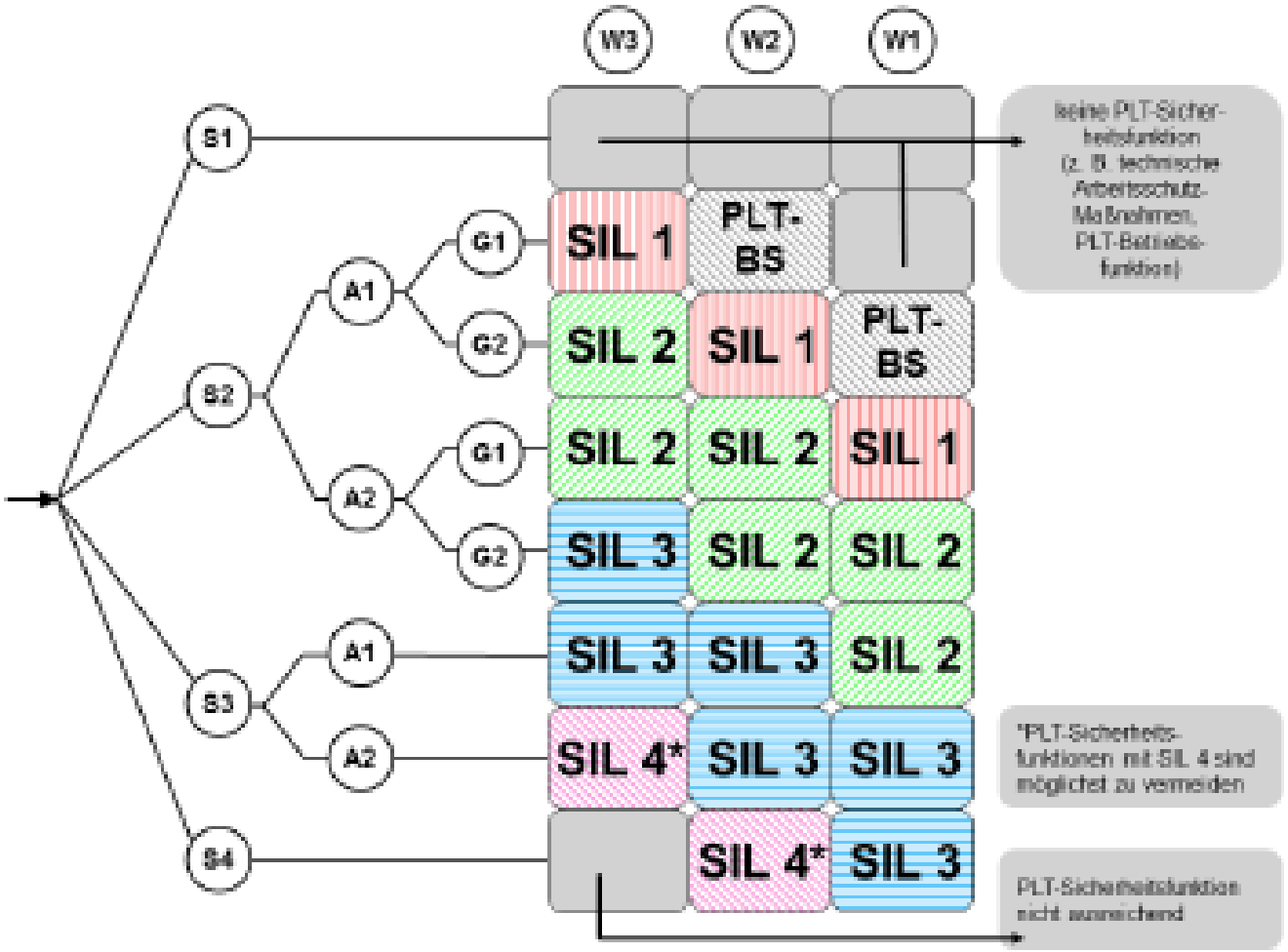
REACh ChemConsult -Seminar
HAZOP-LOPA-Funktionale Sicherheit:
gemeinsame Übungen zu LOPA und Funktionale Sicherheit

