



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Inhaltsverzeichnis:

<i>1.6 Anlagensicherheit in der Prozesstechnik</i>	<i>2</i>
1.6.1 Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Normen die ständige Begleiter des Ingenieurs	2
1.6.1.1 Die Struktur des Rechtes und die Gesetzespyramiede	3
1.6.1.2 Fachchinesisch	4
1.6.1.3 Wichtiger Grundsatz:	5
1.6.1.4 Gesetze	6
1.6.1.5 Verordnungen	6
1.6.1.6 Verwaltungsvorschriften	6
1.6.1.7 Unfallverhütungsvorschriften	7
1.6.1.8 Durchführungsanweisungen	7
1.6.1.9 Regeln der Technik	7
1.6.1.10 Allgemein anerkannte Regeln der Technik	8
1.6.1.11 Stand der Technik	8
1.6.1.12 Stand der Technik und Wissenschaften	8
1.6.1.13 Normen	9
1.6.2 Explosionsschutz	9
1.6.2.1 Physikalische Grundlagen	12
1.6.2.2 Technische Grundlagen	18
1.6.3 Funktionale Sicherheit	39
1.6.3.1 Funktionale Sicherheit in der Prozesstechnik	39
1.6.3.2 Was bedeutet "Funktionale Sicherheit"?	40
1.6.3.3 Die Normenwelt	43
1.6.3.4 Management der Funktionalen Sicherheit	47
1.6.3.5 Ermittlung des erforderlichen Sicherheits-Integritätslevels	51
1.6.3.6 Bewertung des kompletten Sicherheitskreises	53
1.6.3.7 Fehlertypen bei Ausfall von PLT-Schutzeinrichtungen	55
1.6.3.8 Bestimmungsgemäßer Gebrauch	59

Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

1.6 Anlagensicherheit in der Prozesstechnik

Die wesentlichen Sicherheitsthemen in der Prozesstechnik sind neben der Einhaltung der Vorgaben aus den Gesetzen und Richtlinie wie WHG (Wasserhaushaltsgesetz), oder DGRL (Druckgeräterichtlinie), die Anforderungen aus der Sicht des Ex.-Schutzes (Explosionsschutzes) der Funktionalen Sicherheit, SIL (Safety Integrity Level)

1.6.1 Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Normen die ständige Begleiter des Ingenieurs

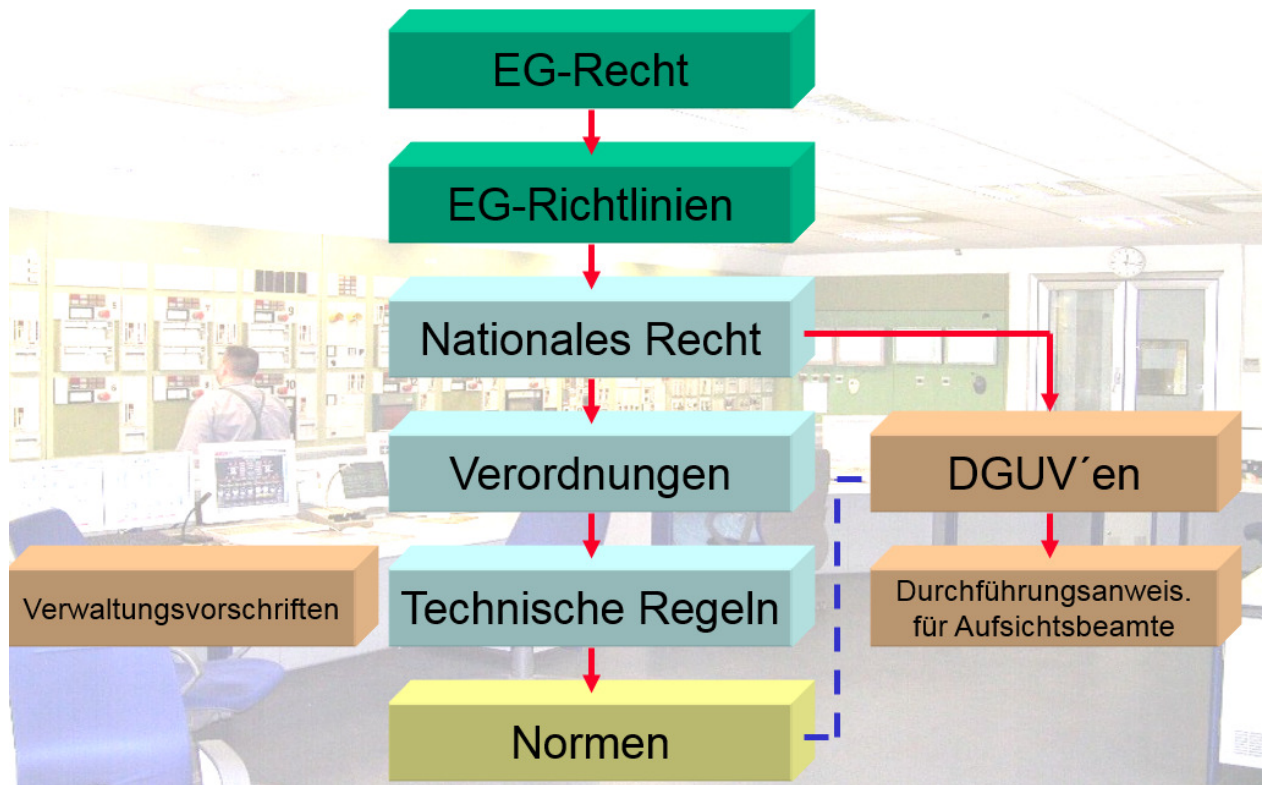
Eine Vielzahl von Vorgaben die einzuhalten sind, begleiten den Ingenieur in seinem Berufsleben, Tag für Tag.



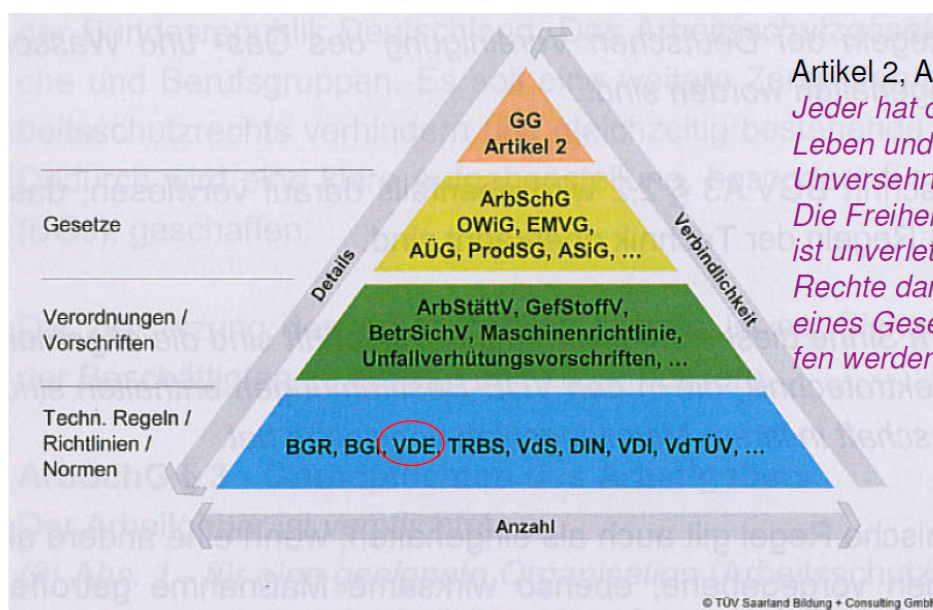


Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

1.6.1.1 Die Struktur des Rechtes und die Gesetzespyramide



Aufbau der deutschen Gesetzgebung am Beispiel des Pyramidenmodells





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

1.6.1.2 Fachchinesisch

ChemG	Chemikaliengesetz
DECHEMA	Deutsche Gesellschaft für chem. Apparatewesen, chem. Technik und Biotechnologie e.V.
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DN	Nominal Diameter („Nenndurchmesser“)
DNA	Deutscher Normenausschuß
DruckbehV	Druckbehälter-Verordnung
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V.
Ex-RL	Explosionsschutz-Richtlinien
ExVo	Explosionsschutz-Verordnung
GefStoffV	Gefahrstoff-Verordnung
GSG	Gerätesicherheitsgesetz
GSGV	Verwaltungsvorschrift zum Gerätesicherheitsgesetz
ISO	International Organization for Standardization
LC	Letale Konzentration
LD	Letaldosis
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
PN	Nominal Pressure („Nenndruck“)
ppb	Parts per billion
ppm	Parts per million
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
SAE	Society of Automotive Engineers
TRbF	Technische Regel für brennbare Flüssigkeiten



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

TRD	Technische Regeln für Dampfkessel
TRG	Technische Regeln für Druckgase
VbF	Verordnung über brennbare Flüssigkeiten
VCI	Verband der chemischen Industrie
VDE	Verband Deutscher Elektrotechniker e.V., Düsseldorf
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf
VdS	Verband der Sachversicherer e.V., Köln
VdTÜV	Verband der technischen Überwachungs-Vereine e.V., Essen

RL94/9/EG Richtlinie zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen

ATEX 100a atmospshère explosible, Artikel 100a (hat sich in der Fachwelt so eingebürgert)

usw., usw.

1.6.1.3 *Ein sehr wichtiger Grundsatz:*

Wer sich an Normen, Bestimmungen und Regeln, z.B. an DIN VDE Bestimmungen, DIN- Normen hält, d. h. wer die "Allgemein anerkannten Regeln der Technik" berücksichtigt, hat den "**Ersten Anschein**" für sich, sicher gehandelt, also nicht fahrlässig etwas unterlassen zu haben.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

1.6.1.4 Gesetze

ChemG, GPSG, BauGB, Gewerberecht, Umweltschutzrecht, Wasserrecht, Verkehrsrecht, AtG ...

- enthalten grundsätzlich abstrakte Regeln
- sind Grundlage für Verordnungen und weitere Rechtsvorschriften z. B. von Unfallverhütungsvorschriften »UVV«
- haben unbedingten Vorrang

Ein u.A. wichtiges Gesetz auch in Bezug auf die Elektrotechnik ist das Geräte- und Produktsicherheitsgesetz kurz GPSG genannt. Stichwort CE- und GS-Kennzeichnung

1.6.1.5 Verordnungen

GPSGV, StrSchV, RöV, ElexV, GefStoffV, ArbStättV, DruckbehV, Vbf, BImSchV, Landesbauordnungen ...

- sind unterhalb der Gesetze anzusiedeln
- enthalten festumrissene Grundsatzanforderungen bzw. Vorgaben von Schutzzielen.

1.6.1.6 Verwaltungsvorschriften

- dienen der einheitlichen Anwendung (Richtschnur) von Vorschriften



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

1.6.1.7 *Unfallverhütungsvorschriften*

- von Unfallversicherungsträgern, insbesondere von den Berufsgenossenschaften, erlassen
- enthalten abstrakte Forderungen
- geben feste Grundsatzanforderungen oder Sicherheitsmaßstäbe vor (Schutzziele)
- Einzelheiten sind in Durchführungsanweisungen geregelt
- sind rechtsverbindlich
- sind bindend für den Betreiber
- ein Verstoß hat eine Geldstrafe zur Folge

1.6.1.8 *Durchführungsanweisungen*

- dienen den technischen Aufsichtsbeamten der Berufsgenossenschaften
- geben Anhaltspunkte, Hilfestellung und Maßstäbe für die Anwendung der UVV
- haben keine unmittelbare Bindungswirkung
- können rascher als Unfallverhütungsvorschriften an den neuen "Stand der Technik" angepaßt werden

1.6.1.9 *Regeln der Technik*

- Regeln oder Richtlinien die von Fachleuten als Beurteilungsmaßstab vorgeschlagen werden
- müssen "Bewährungsprobe" überstehen
- erster Schritt auf dem Weg zu "Anerkannten Regeln der Technik"



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

1.6.1.10 Allgemein anerkannte Regeln der Technik

(im Sprachgebrauch „anerkannte Regeln der Technik“)

- aus Regeln der Technik entwickelt
- von der Mehrheit der Fachleute, die sie anwenden müssen, anerkannt
- • müssen praxiserprobt sein und sich allgemein bewährt haben
- DIN-Normen, DIN VDE-Bestimmungen/Richtlinien, VDI-Richtlinien und sonstige technische Regelwerke gelten als „Anerkannte Regeln der Technik“
- Nichtbeachtung kann Kriterium für fahrlässiges Verhalten sein

1.6.1.11 Stand der Technik

- ist mehr als "Allgemein anerkannte Regeln der Technik"
- ist Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen
- muss nicht unbedingt in Vorschriften, Normen oder Regeln fixiert sein

1.6.1.12 Stand der Technik und Wissenschaften

- mehr als "Stand der Technik", ist höchste Stufe die erreicht werden kann
- technisch Machbares, auch wenn nur ein einziger dazu in der Lage ist

Anwendung z. B. im Atomgesetz „AtG“ und in der Strahlenschutzverordnung „StrSchV“ sowie Röntgenschutzverordnung „RöV“



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

1.6.1.13 Normen

- von privaten Normengebern erarbeitet
- Normen sind z.B. DIN-Normen, VDE-Bestimmungen
- es besteht kein rechtlicher Zwang zur Anwendung
- wer sich an Normen hält, hat den "Ersten Anschein" für sich, sicher gehandelt, also nicht fahrlässig etwas unterlassen zu haben
- Normen haben besondere Bedeutung, wenn in Gesetzen oder UVV ausdrücklich auf sie verwiesen wird, z. B. in der Durchführungsanweisung zur DGUV V3

1.6.2 Explosionsschutz



Quelle: Grundlagen Ex.-Schutz, Fa. Stahl

In vielen Industrien entstehen oder entweichen bei der Herstellung, der Verarbeitung, dem Transport und der Lagerung von brennbaren Stoffen Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube. In Verbindung mit dem Sauerstoff der Luft kann eine explosionsfähige Atmosphäre entstehen. Entzündet sich diese, treten Explosionen auf, die schwerwiegende Personen- und Sachschäden zur Folge haben können.

Zu den betroffenen Branchen gehören beispielsweise die chemische und petrochemische Industrie, die Pharmazie, die Öl- und Gasförderung, der Bergbau – aber auch die Nahrungsmittelbranche, die Biokraftstoffindustrie und der Abwasserbereich.

Zur Vermeidung von Explosionen sind weltweit Schutzvorschriften in Form von Gesetzen, Verordnungen und Normen entwickelt worden. Diese sollen ein hohes Sicherheitsniveau gewährleisten.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Explosion in Chemiefabrik in Texas

SÜDWEST PRESSE



Zwei Explosionen erschüttern Fabrik in den USA

Gleich zwei schwere Explosionen haben eine Chemiefabrik im US-Staat Texas erschüttert – wie durch ein Wunder sind lediglich drei Menschen verletzt worden.

28. November 2019, 06:42 Uhr

•

Jefferson County



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Holzstaub-Explosion im Ausbildungszentrum



In der Holzverarbeitung eines Ausbildungszentrums für Handwerker im baden-württembergischen Bühl ereignete sich gestern Vormittag (Januar 2011) eine Staubexplosion mit anschließendem Schmelbrand in einem Silo.

Durch einen technischen Defekt einer Schreddermaschine für Altholz kam es vermutlich zu einem Funkenflug, der die Explosion im Lagersilo auslöste. Personen kamen bei dem Vorfall nicht zu Schaden. Die Höhe des entstandenen Sachschadens kann noch nicht beziffert werden, heißt es.

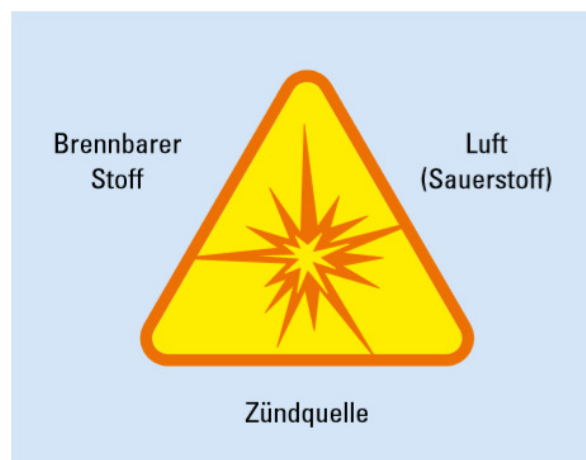


Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEI)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

1.6.2.1 Physikalische Grundlagen

Unter einer Explosion versteht man die schlagartig verlaufende chemische Reaktion eines brennbaren Stoffes mit Sauerstoff unter Freisetzung hoher Energie. Eine Explosion kann nur ablaufen, wenn drei Faktoren gleichzeitig auftreten

1. Brennbarer Stoff.
2. Sauerstoff (Luft).
3. Zündquelle.



Ex.-Schutzdreieck

Brennbarer Stoff

Brennbare Stoffe können in Form von Gasen, Nebeln, Dämpfen oder Stäuben vorliegen. Für die Charakterisierung von Gefahrenpotenzialen ist die Betrachtung sicherheitstechnischer Kenngrößen notwendig.

