

Der breite Einsatz der übergreifenden Überwachung scheitert meist am Realisierungsaufwand. Dieser rechnet sich bei großen Stückzahlen (z.B. Fahrzeugindustrie) und ist gering, wenn Prozess und Messtechnik in einer Hand liegen. In der Verfahrenstechnik sind die Anlagen Unikate und die Sensorik wird von verschiedenen Herstellern bezogen.

4. Verfügbarkeit

4.1 Definitionen, Berechnung

Unter Verfügbarkeit versteht man, inwieweit eine Einrichtung zur Erfüllung ihrer Aufgaben zur Verfügung steht, wobei nur die verfügbare Betriebszeit in Rechnung zu setzen ist, z.B. 2 x 8 Std./Tag bei Zweischichtbetrieb:

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{\text{nutzbare Betriebszeit}}{\text{verfügbare Betriebszeit}}$$

Die Verfügbarkeit kann auch über MTBF (*Mean Time between Failures*) und MTTR (*Mean Time To Repair*) ausgedrückt werden.

$$V = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Die Verfügbarkeit kann erhöht werden durch:

- **hohe Zuverlässigkeit** von Bauelementen bzw. Geräten
- **Redundante Anordnung** (von lat. redundantia: Überfluss)
 - homogen (gleichartige Kanäle), oder
 - diversitär (verschiedenartige Kanäle, z.B. verschiedene Messverfahren)
- **vorbeugende Wartung** (Ausfall- Vorbeugung möglichst außerhalb der Betriebszeit)
- **Hilfen zur Fehlerdiagnose** (Verkürzung MTTR)

Die verschiedenen Zeiten erklärt Bild 4.1

Ein Ausfall ist ein Ereignis und führt zu einem Fehlerzustand, der sich evtl. jedoch erst bei einer Funktionsanforderung an die gestörte Funktion bemerkbar macht und zu einem Versagen (Ereignis) führt.

Ab jetzt läuft die „Störungsdauer“ (Ausfallzeit) MTTR bis zur Fertigstellung der Instandsetzung.

MTBF ist der „Ausfallabstand“ zwischen zwei Versagen- Ereignissen. Falls eine Anlage nicht 24 Std./Tag in Betrieb ist, dann darf hier natürlich statt 24 Std. nur die tatsächliche Betriebszeit eingehen.

Für das online asset management von Apparaten, Maschinen und Feldgeräten ist die genaue Zustandserkennung Voraussetzung, und diese benötigt mehr Informationen als aus der Selbstüberwachung zur Verfügung stehen. Daher sollten die Methoden der übergreifenden Überwachung nicht wegen Realisierungsschwierigkeiten verworfen werden.

Nach DIN 40 041 gelten folgende Definitionen:

Ausfall (Ereignis): Beendigung der Funktionsfähigkeit einer materiellen Einheit innerhalb zugelassener Beanspruchung.

Fehler (Zustand): Nichterfüllung einer Forderung (nach bestimmungsgemäßer Funktion).

Versagen (Ereignis): Entstehen einer Störung bei zugelassenem Einsatz aufgrund in der Einheit selbst liegender Ursache.

Störung (Zustand): Fehlende, fehlerhafte oder unvollständige Erfüllung einer geforderten Funktion durch die Einheit.

Betriebsdauer: Intervall der Anwendungsdauer, in dem die geforderte Funktion erfüllt wird.

Störungsdauer: Intervall der geforderten Anwendungsdauer, in dem eine Störung besteht.

Ausfallabstand: Intervall der Anwendungsdauer zwischen zwei aufeinander folgenden Ausfällen (Störungen).

Für Bauelemente gibt es einen weiteren Ausdruck:

Ausfallsatz (Fraction Failure) ist der Anteil ausgefallener Bauelemente während einer anzugebenden Beanspruchungsdauer in % (d.h. je 100 Bauelemente).

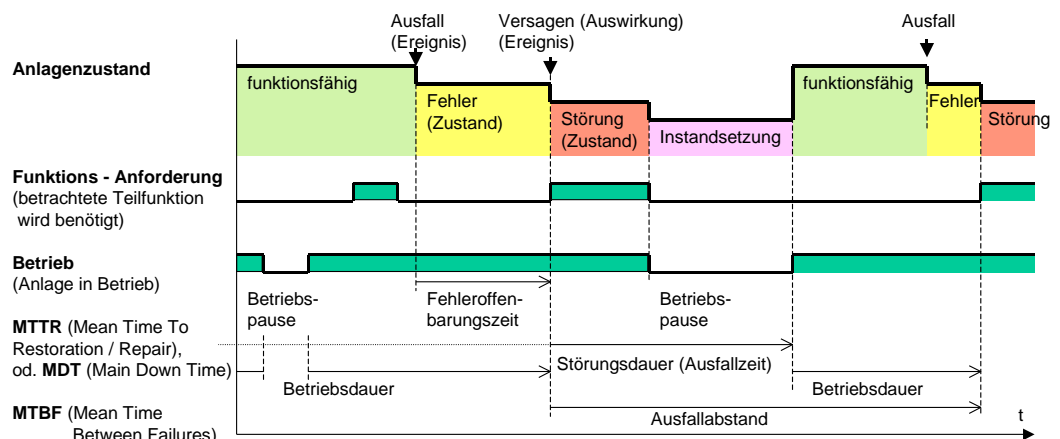


Bild 4.1: Ereignisse, Zustände und Zeiten

4.3 Wartungsmaßnahmen

Wartungsmaßnahmen haben einen entscheidenden Einfluss sowohl auf die Verfügbarkeit eines Systems als auch auf die Wirtschaftlichkeit eines Betriebes. Die wichtigsten Wartungsstrategien sind:

- Vorbeugende (periodische) Wartung,
- Wartung nach einer Störung bzw. nach einem Ausfall, und
- Wartung bei Anlagen - Revision: Anlagenstillstand bei Anlagen mit hohen Verfügbarkeitsanforderungen bei Dauerbetrieb über eine längere Zeit (z.B. Kraftwerke).

Vorbeugende Wartung ist nur für solche Komponenten sinnvoll, die einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Betriebsdauer und Abnutzung aufweisen. Dies gilt vorwiegend für bewegliche und mechanische Bauteile. Bei der vorbeugenden Wartung werden noch funktionsfähige, aber bereits abgenutzte Bauteile durch neue ersetzt. Die Wartungsperiode ist gemäß Betriebserfahrungen so festzulegen, dass ein Abnutzungs - bedingter Ausfall verhindert wird.

Da verschiedene Komponenten (z.B. redundante Pumpen) von der Gesamt - Betriebszeit der Anlage verschiedene Einzelbetriebszeiten haben können ist ein Wartungsprotokoll der IMS - Funktionen der Mensch - Maschine - Kommunikation sinnvoll, in dem für jede zu wartende Komponente zumindest die Betriebsstunden sowie die Schaltspiele seit der letzten Wartung summiert und angezeigt werden. Dadurch können unnötige, weil zu frühe Austauschaktionen vermieden werden. Bei Prozess - naher Leittechnik werden solche Aufgaben bereits von der Antriebssteuerung wahrgenommen. Stehen diese Betriebsdaten sowie die Typ-Daten der Geräte über das Bus - System dem Betrieb zur Verfügung, so wird dadurch der Aufwand für die vorbeugende Wartung verringert ("Asset Management").

Zur Optimierung der **Revisionswartung** gibt es von den zuständigen Genehmigungsbehörden zugelassene **Stress - Berechnungsprogramme** für Komponenten oder ganze Anlagen. Dabei wird der tatsächlich aufgetretene "Stress" (Belastung, Abnutzung) in einem Modell aufsummiert. Bei nachgewiesenen "schonender" Betriebsweise können die sonst nach festem Zeitplan verlangten Revisonstermine verschoben werden, was die Betriebskosten wesentlich verringert (Bild 4.3.1).

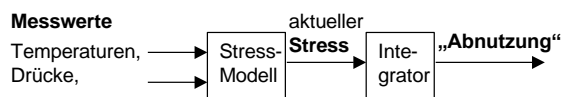


Bild 4.3.1: Prinzip einer Stress - Berechnung

In der Kraftwerkstechnik sind solche Rechner bereits Standard, insbesondere für die Dampferzeuger (Kessel). Für sie bedeuten häufige und starke Temperaturwechsel einen hohen "Stress", weitgehend konstante Temperaturen oder langsame Änderungen dagegen einen geringen.

Für solche Komponenten wie z.B. elektronische Bauteile / Geräte, die keine Abnutzungserscheinungen aufweisen, ist periodische Wartung nicht sinnvoll. Dadurch können im Gegenteil sogar Störungen verursacht werden.

Hier wird hohe Verfügbarkeit - abgesehen von Redundanzen - durch Hilfsmittel zur **effektiven Fehlerdiagnose** und schnellen Instandsetzung erreicht.

Innerhalb der Geräte für Steuerung und Regelung werden folgende Maßnahmen angewandt:

- Selbsttest- und Diagnoseprogramme,
- Plausibilitätstests,
- Programmablaufüberwachung,
- Rechenzeitüberwachung,
- Programmwiederholung (roll-back),
- Überwachung der Gültigkeit von Daten (Datenintegrität),
- Überwachung der Gültigkeit von Prozesssignalen (z.B. Drahtbruch, Erdschluss).

In der Formel zur Bestimmung der Verfügbarkeit

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

steht die mittlere Reparaturzeit im Nenner, verringert also die Verfügbarkeit. Diese Zeit besteht aus:

- Zeit bis zum Eintreffen des Wartungspersonals nach Auftreten einer Störung,
- Störungsanalyse,
- Fehlersuche,
- Austausch / Reparatur der defekten Komponente,
- Test und Wiederinbetriebnahme.

Störungsanalyse und Fehlersuche können durch **Diagnoseeinrichtungen** erleichtert oder ganz übernommen werden, so dass Zeit eingespart und dadurch die Verfügbarkeit wesentlich erhöht wird.

Herkömmliche Diagnosehilfsmittel zeigen die aktuell anstehenden Einzel - Störungen bzw. - Fehler auf, idealerweise nicht nur als Liste sondern grafisch in einem Leitanlagenmodell, sowie mit Erklärungen und Behebungsvorschlägen zu den Einzelfehlern. Das Wartungspersonal muss daraus Schlüsse ziehen und über Maßnahmen entscheiden.

Manchmal werden bereits **"Expertensysteme"** eingesetzt, die darüber hinaus die **aktuelle Störungen** - Kombination und den aktuellen Zustand mit in geeigneter Form abgespeichertem Expertenwissen vergleichen und daraus genaue Anweisung für zu treffende Maßnahmen geben.

Durch die verbesserte Leitanlagen - interne Kommunikation und die Anbindungsmöglichkeit an WANs ist auch schon **Fern - Diagnose** durch Experten beim Betreiber (Zentrale) oder beim Hersteller möglich.

Ebenso gibt es bereits Werkzeuge, die für verschiedene Fehlerszenarien für den Spezialisten selbstständig Daten aus einem Leitsystem holen, z.B. Log- Dateien, Dumps, usw. Der Anwender ist damit oft überfordert. Eingesetzt z.B. beim ABB- Prozessleitsystem AC 800M.

Die Bilder 5.1.7 - 9 zeigen die Risikographen der verschiedenen Normen zur Bestimmung des geforderten SIL. Zum Vergleich zeigt Bild 5.1.10 die (nicht mehr gültigen) Kategorien der EN 60204.

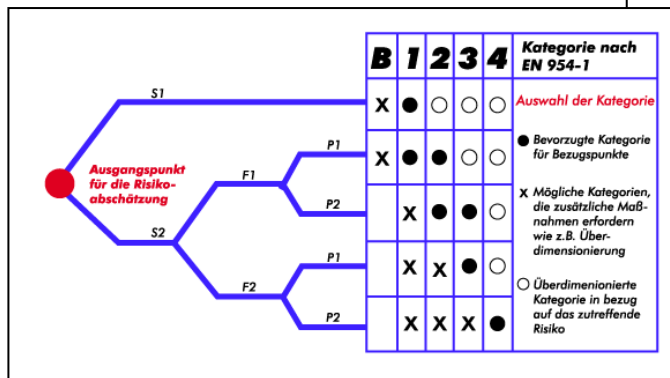


Bild 5.1.10: EN 60204 (nicht mehr gültig)

Was geschehen soll, wenn eine Maschine durch eine Sicherheitseinrichtung (oder eine NOT-AUS- Taste) stillgesetzt werden soll, gibt die Norm **60204** als „STOPP-Kategorien“ 0 .. 2 fest:

0: Stillsetzen durch sofortiges Ausschalten der Energiezufuhr zu den Maschinenantrieben (ungesteuertes Stillsetzen)

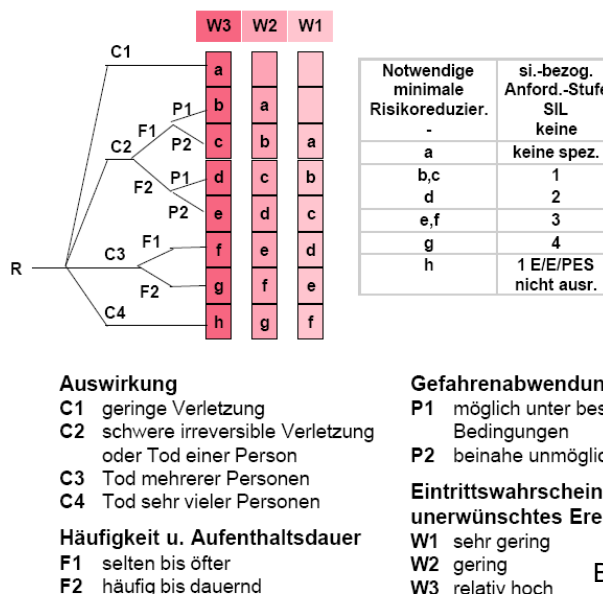
1: gesteuertes Stillsetzen, wobei die Energiezufuhr zu den Maschinenantrieben erst bei Stillstand abgeschaltet wird.