27./28.11.2019

Dresden

Referenten : Karl-Werner Thiem / Hans-Dieter Schwender

Risikograph nach VDI/VDE 2180



Risikograph aus der VDI/VDE 2180 Kalibrierung

- Schadenausmaß S:
  S1: leichte Verletzung einer Person; kleinere schädliche Umwelteinflüsse
  S2: Schwere irreversible Verletzung einer oder mehrerer Personen oder Tod einer Person; vorübergehende größere schädliche Umwelteinflüsse
  S3: Tod mehrerer Personen; langandauernde größere schädliche Umwelteinflüsse
  S4: Katastrophale Auswirkungen, sehr viele Tote
- Aufenthaltsdauer A:
  A1: selten bis öfter
  A2: häufig bis dauernd
- Gefahrenabwendung G:
  G1: möglich unter bestimmten Bedingungen
  G2: kaum möglich
- Eintrittswahrscheinlichkeit des unerwünschten Ereignisses W:
  W1: sehr gering
  W2: gering
  W3: relativ hoch

Daten Drucktransmitter

Messumformer-Typ	Messbereich	SFF	PFDav	λdd + λs	λdu
265Dx (A)	10 mbar	75 %	$8{,}54 \times 10^{-4}$	614 FIT	195 FIT
267Cx (A)	10 mbar	76 %	$9{,}43 \times 10^{-4}$	698 FIT	216 FIT
269Cx (A)					
265Dx (A,3,C,F,L,N)	10 mbar bis 20 bar	73 %	$8{,}70 \times 10^{-4}$	539 FIT	199 FIT
265Vx (F,L,N)	400 mbar bis 20 bar				
267Cx (A,3,C,F,L,N)	10 mbar bis 20 bar	74 %	$9{,}59 \times 10^{-4}$	625 FIT	219 FIT
269Cx (A,3,C,F,L,N)					
267Jx (A,3,C,F,L,N)					
269Jx (A,3,C,F,L,N)					
265Dx (R)	100 bar	74 %	$24{,}4 \times 10^{-4}$	1651 FIT	558 FIT
265Ax (C,F)	60 mbar, 400 mbar	75 %	$13{,}2 \times 10^{-4}$	918 FIT	303 FIT
265Gx (C,F)	60 mbar, 400 mbar				
265Ax (L,D,U,R)	≥ 2,5 bar	69 %	$9{,}92 \times 10^{-4}$	511 FIT	227 FIT
265Gx (L,D,U,R,V)	≥ 2,5 bar				

Daten Temperaturmessung TMT 182

Auszug Sicherheitshandbuch Endress und Hauser

Table 11: Summary for the sensor assembly TMT 182 / 4-wire RTD in low stress environment

T[Proof] = 1 year	T[Proof] = 5 years	T[Proof] = 10 years	SFF
PFD_{AVG} = 5,56E-04	PFD_{AVG} = 2,78E-03	PFD_{AVG} = 5,56E-03	> 94%

