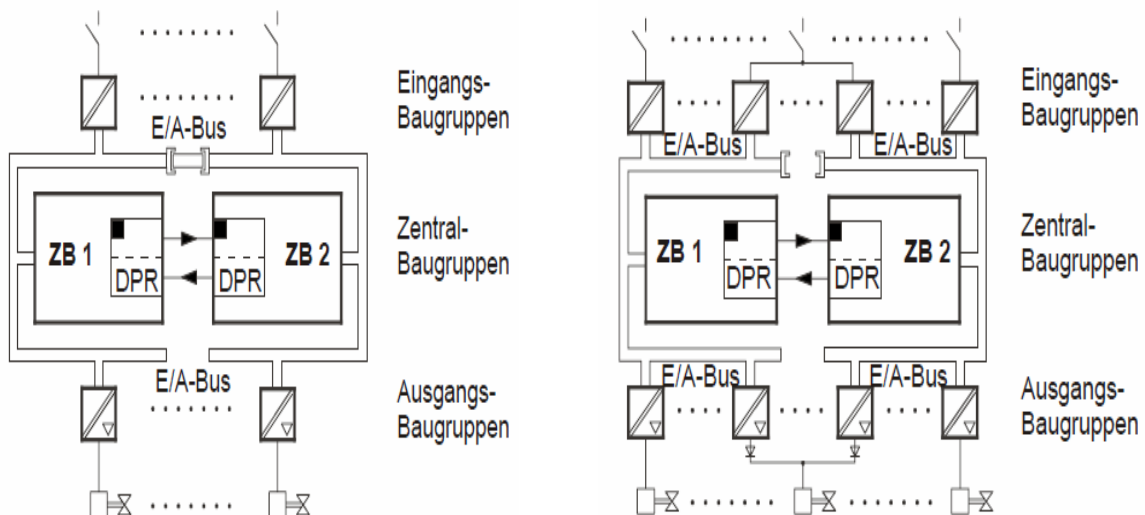


Abb. 8 – Beispiel SPS-Konzept H41q-H (links) und H41q-HR (rechts)

ZB : Zentralbaugruppe mit CPU

DPR : Dual-Port-RAM

E/A : Ein-/Ausgabe.

Im Falle einer H41q-H (linkes Bild) existieren redundante Zentralbaugruppen und einkanali-ger E/A-Bus. Dadurch können beide CPUs das ankommende Signal von einer Eingangskarte gleichzeitig lesen, jedoch entstehen dadurch möglicherweise Buszugriffskonflikte. Beim H41q-HR sind neben redundanten Zentralbaugruppen auch zwei unabhängige E/A-Busse vorhanden, was einem Konflikt für gleichzeitige Buszugriffe seitens Eingangskarten vorbeugt. Andererseits erhält die CPU nur das Signal der jeweiligen Eingangsbaugruppe. Die mittleren Ein- und Ausgangskarten können für ein hybrides System mit beispielsweise jeweils einkanaligem Sensor- und Aktuatorteil verwendet werden.

1.4 Aufbau des Aktuatorteils

Der Aktuatorteil einer Schutzeinrichtung setzt sich meist aus folgenden Komponenten zu-sammen: Ventilsteuerbaustein, Magnetventil, Stellantrieb und Stellgerät.



Abb. 9 – Grundstruktur eines Aktuatorteils

Der Ventilsteuerbaustein dient der Ansteuerung eigensicherer Magnetventile, sowie der Ver-sorgung von Alarm- oder Leuchtmeldern im explosionsgefährdeten Bereich. Die Ausgänge sind kurzschlussfest. Eingangs-, Ausgangs- und Hilfsenergie-Stromkreise sind sicher galva-nisch getrennt.

Magnetventile sorgen für das pneumatische Ansteuern von Stellgeräten, indem sie die Druck-luftzufuhr des Stellantriebs verwalten.

Die in PLT-Schutzeinrichtungen eingesetzten Stellantriebe sind überwiegend pneumatisch. Der Antrieb wird vom Magnetventil mit Druckluft versorgt und bewirkt das Öffnen und Schließen des angeschlossenen Stellgerätes. Die Bauweise eines Antriebes bestimmt das Ver-halten des Stellgliedes bei Energieausfall (Sicherheitsstellung).

Als Stellgeräte kommen häufig Kugelhähne zum Einsatz. Da die Aufgaben von Schutzein-richtung im Anforderungsfall überwiegend aus Schließen bzw. Öffnen von Rohrleitungen bestehen, sind diese prädestiniert.