2: gesteuertes Stillsetzen, bei dem die Energiezufuhr zu den Maschinenantrieben erhalten bleibt (nicht zulässig für NOT-AUS - Funktion)

In der Prozessautomation muss meist der Produktionsprozess gestoppt werden, detaillierte Forderungen ergeben sich aus den Verfahren. So muss z.B. in einer Feuerungsanlage die Brennstoffzufuhr unterbrochen werden, wobei aber für den Abtransport der Restwärme zu sorgen ist

Bild 5.1.9

Risikograph der IEC 61508



Risiko
bezogen auf die identifizierte Gefährdung

**Schadens-
Ausmaß S**

Frequenz und Dauer der Aussetzung F
Eintritts- Wahrscheinlichkeit W
Möglichkeit der Vermeidung der Gefährdung P

DIN 62061

F Frequenz / Aufenthaltsdauer	W Eintritts- Wahrscheinlichkeit	P Möglichkeit der Vermeidung
≥ 1 Std 5	häufig 5	
> 1 Std .. ≤ 1 Tag 5	wahrscheinlich 4	
> 1 Tag .. ≤ 2 Woch. 4	möglich. 3	unmöglich. 5
> 2 Wo. .. ≤ 1 Jahr 3	selten 2	möglich 3
> 1 Jahr 2	vernachlässigbar 1	wahrscheinlich 1

Auswirkungen:	S Schadens- ausmaß
Tod, Verlust Auge oder Arm	4
Permanent, Verlust Finger	3
Reversibel, med. Behandl.	2
Reversibel, Erste Hilfe	1

Klasse K = F + W + P = 5 + 4 + 3				
3-4	5-7	8-10	11-13	14-15
SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
andere Maßnahmen		SIL 1	SIL 2	SIL 3
			SIL 1	SIL 2
				SIL 1

Beispiel: „Eine rotierende Spindel muss bei Öffnen einer Schutzhaube sicher stillgesetzt werden“

Gefährdung:	S	F	W	P	K	Sicherheitsmaßnahme:	Sicher?
Rotierende Spindel	3	5	4	3	12	Überwachung Schutzhaube mit SIL 2	Ja, mit SIL2

Bild 5.1.8

Risiko- Parameter: DIN 13849

S = Schwere der Verletzung
S1 = leichte (üblicherweise reversible) Verletzung
S2 = schwere, üblicherweise irreversible Verletzung einschließlich Tod

F = Häufigkeit (Frequenz) und / oder Aufenthaltsdauer der Gefährdungsaussetzung
F1 = selten bis öfter und / oder Zeit der Gefährdungsaussetzung ist kurz
F2 = häufig bis dauernd und / oder Zeit der Gefährdungsaussetzung ist lang

P = Möglichkeit zur Vermeidung der Gefährdung oder Begrenzung des Schadens
P1 = möglich unter bestimmten Bedingungen
P2 = kaum möglich

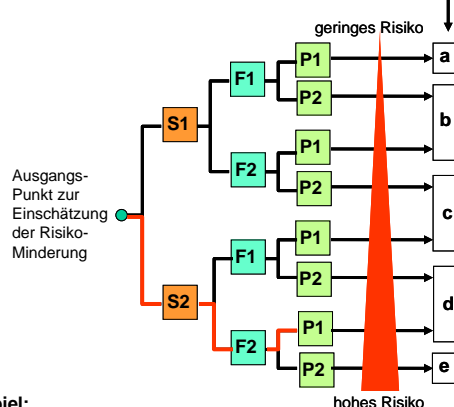
Vorgehensweise:

- Schadensausmaß S festlegen:
- Häufigkeit und/oder Aufenthaltsdauer der Gefährdungsaussetzung F festlegen:
- Möglichkeit zur Vermeidung der Gefährdung oder Begrenzung des Schadens P festlegen:

Beispiel:

S2 = schwere, irreversible Verletzung
F2 = häufig bis dauernd und / oder lange Gefährdungsaussetzung
P1 = möglich unter bestimmten Bedingungen

Erforderlicher Performance Level PL:



5.3 Validierung

Dem „Performance Level“ und dem „Safety Integrity Level“ können mittlere Versagenswahrscheinlichkeiten zugeordnet werden (Tabelle 5.3.1). Durch sie können Geräte bewertet und darauf geprüft werden, ob sie den Sicherheitsanforderungen genügen.

Man unterscheidet:

- PFD „Probability of Failure on Demand“

für „**niedrige Anforderungsrate**“ (d.h. ca. einmal pro Jahr), z.B. in Chemieanlagen. Dabei ist die Zeit zwischen den Tests („wiederholende Prüfung“) wesentlich kleiner als die Ansprechhäufigkeit,

- PFH (Probability of Failure per Hour) für hohe Anforderungen (z.B. Auto, Lichtschranken an Maschinen, usw.). Dabei ist die Zeit zwischen den Tests („wiederholende Prüfung“) wesentlich größer als die Ansprechhäufigkeit der Schutzeinrichtung.

Merk – Hilfe: Der PFD- Exponent entspricht der SIL-Klasse.

Für die meisten Anwendungen reicht SIL 3. Dafür sind z.Zt. viele SPS wie z.B. SIMATIC S7-400F und die HIMA – Systeme zertifiziert.

Für besonders hohe Anforderungen wie z.B. NOT-AUS auf Bohrseln ist SIL 4 gefordert. Dafür ist z.Zt. nur das fest verdrahtete PLANAR 4 – System von HIMA zertifiziert.

Bei der Anwendung der PFD / PFH- Werte ist zu beachten, dass sich die angegebenen Werte immer auf eine gesamte „Sicherheitsrelevante Funktion“ beziehen, also auf ein ganzes Teilsystem. Dazu sind die PFD / PFH der einzelnen Komponenten zu berechnen, wobei ihre Fehlerwahrscheinlichkeit (siehe Kap. 3.2) zu berücksichtigen ist.

In Bild 5.3.1 ist das für eine Steuerung einschließlich Sensor, Ein/Ausgabegerät und Aktor (Absperrventil) dargestellt. Angenommen, die zulässige Ausfallwahrscheinlichkeit für das gesamte Teilsystem PFD_{Syst} sei 10^{-2} , dann darf die PDF2 (für das Eingabegerät) als Anhaltswert nur 10% davon betragen, also 10^{-3} . Letztlich gilt natürlich nur die Summe pro Sicherheitskreis.

Für den Nachweis einer bestimmten Ausfallwahrscheinlichkeit einer Komponente gibt es ziemlich komplizierte Verfahren. In der EN 61508 / 6 sind Formeln und Werte in Tabellen angegeben. Für zertifizierte Geräte werden Werte mitgeliefert.

Eine einfache Faustformel für $PFD \ll 1$ und einen Kanal ist:

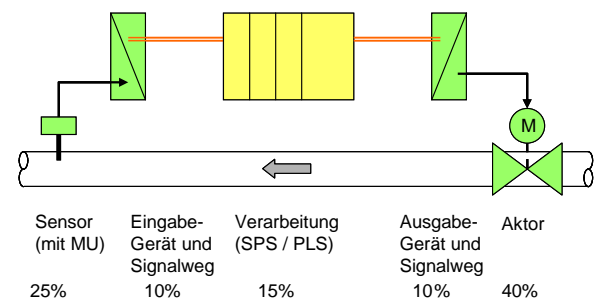
$$PFD = 1 - e^{-\lambda_D t_{CE}} \approx \lambda_D t_{CE}$$

mit λ_D für „Dangerous Failures“ /h⁻¹
und t_{CE} für die „Unklarzeit“ (siehe Bild 5.3.2)

Hier spielt das Zeitintervall der Wiederholungsprüfung eine Rolle. Dazu wird ein Modell mit bestimmten Annahmen zugrunde gelegt.

Tabelle 5.3.1: PL / SIL / PFD / PFH

Performance-Level DIN 13849-1:	Safety Integrity Level DIN 61508:	mittlere Versagens-Wahrscheinlichkeit bei Anford. / pro Stunde PFD / PFH
a		$\geq 10^{-5} \dots < 10^{-4}$
b c	SIL1	$\geq 10^{-2} \dots < 10^{-1} / \geq 10^{-6} \dots < 10^{-5}$
d	SIL2	$\geq 10^{-3} \dots < 10^{-2} / \geq 10^{-7} \dots < 10^{-6}$
e	SIL3	$\geq 10^{-4} \dots < 10^{-3} / \geq 10^{-8} \dots < 10^{-7}$
-	SIL4	$\geq 10^{-5} \dots < 10^{-4} / \geq 10^{-9} \dots < 10^{-8}$



$$PFD_{Syst} = PFD1 + PFD2 + PFD3 + PFD4 + PFD5$$

Bei $PFD_{Syst} = 10^{-2}$: $PFD2$: 10% von $10^{-2} = 10^{-3}$

Bild 5.3.1: PFD / PFH – Verteilung über ein Teilsystem

→ Bei konstanter Ausfallrate λ („Boden“ der Badewannenkurve)

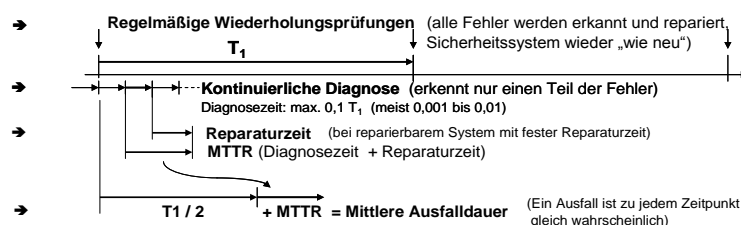


Bild 5.3.2: „Unklarzeit“

Genau ist die Ausfalldauer

- für gefährliche, unerkannte Fehler (λ_{DU}): $T_1 / 2 + MTTR$

- und für gefährliche, entdeckte Fehler (λ_{DD}): $MTTR$

Daraus errechnet man die „Unklarzeit“ t_{CE} :

$$t_{CE} = \frac{\lambda_{DU}}{\lambda_D} \cdot \left(\frac{T_1}{2} + MTTR \right) + \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_D} \cdot MTTR$$

Das Anforderungs- Zeitintervall (**PFD**) sollte dabei $> T_1 / 2$ sein.

PFH entspricht etwa dem λ_{DU} :
mit λ_{DU} für Dangerous Failures, Undetected

$$PFH \cong \lambda_{DU}$$

PFD und PFH sehen zwar dem λ ähnlich, sind aber dimensionslose Zahlen, die berechnet werden müssen.

Ob eine sicherheitsrelevant einzusetzende Einrichtung den geforderten SIL erfüllt muss berechnet bzw. nachgewiesen werden. Die Normen enthalten dazu genaue Anweisungen, z.B. die DIN IEC 62061 und die DIN EN ISO 13849.

In der Basisnorm wird die „**FMEDA**“ angewandt, die **Failure Mode, Effects and Diagnostic Analysis**. Dabei werden mehrere Aspekte betrachtet:

Tab. 5.3.2: HFT: Fehlertoleranz „N“

N	Ausführung	Verlust der sicherheitstechn. Funktion bei:
0	einkanalig	1. Fehler
1	zweikanalig	2. Fehler
	usw.	

- **Fehlertoleranz der HW** (HW Failure

Tolerance), die Fähigkeit einer funktionalen Einheit, auch bei Auftreten eines Fehlers zu funktionieren (Tab. 5.3.2), IEC 61508 / 2

- **Anteil ungefährlicher Ausfälle SFF** (Safe

Failure Fraction): Anteil derjenigen Fehler, die das sicherheitstechnische System nicht in einen Gefahr bringenden Zustand versetzen können (Bild 5.3.3), IEC 61508 / 2, Anh.C

Einen Eindruck von der durchschnittlichen Verteilung dieser Fehlerarten gibt Bild 5.3.4.

Die λ - Werte liegen als Erfahrungswerte in verschiedenen Datenbanken vor oder müssen vom Hersteller eines neuen Gerätes ermittelt werden.

Anteil der Fehler, die das sicherheitstechnische System **nicht** in einen Gefahr bringenden Zustand versetzen können

$$SFF = \frac{\lambda_s + \lambda_{dd}}{\lambda_s + \lambda_d}$$

λ_s „sichere“ Fehler: führen zu ungefährl. Zustand
 λ_d „gefährliche“ (dangerous) Fehler,
 λ_{dd} „gefährliche, entdeckte (detected) Fehler,
 λ_{du} „gefährliche, unentdeckte Fehler

Bild 5.3.3: SFF

Wenn nicht anders bekannt nimmt man an:

$$\lambda_s = \lambda_d = \lambda / 2$$

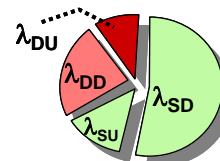


Bild 5.3.4: λ - Anteile

Tab. 5.3.3: HW-Sicherheitsintegrität

- **HW- Sicherheitsintegrität**,
Tab. 5.3.3, IEC 61508 / 2

	Typ A	Typ B
Ausfallverhalten:	gut definiert	nicht ausreichend definiert
Verhalten bei Fehlern:	vollständig ermittelbar	nicht vollständig ermittelbar
Erfahrungswerte zu SFF:	liegen vor	unzureichend

Diese Aspekte werden auch als „**Architektur-Einschränkungen**“ bezeichnet und begrenzen die SIL- Einstufung, wie Tab. 5.3.4 zeigt:

Tab. 5.3.4: Architektureinschränkungen

SFF	max. SIL bei HFT, je: Typ A / Typ B		
	N=0	N=1	N=2
< 60%	SIL1 / -	SIL2 / SIL1	SIL3 / SIL2
60 ... 90%	SIL2 / SIL1	SIL3 / SIL2	SIL4 / SIL3
90 ... 99%	SIL3 / SIL2	SIL4 / SIL3	SIL4 / SIL4
> 99%	SIL3 / SIL3	SIL4 / SIL4	SIL4 / SIL4

- **Ausfallwahrscheinlichkeit PFD / PFH**

Die Ausfallwahrscheinlichkeit wird für zwei Anforderungsarten angegeben (siehe Seite 12).