Explosionsfähige Atmosphäre

Bei einer explosionsfähigen Atmosphäre handelt es sich um ein Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben unter atmosphärischen Bedingungen, in dem sich der Verbrennungsvorgang nach erfolgter Entzündung auf das gesamte unverbrannte Gemisch überträgt.

Als atmosphärische Bedingungen gelten im Allgemeinen Umgebungsbedingungen von -20 °C bis $+60\text{ °C}$, ein Druckbereich von 0,8 bar bis 1,1 bar sowie ein Sauerstoffgehalt in der Luft von 21 %.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Flammpunkt

Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur einer brennbaren Flüssigkeit, bei der sich über dem Flüssigkeitsspiegel ein durch Fremdentzündung entflammbares Dampf-Luft-Gemisch bildet (bei normalem Luftdruck).

Liegt der Flammpunkt einer solchen brennbaren Flüssigkeit deutlich über den maximal auftretenden Temperaturen, kann sich keine explosionsfähige Atmosphäre bilden.

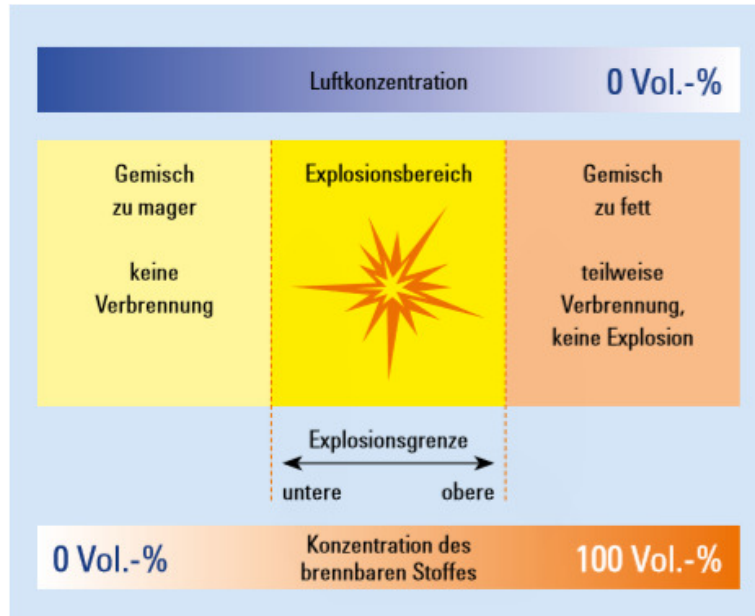
Der Flammpunkt einer Mischung verschiedener Flüssigkeiten kann aber auch tiefer liegen als der Flammpunkt der einzelnen Komponenten. In der Gefahrstoffverordnung dient der Flammpunkt einer Flüssigkeit – neben ihrem Siedebeginn – der Klassifikation von Flüssigkeiten (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Kriterien für entzündbare Flüssigkeiten

Kategorie	Kriterien
1	Flammpunkt < 23 °C und Siedebeginn ≤ 35 °C
2	Flammpunkt < 23 °C und Siedebeginn > 35 °C
3	Flammpunkt ≥ 23 °C und ≤ 60 °C ⁽¹⁾
⁽¹⁾ Für die Zwecke der EG-GHS-Verordnung können Gasöle, Diesel und leichte Heizöle, die einen Flammpunkt zwischen 55 °C und 75 °C haben, als zur Kategorie 3 gehörend gelten.	

Explosionsgrenzen

Um eine explosionsfähige Atmosphäre zu bilden, muss der brennbare Stoff in einem bestimmten Konzentrationsbereich vorliegen. Bei zu geringer Konzentration (mageres Gemisch) und bei zu hoher Konzentration (fettes Gemisch) findet keine Explosion, sondern eine stationäre oder keine Verbrennungsreaktion statt. Lediglich im Bereich zwischen der oberen Explosionsgrenze (OEG) und der unteren Explosionsgrenze (UEG) reagiert das Gemisch bei Zündung explosionsartig. Die Explosionsgrenzen hängen vom Umgebungsdruck und vom Sauerstoffanteil der Luft ab (s. Tabelle 2).



Explosionsgrenzen

Tabelle 2: Explosionsgrenzen ausgewählter Gase und Dämpfe

Stoffbezeichnung	untere Explosionsgrenze [Vol. %]	obere Explosionsgrenze [Vol. %]
Acetylen	2,3	100 (Selbstzerfall!)
Ethylen	2,4	32,6
Benzin	~0,6	~8
Benzol	1,2	8
Heizöl/Diesel	~0,6	~6,5
Methan	4,4	17
Propan	1,7	10,8
Schwefelkohlenstoff	0,6	60,0
Wasserstoff	4,0	77,0

Auszug aus den Tabellenwerken „Sicherheitstechnische Kenngrößen, Band 1: Brennbare Flüssigkeiten und Gase“ von E. Brandes und W. Möller sowie von K. Nabert und G. Schön (6. Nachtrag).



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Zündquellen

Um die Entzündung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre zu verhindern, ist es notwendig, alle möglichen auftretenden Zündquellen zu kennen und sicherzustellen, dass diese nicht wirksam werden können. Die Zündung explosionsfähiger Atmosphäre kann beispielsweise durch die folgenden Zündquellen erfolgen:

- Heiße Oberflächen.
- Flammen und heiße Gase.
- Mechanisch erzeugte Funken.
- Elektrische Anlagen.
- Elektrische Ausgleichsströme, kathodischer Korrosionsschutz.
- Statische Elektrizität.
- Blitzschlag.
- Elektromagnetische Wellen (Hochfrequenz).
- Optische Strahlung.
- Ionisierende Strahlung.
- Ultraschall.
- Adiabatische Kompression und Stoßwellen.
- Exotherme Reaktionen.

Mindestzündenergie

Zur Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre ist die Zufuhr einer bestimmten Energie erforderlich. Unter der Mindestzündenergie versteht man die kleinstmöglich umgesetzte Energie, z. B. bei Entladung eines Kondensators, die das entsprechende zündwillige Gemisch gerade noch entzündet. Die Mindestzündenergie liegt im Bereich von etwa 10–5 Joule für Wasserstoff und bis zu einigen Joule für bestimmte Stäube.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Integrierter Explosionsschutz

Das Prinzip des integrierten Explosionsschutzes erfordert es, dass alle Maßnahmen zum Explosionsschutz in einer festgelegten Reihenfolge vorzunehmen sind. Hierbei wird zwischen primären, sekundären und tertiären (konstruktiven) Schutzmaßnahmen unterschieden.

Primärer Explosionsschutz

Unter den primären Explosionsschutz fallen alle Maßnahmen, die verhindern, dass eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre entsteht – denn die Vermeidung der Gefahr ist besser als jeglicher Schutz. Deshalb sind diese Vorkehrungen immer als Erstes umzusetzen. Folgende Schutzmaßnahmen können ergriffen werden:

- Vermeidung brennbarer Stoffe (Ersatztechnologien).
- Inertisierung (Zugabe von Stickstoff, Kohlendioxid usw.).
- Begrenzung der Konzentration durch natürliche oder technische Belüftung.

Sekundärer Explosionsschutz

Wenn Explosionsgefahren durch Maßnahmen zum Verhindern der Bildung explosionsfähiger Atmosphären nicht oder nur unvollständig auszuschließen sind, müssen Maßnahmen ergriffen werden, die eine Zündung explosionsfähiger Atmosphäre verhindern. Das erforderliche Sicherheitsniveau dieser Vorkehrungen ist abhängig vom möglichen Gefährdungspotenzial am Einsatzort.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Tertiärer oder konstruktiver Explosionsschutz

Kann das Auftreten gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre nicht sicher vermieden werden und ist auch deren Zündung nicht auszuschließen, sind Maßnahmen vorzusehen, die die Auswirkungen einer Explosion auf ein ungefährliches Maß beschränken. Folgende Vorkehrungen sind möglich:

- Druckfeste oder druckstoßfeste Bauweise.
- Druckentlastungs- und Druckausgleichseinrichtungen.
- Explosionsunterdrückung durch Löscheinrichtung.





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

1.6.2.2 Technische Grundlagen

Tabelle 7: Zoneneinteilung

Gas	Zone 0*	ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.
	Zone 1*	ist ein Bereich, in dem sich im Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden kann.
	Zone 2*	ist ein Bereich, in dem im Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht auftritt, und wenn doch, dann nur selten und für kurze Zeit.
Staub	Zone 20*	ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus brennbarem Staub, der in der Luft enthalten ist, ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.
	Zone 21*	ist ein Bereich, in dem sich im Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub bilden kann.
	Zone 22*	ist ein Bereich, in dem im Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub normalerweise nicht auftritt, und wenn doch, dann nur selten und für kurze Zeit.

* Definitionen aus der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)

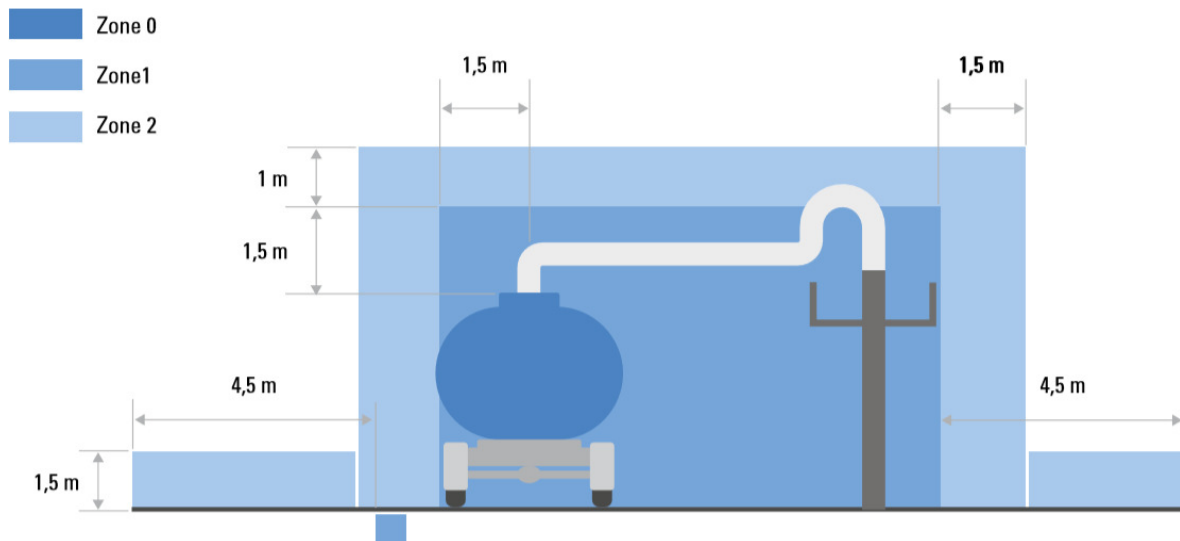


Tabelle 8: Zoneneinteilung und Zuordnung von Geräten entsprechend ihrer Kategorie bzw. ihrem Schutzniveau EPL

	Zone	Dauer des Vorhandenseins explosionsfähiger Atmosphäre	Gerätekategorie	Geräteschutzniveau EPL
Gase, Dämpfe, Nebel	0	ständig, langfristig, dauernd	1G	Ga
	1	gelegentlich	2G	Gb
	2	selten	3G	Gc
Stäube	20	ständig, langfristig, dauernd	1D	Da
	21	gelegentlich	2D	Db
	22	selten	3D	Dc



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Explosionsgefährdete Bereiche werden in Zonen unterteilt, um die Auswahl zweckentsprechender Geräte sowie die Gestaltung von sachgerechten elektrischen Installationen zu erleichtern. Die Zoneneinteilung spiegelt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von explosionsfähiger Atmosphäre wider (s. Tabelle 7).

Informationen und Vorgaben zur Zoneneinteilung findet man in IEC 60079-10-1 für gasexplosionsgefährdete Bereiche bzw. in IEC 60079-10-2 für Bereiche mit brennbarem Staub. Weiterhin gibt es nationale Regeln: Beispielsweise gelten in Deutschland die „Explosionsschutz-Regeln (ExRL) – Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung“ (DGUV 113-100, früher BRG 104) oder die Technischen Regeln für Betriebssicherheit TRBS 2152. In der EU sind die Zonen in der EG-Richtlinie 1999/92/EG bzw. in den nationalen Umsetzungen dieser Richtlinie (z. B. in Deutschland: Gefahrstoffverordnung GefStoffV, Österreich: VEXAT) definiert.

Bei der Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen und der Festlegung der notwendigen Schutzmaßnahmen ist jeweils das höchstmögliche Gefahrenpotenzial zu berücksichtigen. Steht im Unternehmen keine fachkundige Person zur Beurteilung der Explosionsgefahr und zur Festlegung der notwendigen Maßnahmen zur Verfügung, sollte eine fachkundige Stelle eingeschaltet werden.

Die in der festgelegten Gefahrenzone eingesetzten Geräte müssen die Anforderungen der entsprechend zugeordneten Gerätekategorie bzw. das Geräteschutzniveau erfüllen. Einen Überblick über die Zoneneinteilung und die Zuordnung von Geräten entsprechend ihrer Kategorie ist in der Tabelle 8 dargestellt.

Gerätekategorien und Geräteschutzniveau EPL

Je nach Wahrscheinlichkeit des Auftretens von explosionsfähiger Atmosphäre werden unterschiedliche Sicherheitsanforderungen an die verwendeten Geräte gestellt.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Das Sicherheitsniveau der Geräte ist auf das Gefahrenpotenzial in den unterschiedlichen Zonen abgestimmt.

Durch die EU-Richtlinie 2014/34 (ATEX) werden in Europa explosionsgeschützte Geräte in Kategorien eingeordnet. Auf internationaler Ebene wurde durch die IEC 60079-0 von 2007 das Geräteschutzniveau EPL (Equipment Protection Level) eingeführt.

Betriebsmittel sind je nach Kategorie oder Geräteschutzniveau EPL mit Explosionsschutzmaßnahmen von unterschiedlich hohem Schutzniveau (Schutzgrad) auszulegen.

Geräte Kategorien

Für Geräte zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen – außer schlagwettergefährdeten Grubenbauen – sind drei Kategorien vorgesehen:

Kategorie 1: Geräte dieser Kategorie zeichnen sich durch ein **sehr hohes Maß** an Sicherheit aus. Sie müssen selbst bei **selten** auftretenden Gerätestörungen sicher sein und weisen daher Explosionsschutzmaßnahmen auf, damit:

- beim Versagen einer apparativen Schutzmaßnahme mindestens eine zweite unabhängige apparative Schutzmaßnahme die erforderliche Sicherheit garantiert.
- beim Auftreten von zwei unabhängigen Fehlern die erforderliche Sicherheit gewährleistet wird.

Kategorie 2: Geräte und Systeme bieten ein **hohes Maß** an Sicherheit. Die apparativen Explosionsschutzmaßnahmen dieser Kategorie sind bei **häufigen** Gerätestörungen oder Fehlerzuständen (die üblicherweise zu erwarten sind) sicher.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Kategorie 3: Geräte dieser Kategorie gewährleisten bei **normalem** Betrieb das **erforderliche Maß** an Sicherheit.

Durch den Zusatzbuchstaben **G** oder **D** wird auf die Verwendung des Gerätes für gasexplosionsgefährdete Bereiche (G) oder für Bereiche mit brennbarem Staub (D, dust) hingewiesen.

Bei Geräten zum Einsatz in schlagwettergefährdeten Grubenbauen werden zwei Kategorien unterschieden:

Kategorie M1: Geräte dieser Kategorie zeichnen sich durch ein **sehr hohes Maß** an Sicherheit aus. Sie müssen selbst bei **seltenen** Gerätestörungen in vorhandener explosionsfähiger Atmosphäre weiterbetrieben werden können und weisen daher Explosionsschutzmaßnahmen auf, damit:

- beim Versagen einer apparativen Schutzmaßnahme mindestens eine zweite unabhängige apparative Schutzmaßnahme die erforderliche Sicherheit gewährleistet.
- beim Auftreten von zwei unabhängigen Fehlern noch die erforderliche Sicherheit garantiert wird.