Geräte unterschiedlicher Hersteller sind beliebig kombinierbar, was dem Anlagenbetreiber viele Auswahlmöglichkeiten eröffnet.

Beim Auslösen der PLT-Schutzeinrichtung im Anforderungsfall sind oft mehrere Zuleitungen zu schließen. In der Praxis wird ein Restdurchfluss von bis zu 10% toleriert. In einigen Fällen ist es jedoch notwendig, die Leitung „dicht zu schließen“. In derartigen Fällen kommt meist ein „Block and Bleed“-Glied (vgl. Abb 10) zum Einsatz.

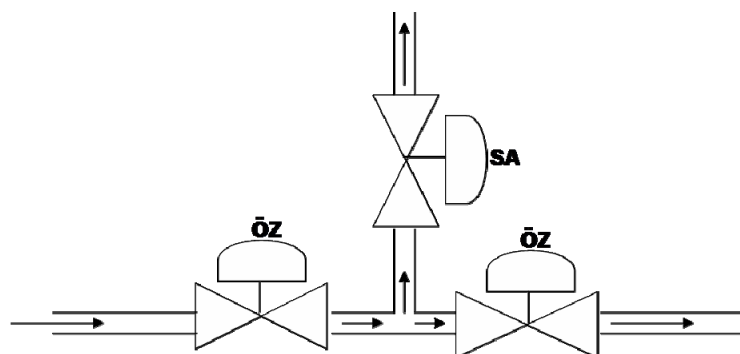


Abb. 10 - Block and Bleed

Durch die Anordnung der Stellgeräte wird gewährleistet, dass im Anforderungsfall der Rest-durchfluss hinter dem ersten ÖZ-Ventil abgeleitet wird (z.B. zu einer Verbrennungsfackel).

Eine Strukturvorschrift für „Block and Bleed“ existiert nicht. So kann unter Umständen ein zweites SA-Stellglied parallel zum ersten vorhanden sein.

Eine von Abbildung 9 abweichende Strukturvariante des Aktuatorkanals ist in Abbildung 11 dargestellt.



Abb. 11 – Alternative Grundstruktur eines Aktuatorkanals

Hier fließen die Steuersignale vom Logikteil über einen KV-Abgang, bestehend aus Sicherheitsrelais und Schütz, der einen Elektromotor ansteuert.

Die technische Realisierung einer zweikanaligen PLT-Schutzeinrichtung gemäß Abbildung 11 erfolgt oftmals redundanz. Jedes Steuersignal wird auf ein Sicherheitsrelais geleitet, wobei jedoch beide Relais den gleichen Schütz schalten. In der Praxis wird die Schützleistung auf mindestens doppelten Kurzschlussstrom des Motors ausgelegt, um einem Verschweißen der Kontakte vorzubeugen. Zu den verwendeten Motoren gibt es keine Spezifikationen, da sie nicht der PLT-Schutzeinrichtung zugeordnet werden.

1.5 Mehrkanalige, typische PLT-Schutzeinrichtungen (Typicals)

Die im Folgenden dargestellten Strukturen sind typisch für den Aufbau einer mehrkanaligen PLT-Schutzeinrichtung.