Tabelle 5.3.5 zeigt, für welchen SIL welche PFD / PFH- Werte gefordert werden. Für die endgültige Einstufung gilt der kleinere Level aus den Tabellen 5.3.4 und 5.3.5

Tabelle 5.3.5: SIL / PFD / PFH

SIL	PFD	PFH
1	$\geq 10^{-2} \dots < 10^{-1}$	$\geq 10^{-6} \dots < 10^{-5}$
2	$\geq 10^{-3} \dots < 10^{-2}$	$\geq 10^{-7} \dots < 10^{-6}$
3	$\geq 10^{-4} \dots < 10^{-3}$	$\geq 10^{-8} \dots < 10^{-7}$
4	$\geq 10^{-5} \dots < 10^{-4}$	$\geq 10^{-9} \dots < 10^{-8}$

7.2.3 Auswahlsschaltungen

Auch durch Auswahlsschaltungen kann die Sicherheit (oder Verfügbarkeit) erhöht werden (Bild 7.2.2).

Bei 2 Kanälen ist eine 2v2 - Auswahl für eine Freigabe sicher, und eine 1v2 für eine Abschaltung bei "Nicht GUT", also im Bild bei offenem Kontakt.

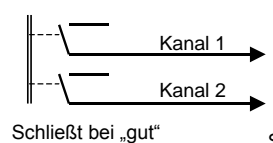
Aktive Abschaltung mit 1 (ganz rechts) ist zwar verfügbar, gilt aber nicht als "Sicherheits-gerichtet".

Bei 3 Kanälen ist eine 2v3 - Auswahl gleichermaßen verfügbar und sicher.

In nebenstehender Tabelle ist das im Sinne von „Sicherheits - gerichteten Systemen“ geforderte Betriebsverhalten der verschiedenen Auswahlsschaltungen dargestellt.

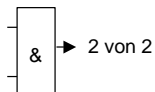
Auswahlsschaltungen

- bei 2 Kanälen einer Messung:



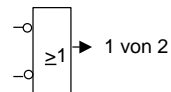
Schließt bei „gut“

Freigabe:



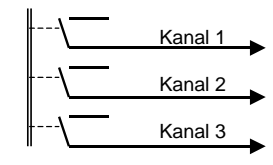
Sicher, aber geringe Verfügbarkeit
(Abschaltung bei 1 gestörten Kanal)

Schutz (Abschaltung):



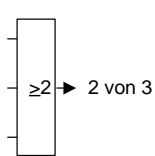
Oder: schließt zum Abschalten:
verfügbarer, nicht Sicherheits - gerichtet!

- bei 3 Kanälen einer Messung:



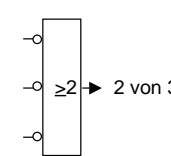
Schließt bei „gut“

Freigabe:



Sicher und verfügbar: toleriert 1 gestörten Kanal

Schutz (Abschaltung):



Oder: schließt zum Abschalten

Bild 7.2.2: Auswahlsschaltungen

Sicherheits - gerichtete Systeme:

Betriebsverhalten

Abk.	„gut“: geschlossen, „1“ = OK	Erläuterung	Reaktion im Fehlerfall: bei Erstfehler:	bei Zweitfehler:
1oo2		UND - Verknüpfung von 2 Kanälen	Abschaltung	-
1oo1D		einkanalig mit Diagnose	Abschaltung	-
1oo2D		ODER - Verknüpfung von 2 Kanälen mit Diagnose	fehlerhafter Kanal wird abgeschaltet, Betrieb bleibt erhalten	Abschaltung
2oo3		2 von 3 - Verknüpfung von 3 Kanälen	fehlerhafter Kanal wird ignoriert, Betrieb bleibt erhalten für erlaubte Zeit*	Abschaltung
2oo4		2 von 4 - Verknüpfung von 4 Kanälen	fehlerhafter Kanal wird ignoriert, Betrieb bleibt erhalten	2. fehlerh. Kanal wird ignoriert, Betrieb bl. erhalten für erlaubte Zeit*
2oo4D		2 parallele 1oo2D - Systeme (HIMA)	fehlerhaftes Syst. wird abgeschaltet, Betrieb bleibt <i>ungeschränkt</i> erhalten (einkanalig bis SIL3 zertifiziert!)	Abschaltung

7.2.4 Komplementäre Logik

wird oft als 2. Logik - Kanal programmiert, dazu stehen besondere Funktionsbausteine zur Verfügung.

7.2.5 Mehrkanaliges Schutzsystem

Schutz von Anlagen mit hohem Gefahrenpotenzial erfolgt durch spezielle Schutzsysteme, die einen Betrieb nur im "GUT" - Zustand einer Reihe von Bedingungen erlauben. Bild 7.2.3 zeigt das Prinzip mit zwei 3-kanaligen Messungen und drei Auswertekanälen. Jede Auswertung erhält (über eine spezielle Bus-Verbindung) alle 3 Geberkanäle, wertet sie in 2v3, und bildet das Ergebnis (UND zwischen den Messungen). Ein Voter außerhalb bildet in 2v3 die Betriebsfreigabe.

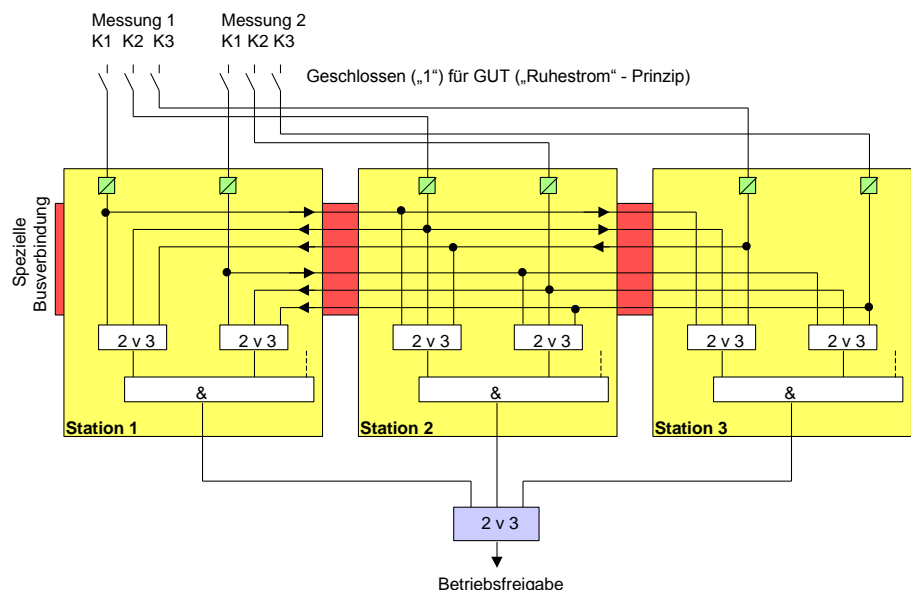


Bild 7.2.3: Dreikanaliges Schutzsystem

Elektro- Magnetische Verträglichkeit (EMV)

Diese Unterlage führt in die EMV- Probleme ein soweit diese für Automatisierungssysteme relevant sind und zeigt nötige Gegenmaßnahmen auf. Die Unterlage basiert teilweise auf einem gleichnamigen Skript von H. Heckmann. Detailliertere Angaben sowie die quantitative Behandlung finden sich in der Literatur, z.B. [1, 2].

Inhalt:

	Seite:
1. Begriffe, Vorgänge	
1.1 Allgemeine Begriffe, Modelle	1
1.2 Pegel / Pegeldifferenzen	2
1.3 Elektromagnetische Vorgänge	3
2. EMV- Analyse, Immunitätszonen	3
3. Kopplung	
3.1 Kopplungswege (galvanisch, kap., ind.)	5
3.2 Kopplungsarten (Gegentakt / Gleichtakt)	6
4. Maßnahmen an Niederspann.- Störquellen	
4.1 Beschaltung von geschalteten Induktivitäten	7
4.2 Beschaltung von Universalmotoren	8
5. Maßnahmen in elektronischen Einrichtungen	
5.1 Leiterbahnen auf Baugruppen	9
5.2 Erdung des Bezugsleiters	10
5.3 Eingänge (Filter, Überspannungsableiter)	11
5.4 Geräte, Schränke (Kapselung, Erdung)	11
6. Maßnahmen an Signalleitungen	
6.1 Niederspannungsanlagen- Einflüsse	12
6.2 Verdrillung	12
6.3 Schirmung	13
6.4 Erdschleifentrennung	14
7. Beeinflussungsdarstellung, Klassifizierung	
7.1 Amplitudendichte- Spektrum (EMV- Tafel)	14
7.2 Störbelag und Verträglichkeit	15
8. EMV- Normung	
8.1 Gremien, Gesetze	17
8.2 Normen- Nummern (Auszug DIN VDE EN)	18
8.3 EMV- Anforderungen an die Leittechnik (Störfestigkeitsklassen)	19
8.4 EMV- Betriebsklassen	20
8.5 Störfestigkeitsanforderungen, genormte Testsignale	21
Literaturhinweise	22

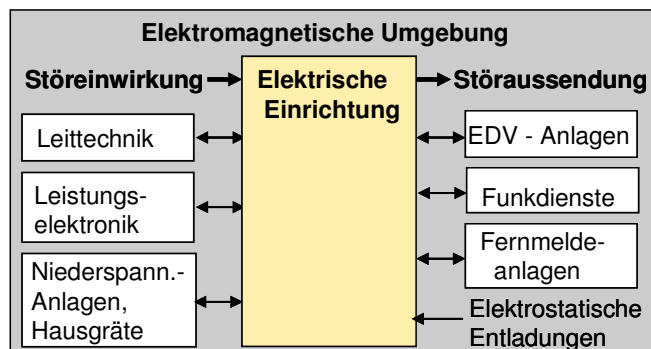


Bild 1.1: „Elektro- Magnetische Verträglichkeit“

1. Begriffe, Vorgänge

1.1 Allgemeine Begriffe

Miniaturisierung in der Elektronik mit dem Ziel steigender Funktionskomplexität auf immer kleinerem Raum führt zu immer kleineren Signalleistungen und Reaktionszeiten. Zudem werden die Abstände zwischen Leittechnik und Leistungssystemen immer geringer, Einrichtungen der Leittechnik werden in Leistungssysteme einbezogen. Diese Entwicklung begünstigt die gegenseitige Beeinflussung von Systemen, und man spricht von „Elektromagnetischer Umgebung“ (Bild 1.1). Hierin kann jede Elektrische Einrichtung sowohl als „**Störsenke**“ Störeinwirkungen anderer Einrichtungen ausgesetzt sein als auch selbst als „**Störquelle**“ andere Einrichtungen stören (Bild 1.2).

Beeinflussungsmodell:

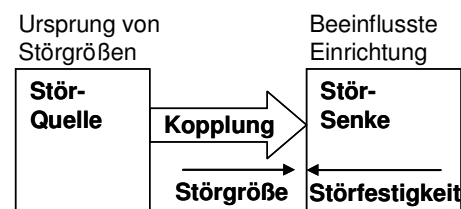


Bild 1.2: Allgemeines Beeinflussungsmodell

Mit „Elektro- Magnetische Verträglichkeit“ (EMV) wird die Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung (vom einzelnen Gerät bis zur komplexen Anlage) ausgedrückt, in ihrer elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu funktionieren ohne diese Umgebung unzulässig zu beeinflussen.

Dabei ist die „**Störgröße**“ die elektromagnetische Größe, die über eine Kopplung eine Einrichtung stört. Die „**Störfestigkeit**“ ist eine qualitative Aussage, dass die gestörte Einrichtung trotzdem funktioniert.

„Elektro- Magnetische Beeinflussung“ (EMB) meint die „Einwirkung elektromagnetischer Größen auf Stromkreise, Geräte, Systeme oder Lebewesen“.

Im Englischen entspricht

EMV: „**E**lectro **M**agnetical **C**ompatibility“ (EMC) und ENB: „**E**lectro **M**agnetical **I**nterference“ (EMI).

Bild 1.3 zeigt in einem vereinfachten Modell über welche Schnittstellen eine Leiteinrichtung elektromagnetisch beeinflusst werden kann.

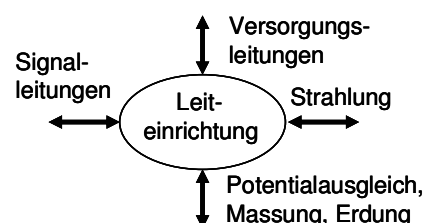


Bild 1.3: Vereinfachtes Schnittstellenmodell

4. Maßnahmen an Niederspannungs-Störquellen

Die meisten EMV- Einflüsse auf Automatisierungssysteme gehen von Einrichtungen der Niederspannungsanlagen aus.. Soweit möglich ist es daher besonders sinnvoll, diese Einflüsse zu verringern.

4.1 Beschaltung geschalteter Induktivitäten

Beim Abschalten, genau: beim Abreißen des Schaltfunken, bewirkt die in einer Induktivität gespeicherte Energie die Selbstinduktionsspannung U_L (Bild 4.1.1). Der vorher geflossene Strom will sozusagen weiter fließen (die Induktivität lässt keine sprunghafte Stromänderung zu), daher liegt U_L mit U_B in Reihe.