Kategorie M2: Geräte und Systeme der Kategorie M2 bieten ein **hohes Maß** an Sicherheit. Beim Auftreten einer explosionsfähigen Atmosphäre müssen die Geräte aber abgeschaltet werden können. Die apparativen Explosionsschutzmaßnahmen innerhalb dieser Kategorie gewährleisten das erforderliche Maß an Sicherheit bei normalem Betrieb – auch unter schweren Betriebsbedingungen und insbesondere bei rauer Behandlung und wechselnden Umgebungseinflüssen.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Geräteschutzniveau EPL

Nach IEC 60079-0 werden Geräte für explosionsgefährdete Bereiche in drei Schutzniveaus eingestuft.

EPL Ga oder Da: Gerät mit **sehr hohem** Schutzniveau zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen. Bei diesen Geräten besteht bei Normalbetrieb, vorhersehbaren oder seltenen Fehlern/Fehlfunktionen keine Zündgefahr.

EPL Gc oder Dc: Gerät mit **erweitertem** Schutzniveau zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen. Während des normalen Betriebes existiert keine Zündgefahr. Die Geräte weisen einige zusätzliche Schutzmaßnahmen auf, die gewährleisten, dass bei üblicherweise vorhersehbaren Störungen des Gerätes keine Zündgefahr besteht.

Die Buchstaben **G** und **D** legen fest, ob die Geräte und Systeme für gasexplosionsgefährdete Bereiche (G) oder für Bereiche mit brennbarem Staub (D, dust) geeignet sind.

Für Geräte in schlagwettergefährdeten Grubenbauen sind zwei Schutzniveaus definiert.

EPL Ma: Gerät mit **sehr hohem** Schutzniveau, das das erforderliche Maß an Sicherheit gewährleistet. Bei diesen Geräten besteht bei Normalbetrieb, vorhersehbaren oder seltenen Fehlern/Fehlfunktionen keine Zündgefahr – selbst wenn das Gerät während eines Gasaustritts noch in Betrieb ist.

EPL Mb: Gerät mit **hohem** Schutzniveau, das das erforderliche Maß an Sicherheit garantiert. Bei Normalbetrieb oder vorhersehbaren Fehlern/Fehlfunktionen liegt in der Zeit zwischen Gasaustritt und Ausschalten des Geräts keine Zündgefahr vor.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Der Anwendungsbereich von Betriebsmitteln einer bestimmten Kategorie bzw. eines bestimmten Schutzniveaus EPL in den entsprechenden Gefährzonen wird in der Tabelle 8 dargestellt.

Einteilung nach der europäischen Richtlinie 2014/34/EU (ATEX)

Die explosionsgeschützten Geräte werden in zwei Gruppen unterteilt.

Gerätegruppe I: Geräte zur Verwendung in Untertagebetrieben von Bergwerken sowie deren Übertageanlagen, die durch Grubengas und/oder brennbare Stäube gefährdet werden können.

Gerätegruppe II: Geräte zur Verwendung in den übrigen Bereichen, die durch eine explosionsfähige Atmosphäre gefährdet werden können.

Elektrische Geräte für Grubenbaue, in denen zusätzlich zum Schlagwetter Anteile anderer Gase als Methan auftreten können, müssen neben den Bestimmungen der Gruppe I auch die zutreffenden Anforderungen der Gruppe II einhalten. Geräte der Gruppe II werden nach dem Anwendungsbereich weiter unterschieden in Geräte für durch Gase, Dämpfe, Nebel gefährdete Bereiche und solche für durch Stäube gefährdete Bereiche.

Einteilung nach IEC 60079

Früher wurden bei explosionsgeschützten Geräten zwei Gruppen definiert.

Gruppe I: Geräte für schlagwettergefährdete Grubenbaue.

Gruppe II: Geräte für explosionsgefährdete Bereiche – außer Grubenbaue.

Mit der Veröffentlichung der IEC 60079-0 von 2007 wurde die Gruppe III für staubexplosionsgefährdete Bereiche eingeführt. Die Gruppe II ist den Geräten für gasexplosionsgefährdete Bereiche vorbehalten.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Gruppe II:

Geräte für gasexplosionsgefährdete Bereiche – außer Grubenbaue.

Gruppe III:

Geräte für staubexplosionsgefährdete Bereiche – außer Grubenbaue.

Elektrische Geräte der Gruppe II (Gas) werden entsprechend den Eigenschaften der explosionsfähigen Atmosphäre (für die sie bestimmt sind) unterteilt in die Gruppen IIA, IIB und IIC (Tabelle 9). Diese Zuordnung betrifft die Zündschutzarten Druckfeste Kapselung und Eigensicherheit. Sie beruht für die Druckfeste Kapselung auf der experimentell ermittelten Grenzspaltweite (MESG), die ein Maß für das Durchschlagverhalten einer heißen Flamme durch einen engen Spalt ist. Für die Eigensicherheit ist der Mindestzündstrom (MIC) ausschlaggebend – eine Größe für die Mindestzündenergie der auftretenden Gase und Dämpfe. Geräte für staubexplosionsgefährdete Bereiche (Gruppe III) unterteilt man entsprechend der Art des Staubes in die Gruppen IIIA (brennbare Flusen), IIIB (nicht leitfähiger Staub) und IIIC (leitfähiger Staub). Die letzten beiden Gruppen unterscheiden sich im spezifischen elektrischen Widerstand, der bei den Stäuben der Gruppe IIIC bei einem Wert kleiner oder gleich $10^3 \Omega m$ liegt.

Tabelle 9: Unterteilung der Gruppe II

Gruppe	Typisches Gas	Grenzspaltweite (MESG) in mm	Mindestzündstromverhältnis* (MIC)
IIA	Propan	> 0,9	> 0,8
IIB	Ethylen	0,5 ... 0,9	0,45 ... 0,8
IIC	Wasserstoff	< 0,5	< 0,45
* Mindestzündstromverhältnis bezogen auf Methan			



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Somit werden die Stoffe und damit die explosionsgefährdeten Bereiche, in denen diese vorkommen, in Gruppen eingestuft. Die eingesetzten Geräte müssen für die Anforderungen der Gruppe ausgelegt sein, die von IIA nach IIC bzw. IIIA nach IIIC ansteigen. Ein Gerät, das den Kriterien für IIC genügt, kann ebenso in Bereichen IIB und IIA eingesetzt werden. Geräte der Gruppe IIB darf man auch in den Bereichen IIA verwenden. IIA-Geräte können nur im Bereich IIA eingesetzt werden. Dies gilt analog für Geräte der Gruppen IIIA, IIIB und IIIC.

Zündtemperatur und Temperaturklassen

Die Zündtemperatur einer explosionsfähigen Gasatmosphäre oder Staubwolke ist die niedrigste Temperatur einer erhitzten Oberfläche, bei der unter festgelegten Bedingungen eine Entzündung brennbarer Stoffe in Form von Gas oder Dampf bzw. Staub im Gemisch mit Luft eintritt.

Brennbare Gase

Brennbare Gase und Dämpfe werden nach ihrer Entzündbarkeit in Temperaturklassen eingeteilt (Tabelle 10). Die maximale Oberflächentemperatur eines elektrischen Betriebsmittels muss stets kleiner sein als die Zündtemperatur des Gas- bzw. Dampf- Luft-Gemisches, in dem es eingesetzt wird. Selbstverständlich sind Betriebsmittel, die einer höheren Temperaturklasse entsprechen (z. B. T5), auch für Anwendungen zulässig, bei denen eine niedrigere Temperaturklasse gefordert ist (z. B. T2 oder T3). In Nordamerika existiert ein System mit einer weiteren Unterteilung in Untertemperaturklassen.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Tabelle 10: Temperaturklassen

Zündtemperatur der Gase und Dämpfe in °C	Temperaturklasse	Maximale Oberflächentemperatur am Betriebsmittel in °C
> 450	T1	450
> 300 bis 450	T2	300
> 200 bis 300	T3	200
> 135 bis 200	T4	135
> 100 bis 135	T5	100
> 85 bis 100	T6	85

Brennbare Stäube

Bei brennbaren Stäuben wird keine Einteilung in Temperaturklassen vorgenommen. Die Zündtemperatur der Staubwolke muss mit der maximalen zulässigen Oberflächentemperatur des Gerätes verglichen werden. Dabei ist ein Sicherheitsfaktor zu berücksichtigen. Die maximale Oberflächentemperatur des Gerätes darf nur $\frac{2}{3}$ der Zündtemperatur der Staubwolke betragen. Da sich Stäube aber auch auf den Geräten ablagern können, muss zusätzlich die Zündtemperatur der Staubschicht (Glimmtemperatur) betrachtet werden. Die Glimmtemperatur ist die niedrigste Temperatur einer heißen Oberfläche, auf der sich eine Staubschicht von 5 mm entzünden kann.

Der Abgleich mit der maximalen Oberflächentemperatur des Gerätes ist mit einem Sicherheitsfaktor von 75 °C durchzuführen. Bei höheren Schichtdicken nimmt die Wärmedämmung zu. Deshalb soll die maximal zulässige Oberflächentemperatur am Gerät weiter reduziert werden. Diese wird nach dem Schema (Bild 4) aus IEC 60079-14 ermittelt. Wenn die Schichtdicke über 50 mm liegt, muss die Glimmtemperatur über Laborversuche ermittelt werden.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Dies gilt auch für Schichtdicken größer als 5 mm, wenn die Glimmtemperatur bei 5 mm Schichtdicke kleiner als 250 °C ist. Laborversuche sind ebenfalls beim kompletten Einschütten der Geräte mit brennbarem Staub notwendig. Das Gerät darf an den kritischen Oberflächen nicht heißer werden als die niedrigere der beiden ermittelten zulässigen Oberflächen in Bezug auf die Staubwolke und die Staubschicht.

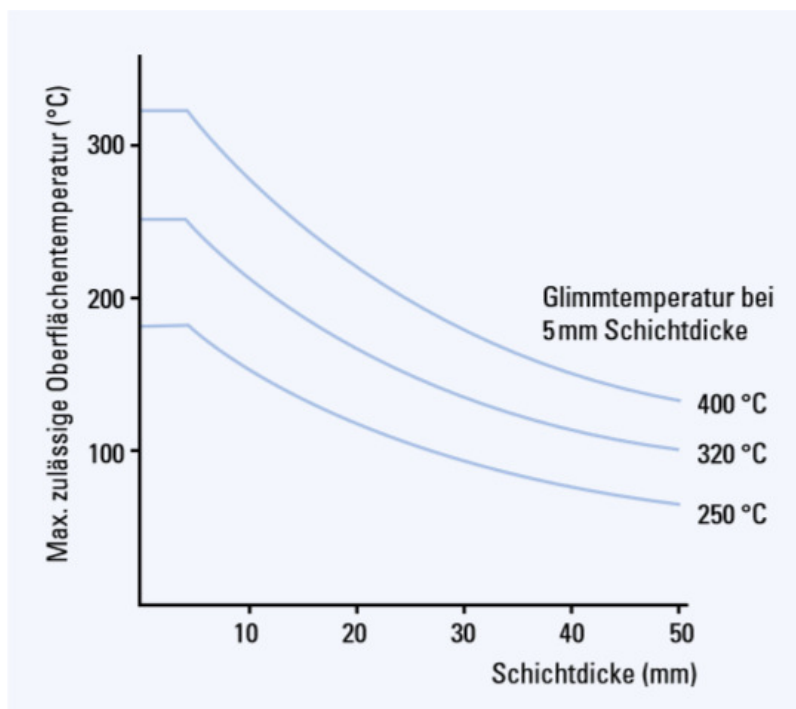


Bild 4: Ermittlung der max. Oberflächentemperatur bei Staubschichten 5 mm bis 50 mm

Zündschutzarten

In Bereichen, in denen mit dem Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen ist, dürfen nur explosionsgeschützte Geräte verwendet werden.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Elektrische explosionsgeschützte Geräte für explosionsgefährdete Bereiche können nach den Baubestimmungen der Normenreihe IEC 60079 in verschiedenen Zündschutzarten ausgeführt werden. Zündschutzarten für nicht-elektrische Geräte sind in der Normenreihe ISO 80079 bzw. früher in Europa in der EN 13463 festgelegt.

Welche Zündschutzart der Hersteller bei einem Gerät anwendet, hängt im Wesentlichen von der Art und der Funktion des Gerätes ab. Einige Zündschutzarten gibt es in unterschiedlichen Schutzniveaus. Diese entsprechenden Gerätekategorien nach der Richtlinie 2014/34/EU bzw. den Geräteschutzniveaus EPL nach IEC 60079-0.

So gibt es bei der Eigensicherheit die Ausführung Ex ia, die als Kategorie 1 bzw. EPL Ga eingestuft ist. Diese kann in Zone 0 installiert werden. Die Ausführung Ex ib entspricht der Kategorie 2 bzw. EPL Gb. Sie eignet sich für die Zone 1. Ex ic kann als Kategorie 2 oder EPL Gc in Zone 2 eingesetzt werden. Sicherheitstechnisch sind alle genormten Zündschutzarten innerhalb einer Kategorie bzw. eines Geräteschutzniveaus als gleichwertig zu betrachten. Die Tabellen 11 + 12 geben einen Überblick über die genormten Zündschutzarten und beschreiben das Grundprinzip sowie die üblichen Anwendungsfälle. Durch die Integration der Zündschutzarten für staubexplosionsgefährdete Bereiche in die Normenreihe 60079 wurden auch die Symbole der Zündschutzarten vereinfacht (Tabelle 13).



Rheinische Hochschule Köln

University of Applied Sciences

Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Elektrische Geräte:

Tabelle 11: Zündschutzarten für elektrische Geräte in explosionsgefährdeten Bereichen, Teil 1

Zündschutzart nach IEC, EN, ISA und UL	Darstellung (Schema)	Grundprinzip	Hauptanwendung
Allgemeine Anforderungen IEC 60079-0 EN 60079-0 UL 60079-0		In dieser Norm sind die allgemeinen Anforderungen für explosionsgeschützte elektrische Geräte festgelegt. Auch die Gerätekennzeichnung ist in dieser Norm beschrieben.	
Erhöhte Sicherheit „e“ IEC 60079-7 EN 60079-7 UL 60079-7		Hier sind zusätzliche Maßnahmen getroffen, um mit einem erhöhten Grad an Sicherheit die Möglichkeit unzulässig hoher Temperaturen und das Entstehen von Funken und Lichtbögen im Innern oder an äußeren Teilen elektrischer Betriebsmittel, bei denen diese im normalen Betrieb nicht auftreten, zu verhindern.	Klemmen und Anschlusskästen, Steuerkästen zum Einbau von Ex-Bauteilen (die in einer anderen Zündschutzart geschützt sind), Käfigläufermotoren, Leuchten eb = Einsatz in Zone 1, 2 ec = Einsatz in Zone 2
Druckfeste Kapselung „d“ IEC 60079-1 EN 60079-1 UL 60079-1		Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre zünden können, sind in ein Gehäuse eingeschlossen, das bei der Explosion eines explosionsfähigen Gemisches im Innern deren Druck aushält und eine Übertragung der Explosion auf die das Gehäuse umgebende Atmosphäre verhindert.	Schaltgeräte und Schaltanlagen, Befehls- und Anzeigegeräte, Steuerungen, Motoren, Transformatoren, Heizgeräte, Leuchten da = Einsatz in Zone 0, 1, 2 db = Einsatz in Zone 1, 2 dc = Einsatz in Zone 2
Überdruckkapselung „p“ IEC 60079-2 EN 60079-2 UL 60079-2		Die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre im Inneren eines Gehäuses wird dadurch verhindert, dass durch ein Zündschutzgas ein innerer Überdruck gegenüber der umgebenden Atmosphäre aufrechterhalten wird und dass, wenn notwendig, das Innere des Gehäuses ständig so mit Zündschutzgas versorgt wird, dass die Verdünnung brennbarer Gemische erreicht wird.	Schalt- und Steuerschränke, Analysegeräte, große Motoren pxb = Einsatz in Zone 1, 2 bzw. Zone 21, 22 pyb = Einsatz in Zone 1, 2 bzw. Zone 21, 22 pzc = Einsatz in Zone 2 bzw. Zone 22
Eigensicherheit „i“ IEC 60079-11 EN 60079-11 UL 60079-11		Die im explosionsgefährdeten Bereich eingesetzten Betriebsmittel enthalten nur eigensichere Stromkreise. Ein Stromkreis ist eigensicher, wenn kein Funke und kein thermischer Effekt, die unter festgelegten Prüfungsbedingungen (welche den normalen Betrieb und bestimmte Fehlerbedingungen umfassen) auftreten, die Zündung einer bestimmten explosionsfähigen Atmosphäre verursachen kann.	Mess- und Regeltechnik, Feldbus-technik, Sensoren, Aktoren ia = Einsatz in Zone 0, 1, 2 bzw. Zone 20, 21, 22 ib = Einsatz in Zone 1, 2 bzw. Zone 21, 22 ic = Einsatz in Zone 2 bzw. Zone 22 [Ex ib] = zugehöriges elektrisches Betriebsmittel – Installation im sicheren Bereich
IEC 60079-25 EN 60079-25 ISA 60079-25		Beurteilung der Eigensicherheit für definierte Systeme (Geräte und Kabel).	Eigensichere Systeme
EN 60079-27 ISA 60079-27	FISCO Ex ia IIC T4	Festlegung der physikalischen und elektrischen Grenzwerte des eigensicheren Busstranges.	Eigensichere Feldbussysteme (FISCO) für Zone 0, 1 oder 2