λ_{sd} = 2,08E-06 1/h = 2081 FIT

λ_{su} = 1,65E-07 1/h = 165 FIT

λ_{dd} = 3,34E-08 1/h = 33 FIT

λ_{du} = 1,27E-07 1/h = 127 FIT

Daten Grenzwertschalter P+F KFD2-CRG2-1.D

Parameters	Characteristic values			
	Relay contact output		Current output	
	KFD2-CRG2-(Ex)1.D	KFU8-CRG2-(Ex)1.D	KFD2-CRG2-(Ex)1.D	KFU8-CRG2-(Ex)1.D
Assessment type	FMEDA report with proven-in-use assessment [1]			
Device type	B			
Mode of operation	Low demand mode or high demand mode			
HFT	0			
SIL	2			
SC	2			
Safety function	Digital output		Analog output	
λ_s [2]	165 FIT	213 FIT	137 FIT	177 FIT
λ_{dd} [2]	70 FIT	79 FIT	74 FIT	83 FIT
λ_{du} [2]	114 FIT	108 FIT	90 FIT	81 FIT
$\lambda_{no\ effect}$ [2]	164 FIT	194 FIT	151 FIT	178 FIT
$\lambda_{no\ part}$ [2]	35.8 FIT	34.4 FIT	35.0 FIT	34.8 FIT
$\lambda_{total\ (safety\ function)}$	348 FIT	399 FIT	300 FIT	341 FIT
$\lambda_{total\ (signal\ path)}$	548 FIT	628 FIT	486 FIT	554 FIT
SFF [3]	67 %	72 %	70 %	76 %
PTC	99 %	99 %	99 %	99 %
MTBF [4]	207 years	181 years	234 years	206 years
PFH [1]	1.13×10^{-7} 1/h [5]	1.08×10^{-7} 1/h [4]	9.00×10^{-8} 1/h	8.10×10^{-8} 1/h
PFD_{avg} for $T_1 = 1$ year	4.96×10^{-4} 1/h	4.75×10^{-4} 1/h	3.94×10^{-4} 1/h	3.56×10^{-4} 1/h
PFD_{avg} for $T_1 = 2$ years	9.92×10^{-4} 1/h	9.50×10^{-4} 1/h	7.88×10^{-4} 1/h	7.12×10^{-4} 1/h
PFD_{avg} for $T_1 = 5$ years	2.48×10^{-3} 1/h [4]	2.37×10^{-3} 1/h [4]	1.97×10^{-3} 1/h [3]	1.78×10^{-3} 1/h [3]
Reaction time [6]	< 1 s			

Table 3.1

Daten Füllstandüberwachung

Valid configurations/Zulässige Ausprägungen	FTL5x-xxxxxx7xxx, FTL5xH-xxxxxx7xxx, FTL51C-xxxxxx7xxxx, FTL7x-xxxxxx7xxxx, FTL325P-*1x1 (* = H, P or/oder T)	
Electronics/Elektronik	FEL57 (PFM 2-wire/PFM 2-Draht)	
Safety-related output signal/ Sicherheitsbezogenes Ausgangssignal	PFM: pulse-frequency-modulation/Puls-Frequenz-Modulation	
Safety Manual/Handbuch zur Funktionalen Sicherheit	SD111F	
Type of assessment/Art der Bewertung	IEC 61508 (full assessment/vollständige Bewertung)	
Assessor/Assessor	TÜV Rheinland (Certificate/Zertifikat: 968/EL 133.01/01), exida.com	
SIL	2	
Type/Typ	B	
HFT	0	
Mode of operation/Betriebsart	Low demand mode	
Safety function(s)/Sicherheitsfunktion(en)	Level MAX (e.g. overfill protection/z. B. Überfüllsicherung)	
Configuration Liquiphant/Einstellung Liquiphant	Density/Dichte 0.7 g/cm³	Density/Dichte 0.5 g/cm³
λ_{sd} *1	156 FIT	156 FIT
λ_{su} *1	708 FIT	766 FIT
λ_{dd} *1	1.3 FIT	1.3 FIT
λ_{du} *1	40 FIT	42 FIT
SFF *1	95 %	95 %
PFD_{avg} *1 (for T_1 = 1 year/für T_1 = 1 Jahr)	1.75×10^{-4}	1.82×10^{-4}
$MTBF_{tot}$	113 years/Jahre	
MTTR	8 hours/Stunden	
Functional test with test button/Funktionstest mit Prüftaster	annual/jährlich	
Complete functional test/Vollständiger Funktionstest	not necessary within normal lifetime/ nicht erforderlich innerhalb normaler Lebensdauer	5 years/Jahre
Voting(s)/Architektur(en)	1oo1D, diverse redundant/diversitär redundant	
Valid hardware version/Gültige Hardware-Version	as of/ab 01.00	
Valid software version/Gültige Software-Version	as of/ab 01.00.01	