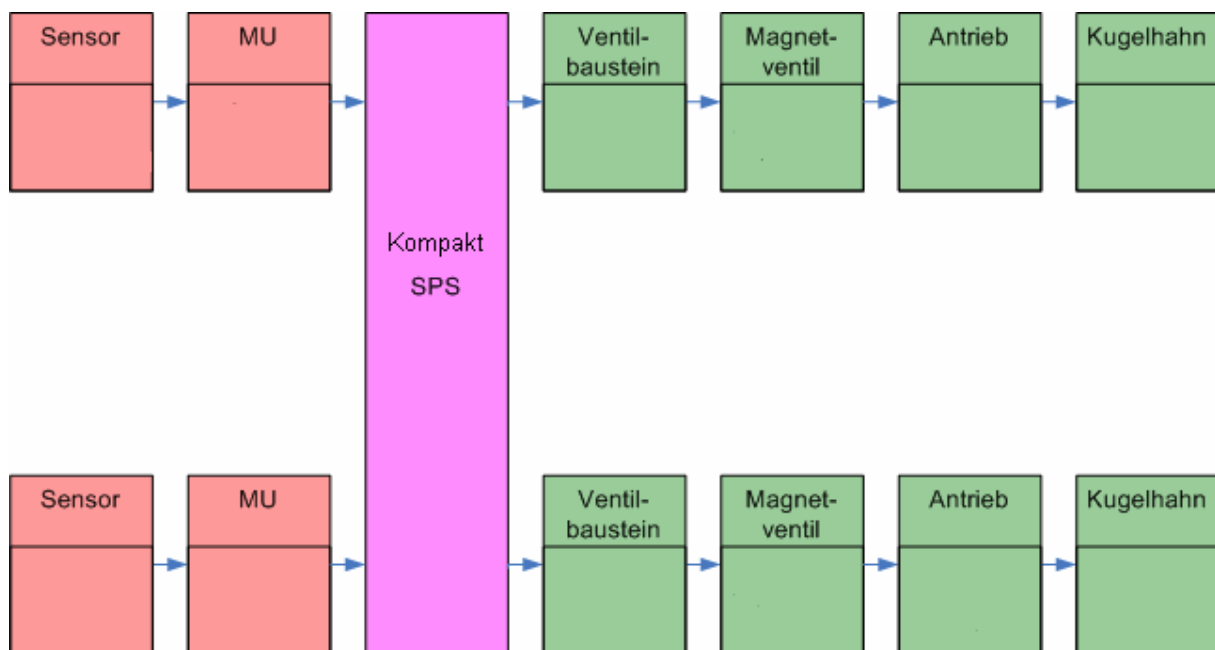


Abb. 12 - Homogene 1oo2-Struktur

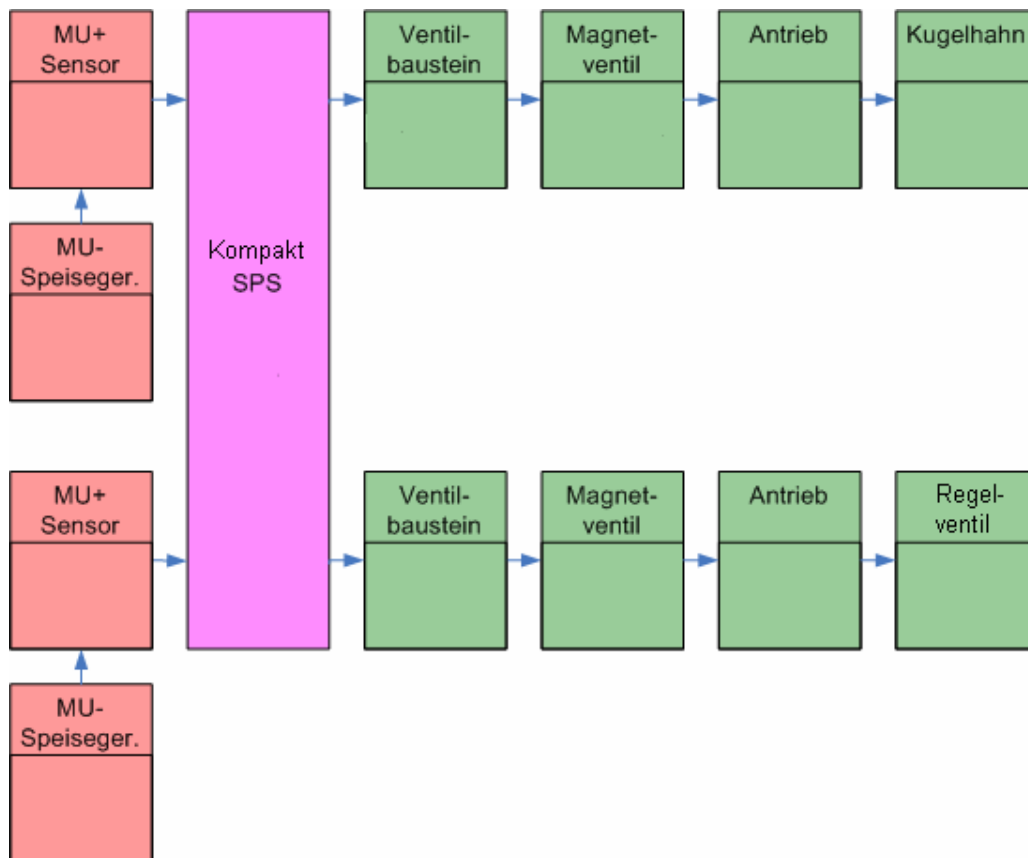