Rheinische Hochschule Köln

University of Applied Sciences

Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Tabelle 12: Zündschutzarten für elektrische Geräte in explosionsgefährdeten Bereichen, Teil 2

Zündschutzart nach IEC, EN, ISA und UL	Darstellung (Schema)	Grundprinzip	Hauptanwendung
Ölkapselung „o“ IEC 60079-6 EN 60079-6 UL 60079-6		Elektrische Betriebsmittel oder Teile von elektrischen Betriebsmitteln sind derart in eine Schutzflüssigkeit (z. B. Öl) eingetaucht, dass eine explosionsfähige Atmosphäre über der Oberfläche oder außerhalb der Kapselung nicht gezündet werden kann.	Transformatoren, Anlasswiderstände 0 = Einsatz in Zone 1, 2
Sandkapselung „q“ IEC 60079-5 EN 60079-5 UL 60079-5		Durch Füllung des Gehäuses eines elektrischen Betriebsmittels mit einem feinkörnigen Füllgut wird erreicht, dass bei bestimmungsgemäßem Gebrauch ein in seinem Gehäuse entstehender Lichtbogen eine das Gehäuse umgebende explosionsfähige Atmosphäre nicht zündet. Es darf weder eine Zündung durch Flammen noch eine Zündung durch erhöhte Temperaturen an der Gehäuseoberfläche erfolgen.	Sensoren, elektronische Vorschaltgeräte, Transmitter q = Einsatz in Zone 1, 2
Vergusskapselung „m“ IEC 60079-18 EN 60079-18 UL 60079-18		Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre zünden können, werden so in Vergussmasse eingebettet, dass die explosionsfähige Atmosphäre nicht gezündet werden kann.	ma = Einsatz in Zone 0, 1, 2 bzw. Zone 20, 21, 22 mb = Einsatz in Zone 1, 2 bzw. Zone 21, 22 mc = Einsatz in Zone 2 bzw. Zone 22
Zündschutzart „n“ IEC 60079-15 EN 60079-15 UL 60079-15		Elektrische Betriebsmittel sind nicht in der Lage, eine umgebende explosionsfähige Atmosphäre zu zünden (im Normalbetrieb und unter definierten anormalen Betriebsbedingungen).	Alle elektrischen Betriebsmittel für Zone 2 nA = nichtfunkende Betriebsmittel nC = Einrichtungen und Bauteile nR = schwachdichtere Gehäuse
Optische Strahlung „op“ IEC 60079-28 EN 60079-28 ISA 60079, 28		Durch geeignete Maßnahmen wird vermieden, dass eine optische Strahlung eine explosionsfähige Atmosphäre entzündet.	Lichtwellenleiter/Einsatz in gas-explosionsgefährdeten Bereichen Es gibt drei verschiedene Methoden: Ex op is = inhärent sichere optische Strahlung Ex op pr = geschützte optische Strahlung Ex op sh = optische Strahlung mit Verriegelung
Schutz durch Gehäuse „t“ IEC 60079-31 EN 60079-31		Durch die Dichtheit der Gehäuse wird das Eindringen von Staub verhindert oder auf ein ungefährliches Maß eingeschränkt. Somit können zündfähige Betriebsmittel in das Gehäuse eingebaut werden. Die Temperatur am Gehäuse darf die umgebende Atmosphäre nicht entzünden.	Schaltgeräte und Schaltanlagen, Steuer-, Anschluss- und Klemmenkästen, Motoren, Leuchten ta = Einsatz in Zone 20, 21, 22 tb = Einsatz in Zone 21, 22 tc = Einsatz in Zone 22



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Nicht elektrische Geräte:

Tabelle 14: Zündschutzarten für nicht-elektrische Geräte in explosionsgefährdeten Bereichen			
Zündschutzart nach ISO bzw. EN	Darstellung (Schema)	Grundprinzip	Hauptanwendung
Allgemeine Anforderungen ISO 80079-36 (früher EN 13463-1)		In dieser Norm sind die allgemeinen Anforderungen für explosionsgeschützte nicht-elektrische Geräte festgelegt. Auch die Gerätekennzeichnung ist in dieser Norm beschrieben.	
Konstruktive Sicherheit „c“ ISO 80079-37 (früher EN 13463-5)		An Gerätearten, die bei Normalbetrieb keine Zündquelle enthalten, werden bewährte technische Prinzipien angewandt, sodass das Risiko von mechanischen Fehlern, die zum Entstehen von zündfähigen Temperaturen und Funken führen können, auf ein sehr geringes Maß reduziert wird.	Kupplungen, Pumpen, Zahnradantriebe, Kettenantriebe, Förderbänder
Druckfeste Kapselung „d“ IEC 60079-1 (früher EN 13463-3)		Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre zünden können, sind in ein Gehäuse eingeschlossen, das bei der Explosion eines explosionsfähigen Gemisches im Inneren deren Druck aushält und eine Übertragung der Explosion auf die das Gehäuse umgebende Atmosphäre verhindert.	Bremsen, Kupplungen
Überdruckkapselung „p“ IEC 60079-2 (früher EN 60079-2)		Die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre im Inneren eines Gehäuses wird dadurch verhindert, dass durch ein Zündschutzgas ein innerer Überdruck gegenüber der umgebenden Atmosphäre aufrechterhalten wird und dass, wenn notwendig, das Innere des Gehäuses ständig so mit Zündschutzgas versorgt wird, dass die Verdünnung brennbarer Gemische erreicht wird.	Pumpen
Zündquellenüberwachung „b“ ISO 80079-37 (früher EN 13463-6)		Es werden Sensoren in das Gerät eingebaut, damit sich anbahnende gefährliche Bedingungen festgestellt und bereits in einer frühen Phase der Störung, bevor potenzielle Zündquellen wirksam werden, Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können. Die angewandten Maßnahmen können automatisch durch direkte Verbindungen zwischen den Sensoren und dem Zündschutzsystem oder manuell durch Abgabe einer Warnung an den Betreiber des Gerätes eingeleitet werden.	Pumpen, Förderbänder
Flüssigkeitskapselung „k“ ISO 80079-37 (früher EN 13463-8)		Durch Eintauchen in eine Schutzflüssigkeit oder durch ständiges Benetzen mit einem Flüssigkeitsfilm einer Schutzflüssigkeit werden Zündquellen unwirksam gemacht.	Tauchpumpen, Getriebe, Flüssigkeitskapselung
Schutz durch Gehäuse „t“ IEC 60079-31		Durch die Dichtheit der Gehäuse wird das Eindringen von Staub verhindert oder auf ein ungefährliches Maß eingeschränkt. Somit können zündfähige Bauteile in das Gehäuse installiert werden. Die Temperatur am Gehäuse darf die umgebende Atmosphäre nicht entzünden.	Geräte ausschließlich für staubexplosionsgefährdete Bereiche

Anwendung der Zündschutzart Eigensicherheit „i“

Die Zündschutzart Eigensicherheit basiert auf dem Prinzip der Strom- und Spannungsbegrenzung in einem Stromkreis. Die Energie des Stromkreises (die in der Lage sein könnte, explosionsfähige Atmosphäre zum Zünden zu bringen) wird dabei so begrenzt,



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

dass weder durch Funken noch durch unzulässige Oberflächenerwärmung der elektrischen Bauteile die Zündung der umgebenden explosionsfähigen Atmosphäre stattfinden kann. Diese Zündschutzart findet besonders in der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik ihre Anwendung, da dort selten hohe Ströme, Spannungen und Leistungen notwendig sind.

Eigensicherer Stromkreis

Ein Stromkreis, in dem weder ein Funke noch ein thermischer Effekt eine Zündung einer bestimmten explosionsfähigen Atmosphäre verursachen kann.

Eigensichere elektrische Betriebsmittel

Ein elektrisches Betriebsmittel, in dem alle Stromkreise eigensicher sind.

Zugehörige elektrische Betriebsmittel

Ein elektrisches Betriebsmittel, das sowohl eigensichere als auch nicht eigensichere Stromkreise enthält. Es ist so aufgebaut, dass die nicht eigensicheren Stromkreise die eigensicheren nicht beeinträchtigen können (Tabelle 15).

Tabelle 15: Unterschied zwischen eigensicheren und zugehörigen elektrischen Betriebsmitteln

Eigensichere Betriebsmittel	Zugehörige elektrische Betriebsmittel	
Ex ib IIC T6 Gb	[Ex ib Gb] IIC T6	Ex de [ib] IIC T6 Gb
Alle notwendigen Angaben wie Kategorie, Explosionsgruppe und Temperaturklasse sind vorhanden.	Die eckigen Klammern machen deutlich, dass das zugehörige elektrische Betriebsmittel einen eigensicheren elektrischen Stromkreis enthält, der in Zone 1, Explosionsgruppen IIA, IIB und IIC geführt werden darf.	
Das Betriebsmittel darf in Zone 1 eingesetzt werden.	Das Betriebsmittel muss außerhalb des explosionsgefährdeten Bereiches errichtet werden.	Das Betriebsmittel darf aufgrund des Einbaus in ein druckfestes Gehäuse („d“) in Zone 1 eingesetzt werden.

Wesentlicher Gesichtspunkt der Zündschutzart Eigensicherheit ist die Frage der Zuverlässigkeit bezüglich der Einhaltung der Spannungs- und Stromgrenzen – auch unter Annahme bestimmter Fehler. Eigensichere elektrische Betriebsmittel und eigensichere Teile von zugehörigen Betriebsmitteln werden hinsichtlich dieser Zuverlässigkeit in unterschiedliche Schutzniveaus **ia**, **ib** oder **ic** eingeteilt. Die unterschiedlichen Schutzniveaus sind auf die verschiedenen Zonen abgestimmt. So ist die Eigensicherheit **ia** für den Einsatz in Zone 0, **ib** für den Einsatz in Zone 1 und **ic** für die Zone 2 geeignet.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Es wird außerdem zwischen Einfehlersicherheit und Zweifehlersicherheit unterschieden:

- Einfehlersicherheit: Bei Ausfall eines sicherheitsrelevanten Bauteils muss ein zweites Bauteil dessen Aufgabe übernehmen (Schutzniveau ib: ein redundantes Bauteil).
- Zweifehlersicherheit: Bei Ausfall von zwei sicherheitsrelevanten Bauteilen muss ein drittes Bauteil deren Aufgabe übernehmen (Schutzniveau ia: zwei redundante Bauteile).

Eine wichtige Schutzmaßnahme für eigensichere Stromkreise ist die sichere Trennung aller eigensicheren von allen nicht- eigensicheren Stromkreisen. Mit Ausnahme von Sicherheitsbarrieren wird stets eine sichere galvanische Trennung gefordert. Für die Zone 0 wird generell eine galvanische Trennung empfohlen. Zenerdioden zur Spannungsbegrenzung sowie andere Halbleiterbauelemente gelten als störanfällig und müssen durch redundante Bauteile abgesichert werden. Schicht- oder Drahtwiderstände zur Strombegrenzung gelten als nicht störanfällige Bauteile (im Fehlerfall werden sie hochohmig). Deshalb kann man diese einfach ausführen.

Anwendung und Kombination der Zündschutzarten Druckfeste Kapselung „d“ und Erhöhte Sicherheit „e“

Die bei Schaltgeräten wichtigste Zündschutzart ist die Druckfeste Kapselung – meist gemeinsam mit der Zündschutzart Erhöhte Sicherheit. Die Zündschutzart Erhöhte Sicherheit beruht darauf, dass Maßnahmen getroffen werden, um mit einem erhöhten Grad an Sicherheit das Entstehen von Zündquellen zu vermeiden. Da Schaltgeräte jedoch betriebsmäßig Zündquellen produzieren, können die Geräte allein in dieser Schutzart nicht explosionsgeschützt ausgeführt werden. Gemeinsam mit der druckfesten Kapselung spielt die erhöhte Sicherheit auch für Schaltanlagen eine wichtige Rolle.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Ebenso wird bei modernen explosionsgeschützten Leuchten die Kombination mehrerer Zündschutzarten angewendet, um sicherheitstechnisch, funktionell und wirtschaftlich das Optimum zu erzielen

Anwendung der Zündschutzart Konstruktive Sicherheit „c“

Nicht-elektrische Geräte werden häufig in der Zündschutzart Konstruktive Sicherheit ausgeführt. Bei dieser Zündschutzart wird durch konstruktive Maßnahmen das Risiko von Fehlern, die zu Zündquellen an einem Gerät führen können, auf ein geringes Maß reduziert. So kann man zum Beispiel heiße Oberflächen oder mechanisch erzeugte Funken an bewegten Teilen durch bauliche Maßnahmen verhindern. Die Maßnahmen hängen im Wesentlichen von der Geräteart ab und können sehr unterschiedlich ausfallen. Hierbei spielt die Betrachtung der Materialpaarungen, der Dimensionierung, der Toleranzen und Schmiermittel an bewegten Teilen eine Rolle. Aber auch Wartungsintervalle und die Überwachung der Lebensdauer können von entscheidender Bedeutung sein. Der Hersteller legt in der Betriebsanleitung die bestimmungsgemäße Verwendung fest. Dazu gehören die Festlegung der Umgebungs- und Einsatzbedingungen sowie die zulässigen Betriebsparameter. Der Betreiber hat den Angaben in der Betriebsanleitung Folge zu leisten.

Kennzeichnung

Weltweit (IEC)

Die Kennzeichnung für elektrische Geräte ist in der IEC 60079-0 festgelegt. Zusätzlich zum Namen des Herstellers oder zu seinem Warenzeichen, der Typenbezeichnung, der Seriennummer und der Prüfstelle mit Zertifikatsnummer ist noch eine besondere Kodierung gefordert, die den Einsatz des Gerätes beschreibt:



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

- Das Symbol Ex.
- Das Symbol jeder verwendeten Zündschutzart. (Bei zugehörigen elektrischen Betriebsmitteln, die in gefährdeten Bereichen installiert werden sollen, müssen die Symbole für die Zündschutzart in eckigen Klammern angegeben werden.)
- Gruppe IIA, IIB oder IIC für gasexplosionsgefährdete Bereiche bzw. Gruppe IIIA, IIIB oder IIIC für staubexplosionsgefährdete Bereiche.
- Temperaturklasse für gasexplosionsgefährdete Bereiche bzw. max. Oberflächentemperatur in °C für staubexplosionsgefährdete Bereiche.
- Das Zündschutzniveau (EPL: Equipment Protection Level).

Beispiele: Ex d e IIC T4 Gb Ex ta IIIC T120°C Da

Wenn aus den Zündschutzarten klar hervorgeht, welches Zündschutzniveau sie erreichen, kann die EPL-Kennzeichnung entfallen. Bei einigen Zündschutzarten ist dies bereits mit den bestehenden Symbolen erreicht (z. B. ia). Bei anderen muss der Buchstabe a, b oder c ergänzt werden: aus d wird db.

Beispiele: Ex db eb IIC T4 Ex ta IIIC T120°C

Bei zugehörigen elektrischen Betriebsmitteln, die in nicht- explosionsgefährdeten Bereichen installiert werden dürfen, müssen die Symbole für die Zündschutzart in eckigen Klammern angegeben werden.

Beispiel: Ex d [ia Ga] IIB T5 Gb oder alternativ Ex db [ia] IIB T5

Die Kennzeichnung von nicht-elektrischen Geräten gleicht weitestgehend der Kennzeichnung von elektrischen Geräten. Anstelle der verschiedenen Symbole für die Zündschutzarten wird jedoch grundsätzlich der Buchstabe „h“ gesetzt.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Europa (ATEX)

In Europa muss zusätzlich zu der Kennzeichnung nach Norm (siehe IEC) noch die Anforderung nach der EU-Richtlinie 94/9/EG bzw. 2014/34/EU (ATEX) erfüllt werden. Folgende Daten sind aufzunehmen:

- Die Anschrift des Herstellers.
- CE-Kennzeichnung (gegebenenfalls mit Kennnummer der benannten Stelle).
- Das Symbol und die Gruppe (z. B.: II) sowie die Kategorie 1, 2 oder 3 und Buchstabe G (Gase) oder D (Staub).