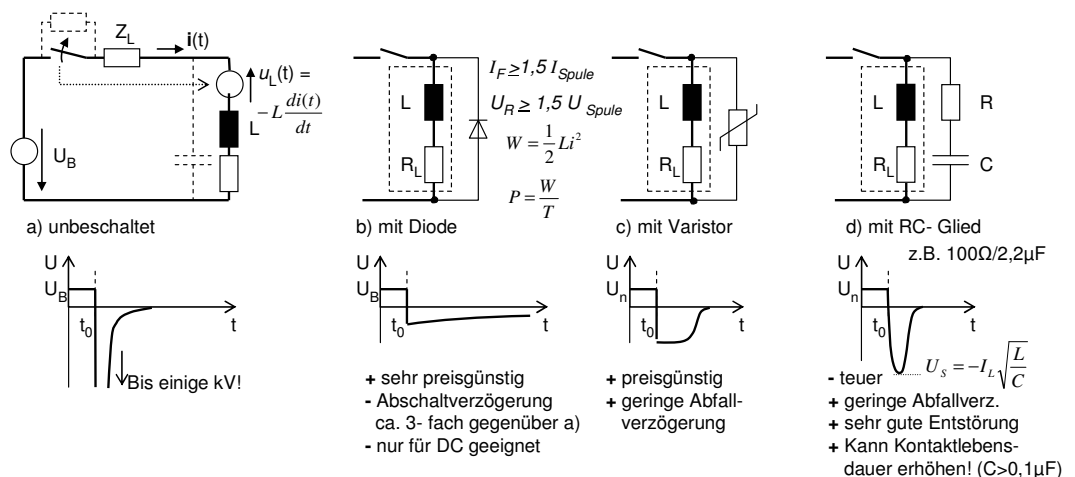


Bild 4.1.1: Beschaltung von Spulen (z.B. Relais, Schütz, Magnetventile)

Bild 4.1.1a zeigt oben die Entstehung von U_L und unten deren Verlauf. Schon bei einem 24 V- Relais beträgt sie einige kV und der Anstieg ist so steil, dass er Frequenzanteile im MHz- Bereich enthält. Dadurch können Störspannungen in Signalleitungen eingekoppelt werden, die Funktionen stören oder sogar Bauelemente zerstören.

Kontakte in Elektronik- Ausgabegeräten sind zu deren Schutz oft beschaltet (zumindest mit einer Diode). Dann treibt U_L einen Strom $i(t)$ über die Leitungsimpedanzen und die Beschaltung. Dabei können durch Kopplung noch erhebliche störende Wirkungen auftreten. Daher ist es besser – wenn von der Anordnung her möglich – direkt an der Induktivität zu beschalten.

Bild 4.1.1b zeigt eine Beschaltung mit einer **Diode**. Diese preiswerteste Methode hat aber Nachteile:

- Wegen der kleinen Durchlassspannung der Diode wird die Spulenenergie hauptsächlich in der Spule abgebaut, was zu einer ca. 3 mal längeren Abfallzeit z.B. eines Relais führt.
- Die Diode ist nur bei Gleichspannungsbetrieb einsetzbar.

Für Relais ist der Diodentyp 1N4007 gut geeignet. Ansonsten sind im Bild Hinweise auf die Dimensionierung enthalten. Für größere Leistungen dürfen keine normalen Flächendioden eingesetzt werden, da diese langsamer durchschalten und sich vorher mit Hilfe ihrer Kapazität eine Schwingung aufbaut, welche die Diode in Sperrrichtung zerstört. Hier sind Lawinendioden (**Controlled Avalanche**) vorzuziehen, die einen großen Sperrstrom erlauben.

Manchmal werden auch **Zenerdioden** eingesetzt (AC zwei in Anti- Reihenschaltung), um in der Spule.

weniger Energie abzubauen und dadurch die Abfallzeit zu verringern. Dafür gibt es spezielle schnelle Lawinendioden, die „**Supressordioden**“. Bei HF ist wegen ihrer großen Kapazität eine kapazitätsarme Diode in Reihe zu schalten.

Bild 4.1.1c: Beschaltung mit einem **Varistor**.

Das ist eine preisgünstige Lösung für DC und AC mit geringer Abfallverzögerung. Allerdings entsteht eine merkliche, steil ansteigende Selbstinduktionsspannung in Höhe der gewählten Nennspannung.

Bild 4.1.2 zeigt die Zusammenhänge von Spannung, Strom und Widerstand beim Varistor.

Dimensionierung: nach den gleichen Faustregeln wie bei der Diode (Bild 4.1.1), genau: [2].

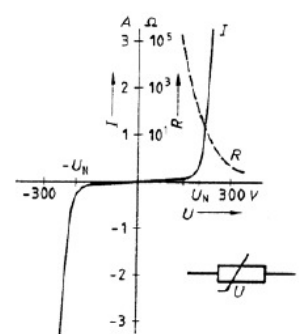


Bild 4.1.2: Varistor

Bild 4.1.1d zeigt schließlich die Beschaltung mit einem **RC- Glied**. Das ist die einzige Methode, den Anstieg der Selbstinduktionsspannung zu verlangsamen. Es bleibt eine sehr Sinus- ähnliche Schwingung mit tiefer Frequenz, so dass trotz relativ hoher Spannung die Kopplung stark verringert wird. Die Frequenz sollte aber nicht in den Bereich der Betriebsfrequenz gelegt werden, da ein Relais sonst „brummt“ oder durch Einstreuung eingeschaltet werden kann.

Bei genügend großem C kann diese Beschaltung auch die Lebensdauer des Kontaktes verlängern. Niemals aber C ohne R verwenden!

Bild 4.1.3 zeigt Formeln über die Zusammenhänge und Berechnungsbeispiele.

Zusammenhänge:

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

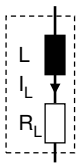
$$X_L = \omega L$$

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega}$$

$$P = \frac{0,5 \cdot L I^2}{T}$$

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$$

Induktivität:
Beschaltungs-
Leistung bei $T = 0,5$ s
(bei AC: $I = I_L \cdot 1,414$)
Resonanzfrequenz
Für RC- Glieder:



Berechnungsbeispiele:

a) Industrirelais AC 230 V

I_L bei 230 V /50 Hz: 7,1 mA
 R_L : 7,4 k Ω
 L : 100,4 H

P : 5 mW

f_R bei 10 nF: 159 Hz
 f_R bei 100 nF: 50,25 Hz

a) Industrirelais DC 24 V

I_L bei AC 30 V /50 Hz: 12,5 mA
 I_L bei DC 24 V: 57 mA
 R_L : 419 Ω
 L : 7,5 H
 P : 24 mW

f_R bei 10 nF: 580 Hz
 f_R bei 100 nF: 184 Hz

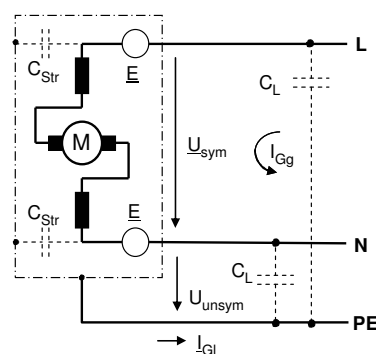
Bild 4.1.3: rechnerische Zusammenhänge und Berechnungsbeispiele

4.2 Beschaltung von Universalmotoren

Bild 4.2.1 zeigt links die Verhältnisse an einem Universalmotor. Die durch die Kommutierung erzwungenen Stromänderungen erzeugen in den Feldwicklungen Selbstinduktionsspannungen („E“ im Bild), und damit eine Gegentakstörung U_{sym} . Über Streukapazitäten zum Gehäuse entsteht aber auch eine Gleich-
taktstörung U_{unsym} , deren Stromkreis über die Leitungskapazitäten C_L geschlossen ist.

Rechts im Bild 4.2.1 ist die übliche Beschaltung mit Kondensatoren dargestellt, deren Wirkung durch Drosseln in den Leitungen P und N noch verstärkt werden kann. Das reicht hier aus, da diese Motoren kleinere Induktivitäten haben als die Relais in Kap. 10.1. Rechnerisch sind die nötigen Werte wegen den unbekannten Streukapazitäten fast nicht ermittelbar, daher ungefähre Werte im Bild.

Störungs- Quellen



Beschaltung

mit 2 Kondensatoren

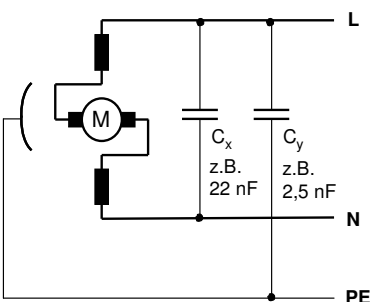


Bild 4.2.1: Störquellen und Beschaltung bei Universalmotoren

Bild 4.2.2: Beschaltung eines Kleinspannungs-Stellmotors

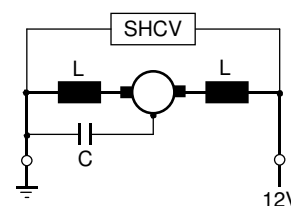


Bild 4.2.3: Abschaltimpuls ohne Entstör-Maßnahmen

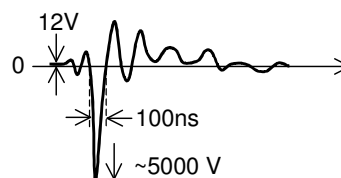


Bild 4.2.4: Abschaltimpuls mit Funkenlösch-Kondensator

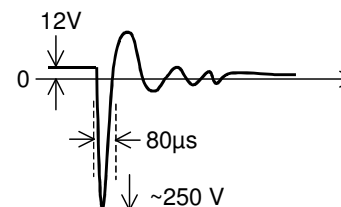
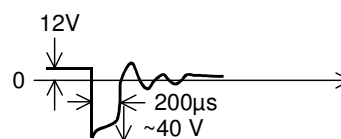


Bild 4.2.5: Abschaltimpuls mit SHCV



Die gesetzlich vorgeschriebene Funkentstörung realisiert man bei Kleinspannungsmotoren heute mit einem **SHCV** (**S**uper **H**igh **C**apacitive **V**aristor), der Parallelschaltung eines Varistors mit einem Vielschicht- Kondensator. Im Anwendungsbeispiel in Bild 4.2.2 (Motor: $U_N = 12$ V, $I_N = 1,8$) ist zusätzlich ein Kondensator gegen Gehäuse (C_Y) vorhanden.

Bild 4.2.3 zeigt, dass der Abschaltimpuls des blockierten Stellantriebs ohne Beschaltung bis 5 kV hoch sein kann.

Die herkömmliche Gegenmaßnahme besteht aus einem Funkenlöschkondensator, der den Impuls etwa um den Faktor 1000 verlängert und dabei auf etwa 250V absenkt (s. Bild 4.2.4)

Ein SHCV begrenzt die Abschaltspannung auf etwa 40V (s. Bild 4.2.5). Die Höhe der Restspannung hängt dabei von der Spannungsklasse des Varistors und von den Wickeldaten des Motors ab. Varistoren haben in dieser Anwendung gegenüber Zener - Dioden den Vorteil einer von der Polarität der angelegten Spannung unabhängigen Kennlinie. So erfüllen sie ihre Aufgabe deshalb auch unabhängig von der Laufrichtung des Motors gleich gut. Um den gleichen Effekt zu erzielen bräuchte man zwei Zener- Dioden.

Tabelle 2.5.1 zeigt die Kennbuchstaben der ersten Stelle und besonders interessante Kombinationen aus erstem und Zweitem Buchstaben gemäß DIN 6779-2

Tabelle 2.5.1: Kennbuchstaben für Referenzkennzeichen nach DIN 6779-2

Zweck / Aufgabe des Objekts		
A	zwei oder mehrere Zwecke oder Aufgaben	BE Messung elektr.Größe
B	Umwandlung einer Eingangsvariablen (phys. Eigenschaft, Zustand oder Ereignis) in ein zur Weiterverarbeitung bestimmtes Signal	BF Messung Durchfluss
C	Speicherung von Energie, Informationen, Material	BP Messung Druck,
D	(reserviert für spätere Normung)	BS Mess. Geschw., Drehz.
E	Technische Einrichtung zur Bereitstellung von Strahlung oder Wärmeenergie	BT Messung Temperatur
F	Direkter (selbsttätiger) Schutz eines Energie- oder Signalflusses (auch Schutzsyst.)	EM Brenner, Heizkessel
G	Initiierung eines Energie- oder Materialflusses; Erzeugung von Signalen, die als Informationsträger / Referenzquelle dienen	EP Wärmetauscher
H	Produzierung einer neuen Art von Material oder Produkten	FA-E Sicherung, Schutzschalt.
J	(reserviert für spätere Normung)	GL Band, Zuteiler
K	Verarbeitung u. Bereitstellung von Signalen oder Informationen (ohne F)	GP Pumpe, Schneckenförd.
L	(reserviert für spätere Normung)	GQ Gebläse, Sauger
M	Bereitstellung von mechanischer Energie zu Antriebszwecken	HL Sieb, Rechen, Rost
N	(reserviert für spätere Normung)	HP Destillation, Eindampfg.
P	Darstellung von Informationen	HW Mischer, Knetter, ..
Q	Kontrolliertes Schalten oder Variieren eines Energie-, Signal- oder Materialflusses (Signale in Regel- und Steuerkreisen: -> K und ->S)	KF Relais, Regler, I/O
		KH Ventilblock, Stell.Regl.
		KK Elektro - Hydr. Umf.
		MA Elektromotor
		MB Magnetantrieb
		PF Drucker, Schreiber
		PG Melder, Monitor, Lampe
		QA Leistungsschalter, Thyr
		QB Trennschalter, ...
		QM Absperrarmatur
		QN Regelarmatur, -Klappe

Zweck / Aufgabe des Objekts		
R	Begrenzung oder Stabilisierung von Bewegung oder Fluss von Energie, Information oder Material	RA Widerstand, Drossel, Diode
S	Umwandl. einer man. Betätigung in ein zur Weiterverarbeitg.bestimmtes Signal	RF Tiefpass, Entzerrer, Filter
T	Umwandlung von Energie unter Beibehaltung der Energieart, Umwandlung eines bestehenden Signals unter Beibehaltung des Informationsinhalts, Veränderung der Form oder Gestalt eines Materials	RM Rückschlagarmatur
U	Halten / Umschließen von Objekten in einer definierten Lage	SF Schalter, Tastatur, ...
V	Bearbeitung (Behandlung) von Materialien oder Produkten (einschließlich Vor- und Nachbehandlung)	SH Handrad, Wahlschalter
W	Leiten oder Führen von Energie, Signalen, Materialien oder Produkten von einem Ort zu einem anderen	TA Transformator, FU, DC/DC
X	Verbinden von Objekten	TB Gleich-/Wechselr., AC/DC
Y	reserviert für spätere Normung	TF Verst.,Trennwandl., U/I, el. MU
Z	Reserviert für spätere Normung	TM Werkzeugmaschine, Schere, ..
		UB Energie-Kabelpritsche, -Kanal,
		UC Energietechnik- Schrank
		UF MU-Gestell, Leiterpl., Bgr.Trig.
		UG Leitt.-Kabelpritsche, -Kanal
		UH Leittechnik- Schrank
		WA Sammelschiene ≥ 1 kV
		WC Sammelschiene < 1 kV
		WP Rohrleitung, Luftkanal
		XD Klemme, Steckdose < 1 kV
		XG Steckverbinder, Anschl.Elem.
		XL Rohrleitungsteile (Flansch,...).