Daten SSPS

F-CPU/F-Peripherie	Bestellnummer	Betrieb im geringen Anforderungsmodus low demand mode (PFD = average probability of failure on demand)	Betrieb im häufigen Anforderungs- oder kontinuierlichen Modus high demand/continuus mode (PFH = probability of a dangerous failure per hour)	Proof-Test-Intervall
CPU 315F-2 PN/DP	6ES7315-2FH13-0AB0	< 4,76E-05 < 9,52E-05	< 1,09E-09 < 1,09E-09	10 Jahre 20 Jahre
	6ES7315-2FJ14-0AB0	< 4E-05 < 8E-05	< 1E-09 < 1E-09	10 Jahre 20 Jahre
SM 326; DI 24 x DC24V	6ES7326-1BK01-0AB0	SIL 2: < 1E-04 SIL 3: < 1E-05	SIL 2: < 1E-08 SIL 3: < 1E-09	20 Jahre
	6ES7326-1BK02-0AB0	SIL 2: < 1E-04 SIL 3: < 1E-05	SIL 2: < 1E-08 SIL 3: < 1E-09	20 Jahre
SM 326; DO 10 x DC 24V/2A	6ES7326-2BF01-0AB0	SIL 2: < 1E-05 SIL 3: < 1E-05	SIL 2: < 1E-09 SIL 3: < 1E-09	20 Jahre
SM 336; F-AI 6 x 0/4…20mA HART	6ES7336-4GE00-0AB0	Einkanalig: SIL 3: < 1E-04 Zweikanalig: SIL 3: < 1E-05	Einkanalig: SIL 3: < 1E-08 Zweikanalig: SIL 3: < 1E-09	20 Jahre

Daten Hilfsschütz 3RH1

HILFSSCHUETZ, 2S+2OE, AC 24V, 50/60HZ, SCHRAUBANSCHLUSS, BGR. S00

mechanische Lebensdauer (Schaltspiele)	
• des Schützes typisch	30 000 000
• des Schützes mit aufgesetztem elektronikgerechtem Hilfsschalterblock typisch	5 000 000
einzuhaltender Abstand	
• bei Reihenmontage	
— seitwärts	0 mm
Anschlüsse/Klemmen	
Ausführung des elektrischen Anschlusses	
• für Hilfs- und Steuerstromkreis	Schraubanschluss
Art der anschließbaren Leiterquerschnitte	
• für Hilfskontakte	
— eindrähtig	2x (0,5 ... 1,5 mm²), 2x (0,75 ... 2,5 mm²), 2x 4 mm²
— feindrähtig mit Aderendbearbeitung	2x (0,5 ... 1,5 mm²), 2x (0,75 ... 2,5 mm²)
• bei AWG-Leitungen für Hilfskontakte	2x (20 ... 16), 2x (18 ... 14), 1x 12
Sicherheitsrelevante Kenngrößen	
B10-Wert	
• bei hoher Anforderungsrate gemäß SN 31920	1 000 000; bei 0,3 x Ie
Anteil gefahrbringender Ausfälle	
• bei niedriger Anforderungsrate gemäß SN 31920	40 %
• bei hoher Anforderungsrate gemäß SN 31920	75 %
T1-Wert für Proof-Test Intervall oder Gebrauchsdauer gemäß IEC 61508	20 y
Approbationen/Zertifikate	

Daten Leistungsschütz Siemens 3RT2016-1AP02

Leistungsschütz, AC-3 9 A, 4 kW / 400 V 1 Ö, AC 230 V, 50 / 60 Hz 3-polig, Baugröße S00 Schraubanschluss Mehrstückverpackung = 72 Stück

Schutzart IP	
• frontseitig	IP20
• der Anschlussklemme	IP20
Schockfestigkeit bei Rechteckstoß	
• bei AC	6,7g / 5 ms, 4,2g / 10 ms
Schockfestigkeit bei Sinusstoß	
• bei AC	10,5g / 5 ms, 6,6g / 10 ms
mechanische Lebensdauer (Schaltspiele)	
• des Schützes typisch	30 000 000
• des Schützes mit aufgesetztem elektronikgerechtem Hilfsschalterblock typisch	5 000 000
• des Schützes mit aufgesetztem Hilfsschalterblock typisch	10 000 000
Referenzkennzeichen gemäß DIN 40719 erweitert gemäß IEC 204-2 gemäß IEC 750	K
Referenzkennzeichen gemäß IEC 81346-2:2009	Q