Abb. 13 – Diversitäre 1oo2-Struktur

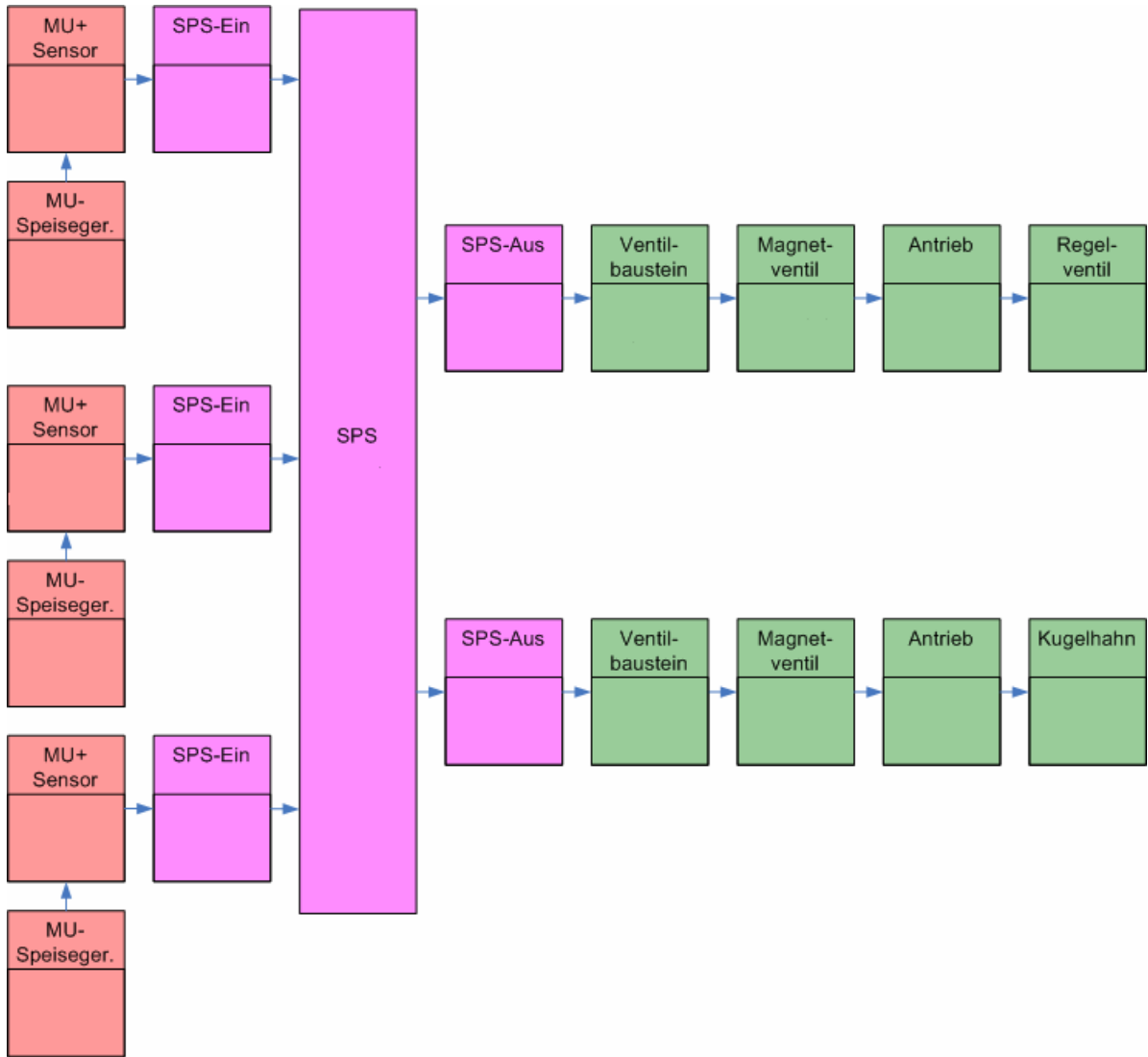


Abb. 14 – Diversitäre 2oo3 Struktur mit 1oo2-Aktuatorteil