Beispiel: Ex II 2 G

In der Vergangenheit wurde in Europa anstelle „Ex“ bei der Kennzeichnung nach Norm ein „EEx“ gesetzt, z. B. EEx d e IIC T4. Damit wurde Bezug auf die Europäischen Normen (EN 50014 ff.) genommen, die sich zu dieser Zeit von den IEC-Normen unterschieden. Dies ist mit dem aktuellen Normenstand nicht mehr notwendig, so dass auch in Europa die neuen Geräte nur noch mit „Ex“ gekennzeichnet werden.

Normen für nicht-elektrische Geräte wurden ursprünglich von CEN in Europa unter der Normenreihe EN 13463 erstellt. Die Kennzeichnung ähnelt dabei der Kennzeichnung für elektrische Geräte – mit folgenden Ausnahmen:

- „Ex“ wird nicht angegeben, da durch ATEX bereits das Ex-Zeichen auf den Explosionsschutz verweist.
- Das Geräteschutzniveau wird nicht ausgewiesen.
- Die alternative Kennzeichnung wird ebenfalls nicht verwendet. Das Zündschutzniveau ist durch die Kategorie festzustellen.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Auf internationaler Ebene wurden diese Normen überarbeitet und in 2016 veröffentlicht. In Europa werden sie als Normenreihe EN ISO 80079 übernommen. Danach wurde die Kennzeichnung noch stärker an die von elektrischen Geräten angepasst. Ausnahme: als Symbol für die Zündschutzart wird immer ein „h“ angegeben.

Zündschutzart

Ex II 2G Ex db [ia] IIC T6 Gb

Gruppe max. Oberflächentemperatur

Schlagwettergefährdete Bereiche		
Gruppe I		Methan
Gasexplosionsgefährdete Bereiche		
Gruppe II	IIA	Propan
	IIB	Ethylen
	IIC	Wasserstoff
Staubexplosionsgefährdete Bereiche		
Gruppe III	IIIA	brennbare Flusen
	IIIB	nichtleitfähiger Staub
	IIIC	leitfähiger Staub

Gasexplosionsgefährdete Bereiche: Temperaturklassen	
Gruppe I	Methan
Gasexplosionsgefährdete Bereiche	
450 °C	T1
300 °C	T2
200 °C	T3
135 °C	T4
100 °C	T4
85 °C	T6
Staubexplosionsgefährdete Bereiche: Oberflächentemperatur	
T ... °C (Bsp.: T 80°C)	

ATEX-Kennzeichnung

Gerätegruppe I: Bergbau; Gerätegruppe II: übrige Bereiche

Einteilung	Zone 0	Zone 20	Zone 1	Zone 21	Zone 2	Zone 22	Bergbau
gefährliche explosionsfähige Atmosphäre	ständig, häufig oder langfristig		gelegentlich		selten und kurzzeitig		
Geräteklasse	1G	1D	2G	2D	3G	3D	M1 oder M2

Geräteklasse und Geräteschutzniveau (EPL: Equipment protection level)

Einteilung	Zone 0	Zone 20	Zone 1	Zone 21	Zone 2	Zone 22	Bergbau
EPL (IEC/EN 60079-0)	Ga	Da	Gb	Db	Gc	Dc	Ma oder Mb



Zündschutzart

Ex II 2G Ex h IIC T6 Gb

Gruppe

Schlagwettergefährdete Bereiche		
Gruppe I		Methan
Gasexplosionsgefährdete Bereiche		
Gruppe II	IIA	Propan
	IIB	Ethylen
	IIC	Wasserstoff
Staubexplosionsgefährdete Bereiche		
Gruppe III	IIIA	brennbare Flusen
	IIIB	nichtleitfähiger Staub
	IIIC	leitfähiger Staub

max. Oberflächentemperatur

Gasexplosionsgefährdete Bereiche: Temperaturklassen

450 °C	T1
300 °C	T2
200 °C	T3
135 °C	T4
100 °C	T4
85 °C	T6

Staubexplosionsgefährdete Bereiche: Oberflächentemperatur

T ... °C (Bsp.: T 80°C)

ATEX-Kennzeichnung

Gerätegruppe I: Bergbau; Gerätegruppe II: übrige Bereiche

Einteilung	Zone 0	Zone 20	Zone 1	Zone 21	Zone 2	Zone 22	Bergbau
gefährliche explosionsfähige Atmosphäre	ständig, häufig oder langfristig		gelegentlich		selten und kurzzeitig		
Gerätekategorie	1G	1D	2G	2D	3G	3D	M1 oder M2

Gerätekategorie und Geräteschutzniveau (EPL: Equipment protection level)

Einteilung	Zone 0	Zone 20	Zone 1	Zone 21	Zone 2	Zone 22	Bergbau
EPL (IEC/EN 60079-0)	Ga	Da	Gb	Db	Gc	Dc	Ma oder Mb



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

1.6.3 Funktionale Sicherheit



Quelle: Whitepaper SIL, Fa. Endress + Hauser

1.6.3.1 Funktionale Sicherheit in der Prozesstechnik

Störfälle in verfahrenstechnischen Anlagen können Mensch und Umwelt gefährden oder zu Sachschäden führen. Schutzeinrichtungen mit Mitteln der Prozessleittechnik (PLT) reduzieren das Risiko und bringen Anlagen in den sicheren Zustand. Die notwendige regelmäßige Überprüfung von PLT-Schutzeinrichtungen ist zeit- und kostenintensiv und senkt die Anlagenverfügbarkeit. Häufig sind Ausfallursachen bei Sicherheitseinrichtungen systematischer Natur und werden bereits während der Spezifikation, Geräteauswahl, Montage oder Inbetriebnahme „eingebaut“ – das muss nicht sein. Es gibt zahllose Geräte für zuverlässige und effiziente Schutzeinrichtungen, Tools für eine sichere Auswahl und Auslegung sowie kompetente Beratung und Dienstleistungen rund um das Thema.

Vor fast 30 Jahren setzte ein Unfall im norditalienischen Seveso hochgiftiges Dioxin frei und verursachte einen erheblichen Schaden an der Umwelt. Viele Menschen erkrankten schwer. Nur ein Zufall verhinderte, dass eine noch größere Giftstoffmenge austrat.





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Als Konsequenz wurden die Gesetze und Verordnungen zum Schutz von Mensch und Umwelt verschärft. Mitte der 80er Jahre führte die Europäische Union die Seveso I-Richtlinie ein, die später durch die Seveso II-Richtlinie (96/82/EU) ersetzt wurde. Die deutsche Umsetzung der Seveso-Richtlinie erfolgt durch die Störfallverordnung im Bundes-Immissionsschutzgesetz (12. BImSchV 2000). In der Störfallverordnung ist in §3 „Allgemeine Betreiberpflichten“ zu Normen und Regeln vermerkt, dass die Beschaffenheit und der Betrieb der Anlagen dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen müssen. Über diese Generalklauselmethode erlangen Normen eine rechtliche Bedeutung, obwohl sie Empfehlungen sind und ihre Anwendung freiwillig ist. Da der Stand der Sicherheitstechnik den anerkannten Regeln der Technik voraussetzt, können Normen immer nur richtungsweisend sein. Anwendungsspezifische Normen haben Vorrang vor Grundnormen.

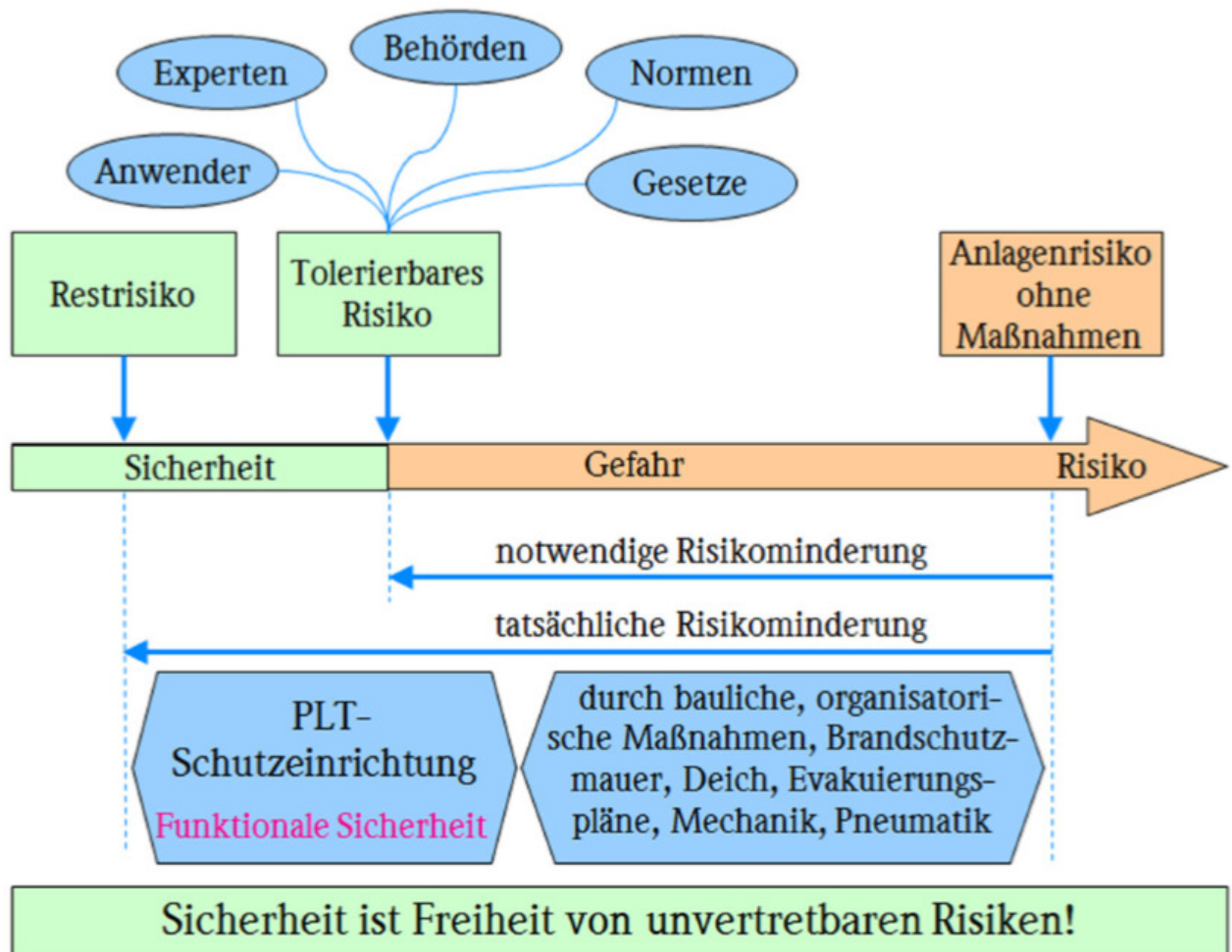
Seit dem Inkrafttreten der internationalen Sicherheitsnormen IEC 61508/61511 ist Funktionale Sicherheit oder das oft verwendete Akronym SIL (Safety Integrity Level) in aller Munde.

1.6.3.2 Was bedeutet „Funktionale Sicherheit“?

Verfahrenstechnische Anlagen besitzen unterschiedliche Gefahrenpotenziale. Die Bandbreite dieser Gefahren reicht von Schäden der Gesundheit bei Personen, der Umwelt und von Sachwerten bis hin zu schweren Katastrophen. Das damit verbundene Risiko wird definiert als die Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines gefährlichen Ereignisses multipliziert mit dessen Auswirkungen. Um Mensch, Umwelt und Anlagen vor Schäden zu schützen, muss der Anlagenbetreiber die Risiken seiner Anlage anhand einer Gefährdungs- und Risikoanalyse ermitteln und anschließend mit geeigneten Schutzmaßnahmen reduzieren. SIL beschreibt das Maß der Risikoreduzierung auf ein akzeptables Restrisiko.



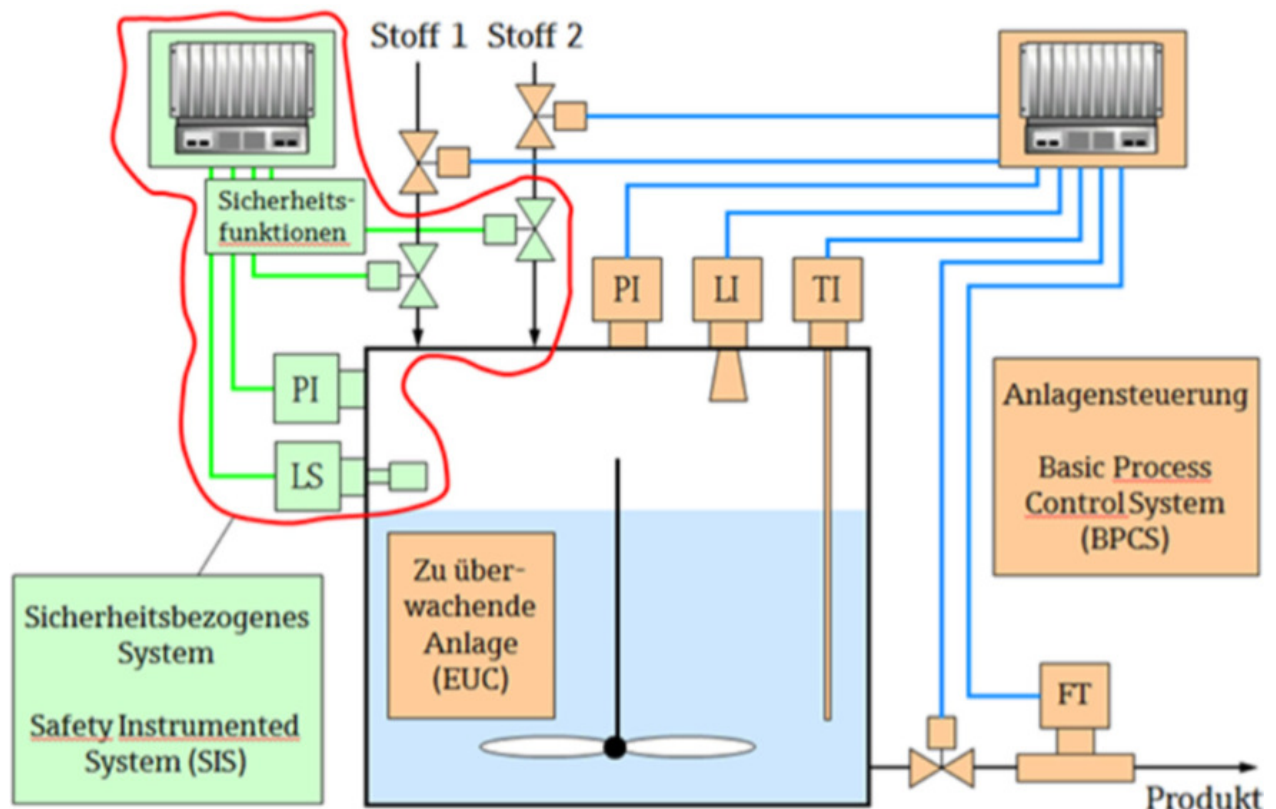
Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

An erster Stelle steht immer das Ziel, den Prozess so zu gestalten, dass er inhärent sicher ist. Wo das, z. B. aus verfahrenstechnischen oder wirtschaftlichen Gründen, nicht möglich ist, sind zusätzliche Maßnahmen notwendig. Heute übernehmen immer mehr Systeme der Automatisierungstechnik sicherheitstechnische Aufgaben. Elektrische, elektronische oder programmierbare elektronische Sicherheitssysteme überwachen den Prozess, greifen im Störfall in den Prozess ein und reduzieren dadurch das Risiko eines gefährlichen Zustandes. Funktionale Sicherheit ist gegeben, wenn die Schutzeinrichtungen korrekt funktionieren. Diese Systeme müssen ihre bestimmungsgemäßen Funktionen (Sicherheitsfunktionen) unter definierten Fehlerbedingungen und mit definierter hoher Wahrscheinlichkeit ausführen. Die verwendeten Komponenten und der Schutzkreis müssen die Anforderungen relevanter Normen erfüllen.