Betriebsstrom	
• bei AC-1 bei 400 V	
— bei Umgebungstemperatur 40 °C Bemessungswert	22 A
• bei AC-1	
— bis 690 V bei Umgebungstemperatur 40 °C Bemessungswert	22 A
— bis 690 V bei Umgebungstemperatur 60 °C Bemessungswert	20 A
• bei AC-2 bei 400 V Bemessungswert	9 A
• bei AC-3	
— bei 400 V Bemessungswert	9 A
— bei 500 V Bemessungswert	7,7 A
— bei 690 V Bemessungswert	6,7 A
• bei AC-4 bei 400 V Bemessungswert	8,5 A
• bei AC-5a bis 690 V Bemessungswert	19,4 A
• bei AC-5b bis 400 V Bemessungswert	7,4 A
• bei AC-6a	
— bis 230 V bei Stromscheitelwert n=20 Bemessungswert	5,3 A
— bis 400 V bei Stromscheitelwert n=20 Bemessungswert	5,3 A
— bis 500 V bei Stromscheitelwert n=20	5,3 A

Daten Leistungsschütz Siemens 3RT2016-1AP02

Leistungsschütz, AC-3 9 A, 4 kW / 400 V 1 Ö, AC 230 V, 50 / 60 Hz
3-polig, Baugröße S00 Schraubanschluss Mehrstückverpackung =
72 Stück

Sicherheitsrelevante Kenngrößen	
B10-Wert	
• bei hoher Anforderungsrate gemäß SN 31920	1 000 000
Anteil gefahrbringender Ausfälle	
• bei niedriger Anforderungsrate gemäß SN 31920	40 %
• bei hoher Anforderungsrate gemäß SN 31920	73 %
Ausfallrate [FIT]	
• bei niedriger Anforderungsrate gemäß SN 31920	100 FIT
Produktfunktion	
• Spiegelkontakt gemäß IEC 60947-4-1	Ja
T1-Wert für Proof-Test Intervall oder Gebrauchsdauer gemäß IEC 61508	20 y
Berührungsschutz gegen elektrischen Schlag	fingersicher

Daten Leistungsschütz Siemens 3RT2018-1AP02

Leistungsschütz, AC-3 16 A, 7,5 kW / 400 V 1 Ö, AC 230 V, 50/60 Hz 3-polig, Baugröße S00 Schraubanschluss MehrwertverPackung = 144 Stück

Schutzart IP	
• frontseitig	IP20
• der Anschlussklemme	IP20
Schockfestigkeit bei Rechteckstoß	
• bei AC	7,3g / 5 ms, 4,7g / 10 ms
Schockfestigkeit bei Sinusstoß	
• bei AC	11,4g / 5 ms, 7,3g / 10 ms
mechanische Lebensdauer (Schaltspiele)	
• des Schützes typisch	30 000 000
• des Schützes mit aufgesetztem elektronikgerechtem Hilfsschalterblock typisch	5 000 000
• des Schützes mit aufgesetztem Hilfsschalterblock typisch	10 000 000
Referenzkennzeichen gemäß DIN 40719 erweitert gemäß IEC 204-2 gemäß IEC 750	K
Referenzkennzeichen gemäß IEC 81346-2:2009	Q

Betriebsstrom	
• bei AC-1 bei 400 V	
— bei Umgebungstemperatur 40 °C Bemessungswert	22 A
• bei AC-1	
— bis 690 V bei Umgebungstemperatur 40 °C Bemessungswert	22 A
— bis 690 V bei Umgebungstemperatur 60 °C Bemessungswert	20 A
• bei AC-2 bei 400 V Bemessungswert	16 A
• bei AC-3	
— bei 400 V Bemessungswert	16 A
— bei 500 V Bemessungswert	12,4 A
— bei 690 V Bemessungswert	8,9 A
• bei AC-4 bei 400 V Bemessungswert	11,5 A
• bei AC-5a bis 690 V Bemessungswert	19,4 A
• bei AC-5b bis 400 V Bemessungswert	13,2 A
• bei AC-6a	
— bis 230 V bei Stromscheitelwert n=20 Bemessungswert	9,6 A
— bis 400 V bei Stromscheitelwert n=20 Bemessungswert	9,6 A
— bis 500 V bei Stromscheitelwert n=20	9,6 A