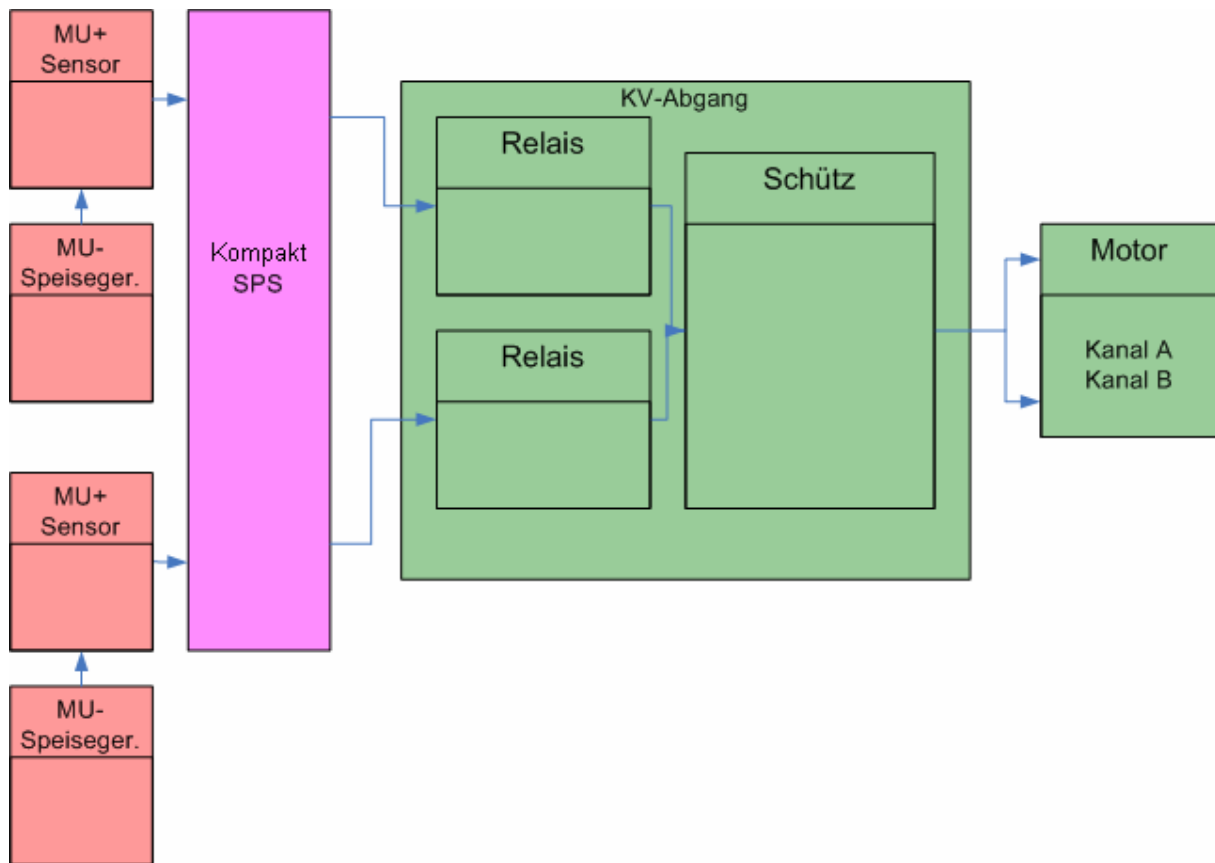


Abb. 15 – Homogene 1oo2-Struktur mit 1oo1-Stellglied (Schütz und Motor) im Aktuatorteil