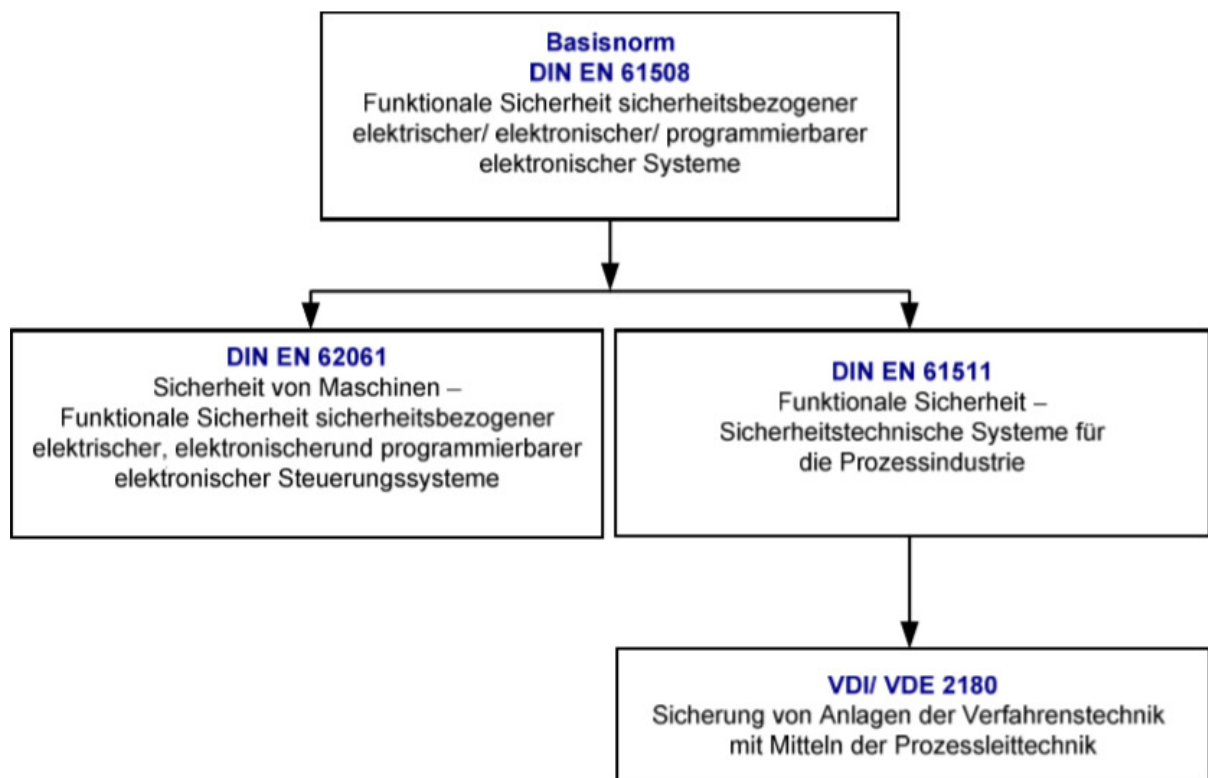




Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

1.6.3.3 Die Normenwelt

Am 01.08.2004 sind mit den deutschen Ausgaben der DIN EN 61508 (VDE 803) und DIN EN 61511 (VDE810) zwei bedeutende internationale/europäische Normen in Kraft getreten. Für die Konkretisierung und praktische Umsetzung gibt es in Deutschland zusätzlich die VDI/VDE- und NAMUR-Richtlinien (VDI/VDE 2180 Teil 1-5, NE31, NE79, NE93, NE106, NE130).





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Die **DIN EN 61508** wird als **Grundnorm** bezeichnet und ist die Basis für Spezifikation, Entwurf und Betrieb von sicherheitstechnischen Systemen für alle Anwendungen, in denen elektrische, elektronische oder programmierbare elektronische Systeme zur Ausführung von Sicherheitsfunktionen zum Einsatz kommen.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

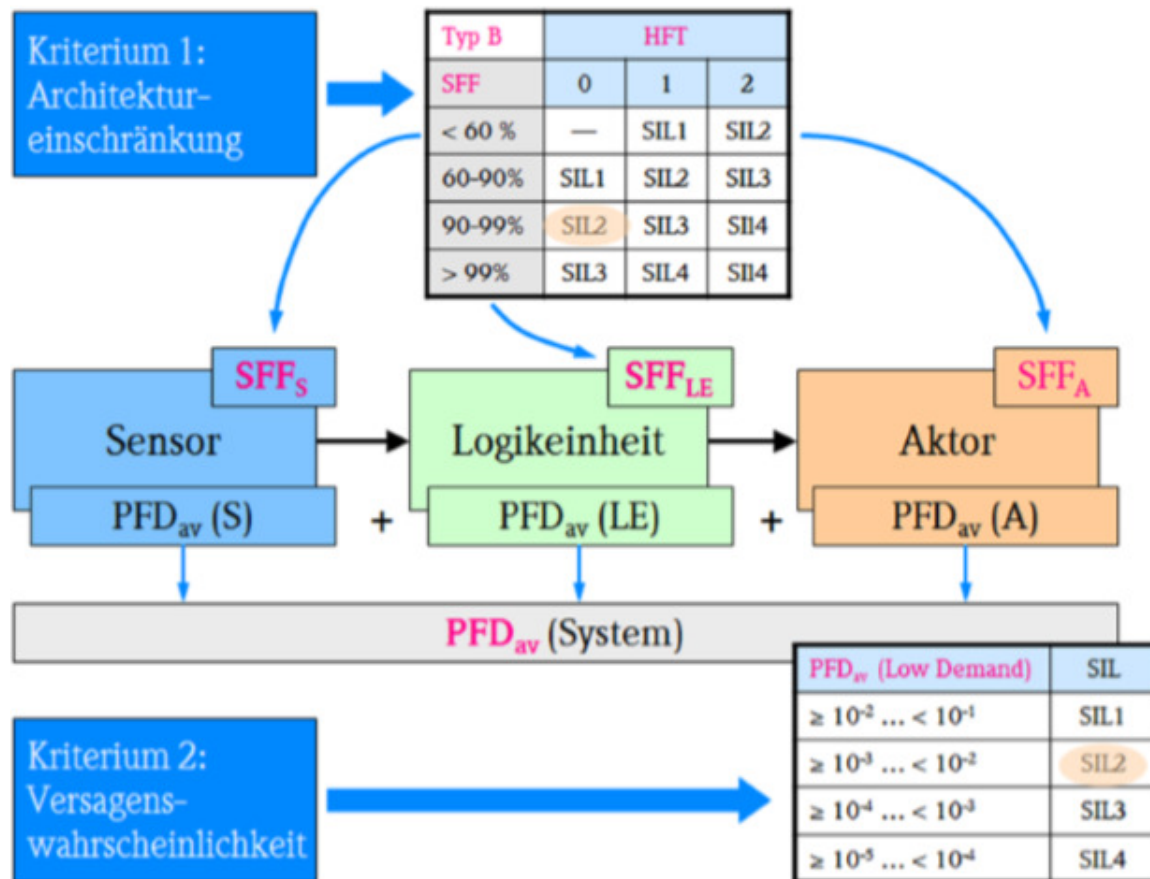
Sie beschreibt als anwendungsunabhängiger Basisstandard, die Anforderungen an Komponenten und Systeme für Sicherheitsfunktionen, die Entwicklung anwendungsspezifischer Normen, die Art der Risikobewertung (Risikograph) und die Maßnahmen zur Auslegung entsprechender Sicherheitsfunktionen von Sensoren und Logikverarbeitung bis hin zum Aktor bezüglich Fehlervermeidung (systematische Fehler) sowie Fehlerbeherrschung (zufällige Fehler).

Die **DIN EN 61511** ist die **anwendungsspezifische Norm für die Prozessindustrie** und legt als Umsetzung der DIN EN 61508 unter anderem die Auswahlkriterien für Komponenten der Sicherheitsfunktionen wie z. B. die Betriebsbewährung von Sensoren und Aktoren fest.

Was ist nach Einführung der DIN EN 61508 + DIN EN 61511 anders?

Neben der Eignung der einzelnen Komponenten für den ermittelten SIL fordert die Norm einen quantitativen Nachweis für das verbleibende Risiko.

Dies erfolgt durch eine Berechnung der gefährlichen Versagenswahrscheinlichkeit (PFD, Probability of Failure on Demand) für die komplette PLT-Schutzeinrichtung (SIL-Loop), bestehend aus Sensor, Steuerung (z. B. SSPS) und Aktor (Ventil). Die Versagenswahrscheinlichkeiten aller Einzelkomponenten werden dazu bei einkanaligen Schutzeinrichtungen addiert. Die Prozess- und Fertigungsindustrien unterscheiden sich in den Anforderungen an eine PLT-Schutzeinrichtung. Während in der Fertigungsindustrie (Maschinensicherheit) eine hohe bzw. kontinuierliche Anforderungsrate (High Demand Mode) an das Sicherheitssystem besteht, geht man in der Prozessindustrie von einer niederen Anforderungsrate (Low Demand Mode), nicht häufiger als einmal pro Jahr, aus.



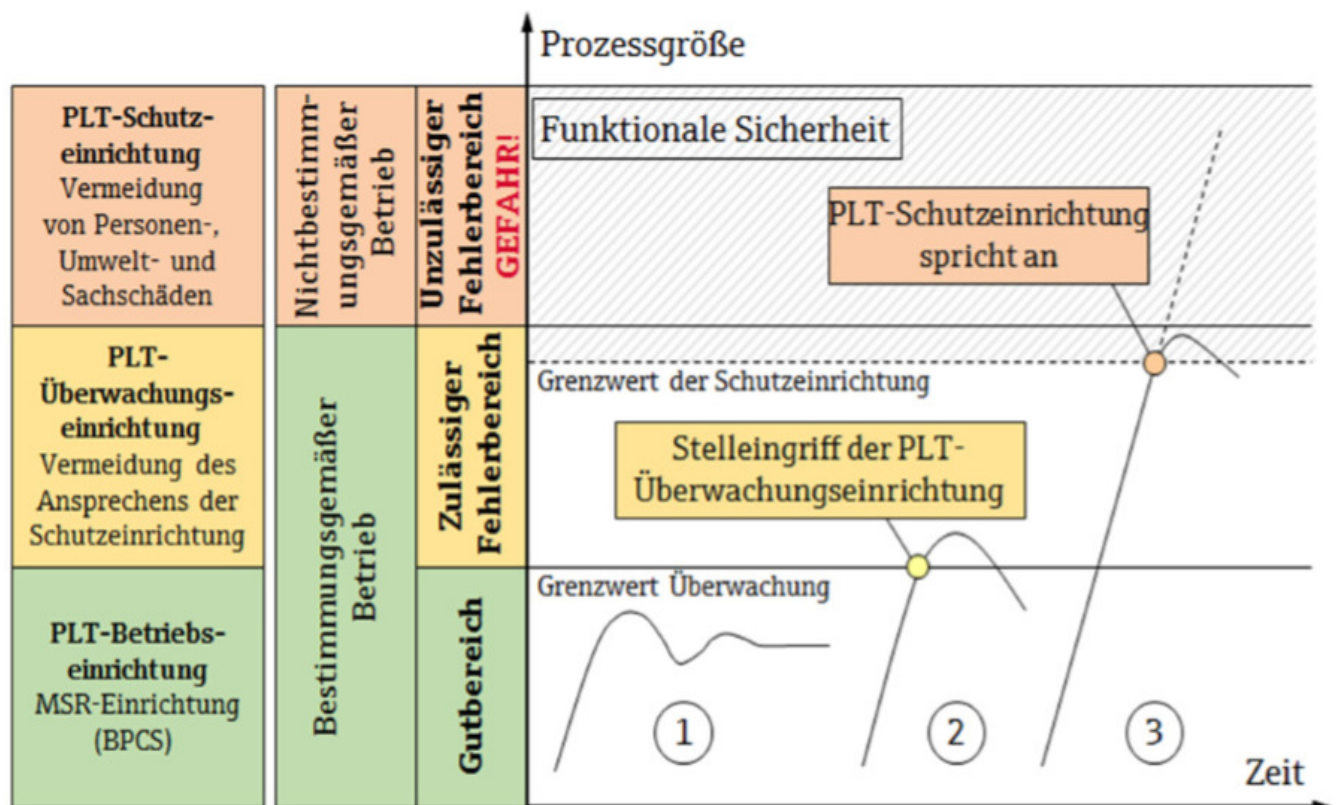
Quantitativer Nachweis der Versagenswahrscheinlichkeit der PLT-Schutzeinrichtung



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

SIS – Safety Instrumented System

Neben den Geräteherstellern richtet sich die Umsetzung der neuen Normen in der Prozessmesstechnik vor allem an die Betreiber von verfahrenstechnischen Anlagen z. B. in der Chemie. PLT-Schutzeinrichtungen haben in der Praxis unterschiedliche Bezeichnungen wie beispielsweise Z-Schaltung, EzA – Einrichtung zur Anlagensicherheit. Die nach der Störfallverordnung relevanten PLT-Schutzeinrichtungen umfassen durchschnittlich 3–5 % der heutigen PLT-Einrichtungen.



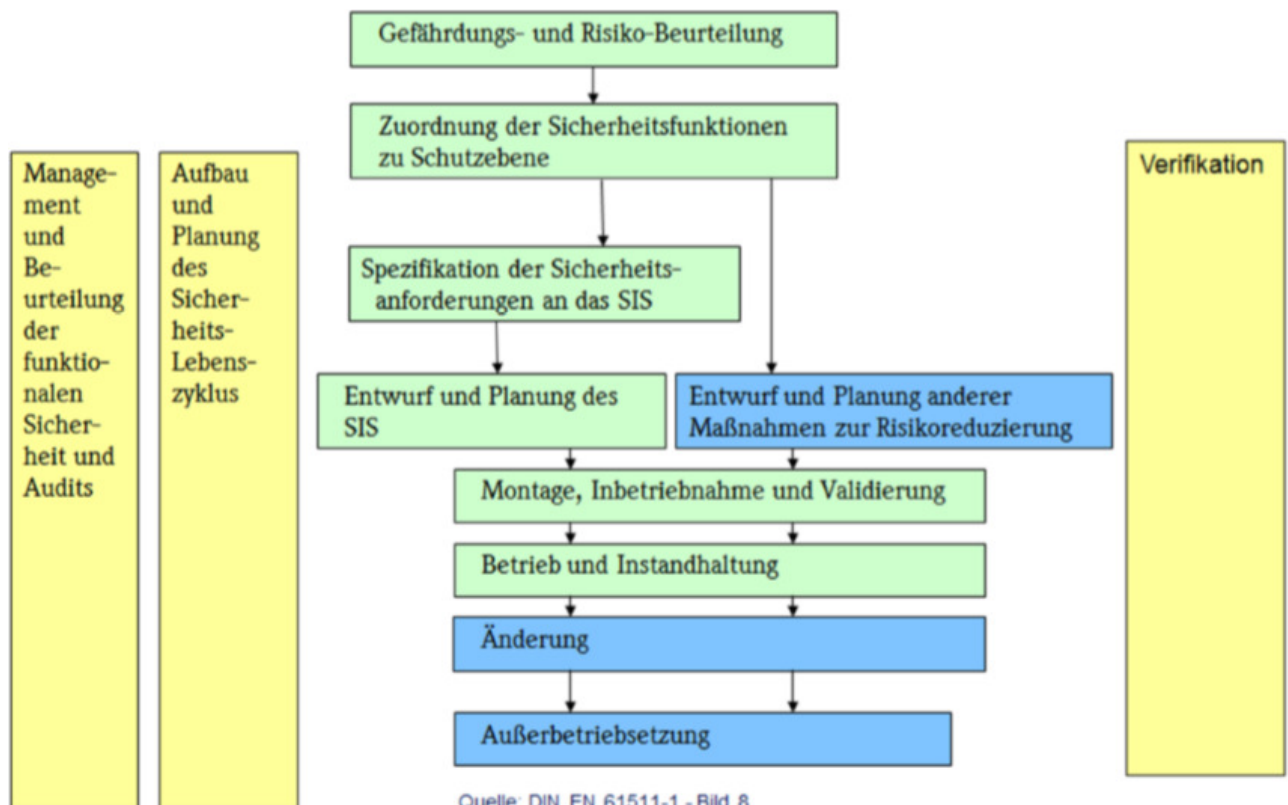
1.6.3.4 Management der Funktionalen Sicherheit

So wie der Gerätehersteller ein geeignetes Qualitätsmanagement-System für die Entwicklung, Herstellung und Auslieferung seiner Produkte benötigt, gibt es auch Anforderungen an den Lebenszyklus von Sicherheitsreinrichtungen beim Betreiber.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Alle Tätigkeiten – von der Gefährdungs- und Risikoanalyse über die Spezifikation, Planung, Montage, Instandhaltung, Modifikation bis zur Außerbetriebnahme – werden in einem Sicherheitslebenszyklus dargestellt. Dies soll sicherstellen, dass die geforderte Funktionale Sicherheit in jeder Betriebsart erfüllt und frei von systematischen Fehlern ist. Dies garantiert die Einhaltung der Sicherheitsintegrität der sicherheitstechnischen Funktionen nach der Montage und während des Betriebs, die Beherrschung von Gefährdungen durch den Prozess während Instandhaltungsmaßnahmen und nach der Außerbetriebnahme von PLT-Schutzeinrichtungen.