Daten Leistungsschütz Siemens 3RT2018-1AP02

Leistungsschütz, AC-3 16 A, 7,5 kW / 400 V 1 Ö, AC 230 V, 50/60 Hz 3-polig, Baugröße S00 Schraubanschluss MehrwertverPackung = 144 Stück

Sicherheitsrelevante Kenngrößen	
B10-Wert	
• bei hoher Anforderungsrate gemäß SN 31920	1 000 000
Anteil gefahrbringender Ausfälle	
• bei niedriger Anforderungsrate gemäß SN 31920	40 %
• bei hoher Anforderungsrate gemäß SN 31920	73 %
Ausfallrate [FIT]	
• bei niedriger Anforderungsrate gemäß SN 31920	100 FIT
Produktfunktion	
• Spiegelkontakt gemäß IEC 60947-4-1	Ja
T1-Wert für Proof-Test Intervall oder Gebrauchsdauer gemäß IEC 61508	20 y
Berührungsschutz gegen elektrischen Schlag	fingersicher

Daten Leistungsschütz EATON DILM 15

290058
DILM15-10(230V50HZ,240V60HZ)

TECHNISCHE DATEN

Allgemeines

Normen und Bestimmungen	IEC/EN 60947, VDE 0660, UL, CSA
Lebensdauer, mechanisch AC-betätigt [Schaltspiele]	10×10^6
Schalthäufigkeit, mechanisch AC-betätigt [Schaltspiele/h]	5000
Klimafestigkeit	Feuchte Wärme, konstant, nach IEC 60068-2-78 Feuchte Wärme, zyklisch, nach IEC 60068-2-30

AC-1 Bemessungsbetriebsstrom konventioneller thermischer Strom 1-polig offen [I_{th}]	50 A
AC-1 Bemessungsbetriebsstrom konventioneller thermischer Strom 1-polig gekapselt [I_{th}]	45 A
AC-3 Bemessungsbetriebsstrom offen, 3-polig, 50 - 60 Hz 220 V 230 V [I_e]	15.5 A
AC-3 Bemessungsbetriebsstrom offen, 3-polig, 50 - 60 Hz 240 V [I_e]	15.5 A
AC-3 Bemessungsbetriebsstrom offen, 3-polig, 50 - 60 Hz 380 V 400 V [I_e]	15.5 A
AC-4 offen, 3-polig, 50 - 60 Hz 240 V [I_e]	7 A
AC-4 offen, 3-polig, 50 - 60 Hz 380 V 400 V [I_e]	7 A

Daten Sicherheitsschaltrelais PSR-...- 24DC/FSP/1X1/1X2

Sicherheitstechnische Kenngrößen für IEC 61508 - Low Demand	
SIL	3
Diagnosedeckungsgrad (DC)	0 %
$MTTF_d$	55203,88 Jahre
PFD_{avg}	$9{,}87 \times 10^{-5}$
Proof-Test-Intervall	144 Monate

Ersatzdarstellung des Gerätes als 1001-Struktur für Prozesskunden	
Gerätetyp	Typ A
HFT	0
SIL	3
Anteil ungefährlicher Ausfälle (SFF)	99,77 %
λSD	0 FIT
λSU	909,7 FIT
λDD	0 FIT
λDU	2,09 FIT
λTotal	911,79 FIT
MTBF	113 Jahre
PFD_{avg}	$9{,}15 \times 10^{-6}$ (für T1 = 1 Jahr)

Daten Magnetventil Baureihe 3967

Hiermit wird bestätigt, dass die o. g. Magnetventile gemäß IEC 61508 für den Einsatz in sicherheitsgerichteten Kreisen geeignet sind. Die Geräte haben eine HFT von 0 und können nach IEC 61511 bis SIL 2 (einzelnes Gerät, HFT = 0) und SIL 3 (redundante Verschaltung, HFT = 1) eingesetzt werden.