Tabelle 2.5.2: Kennbuchstaben nach Stichworten geordnet (Anfang)

Die DIN 6779-2 enthält auch eine Zuordnung zwischen Stichworten und Kennbuchstaben. Der Anfang dieser Tabelle ist nebenstehend als Tabelle 2.5.2 dargestellt-

Objekt, Zweck, Aufgabe	Kennbuchstaben
Abdeckung	QU
Abfüllung	VL
Abhitzekeessel	EP
Ableiter (frei zur Anwendung unter FA bis FE)	F
Abschlammung (absetzen)	HN
Absetzbehälter	HN
Absorptionswäscher	HS
Absperrarmatur	QM
Absperrereinrichtung (für flüssige und fließfähige Stoffe; keine Armatur)	QR
Absperrung	FQ
Abstandsmessung	BG
AC/DC-Umformer	TB
Airbag	FN
Aktivkohleabsorbierender	HS
Akustisches Signal (elektrisch)	PG
Akustisches Signalgerät (mechanisch)	PG
Amperemeter	PG
Amplitudenmessung	BG
Analysemessung	BQ

Tabelle 2.5.3
zeigt einige Besonderheiten:

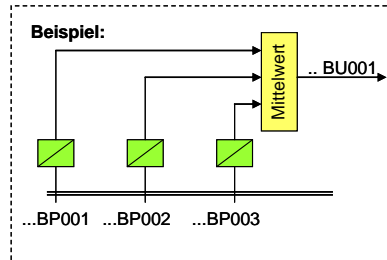
Links sind einige typische Buchstabenkombinationen zur Kennzeichnung von Geräten angegeben.

Die rechte Spalte listet die Messungen auf. Der Erstbuchstabe ist stets „B“, der Zweitbuchstabe kommt aus dem Internationalen „Mess- Alphabet“.

Links unten ein Beispiel für eine zusammengesetzte Größe.

Tabelle 2.5.3: Besonderheiten bei den Kennbuchstaben

Geräte:	Messungen (hauptsächlich als Funktion):	Der Zweitbuchstabe entspricht dem „Mess-Alphabet“ (ISO 14617-6)
(elektrischer) Messumformer: TF	Messung von Abstand:	BG
Messwandler (E-Technik) BE	Amplitude:	BG (Gain?)
Messwiderstand (Shunt): BE	Analysewerte:	BQ (Quality)
Messumformer- Gestell: UF	Anzahl Ereignisse:	BZ (Zahl?)
Schutzhülse f. Thermoelement: FN	Dehnung:	BG
	Dichte:	BD (Density)
Relais, Schütz KF	Differenzdruck:	BF (Flow)
Leistungs- / Sicherungsschalter: QA	Drehzahl:	BS (Speed)
Trennschalter: QB	Druck, Vakuum:	BP (Pressure)
Frequenzumformer: TA	Durchfluss, Durchsatz:	BF (Flow)
Ein / Ausgabebaugruppen: KF	Elektrische Größen:	BE (Electrical)
	Feuchte:	BM (Moisture)
	Frequenz:	BS (Speed)
	Geschwindigkeit:	BS (Speed)
	Leistung:	BJ
	Masse:	BV
	Mehrfachvariable:	BU
	Niveau	BL (Level)
	pH- Wert:	BQ (Quality)
	Qualitätsgrößen:	BQ (Quality)
	Säuregehalt:	BQ (Quality)
	Schwingung:	BS (Speed)
	Stellung:	BG
	Temperatur:	BT (Temperature)
	Vibration:	BS (Speed)
	Viskosität:	BV (Viscosity)
	Zeit	BK
	zusammengesetzte Größen	BU



2.6 Spezifisches Kennzeichen

Bild 2.3.3.1 zeigt als dritten Teil des Identifikators das „Spezifische Kennzeichen“. Es bezeichnet sozusagen „Zubehör“ von Objekten, die durch das Referenzkennzeichen identifiziert wurden. Die Art wird wieder durch ein Sonderzeichen unterschieden. Buchstaben sind teilweise in eigenen Normen festgelegt, in denen sich auch detaillierte Anwendungs-Regeln finden.

; Signal als Informationseinheit, die zwischen Objekten ausgetauscht wird, also z.B. die analoge Größe einer Messung,

: Anschluss für

- elektrische Anschlüsse z.B. an einem Messumformer,
- mechanische Anschlüsse, z.B. den mechanischen Anschluss eines Druckmessers an einer Rohrleitung,

& Dokument zur Klassifizierung eines technischen Dokumentes (z.B. „Anschlußplan“) und Identifizierung, ggf. durch eine zusätzliche Blattnummer hinter einem Schrägstrich (/) bei mehreren Blättern der gleichen Klasse.

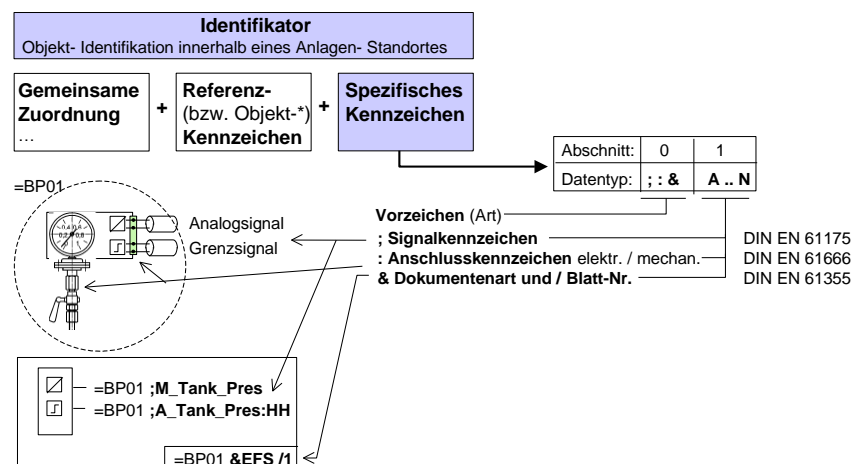


Bild 2.6.1: Spezifisches Kennzeichen, Übersicht

Tabelle 2.6.1 zeigt die in der allgemeinen Norm DIN ISO/TS 16952 festgelegten **Signalklassen** mit der Zuordnung zu „Meldesignal“ (bezeichnet nach Signalquelle) und „Steuersignal“ (bezeichnet nach Signalziel).

Die nächsten Bilder zeigen Beispiele für die Klassen.

- A** Alarm (en: **Alarm**) ist ein Signal, das über einen Gefahrenzustand informiert, z.B. das Grenzsinal „Druck Hoch“ in Bild 2.6.1.5, wobei „H“ als Basis-signalname verwendet wird.
- C** Befehl (en: **Command**) ist ein (binärer) Befehl der Werte an die Leittechnik, an eine untergeordnete Leitebene oder einen Aktor, z.B. „Pumpe EIN“ an das Koppelrelais eines Leistungsschalters in Bild 2.6.1.6
- E** Ereignis (en: **Event**) ist ein binäres Signal, das über einen Zustandswechsel informiert (der keine Gefahr darstellt), z.B. das Grenzsinal „Druck kleiner (Low) als ...“ in Bild 2.6.1.5, wobei „L“ als Basissignalname verwendet werden kann.
- I** Rückmeldung (en: Indikation) ist ein Signal, das den Zustand von einer untergeordneten Leitebene oder einem Aktor zurückmeldet, z.B. „Pumpe EIN“ in Bild 2.6.1.6
- L** Konstanter Pegel (en: Level) wird für die Kennzeichnung von Spannungsversorgungs- und Erdleitungen verwendet, z.B. die Spannungsversorgung der Rückmeldekontakte in Bild 2.6.1.7. Als Basissignalname kann die Spannung oder z.B. „PE“ angegeben werden.
- M** Messung (en: **Measurement**) sind Signale von der Messung, vornehmlich wohl Analogsignale, oder binäre Grenzschnale, die nicht als A oder E eingestuft werden, z.B. das Analogsignal für den Druck in Bild 2.6.1.5
- S** Signale zum Setzen eines Wertes (en: **Set**) von der Werte in der Leittechnik oder innerhalb dieser an eine untergeordnete Leitebene oder einen Aktor, z.B. die Sollwertvorgabe in Bild 2.6.1.8

X,Y Die Klassen X und Y sind für zusätzliche Klassen vorgesehen, die Projekt- spezifisch oder in Fachnormen (z.B. KKS für Kraftwerke) festgelegt werden können. Sie können durch nachfolgende Ziffern erweitert werden.
Das KKS verwendet zwei Buchstaben und drei Ziffern.

In der Leittechnik- Detailplanung wird die Wirkungsweise hauptsächlich in Funktionsplänen dargestellt. Da Messungen und Aktoren meist standardisiert sind werden Signalkennzeichen nur hier benötigt, also ohne „Varianten“. Durch den Bezug auf Quelle bzw. Ziel sowie mnemotechnische Namen können die Signalkennzeichen als Variable benutzt werden.

Tabelle 2.6.1: Signalklassen

;Signalkennzeichen			
; Signalname : Variante (Zusatzinfo)			
; Klasse_Kurzname_Basissignalname			
Code	Klasse	Art	bezeichnet nach Objekt:
A	Alarmsignal (Alarm)	Meldesignal	Quelle
C	Befehl (Command)	Steuersignal	Ziel
E	Ereignissignal (Event) (Zustandsänderung)	Meldesignal	Quelle
I	Rückmeldesignal (Indication)	Meldesignal	Quelle
L	Signal f. konst. Pegel (Level) (Spannungsversorgung)	Meldesignal	Quelle
M	Messsignale (Measurement) (analog und binäre Grenzschnal.)	Meldesignal	Quelle
S	Sign. zum Wert setzen (Set) (analog)	Steuersignal	Ziel
X(n)	Zusätzl. Klasse (KKS)	Meldesignal	Quelle
Y(n)	Zusätzl. Klasse (KKS)	Steuersignal	Ziel

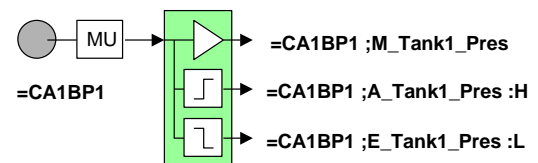


Bild 2.6.1.5: Beispiel für Klassen A, E, M

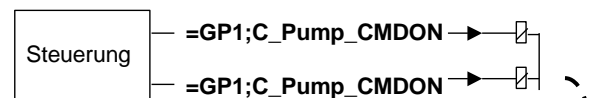


Bild 2.6.1.6: Beispiel für Klasse C (Befehle)

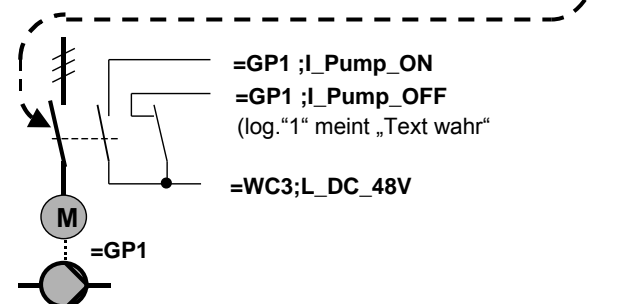


Bild 2.6.1.7: Beispiel für Klasse I (Rückmeldungen)



Bild 2.6.1.8: Beispiel für Klasse S (Wert setzen)

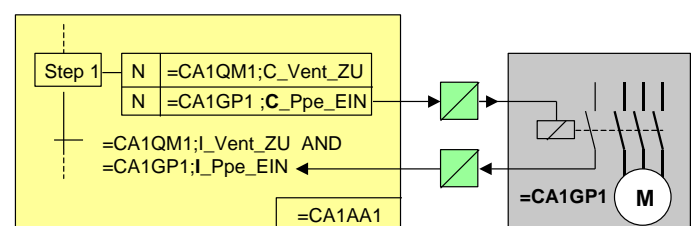


Bild 2.6.1.9: Signalkennzeichen als Variable

2.6.3 Dokumentenkennzeichnung

Auch Dokumente müssen eindeutig gekennzeichnet werden. Dies erfolgt zunächst mit dem **Objekt- Kennzeichen** (Referenz- Kennzeichen) des dargestellten Objekts. Bei einem eine Funktion beschreibenden Dokument ist das z.B. das Funktionskennzeichen eines Antriebs =CA1GP1. Bei einer Darstellung der Gerätebestückung eines Schrankes ist es das Kennzeichen des Schrankes unter Orts- Aspekt, z.B. +HA02.

An das Objektkennzeichen schließt sich durch „&“ getrennt eine Klassifizierung des Dokuments an (Bild 2.6.3.1), der „**DDC**“ (Document kind Classification Code). Die Buchstaben sind in Tabellen der DIN EN 61355 festgelegt. Bild 2.6.3.2 zeigt Beispiele (Anlagen- Fließbild und Funktionsplan). Der erste Buchstabe ist optional, die beiden anderen verpflichtend.

Manchmal ist es erforderlich mehrere Dokumentations-ebenen zu verwenden, z.B. Übersichts-Blockbilder und Detail- Funktionspläne. Beides sind Funktionspläne und werden durch eine dem DDC folgende Nummer unterschieden. Im Bild 2.6.3.3 erfolgt dies durch &EFF1 und &EFF2.

Gibt es zu einem Objekt mehrere Blätter der gleichen Dokumentenart und –Ebene, so werden diese durch Blatt- Nummern (oder Buchstaben) unterschieden, getrennt von der Klassifizierung durch das Sonderzeichen / (Bild 2.6.3.3).