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Funktionale Sicherheit

Die funktionale Sicherheit ist ein Teil der Gesamtsicherheit, der sich auf den Prozess und das betriebliche Leitsystem (BPCS) bezieht und der von der bestimmungsgemäßen Funktion des sicherheitstechnischen Systems (SIS) und anderer Sicherheitsebenen abhängt. Durch die funktionale Sicherheit sollen systematische Fehler vermieden und zufällige Fehler erkannt und beherrscht werden.

PLT-Schutzeinrichtung

Eine PLT-Schutzeinrichtung verhindert, dass der Prozess in einen unzulässigen Fehlbereich gelangt. Dies geschieht entweder durch einen selbsttätigen Eingriff in den Prozess oder durch das Abgeben einer Meldung, die das Eingreifen des Bedienpersonals, entsprechend einer Handlungsanweisung, veranlasst.

Sicherheitstechnische Funktion (SIF)

Hierbei handelt es sich um Funktionen mit vorgeschriebenem SicherheitsIntegritätslevel (SIL), welche zum Erreichen der funktionalen Sicherheit benötigt werden. Eine Sicherheitsfunktion stellt einen Wirkzusammenhang zwischen Sensoren und Aktoren über eine Logikauswertung dar, welcher in seiner Gesamtheit beispielsweise eine Trockenlaufsicherung einer Pumpe bildet.

Sicherheitstechnisches System (SIS)

Das sicherheitstechnische System ist die Gesamtheit sämtlicher sicherheitsrelevanter Komponenten und beinhaltet alle Schutzeinrichtungen.

Diversität

Diversität bedeutet, dass zur Realisierung einer sicherheitstechnischen Funktion zum Beispiel Sensoren unterschiedlicher Hersteller und gegebenenfalls unterschiedlichen Messprinzips verwendet werden. Zum Messen einer Temperatur könnte ein Widerstandsthermometer (PT 100) und ein Thermoelement eingesetzt werden.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Redundanz

Es wird von Redundanz gesprochen, wenn zum Beispiel mehrere Sensoren, Logikeinheiten oder Aktoren zur Durchführung einer Funktion eingesetzt werden (z.B. Einen Druck mit zwei Drucksensoren messen). Wenn eine Komponente ausfällt, führt diese nicht zum Verlust der Schutzfunktion. Werden zur Erzeugung einer Redundanz jeweils gleiche Elemente eingesetzt, so wird von homogener Redundanz gesprochen. Werden hingegen unterschiedliche Elemente eingesetzt, wird von diversitärer Redundanz gesprochen.

Sicherheits-Integritätslevel

Der Sicherheits-Integritätslevel(SIL) dient zur Bewertung der Zuverlässigkeit von Sicherheitsfunktionen. Es gibt vier verschiedene Stufen (SIL1 bis SIL4), wobei die Anforderungen an die Zuverlässigkeit stetig steigen. Dies wird durch eine Minimierung der Ausfallwahrscheinlichkeit, bzw. durch erhöhte Anforderungen an die Fehlertoleranz, erreicht. In der Prozessindustrie wird eine Sicherheitsfunktion üblicherweise im Bereich der niedrigen Anforderungsrate betrieben. Durch die Realisierung von Sicherheitsfunktionen verschiedener Sicherheits-Integritätslevel wird eine unterschiedliche Minderung des Risikos erreicht.

SIL (Sicherheits-Integritätslevel)	RRF (Faktor Risikoreduzierung)
SIL1	10 bis 100
SIL2	100 bis 1000
SIL3	1000 bis 10000
SIL4	100000 bis 1000000



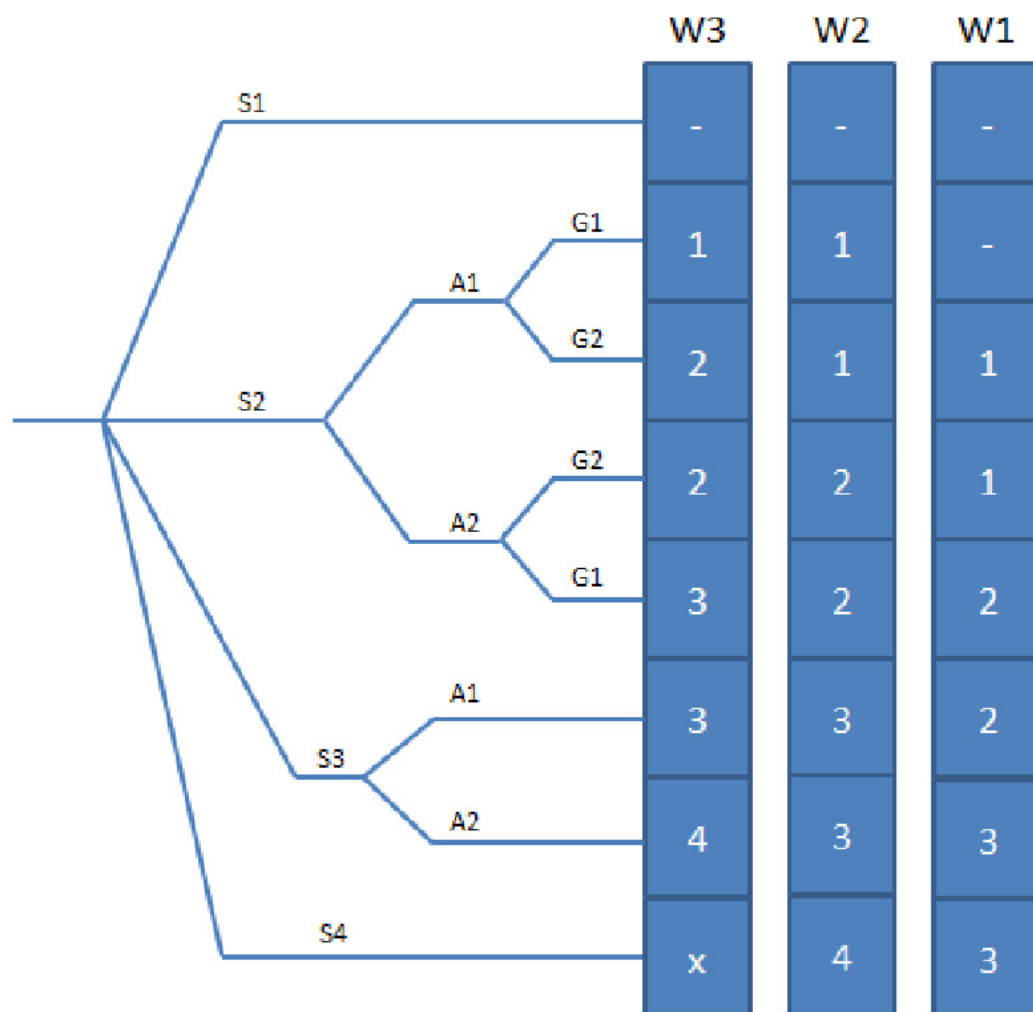
Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

1.6.3.5 Ermittlung des erforderlichen Sicherheits-Integritätslevels

Zur Ermittlung des erforderlichen SIL's gibt es verschiedene Methoden. In der DIN EN 61511-3 sind folgende genannt:

- Risikograph (qualitativ oder teilquantitativ)
- ALARP-Methode (As Low As Reasonably Practicable)
- Risikomatrix - LOPA-Methode (Layer Of Protection Analysis)

Innerhalb der Prozessindustrie findet folgender Risikograph aus der VDI/VDE 2180 häufig Anwendung:





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Zur Bestimmung sind folgende Parameter angegeben:

Schadenausmaß S:

- S1: leichte Verletzungen von Personen und schädliche Umwelteinflüsse
- S2: schwere irreversible Schäden an einer Person oder mehreren Personen bis hin zum Tod einer Person oder zeitweise größere schädliche Umwelteinflüsse
- S3: Tod mehrerer Personen oder andauernde große schädliche Umwelteinflüsse
- S4: Katastrophale Auswirkung (sehr viele tote Menschen)

Aufenthaltswahrscheinlichkeit A:

- A1: seltener bis gelegentlicher Aufenthalt von Personen im Gefahrenbereich
- A2: sehr häufiger bis andauernder Aufenthalt von Personen im Gefahrenbereich

Gefahrenabwendung G:

- G1: möglich unter bestimmten Umständen
- G2: kaum möglich

Eintrittswahrscheinlichkeit W:

- W1: sehr gering
- W2: gering
- W3: hoch

Für das Maß der Risikoreduzierung unterscheidet man vier Stufen: von SIL 1 für geringe Risikoreduzierung (mind. Faktor 10) bis SIL 4 für sehr hohe Risikoreduzierung (mind. Faktor 10.000). Je höher das Risiko, umso zuverlässiger müssen die Einrichtungen zur Risikoreduzierung sein. In gleichem Maße steigen die Anforderungen an die Gerätetechnik.



Nichtbestimmungsgemäßer Betrieb



Gefährdung von Mensch, Umwelt, Sachwerte

$$R = (PFD \cdot H) \cdot S$$



z.B. SIL 2

PFD _{av} (Low Demand)	SIL
$\geq 10^{-2} \dots < 10^{-1}$	SIL1
$\geq 10^{-3} \dots < 10^{-2}$	SIL2
$\geq 10^{-4} \dots < 10^{-3}$	SIL3
$\geq 10^{-5} \dots < 10^{-4}$	SIL4

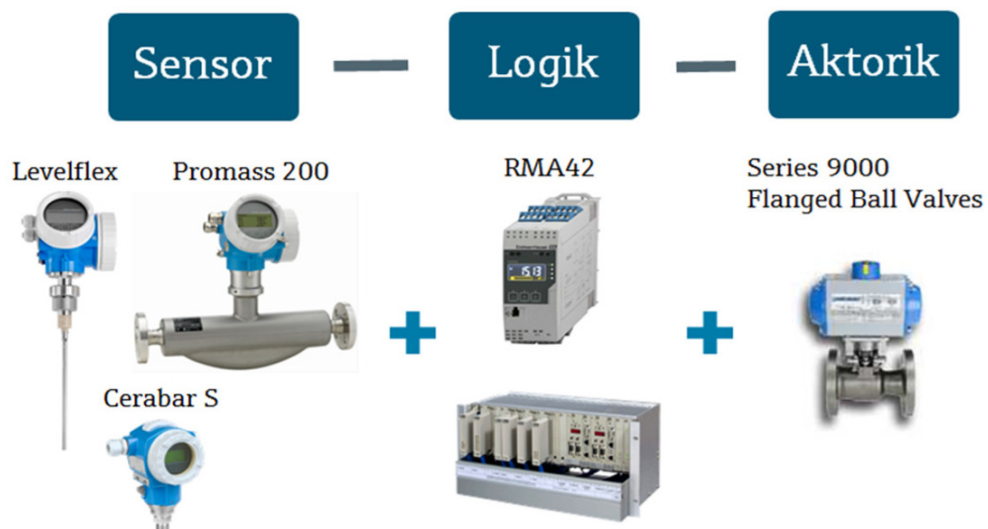
R - Risiko

H - Eintrittswahrscheinlichkeit

S - Schadensausmaß

1.6.3.6 Bewertung des kompletten Sicherheitskreises

Ein Sicherheitskreis besteht im einfachen einkanaligen Fall aus einem Sensor, einer Steuerung (z. B. fehlersichere SPS) und einem Aktor. Die eingesetzte Steuerung kann prinzipiell gleichzeitig mehrere Sicherheitsfunktionen (SIF – Safety Instrumented Function) ausführen. Dabei können mehrere Sensoren und Aktoren mit der Steuerung verbunden sein.





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Der Eignungsnachweis einer PLT-Schutzeinrichtung wird über die Eignung der einzelnen Komponenten (SFF, HFT, PFDavg) und die abschließende Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit $PFD_{avg}(\text{Kreis})$ des gesamten Sicherheitskreises, bestehend aus Sensor, Steuerung und Aktor, erbracht.

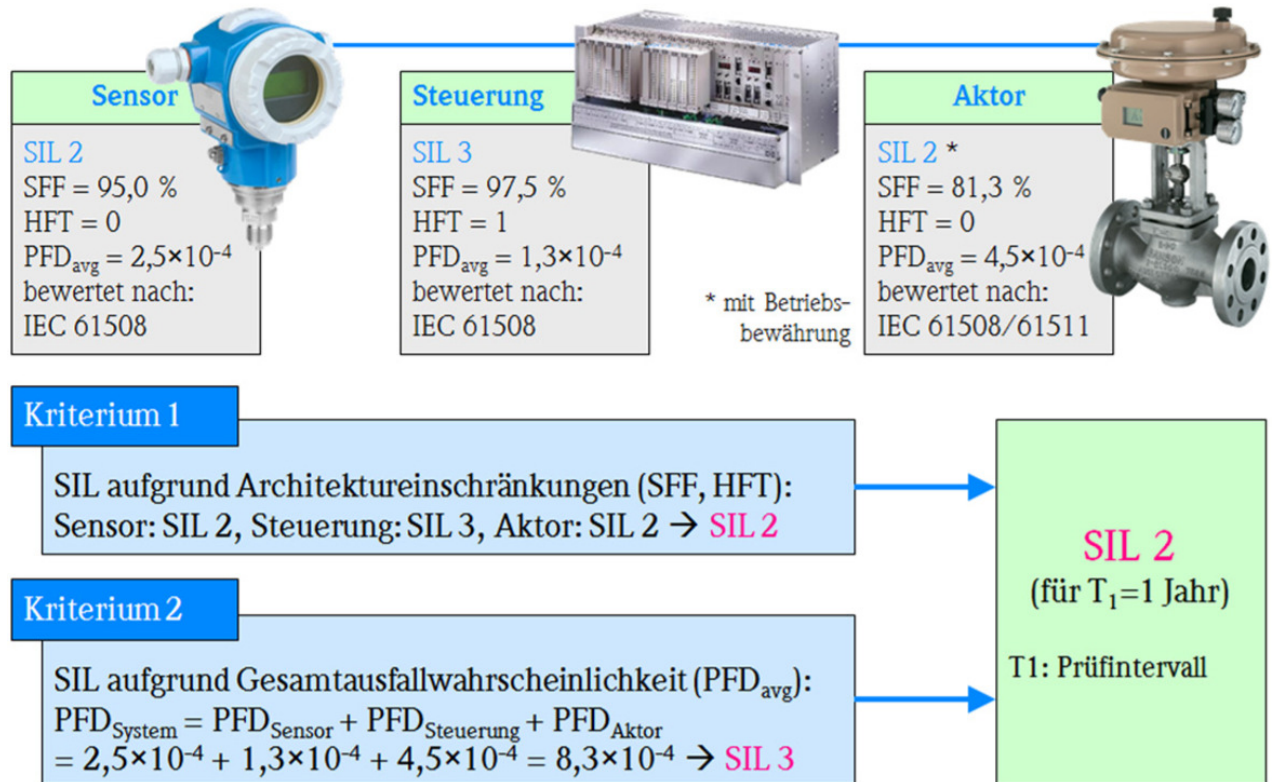
Die Ausfallwahrscheinlichkeit der gesamten Sicherheitskette ergibt sich im einfachsten Fall (einkanalig) aus der Addition der Ausfallwahrscheinlichkeiten der einzelnen Komponenten $PFD_{avg}(\text{Kreis}) = PFD_{avg}(\text{Sensor}) + PFD_{avg}(\text{Logik}) + PFD_{avg}(\text{Aktor})$. Die jeweiligen PFD_{avg} -Werte liefert in der Regel der Gerätehersteller oder lässt sich durch Auswertung von Ausfalldaten beim Betreiber ermitteln.

Die SIL-Forderung war das Resultat der Gefährdungs- und Risikoanalyse. Ist beispielsweise für eine PLT Schutzeinrichtung SIL 2 gefordert, darf die Ausfallwahrscheinlichkeit $PFD_{avg}(\text{Kreis})$ den Wert von 10^{-2} nicht überschreiten (SIL 2: $10^{-3} \leq PFD_{avg} < 10^{-2}$). Würden alle Hersteller den Maximalwert im zulässigen Bereich der Ausfallwahrscheinlichkeiten eines SIL ausnutzen, läge die Summe aller Einzelwahrscheinlichkeiten gewiss nicht mehr im Bereich des geforderten SIL. Als Folge wäre trotz SIL 2-Bewertung aller Einzelgeräte die PLT-Schutzeinrichtung nicht für SIL 2 geeignet. Darum sind die Hersteller aufgefordert, ihre Geräte so auszulegen, dass diese nur einen Bruchteil der eigentlich für den SIL zulässigen Versagenswahrscheinlichkeit beanspruchen (Faustregel: Sensor max. 35 %, SPS max. 10 %, Aktor max. 50 %).