Die Konformität des Entwicklungsprozesses, der durchgeführten FMEDA und der Aussagen dieser Herstellererklärung sind von der TÜV Rheinland Industrie Service GmbH durch das Zertifikat V80.09/14 vom 27. November 2014 zertifiziert.

Nutzbare Lebensdauer

Nach IEC 61508-2, Abschnitt 7.4.9.5 können acht bis zwölf Jahre angenommen oder ein Wert benutzt werden, der sich durch Betriebsbewährung des Anwenders ergibt.

Sicherheitstechnische Kenndaten

$\lambda_{safe,\ undetected}$	20 FIT
$\lambda_{safe,\ detected}$	0
$\lambda_{dangerous,\ undetected}$	2 FIT
$\lambda_{dangerous,\ detected}$	0
$PFD_{avg.}$ bei jährlicher Prüfung	$7{,}79 \cdot 10^{-6}$
HFT (Hardware Fault Tolerance)	0
DC (Diagnostic Coverage)	0 %
Gerätetyp	A
Betriebsmodus	Low Demand
SFF (Safe Failure Fraction)	92 %
$MTBF_{gesamt}$	5.132 Jahre
$MTBF_{dangerous,\ undetected}$	64.156 Jahre

1 FIT = 1 Ausfall pro 10^9 Stunden

Formeln (100% Prüftiefe)

1oo1	$PFD \approx ½ * \lambda_{DU} * T_1$
1oo2	$PFD \approx ⅓ * \lambda_{DU}^2 * T_1^2 + \beta * ½ * \lambda_{DU} * T_1$ Bzw. $PFD \approx 4/3 * PFD_{1oo1}^2 + \beta * PFD_{1oo1}$
2oo2	$PFD \approx \lambda_{DU} * T_1$
2oo3	$PFD \approx \lambda_{DU}^2 * T_1^2 + \beta * ½ * \lambda_{DU} * T_1$

1FIT = 10^{-9} 1/h

PFD

10^{-2} … 10^{-1}	SIL 1
10^{-3} … 10^{-2}	SIL 2
10^{-4} … 10^{-3}	SIL 3
10^{-5} … 10^{-4}	SIL 4

$$\lambda_{10} = \frac{0,1}{B_{10}}$$

$$B_{10D} = \frac{B_{10}}{AgA}$$

Kanalrichtwerte nach NE 130

Kanalart	Fehlerrate λ_{DU}	CCF (β)	T_1 (Empf.)
Sensor für p	$1 * 10^{-6}$	5%	8760 Stunden
Sensor für T	$5 * 10^{-7}$	5%	8760 Stunden
Sensor für L	$4 * 10^{-7}$	5%	8760 Stunden
Sensor für F	$1 * 10^{-6}$	5%	8760 Stunden
Aktor	$4 * 10^{-7}$	5%	8760 Stunden