Tabelle 2.6.3 zeigt die wichtigsten Buchstaben

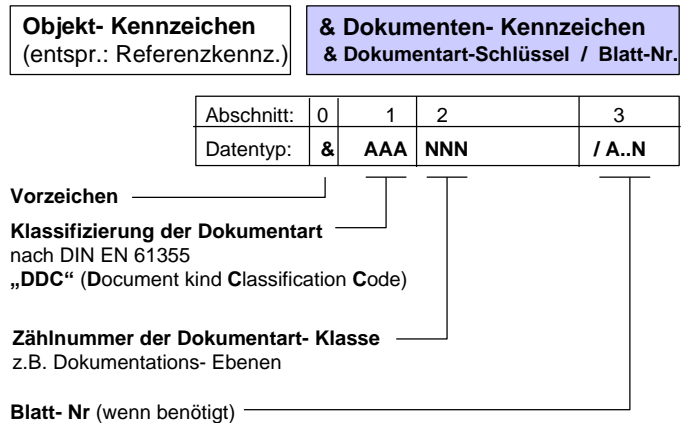


Bild 2.6.3.1: Struktur der Dokumentenkennzeichnung

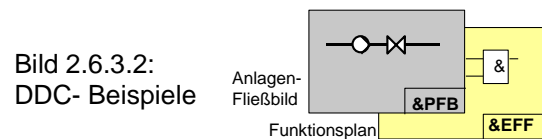


Bild 2.6.3.2: DDC- Beispiele

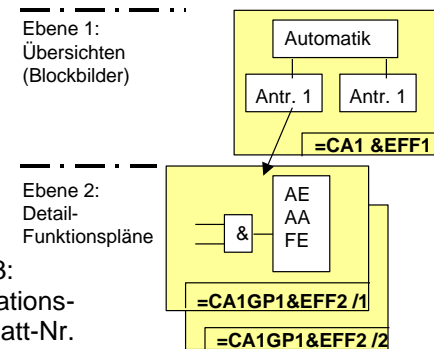


Bild 2.6.3.3: Dokumentations-ebenen, Blatt-Nr.

Dokumentenart:	1	2	3	
(„DDC“ = Document kind Classification Code)	& AAA	NNN	/ A .. N (max. 6 Stellen)	Buchstaben - Festlegung in IEC EN 61355
	Art	Zusätzl. Kennz., z.B. Dok.-Ebenen	Blatt-Nr.: Unterteilung im Obj.	
↓ optional	↓ verpflichtend			Benutzt in der E-Technik und Beschreibung vorhanden (z.B. in IEC / ISO/ ..):
A übergeordnetes Management	A Dokumentat. beschreibend			AA Titelblatt
B übergeordnete Technik	B Management			AB Liste der Dokumente
C Bautechnik	C Vertragsunterl. (nicht techn.)			BD Liste auszutauschender Dokumente (bei Änd.)
E Elektrotechnik, Steuerungst., Information u. Kommunikation	D Allg. techn. Information			BD Terminpläne
M Maschinentechnik (i.d.R.: einschließlich Proz.T.)	E Techn. Anforderung, Auslegung			BF Angaben über Teile - Lagerung
P Prozesstechnik (wenn Trennung von M erforderlich)	F Funktion beschreibend			BG Personalspezifikation
	L Orts - bezogene Dokumente			BT Spezifikation von Schulungen
	M Verbindungen beschreibend			DA Auslegungsdaten
	P Produktlisten			DC Wartungs- und Bedienungsbeschreibung
	Q Qualitätsmanagement, Sicherheit beschreibende Dok.			EC Anforderungen für Installation und Test
	T Anordnungsbezogene Dok.			ED Technische Berechnungen
	W Betriegl. Protokolle, Aufzeichn.			FA Funktions- Übersichtsdocuments
				FB Verfahrensfließbild, Rohrleitungs- und Instrumentationsfließbild (RI), MRS-Diagramm
				FC Mensch-Maschinen-Schnittstellen- Gestaltung
				FE Funktionsbeschreibung (verbal)
				FF Funktionsplan (FUP), Ablaufplan (A IEC 61082)
				FP Signalliste
				FS Stromlaufplan, Anschlussplan
				FT Programm - Listing
				LD Anordnungs- und Installationspläne, Erdung
				LH Gebäude - Pläne incl. Installation
				LU Bestückungspläne (z.B. für Schränke)
				MA Verbindungslisten zwischen Einheiten
				MB Kabellisten
				PA Materiallisten
				WT Betriebs- und Wartungshandbuch

Beispiel für einen DCC:

Funktionsplan einer Steuerung: &EFF

Zusätzlich notwendig:

- Versionsangabe (Änderungsstand)
- Status von Dokumenten, bei Versand zu vermerken:
 - for information only, preliminary
 - for enquiry
 - for approval and release
 - released for ..
 - as built
- nur zur Information, vorläufig
- zur Prüfung
- zur Genehmigung und Freigabe
- freigegeben zur Benutzung für ..
- wie ausgeführt (nach Inbetriebnahme / Änderung, durch Rückdokumentation oder Auszug aus Engineeringtool)

In den RI- und MRS - Schemata werden „**EMSR-Stellen**“ (Elektro-, Mess-, Steuerungs- und Regelungseinrichtungen) bzw. in der Chemie „**PLT-Stellen**“ (Prozess- Leit- Technik- Stellen) durch Kreise oder abgerundete Rechtecke gekennzeichnet ("Langrund"), in denen oben die Verwendung und unten das Kennzeichen steht (Bild 3.3.3).

Querstriche zeigen an, ob es sich eine nur vor- Ort sichtbare / bedienbare oder in der zentralen Warte sichtbare / bedienbare EMSR- Stelle handelt. Ein Kreis (2 mmØ) zeigt den genauen Ort der Messstelle. Die Buchstaben zur Kennzeichnung der Verwendung sind in DIN 19227 festgelegt. Hier die wichtigsten:

Erstbuchstabe: Größe gemäß "Messalphabet"

siehe Tabelle 2.5.3,

im Bild 3.3.4 z.B. P für Pressure = Druck

Ergänzungsbuchstabe:

D: Differenz (z.B. PD für Differenzdruck)

F: Verhältnis

Q: Integral, Summe

Folgebuchstabe(n): Verwendung für:
(Reihenfolge beliebig, **fett:** wichtig)

A: Alarm, Störungsmeldung

C: Control (Regelung / Steuerung)

(E: Aufnehmerfunktion)

H: High (oberer Grenzwert)

I: Indication (Anzeige)

L: Low (unterer Grenzwert)

(O: Sichtzeichen (JA / NEIN- Anzeige)

R: Recording (Langzeitspeicherung)

S: Steuerung, Schaltung

(T: Messumformer- Funktion)

(V: Stellgeräte- Funktion)

Y: Rechenfunktion

Z: Noteingriff / Schutzeinrichtung

Für die „RI- Schemata mit zusätzl. Information“ bzw. „MRS- Schemata“ (Bilder 3.3.4 - 3.3.6) sind ebenfalls Symbole genormt (DIN 19227), siehe auch Bild 3.3.7 Sie werden meist Produkt - unabhängig erstellt und können so eine Ausschreibung detaillieren. Es gibt auch schon Engineeringtools zur Schemaerstellung, die eine direkte Weiterverwendung dieser Planungsarbeit für die Produkt- spezifische Detailplanung ermöglichen.

Es gibt Normen für verschiedene Anwendungen mit teilweise verschiedenen Symbolen. Manchmal werden die verschiedenen Symbole kombiniert. Hier ist also beim Lesen Vorsicht geboten!

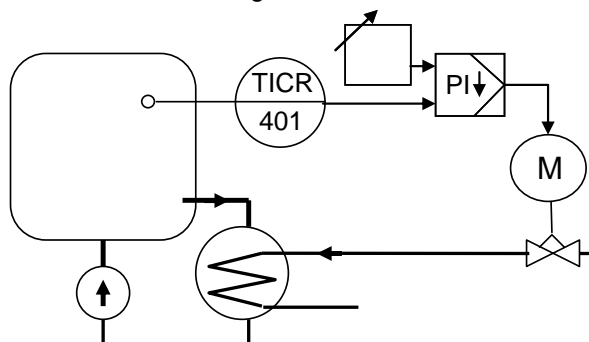


Bild 3.3.6: Beispiel MRS- Schema (vereinfacht)

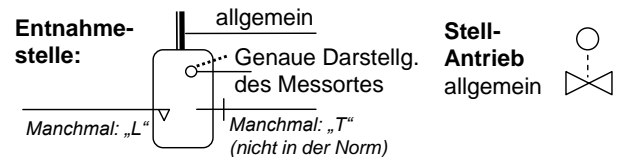
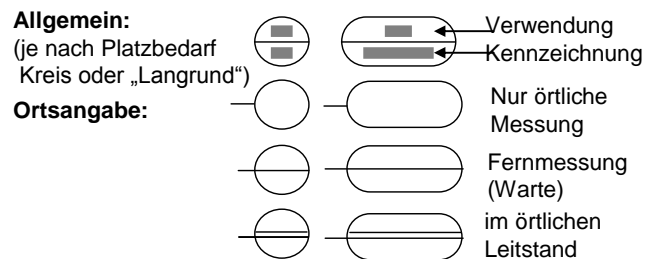


Bild 3.3.3: EMRS- Symbole im RI- Schema

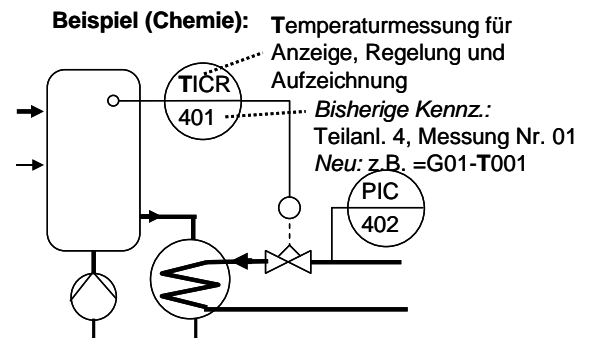


Bild 3.3.4: RI- Schema- Beispiel, Darstellung: Chemie

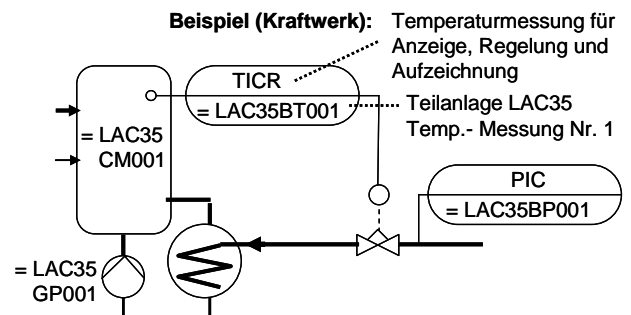


Bild 3.3.5: RI- Schema- Beisp., Darstellung: Kraftwerk

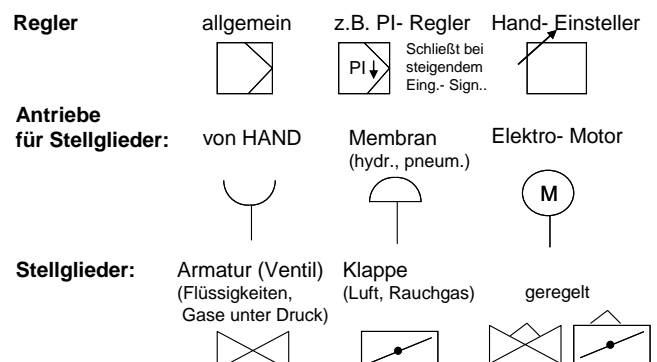


Bild 3.3.7: Symbole für MRS- Schemata (DIN 19227)

3. Text - Sprachen der DIN EN 61131

Die Norm enthält verschiedene Sprachen (Bild 1.1)

- textliche: AWL, ST, sowie
- grafische: FBS, AS, KOP

3.1 Sprache AWL (Anweisungsliste)

Die Anweisungsliste ist praktisch eine Assembler - Sprache. Es muss jeder Bearbeitungsschritt angegeben werden. Bild 3.1.1 zeigt den formalen Aufbau:

- Marke (Label): Text, dem ein : folgt ("kann" sein),
- Operator gemäß Tabelle 3.1, ggf. mit Modifikation,
- ein (oder mehrere durch , getrennte) Operand(en),
- Kommentar in (*..*) ("kann" sein).

Jede Anweisung benötigt eine neue Zeile.

Bild 3.1.2 zeigt ein Beispiel und die genormten Operatoren (z.B. AND) mit erlaubten Modifikationen, z.B. N zu ANDN.

So wie die Standard - Funktionen, z.B. AND, als Operatoren geschrieben werden, kann man auch Anwender - definierte Funktionen verwenden. Dabei wird das aktuelle Ergebnis (aus den vorhergegangenen Zeilen) automatisch als Wert für den ersten Eingang der Funktion verwendet (siehe Bild 3.1.3 unten).

Funktionsbausteine können verschieden aufgerufen werden, Bild 3.1.3 zeigt das an einem Beispiel.

Hier müssen zunächst der Typ "CTU" der Anwendung "C10" zugeordnet werden, sowie die im Programm benutzten Variablen A, B, ELAPSED und OUT deklariert werden (im Bild oben rechts).

Beim Aufruf selbst müssen Variablen aus dem Programm den Ein / Ausgängen des Funktionsbausteins zugeordnet werden, was auf verschiedene Art erfolgen kann.