Für einen Sensor mit SIL 2-Bewertung sollte also der PFD_{avg} einen Wert von $0,35 \times 10^{-2}$ unter Berücksichtigung des Zeitintervalls für die Wiederholungsprüfung nicht überschreiten.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025



SIL-Nachweis für eine einkanalige PLT-Schutzeinrichtung

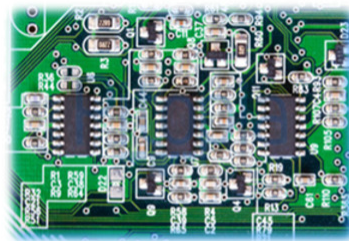
1.6.3.7 Fehlertypen bei Ausfall von PLT-Schutzeinrichtungen

PLT-Schutzeinrichtungen müssen möglichst frei von Fehlern sein. Die DIN EN 61511 fordert deshalb, Maßnahmen gegen **systematische Fehler** (Fehlervermeidung) und **zufällige Fehler** (Fehlererkennung) sowie zur Fehlertoleranz (Fehlerbeherrschung) zu treffen. Alle Maßnahmen müssen immer gleichzeitig ergriffen werden. Auf Grund der Auswirkung von Fehlern auf die Schutzeinrichtung teilt man diese in aktive und passive Fehler ein. Aktive Fehler melden den Fehler, indem die Schutzfunktion ausgelöst wird, ohne dass die aufgabengemäß festgelegte Bedingung erfüllt ist. Passive Fehler blockieren die Schutzfunktion durch ein Versagen der Schutzeinrichtung im Anforderungsfall (z. B. Relais schaltet nicht, Stromausgang zeigt gültigen Messwert). Passive Fehler lassen sich nur durch regelmäßiges Prüfen (Wiederholungsprüfung – Proof Test) aufdecken.



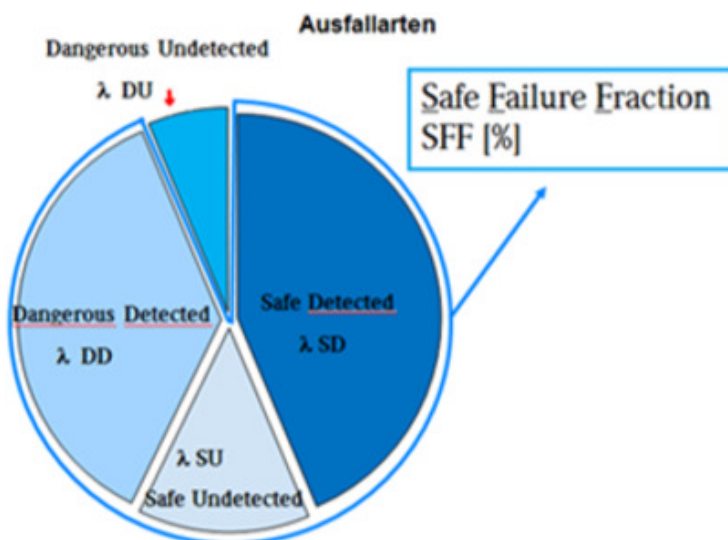
Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Zufällige Fehler existieren nicht zum Lieferzeitpunkt. Sie ergeben sich aus Fehlern der Hardware und treten während des Betriebs zufällig auf. Beispiele für zufällige Fehler sind: Kurzschluss, Unterbrechung oder Wertedrift eines Bauelements. Die Ausfallwahrscheinlichkeit und seine Wirkung auf den bewerteten Signalausgang des Sensors wird mit Hilfe der FMEDA-Methode (Failure Modes, Effects and Diagnostic Analysis) für alle Einzelkomponenten eines Gerätes erfasst. Das Gesamtergebnis liefert die Ausfallraten (λ -Werte), den SFF- (Safe Failure Fraction) und den PFDavgWert (Average Probability of Failure on Demand).



Überprüfung jeder Teilkomponente/jedes Bauelements im Sicherheitspfad, ob ein Fehler

- detektierbar ist, ohne Auswirkung auf die Sicherheitsfunktion $\rightarrow \lambda_{SD} [1/h]$
- nicht detektierbar ist, aber ohne Auswirkung auf die Sicherheitsfunktion $\rightarrow \lambda_{SU} [1/h]$
- detektierbar ist, aber mit Auswirkung auf die Sicherheitsfunktion $\rightarrow \lambda_{DD} [1/h]$
- nicht detektierbar ist und Auswirkung auf die Sicherheitsfunktion $\rightarrow \lambda_{DU} [1/h]$



$$SFF = \frac{\lambda_{SD} + \lambda_{SU} + \lambda_{DD}}{\lambda_{SD} + \lambda_{SU} + \lambda_{DD} + \lambda_{DU}} \quad PFD_{AV} = \frac{1}{2} \lambda_{DU} \cdot T_1$$

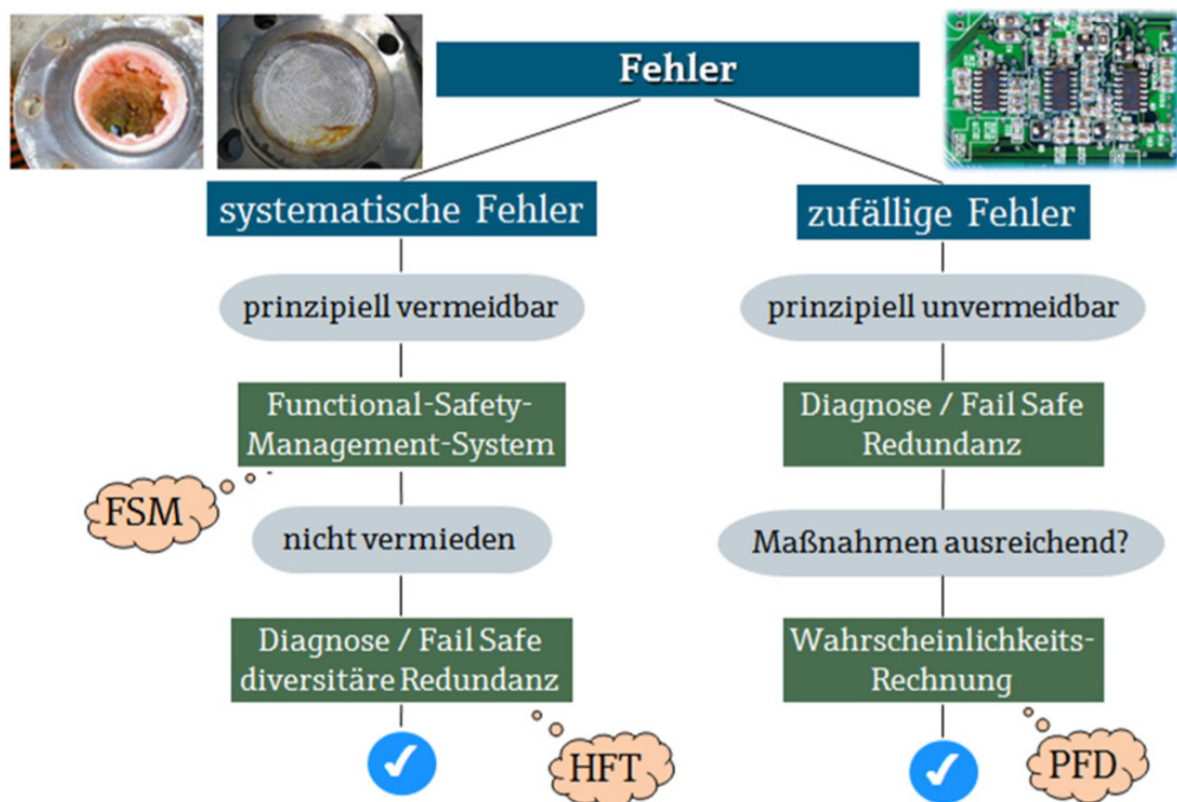
Systematische Fehler existieren bei Feldgeräten, sofern vorhanden, bereits zum Lieferzeitpunkt, ursächlich bei der Spezifikation, Entwicklung bzw. Herstellung der Geräte. Beispiele sind Softwarefehler, falsche Dimensionierung von Bauteilen.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Ein Großteil der systematischen Fehler entstehen aber bei Schutzeinrichtungen zum Zeitpunkt der Spezifikation, Auslegung, Komponentenauswahl oder durch fehlerhafte Montage und Inbetriebnahme. Untersuchungen von Ausfällen von PLT-Schutzeinrichtungen nennen weitaus häufiger systematische Fehler als Ursache denn defekte elektronische Bauteile. Beispiele für systematische Fehler bei Schutzeinrichtungen sind ein für die Messaufgabe ungeeignetes Messverfahren oder Prozesseinflüsse wie Korrosion oder Ansatzbildung. Die in der NAMUR-Empfehlung NE 130 beschriebene Betriebsbewährung ist eine Methode, die Eignung von Feldgeräten für einen spezifischen Anwendungsfall nachzuweisen.

Common-Cause-Fehler (Fehler gemeinsamer Ursache) sind Fehler, die bei redundanten Sicherheitssystemen zum gleichzeitigen Ausfall mehrerer Kanäle führen können. Beispiele sind elektromagnetische Störungen (EMV), Umwelteinflüsse wie Blitzschlag, Hochwasser oder thermische bzw. mechanische Beanspruchung.





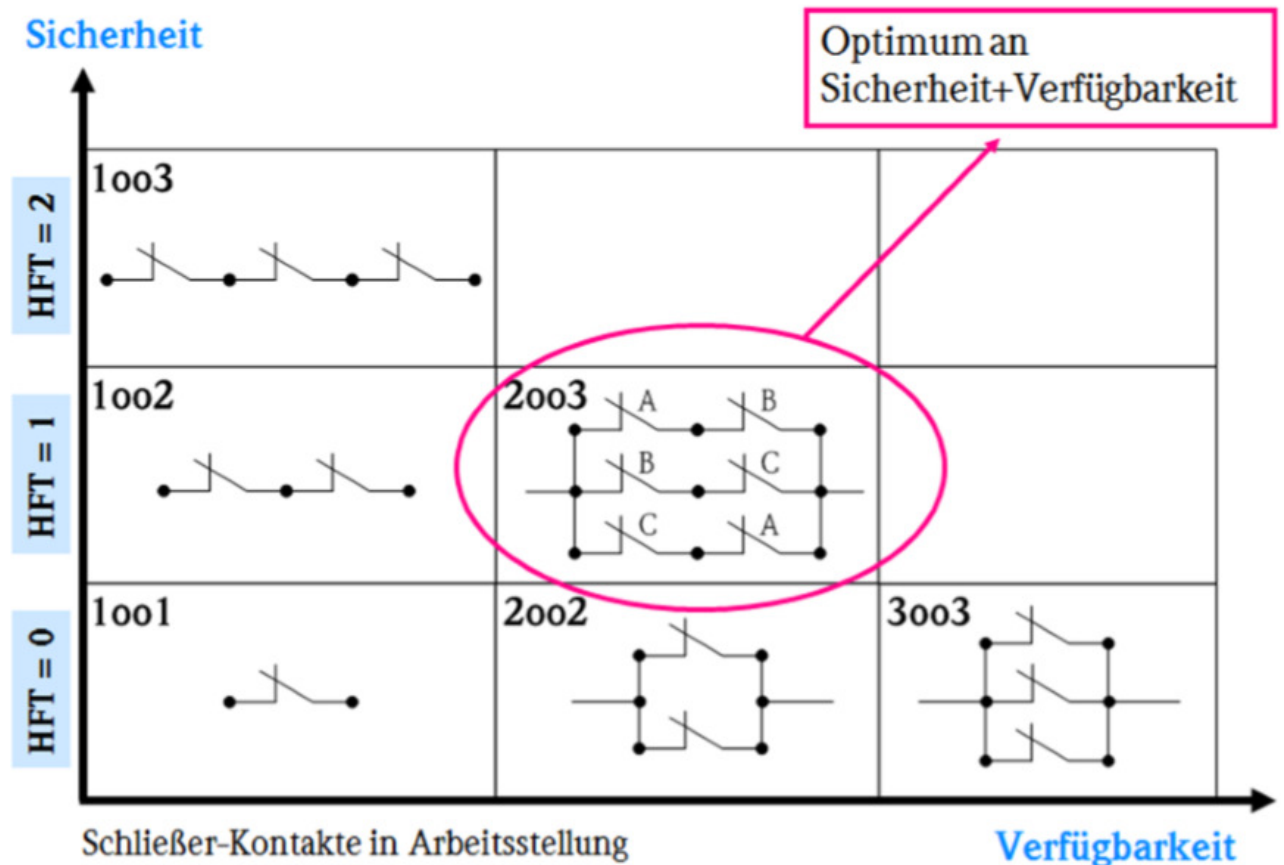
Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Redundanz Genügen die Ausfallwahrscheinlichkeiten der eingesetzten Geräte nicht zur Einhaltung des geforderten SIL eines Schutzkreises, lässt sich die Ausfallwahrscheinlichkeit der Schutzeinrichtung durch Redundanz verkleinern. Redundanz ist ebenso eine Maßnahme zur Fehlerbeherrschung.

Bei **homogener Redundanz** bieten zwei oder mehrere identische Geräte eine höhere Verfügbarkeit der Schutzeinrichtung und vereinfachen die Lagerhaltung, Inbetriebnahme sowie die Wartung. Mögliche Einschränkungen liegen in der Beherrschung systematischer Fehler des Gerätes oder durch Prozesseinflüsse. Um mit zwei identischen, SIL 2-bewerteten Geräten eine SIL 3 Risikoreduzierung zu erreichen, muss die Software (systematische Fehler) die Anforderungen an SIL 3 erfüllen.

Als **diversitäre Redundanz** bezeichnet man zwei oder mehr Geräte mit unterschiedlichem physikalischem Messprinzip (z. B. Magnetisch-InduktiveDurchflussmesser (MID) wie Proline Promag und Coriolis-Durchflussmessgeräte wie Proline Promass) bzw. gleichem Messprinzip, aber unterschiedlicher Bauart. Sie reduziert die Versagenswahrscheinlichkeit und trägt dazu bei, systematische Fehler besser zu beherrschen.

Je nach strukturellem Aufbau dienen zusätzliche Geräte einer Erhöhung der Verfügbarkeit der Anlage (2oo2, 2oo3) und nicht zusätzlicher Sicherheit. Fällt ein Gerät einer höher verfügbaren Sicherheitsfunktion aus, kann der Anwender die Anlage weiterfahren bis das defekte Gerät innerhalb des angegebenen MTTR (Mean Time To Repair, typischerweise 8 Stunden) repariert oder ausgetauscht wurde.



1.6.3.8 Bestimmungsgemäßer Gebrauch

Der Anwender ist verantwortlich für den bestimmungsgemäßen Gebrauch der eingesetzten Geräte. Eine Schutzeinrichtung kann nur dann bestimmungsgemäß arbeiten, wenn die Herstellervorschriften zur Installation, Inbetriebnahme, Bedienung und Wartung beachtet und insbesondere die Einflüsse des spezifischen Prozesses und der jeweiligen Umgebung berücksichtigt werden. Anlagensicherheit lässt sich nur mit begründetem, ingenieurmäßigem Vorgehen und in Zusammenarbeit von Anwender und Gerätehersteller erreichen.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.6	18.02.2025

Durch die Medienberührung der Sensorik und Aktorik ist es wichtig, sich nicht allein auf eine generelle Fehleranalyse oder eine Datenbank zu verlassen, sondern zusätzlich die Eignung gezielt für den jeweiligen Prozess zu prüfen. Sensoren bzw. Aktoren sind im Feld installiert und dadurch sowohl Umgebungsbedingungen als auch Prozessmedien ausgesetzt. Hieraus ergeben sich chemische und physikalische Belastungen, z. B. durch Druck, Temperatur, Vibration und Feuchte. Prozessmedien wirken durch Korrosion, Kristallisation, Polymerisation, Abrasion, Ansatzbildung und andere Effekte auf die Feldgeräte ein.

Beim Einsatz von Aktoren spielen zudem Strömungsgeschwindigkeiten und das Auftreten von Kavitation eine bedeutende Rolle. Da es sich bei den oben genannten Mechanismen um systematische Einflüsse handelt, gilt es diese bereits bei der Anlagenplanung entsprechend zu berücksichtigen und zu vermeiden. Fehlende Erfahrungswerte können durch besondere Maßnahmen, wie zum Beispiel verkürzte Prüfintervalle, einbezogen werden.