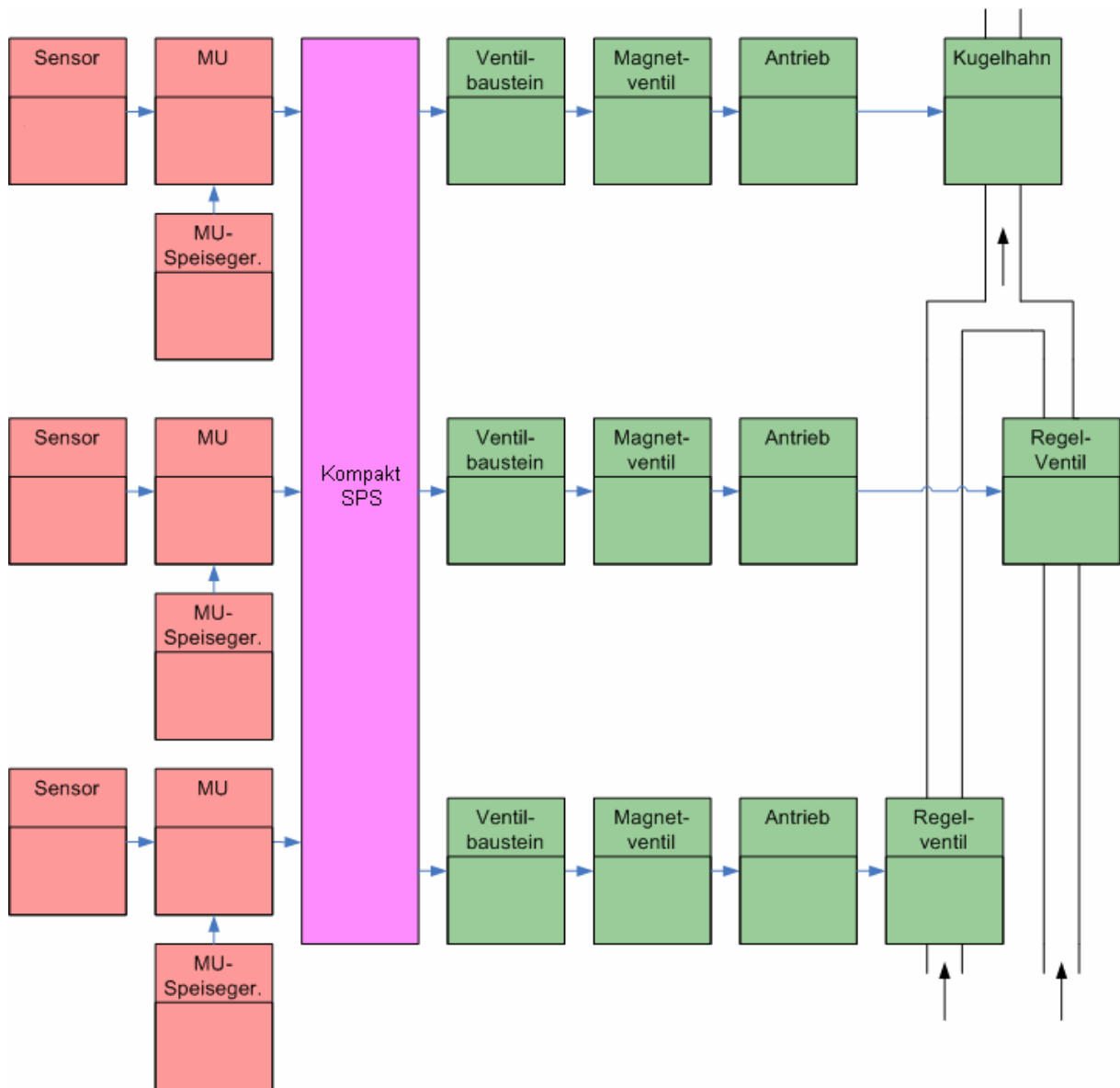


Abb. 16 – Diversitäre 2oo3-Struktur

2 Fehleranalyse

Seit dem Jahr 2004 werden im Rahmen der NAMUR-Datenerfassung [2] noch exaktere Informationen bzgl. Fehlerquellen in PLT-Schutzeinrichtungen abgefragt. Dies bezieht sich maßgeblich auf zweikanalige Schutzeinrichtungen, die sich als dominante Strukturvariante unter den redundant ausgelegten Kreisen herausgestellt haben. Die Tabelle zur Stördatenerfassung besitzt hinsichtlich des Lieferantenfeedbacks nunmehr eine erheblich erweiterte Erfassungsbreite, siehe Tab. 1. Zusätzlich zu den Totalausfällen zweikanaliger Kreise werden auch passive Ausfälle eines Kanals erfasst. Diese sollten ursprünglich dazu verwendet werden, die statistische Basis für einkanalige PLT-Schutzeinrichtungen zu erhöhen. Allerdings ist die Anzahl einkanaliger, passiver Fehler bei zweikanaligen Schutzeinrichtungen in Relation ungleich höher als bei rein einkanaligen Kreisen. Somit lässt sich die eigentliche Intention bisher nicht umsetzen. Die Ursachen für diesen Effekt werden momentan in Abstimmung mit den Datenlieferanten untersucht.

Des Weiteren werden die aufgetretenen Fehler nach Sensor-, Logik- und Aktuerteil gesplittet, was den Grundstein zur Ermittlung charakteristischer Ausfallraten legt. Da jedoch die Anzahl passiver Fehler, die beide Kanäle einer zweikanaligen PLT-Schutzeinrichtung gleich-

zeitig betreffen, ergo zum Totalausfall dieser führen, sehr gering ist, scheint derzeit eine weitere Aufteilung, wie sie Tabelle 1 vorsieht, noch nicht auswertbar. Auch eine summarische Variante der Jahre 2004 und 2005 führt nicht zum Ziel, da nur drei Totalausfälle passiver Art auf Sensor-, Logik- oder Aktuorteil aufteilbar waren. Die Fehleraufsplittung bei zweikanaligen Schutzeinrichtungen ist aber dennoch sinnvoll, eine auswertbare statistische Grundlage jedoch erst für den summarischen Datensatz 2004 bis 2007 zu erwarten.

Auch die Zahl einkanaliger, passiver Fehler bei 1oo2-Schutzeinrichtungen ist hierfür nicht verwertbar, da die bereits angesprochen Inkonsistenz zum rein einkanaligen Datensatz zunächst einer Klärung bedarf.