A/N-Zeichen	Funktion, -Eingang	Variable	A/N-Zeichen
Marke	Operator	Operand	Kommentar
Allgemein: A:	F	V	(* A *)
	FM	V1, V2	

Beispiel: Start: LD %IX1.1 (* Taste 1 *)

Semantik: Ergebnis := Ergebnis Operator (Operand)

z.B.: Ergebnis := Ergebnis AND %IX1

„modifiziert“: Ergebnis := Ergebnis ANDN %IX1

geschachtelt: Ergebnis := Ergebnis AND(%IX1
OR %IX2

Bild 3.1.1: Formaler Aufbau der AWL

Form:	(Label:)	Operator	Operand	Kommentar
Beispiel:	START:	LD	%IX1	(* Taste *)
		ANDN	%MX5	(* nicht gesperrt *)
		ST	%QX2	(* Lüfter EIN *)
Operatoren:	Operat.	Modif.	Bedeutung	
	LD	N	aktueller Wert = Operand	
	ST	N	aktuellen Wert in Operanden speichern	
	S		setze Operand = 1 wenn aktueller Wert log. „1“ ist	
	R		setze Operand = 0 wenn aktueller Wert log. „1“ ist	
	AND	N, (log. UND	
	OR	N, (log. ODER	
	XOR	N, (log. Exklusiv - ODER	
	NOT		log. Negation (bitweise bool'sche Negation)	
	ADD		Addition	
	SUB		Subtraktion	
	MUL		Multiplikation	
	DIV		Division	
	MOD		Modulo - Division	
	GT		Vergleich: > (ergibt 1 wenn grösser)	
	GE		Vergleich: >= (größer oder gleich)	
	EQ		Vergleich: = (gleich)	
	NE		Vergleich: <> (ungleich)	
	LE		Vergleich: <= (kleiner oder gleich)	
	LT		Vergleich: < (kleiner)	
	JMP	C, N	Springe zu Label ..	
	CAL	C, N	Rufe Funktionsblock auf, Name im Operand	
	RET	C, N	gehe zurück von aufgerufener Funktion / FB / Programm	
			berechne die eingeklammerte Funktion, Zeile ohne Operand!	

„lade“ (nehme) X1 als aktuellen Wert, verknüpfe: X1 AND NOT X5 „speichere“ Ergebnis in X2

z.B.: MUL B Ergebnis = akt. Wert * B

Bild 3.1.2: Operatoren

Funktionsblock „CTU“ (Vorwärtszähler)	zugrunde liegende Deklaration: (anzuwendender FB Typ CTU wird mit Namen C10 deklariert)	VAR C10 : CTU; A, B : INT; ELAPSED : TIME OUT : BOOL END_VAR
<pre> CTU BOOL --> CU Q -- BOOL BOOL --R INT --PV CV-- INT </pre>	Funktionsblock - Aufruf	CAL C10(%IX10, FALSE, A, OUT)
<pre> IF R THEN CV := 0; ELSIF CU AND (CV < Pmax) THEN CV := CV + 1; END_IF Q := (CV >= PV); </pre>	1a) mit nicht - formaler Argumenten - Liste:	CAL C10(CU := %IX10, Q => OUT)
Abgrenzungs / Zuordn.Zeichen z.B. für formale Listen: := Eingangs - Zuweisung => Ausgangs - Zuweisung ; Statement - Ende # Anfangswert - Voreinstellung für Datum / Zeit	1b) mit formaler Argumenten - Liste:	LD A ST C10.PV LD %IX10 ST C10.CU CAL C10
	2) mit laden / speichern von Argumenten: (FB-Name . Anschluß)	LD A ST C10.PV LD %IX10 ST C10.CU CAL C10
	3) mit Benutzung der Eingangs-Operatoren:	LD A PV C10 LD %IX10 CU C10
Funktion „LIMIT“ (Begrenzung)	Funktions - Aufruf	LIMIT(IN := B MN := 1 MX := 5) ST A
<pre> ANY* --MN ANY* --IN ANY* --MX </pre>	1) mit formaler Argumenten - Liste:	LD 1 LIMIT B, 5 ST A
(ANY*: elementare Variable, z.B. REAL, INT) A:=MIN(MAX(IN,MN), MX)	2) mit nicht formaler Liste:	

Bild 3.1.3: Funktionsbaustein- und Funktionsaufruf in der AWL

Bild 3.1.4 zeigt eine Auswahl der wichtigsten **Prozess-Anlagen-Elemente** aus DIN 10628. Rechts daneben sind „Anschlusspunkte“ angegeben, die im „PandIX- Modell“, einem Engineering-Tool, verwendet werden, damit eine Rekonstruktion der Verbindungen und damit der Anordnung möglich ist. Die Einhaltung der Darstellungs- Regeln für Prozessanlagenelemente wie für die unten dargestellten PLT- Stellen erfordert vom Planer eine gewisse Disziplin. Es gibt aber auch Editoren, z.B. „Planeds“, die die Einhaltung unterstützen. Siemens „COMOS“ verwendet diese Norm.

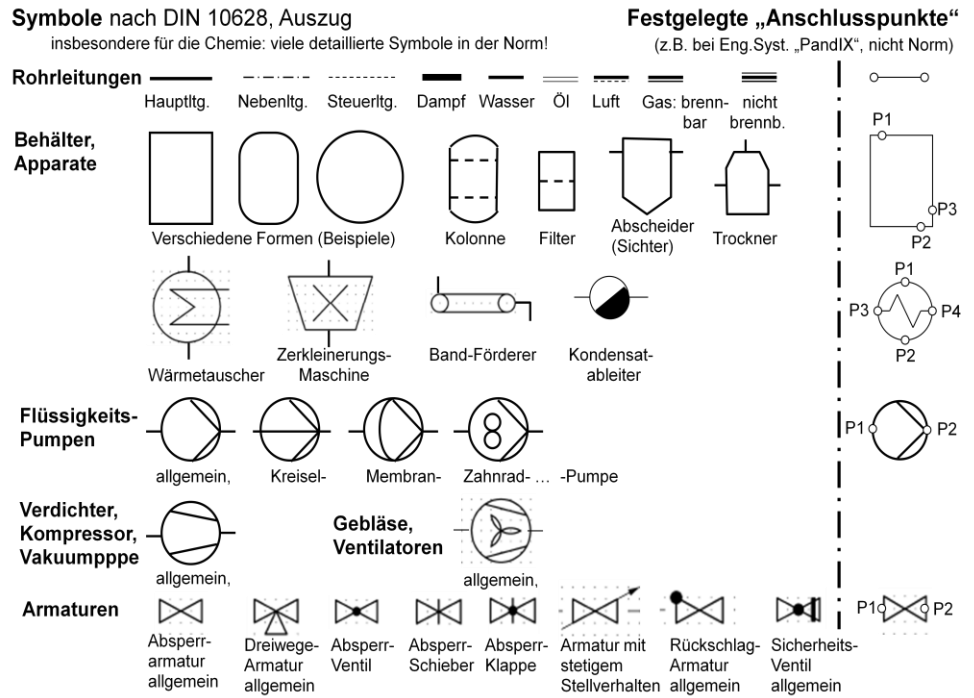


Bild 3.1.4: Prozess- Anlagen- Elemente

Bild 3.1.5 zeigt, wie **Prozessleittechnik- Stellen** (PLT-Stellen) gemäß DIN 62424 darzustellen sind. Dabei wird in der Symbolform unterschieden zwischen „**PLT-Aufgaben**“ (Oval für Sensoren, Aktoren) und „**Leit- Funktionen**“ (Sechseck). Letztere werden verwendet, wenn mehrere Signale miteinander verknüpft werden um auf einen oder mehrere Aktoren zu wirken, also für Rechenschaltungen, oder umfangreichere Steuerungen und Regelungen.

Beide Symbole enthalten zwei Zeilen: oben eine Klassifizierung durch festgelegte Buchstaben (siehe später) und unten eine identifizierende Kennzeichnung (IEC 81346).

Zwischen den Zeilen wird durch keinen, einfachen oder doppelten Strich angegeben, wo die Aufgabe verwendet / bedient wird.

Für die genauere Beschreibung der Leittechnik sind in der Norm Zusatzfelder an den Ovalen und Sechsecken vorgesehen (Bild 3.1.6).

„PLT- Stellen“ sind:

PCE- Aufgaben

Sensoren: Messstellen im Prozess, z.B. für Temperatur, Druck, ...

Aktoren: Pumpen, Gebläse, Armaturen

PCE- Leit- Funktionen:

Steuerungen, Regelungen, Verknüpfung / Verarbeitung von Messgrößen, z.B. 2v3

Darstellung nach DIN 62 424:

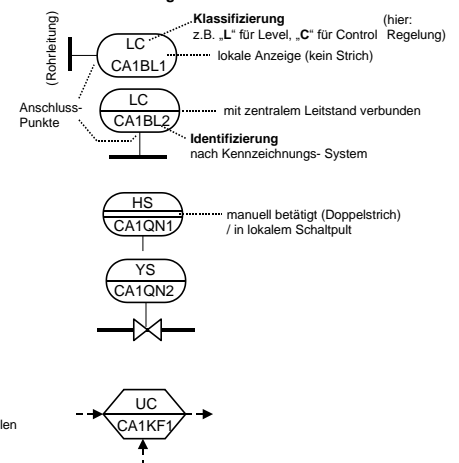


Bild 3.1.5: Darstellung PLT- Stellen nach DIN 62424

In Bild 3.1.7 ist z.B. ersichtlich, dass bei einem Füllstand < L ein Alarm gegeben wird und bei < LL ein weiterer Alarm gegeben und auf die Pumpe eingegriffen wird (hier wohl durch Ausschalten).

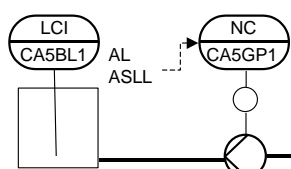


Bild 3.1.7: Beispiel

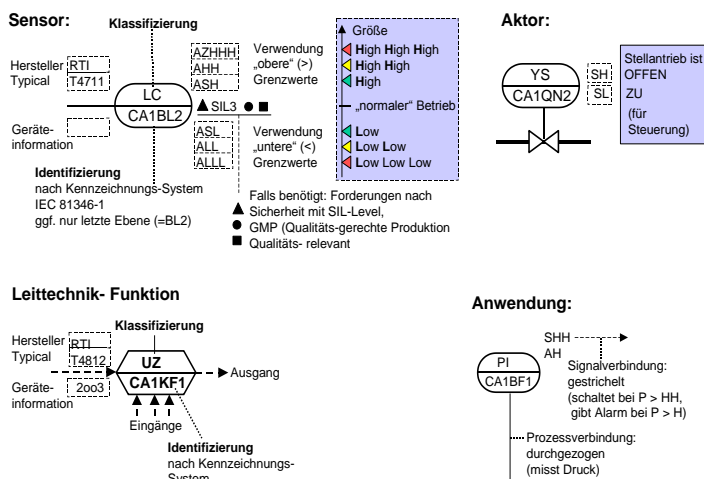


Bild 3.1.6: Zusatzangaben bei PLT- Stellen

Die Klassifizierungsbuchstaben für PLT- Stellen
(obere Zeile) sind in DIN 62424 festgelegt:

Tabelle 3.1.1: Sensoren und Leittechnik- Funktionen

	A Zusatzinformation außerhalb des Ovals	Folge- Buchstaben: Verarbeitungs- Funktion für Sensoren	
1. Buchstabe: Kategorie (ohne Zweitbuchstabe!)		Folge- Buchstaben: Verarbeitungs- Funktion für Sensoren A Alarm* B Beschränkung, Eingrenzung C Regelung (Control) D Differenz F Verhältnis H oberer Grenzwert, EIN, OFFEN* I Analoganzeige (Indication) L unterer Grenzwert, AUS, Geschlossen* O Lokale oder PCS- Stationsanzeige von Binärsignal* Q Integral oder Summe R aufzeichnen (Recording) S Binäre Steuerungs- od. Schaltfunktion, nicht sich.relev.* X (für nicht aufgeführte Anwendungen) Y Rechenfunktion Z Binäre Steuerungs- od. Schaltfunktion, sicherheitsrelev.* (*) darf nur außerhalb des Ovals verwendet werden	
A Analyse B Flammenüberwachung (Burner) C (Anwender- definiert) D Dichte (Density) E Elektrische Spannung F Durchfluss (Flow) G Abstand, Länge, Stellung H Hand-Eingabe –Eingriff (alle Eingriffe durch Menschen) I elektrischer Strom J elektrische Leistung K zeitbasierte Funktion L Füllstand (Level) M Feuchte (Moisture) N Motor (auch motorgesteuerte Stellorgane) O (Anwender- definiert) P Druck (Pressure) Q Menge oder Anzahl (Quantity) R Strahlungsgrößen (Radiation) S Geschwindigkeit, Drehzahl, Frequenz (Speed) T Temperatur U Leittechnik- Funktion (wenn mehr als 1 Snsor – 1 Aktor) V Schwingung (Vibration) W Gewicht, Masse, Kraft (Wight) X (für nicht aufgeführte Kategorien) Y Stellventil (wenn nicht N = motorgesteuert) Z (für nicht aufgeführte Anwendungen)	Eigene Tabelle!		

Tabelle 3.1.2: Aktoren

	Für Aktoren gilt:	
YS AUF / ZU – Ventil YC Stellarmatur YCS Stellarmatur mit AUF / ZU – Funktion YZ AUF / ZU – Ventil sicherheitsrelevant YIC Stellarmatur mit kontinuierlicher Stellungsanzeige NS EIN / AUS – Motor NC Motorsteuerung		

Bild 3.1.8 zeigt ein Anwendungsbeispiel aus der Norm, die Kennzeichnung wurde allerdings an die gültige Kennzeichnungs-Norm angepasst.