PLT-Schutz-einrichtungen mit	Gesamtanzahl passiver Fehler		davon im Sensor		davon in der Logik	davon im Aktuator	
	in beiden Kanälen	in nur einem Kanal	medien-berührter Teil	trockener Teil		medien-berührter Teil	trockener Teil
Drucksensor							
Temperatursensor							
Füllstandsensor							
Analysengerät							
Handeingriff							
sonst.Sensoren							

Tab 1. – Erweiterte Tabelle zur Stördatenerfassung (seit 2004)

Allerdings können generelle Tendenzen des einkanaligen Datensatzes größenordnungsmäßig auf den zweikanaligen übertragen werden. So sind mittels der einkanaligen NAMUR-Datensätze 2004 und 2005 Faktoren für den Feldeinfluss herleitbar, siehe Tab. 2.

Gruppe	Bandbreite des λ_{DU} -Multiplikationsfaktors für Feldeinfluss	
	Sensorik	Aktuatorik
Total	1,5 – 1,6	1,5 – 3,0
P	1,4 – 1,8	
T	1,0 – 1,0	
L	1,0 – 1,5	

Tab. 2 – Multiplikationsfaktoren für Feldeinfluss bei einkanaligen Kreisen bezogen auf die Rate gefährlicher, unentdeckter Fehler (λ_{DU})

Hierzu werden die 1oo1-Datensätze 2004 und 2005 getrennt voneinander bewertet. Pro Jahr resultiert für jede Gruppierung jeweils ein Multiplikationsfaktor für Sensorik und Aktuatorik. Dieser gibt einen Anhaltspunkt, in welcher Größenordnung durchschnittlich die Ausfallrate eines Sensor- oder Aktuorkanals zu modifizieren ist, um die Betriebsbedingungen im Feld zu berücksichtigen. Mittels eines Vergleichs der Ergebnisse von 2004 und 2005 erhält man Bandbreiten, vgl. Tab. 2. Eine entsprechende, exakte Betrachtung für den zweikanaligen Fall kann erst nach Aufklärung des bereits andiskutierten Problems erfolgen.

3 Applikation statistischer Top-Down-Methoden

Um im Einsatz befindliche zweikanalige PLT-Schutzeinrichtungen generell auf ihre SIL-Tauglichkeit hin zu untersuchen, werden die NAMUR-Datensätze 2004 und 2005 der 1oo2-Strukturen herangezogen, siehe Tab. 3.

Jahr	Gruppe	Anzahl der Schutz-einrichtungen [absolut]	Anzahl gefährlicher, unentdeckter Fehler [absolut]	Prüfintervall [Jahre]
2004	Total	10817	5	0,93
	Druck (P)	2396	1	0,93
	Temperatur (T)	2105	0	0,93
	Füllstand (L)	670	1	0,95
2005	Total	9778	1	0,91
	Druck (P)	1314	1	0,89
	Temperatur (T)	1061	0	0,94
	Füllstand (L)	402	0	0,90

Tab. 3 – NAMUR-Daten 2004 bis 2005 für zweikanalige PLT-Schutzeinrichtungen

Bedingt durch die sehr geringe Anzahl aufgetretener Totalausfälle erscheint nur eine Untersuchung des summarischen Datensatzes 2004 und 2005 sinnvoll. Auf diese Weise lassen sich *PFD*-Werte in Form von *PFD*-Konfidenzintervallen ableiten. Die dabei zum Einsatz kommende Methodik basiert auf der Binomialverteilung analog zum Projektbericht vom 30.04.2005 [3]. Die resultierenden Konfidenzintervalle sind auf der Grundlage von 70% Vertrauensniveau abgeleitet, entsprechend dem in IEC 61511 [4] geforderten Mindestwert derartiger Berechnungen. Abbildung 17 zeigt die ermittelten Intervalle für die Daten aus Tabelle 3.

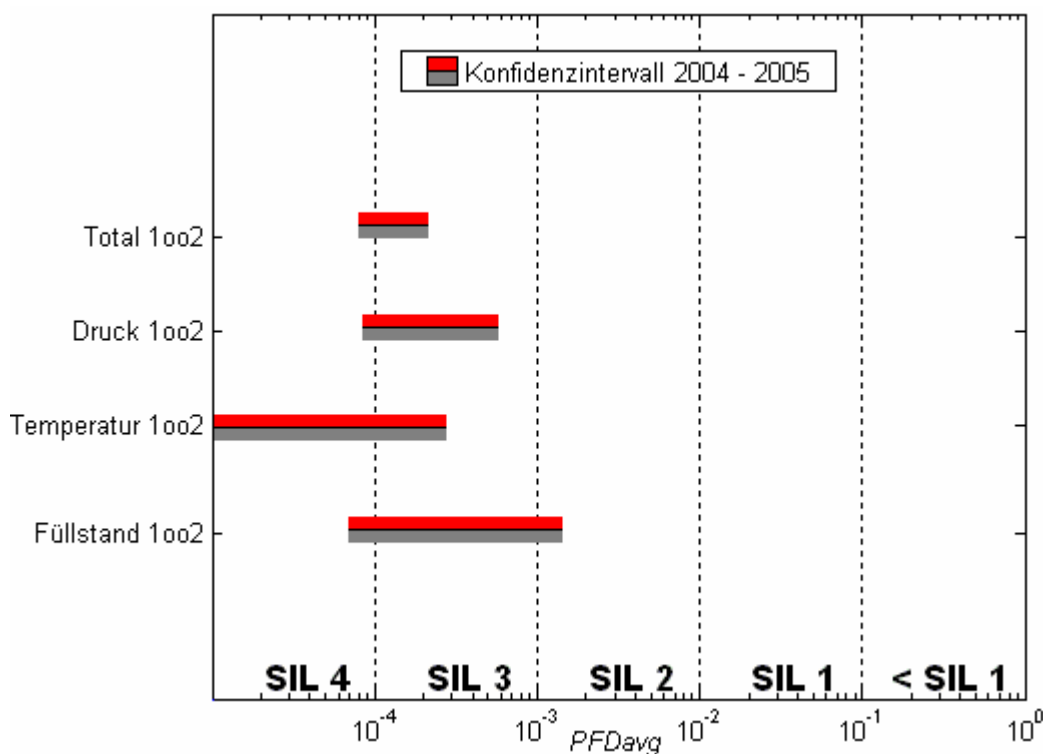


Abb. 17 – *PFD*-Konfidenzintervalle der NAMUR-Daten 2004 bis 2005

Das Intervall für die 1oo2-Füllstandsmessungen ist im Vergleich zu den übrigen Gruppen als kritisch einzustufen. Der Grund hierfür ist die selbst im summarischen Datensatz 2004 bis 2005 vergleichsweise geringe Anzahl erfasster Schutzeinrichtungen (1072 Kreise). In der

Konsequenz macht sich ein aufgetretener Totalausfall überverhältnismäßig stark bemerkbar. Letztlich ist die Aussagekraft der Gruppe „Füllstand 1oo2“ in Abbildung 17 fraglich.

Die *PFD*-Konfidenzintervalle der Gruppen „Total 1oo2“, „Druck 1oo2“ und „Temperatur 1oo2“ spiegeln die Erwartungen wider, die aufgrund einer korrespondierenden Untersuchung des einkanaligen NAMUR-Datensatzes in die zweikanaligen PLT-Schutzeinrichtungen gesetzt wurden: Einerseits erweisen sich die Gruppenkollektive im Worst-Case als SIL 3-fähig. Im Best-Case können sogar *PFD*-Werte im SIL 4-Spektrum erreicht werden. Andererseits deutet sich das im einkanaligen Fall beobachtete Ranking der Untergruppen nach überwachter Messgröße an. Allerdings ist eine endgültige Übereinstimmung durch die Unzulänglichkeit von „Füllstand 1oo2“ nicht in letzter Konsequenz belegbar. Zusammenfassend sind zweikanalige Kreise im Feld (NAMUR-Daten) von den *PFD* her einen SIL besser einzustufen als einkanalige.

Die Anwendung von Hypothesentests als statistisches Auswerteverfahren liefert keine signifikant anderen Aussagen und wird somit im Rahmen dieses Berichts nicht näher betrachtet.

Quellen

- [1] V., Heinz: *Strukturanalyse und Typicalerstellung für PLT-Schutzeinrichtungen in der chemischen und pharmazeutischen Industrie*, Studienarbeit S180 am Lehrstuhl für Automatisierungstechnik der TU Kaiserslautern, Mai 2006.
- [2] NAMUR, *Interessengemeinschaft Prozessleittechnik der chemischen und pharmazeutischen Industrie*, <http://www.namur.de>
- [3] D., Düpont: *Projekt „Durchführung einer Studie und Erstellung einer Methode zum Nachweis des SIL für PLT-Schutzeinrichtungen auf Basis statistischer Daten realisierter PLT-Schutzeinrichtungen“*, Bericht, 2. Teil an das LUA NRW, Kaiserslautern, April 2005.
- [4] IEC 61511, Teil 1-3, *Functional safety: Safety Instrumented Systems for Process Industry Sector*, 2002.