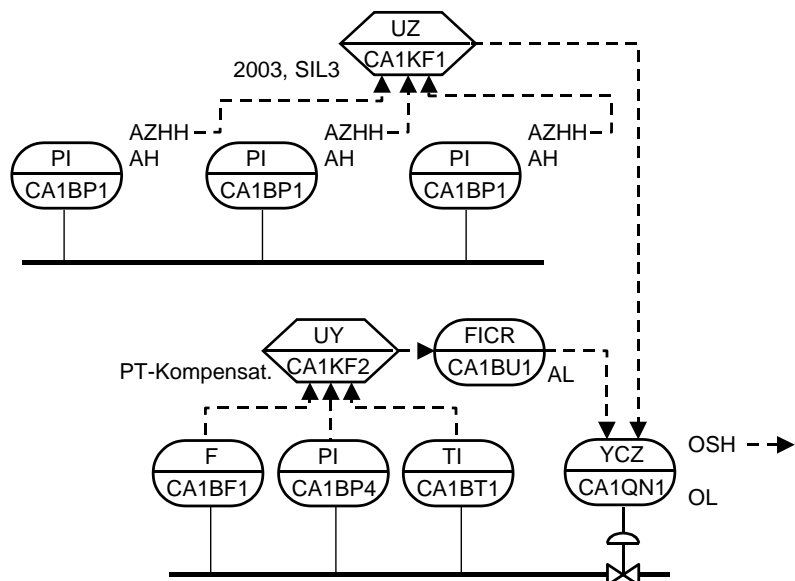


Bild 3.1.8: Anwendungsbeispiel

6. Maßnahmen an Signalleitungen

6.1 Niederspannungsanlagen- Einflüsse

Die in Industrieanlagen eingesetzte Leittechnik wird hauptsächlich durch die sie umgebenden Nieder- und Mittelspannungsanlagen gestört. Das Beeinflussungsschema in Bild 6.1.1 zeigt, dass es auf die Länge der Parallelführung zwischen störenden und gestörten Leitungen sowie auf den Abstand zwischen ihnen ankommt. Die charakteristischen Störungen entstehen beim Schalten induktiver Lasten. Die Betriebsspannung ist wegen ihrer niedrigen Frequenz weniger wichtig.

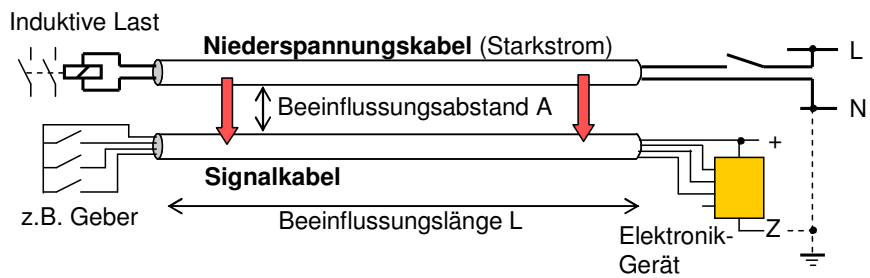
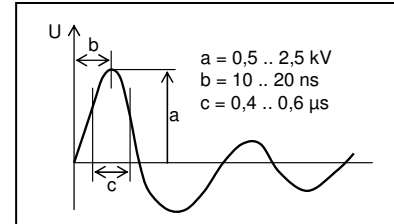


Bild 6.1.1: Beeinflussungsschema der Niederspannungsanlageneinflüsse

Bild 6.1.2 zeigt einen typischen Störspannungsverlauf beim Abschalten einer Induktivität (ohne Beschaltung) auf einem Starkstromkabel.

Bild 6.1.2: Störspannungsverlauf



Aus umfangreichen Messungen in ausgeführten Anlagen und Modellen ergaben sich die in Bild 6.1.3 angegebenen Störspannungen auf Signalleitungen. Da diese von den Eigenarten des verwendeten Systems abhängen (z.B. Eingangswiderstand, hier 15 kΩ), können die Werte für die allgemeine Verwendung nur eine Tendenz aufzeigen.

Störungsauslösung war die Abschaltung einer unbeschalteten Induktivität durch Kontakt (A – D) und einen Halbleiterschalter (E)), angeschlossen über ein nicht abgeschirmtes Kabel.

Die gestörten Kabel waren verdreht und:

- A nicht abgeschirmt, unmittelbar benachbart,
- B nicht abgeschirmt, 25 cm Abstand,
- C abgeschirmt, unmittelbar benachbart,
- D abgeschirmt, 25 cm Abstand,
- E wie A (aber Halbleiterschalter).

Fazit:

- Um sicher auf eine Störspannung unterhalb der Zerstörspannung von Elektronik- Bauelementen zu kommen (allgemein ca. 60 V) sind also **Verdrillung, Abschirmung und Abstand** notwendig.
- Schon bei wenigen Metern Parallelführung können Störspannungen in der Größenordnung der Signalspannung entstehen.

6.2 Verdrillung

Durch Verdrillung der gestörten Leitung entstehen in dieser kleine Leiterschleifen, in denen eine magnetische Störung entgegengesetzte Ströme induziert (Bild 6.2.1). Die Gegentakstörung wird also unterdrückt, solange die Ströme gleich sind, also das störende Feld homogen ist, was meist jedoch nur über kurze Strecken der Fall ist.

Voraussetzungen:

- enge Verdrillung (homogenes Feld),
- Hin- und Rückleiter verdreht im gleichen Kabel (ist bei Zweileitertechnik leicht zu realisieren).

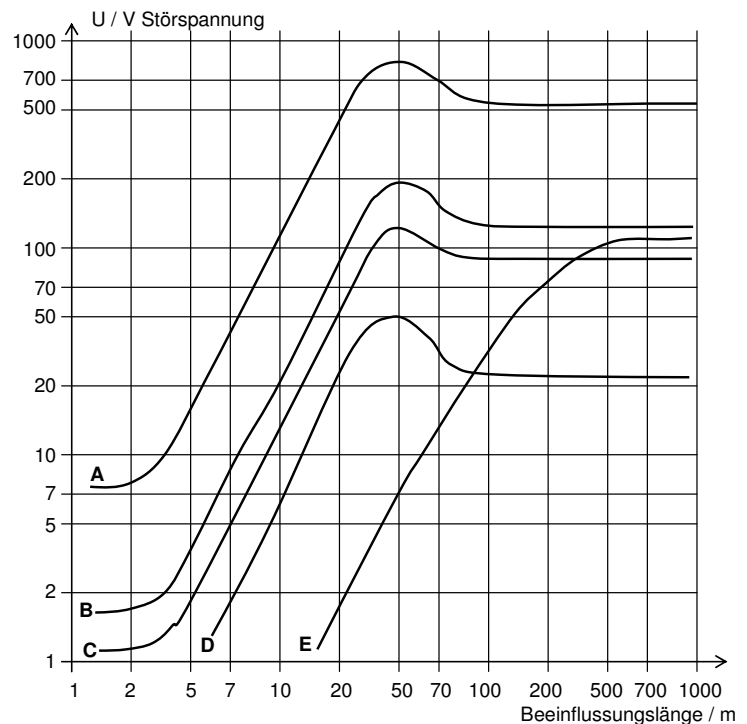


Bild 6.1.3: Störspannungsamplituden im beeinflussten Kabel

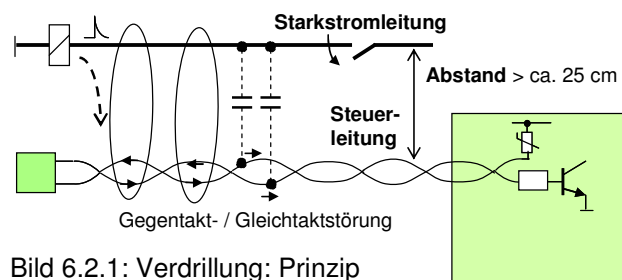


Bild 6.2.1: Verdrillung: Prinzip

Gegen die Gleichtaktstörung durch kapazitive Einstreuung ist die Verdrillung wirkungslos.

6. Fehlertolerante Prozessleitsysteme

In IEC 61508 sind Begriffe und eine Klassifikation für solche Leitsysteme festgelegt, die das Auftreten von Fehlern tolerieren, indem sie im Fehlerfall

- *keine falschen Ausgaben* liefern sondern keine und damit evtl. den Betrieb stoppen, bezeichnet als **integer**, en: **fail-stop**,
- *weiter Ausgaben liefern* (**stetig**, en: **fail-operate**), oder
- den *Fehler von außen nicht sichtbar* machen bezeichnet als **Fehler - Maskierung**, z.B. 2 von 3).

Fehlertoleranz braucht Redundanz, und zwar als

- **Prüfredundanz**: eine aktive Verarbeitung wird durch eine Diagnoseeinrichtung überwacht, oder
- **Wirkredundanz**: die Funktion eines ausgefallenen Teils wird durch einen anderen übernommen.

Dadurch sind Fehler - tolerante Systeme teurer als nicht Fehler - tolerante. Eine einfache stetige Lösung kostet etwa das 3-fache, eine Fehler - maskierende das 6-fache einer Simplex - Lösung.

Je nach Art der Strecke und der Aufgabe werden verschiedene Lösungen und Kombinationen eingesetzt. Wenn ein Prozess ohne Leiteinrichtung z.B. von Hand in einen sicheren Zustand gebracht werden kann reicht eine integere Methode aus. Verträgt der Prozess einen kurzzeitigen Ausfall der Leitanlage und braucht sie dann aber wieder, so kann eine integer / stetige Lösung eingesetzt werden. Ist die Leitanlage im Dauerbetrieb ununterbrochen nötig, so muss eine stetige Lösung verwendet werden. Hier kommt Fehler - Maskierung zum Einsatz.

Bild 6.1 zeigt das Prinzip einer **Prüfredundanz**. Hier überwacht eine Diagnose - Einrichtung die Verarbeitung und schaltet deren Ausgaben im Fehlerfall ab, daher englisch: "fail-stop".

Die Norm IEC 61508 bezeichnet eine solche sich selbst prüfende Anlage als "1oo1D" (1 von 1 mit Diagnose).

Dagegen arbeitet "**Verdoppelung und Vergleich**". mit zwei untereinander synchronisierten Verarbeitungseinrichtungen in Wirk - Redundanz, die beide aktiv sind. Abhängig von der Art des Eingriffs in den Prozess unterscheidet die Norm zwischen "1 von 2" und "2 von 2".

In Bild 6.2 dienen zwei redundante Einrichtungen der Abschaltung einer Betriebserlaubnis, hier als Ruhestromkreis ausgeführt. Durch die Reihenschaltung kann jede der beiden den Kreis auftrennen, es handelt sich also um eine "1 von 2" - Verknüpfung zur Auslösung. Stellt der Vergleich Ungleichheit fest, so schaltet er die Ausgaben ab oder auf einen "sicheren" Wert

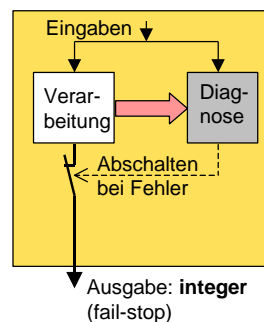


Bild 6.1: Prüfredundanz

um. Das müsste hier "0" sein und würde zu einer Abschaltung der Betriebserlaubnis führen. Es handelt sich hier also um eine Schutzfunktion oder ein Schutzsystem. In anderen Fällen würde nur eine Verarbeitung Daten ausgeben, die bei Ungleichheit ab- oder umgeschaltet würden.

In Bild 6.3 sind die Ausgabekontakte parallel geschaltet, für eine Auslösung müssen daher beide Systeme abschalten, sie arbeiten also in "2 von 2" (2oo2 = 2 out of 2).

Eine einfache **stetige Lösung** zeigt Bild 6.4. Hier gibt es zwei Verarbeitungen, die beide durch Diagnoseeinrichtungen überwacht werden. Bei Ungleichheit schaltet der Vergleich

zunächst ab, so dass die Strecke ohne Daten auskommen muss. Wenn durch die Diagnoseeinrichtungen die defekte Strecke festgestellt ist, wird auf die andere umgeschaltet, so dass die Strecke wieder Daten erhält. Diese Methode arbeitet also zunächst integer und dann stetig.

Werden z.B. drei aktive Verarbeitungen verwendet wie in Bild 6.5 dargestellt, so kann durch "Mehrheitsentscheid" die defekte abgeschaltet oder durch die Ausgabe unwirksam gemacht werden, so dass der Fehler nach aussen nicht in Erscheinung tritt. Daher wird diese Lösung "**Fehler - maskierend**" genannt, sie arbeitet in 2 von 3 stetig und integer.

Dabei ist unterstellt, dass der erste Fehler nur in einer Einheit auftritt, was den Erfahrungen entspricht.

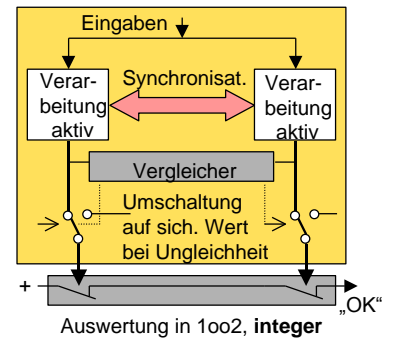


Bild 6.2: Verdoppelung und Vergleich, 1oo2

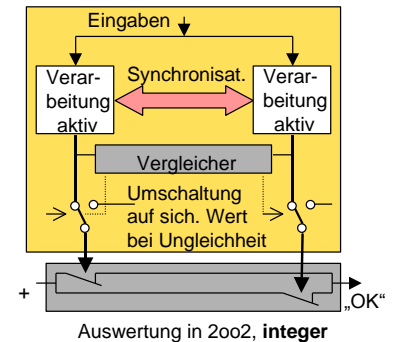


Bild 6.3: Verdoppelung und Vergleich, 2oo2

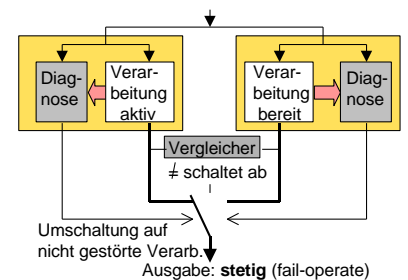


Bild 6.4: Verdoppelung, Vergleich und Diagnose, 1oo2D

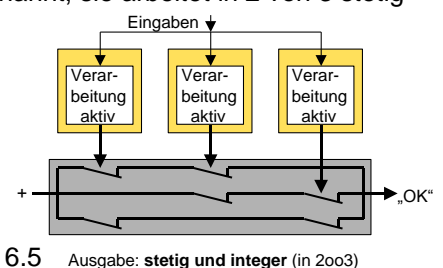


Bild 6.5 Ausgabe: stetig und integer (in 2oo3)