Verweis der VDI/VDE 2180 Blatt 4 auf die NE 130

Ermittlung des SIL

EN 61511-1 Tabelle 6 – Mindest-Hardware-Fehlertoleranz in Abhängigkeit des SIL

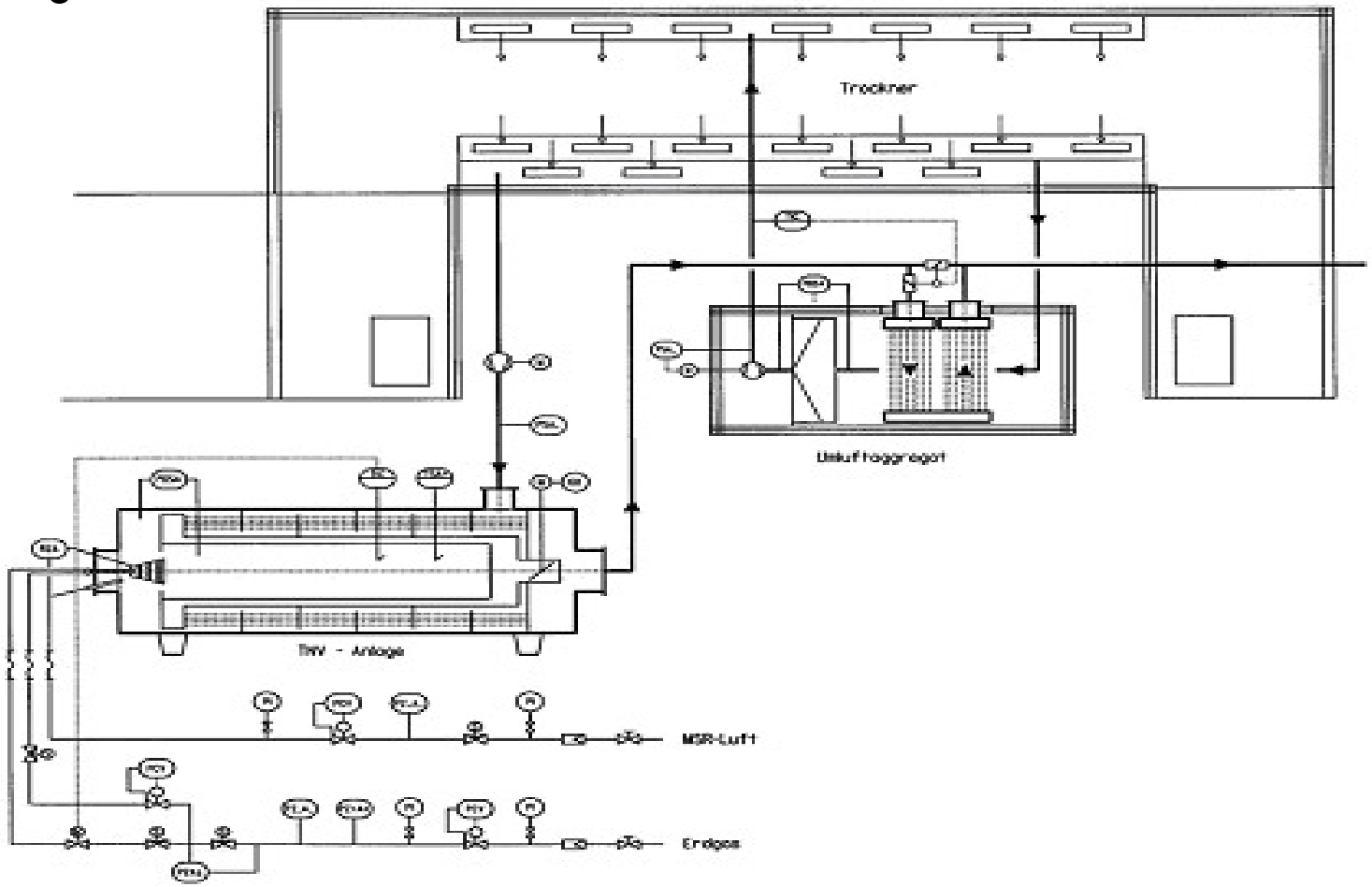
SIL	Hardware-Fehlertoleranz		
	0	1	2
1	X		
2 (Low Demand)	X		
2 (High Demand)		X	
3		X	
4			X

Übung 1 Kanaltrockner

Der Kanaltrockner dient zur Trocknung von Stoffen, bei denen während es Trocknungs-Prozesses brennbare Stoffe durch Verdampfen oder während des Aushärtens von Beschichtungsstoffen entstehen.
Beispiel:
In einem Kanaltrockner werden kontinuierlich mit brennbaren Lösemittel beschichtet Fäden getrocknet. Dies findet in einem indirekt beheizten Luftstrom (mit Thermalöl betriebener Wärmetauscher) statt. Die Auslegung der Thermalölanlage erfolgte nach DIN 4754 und ist hier nicht Gegenstand dieser Betrachtung.

Grundlage der Betrachtung des Kanaltrockner ist die DIN EN 1539.

Übung 1 Kanaltrockner



Fließschema TNV-Anlage mit Umluftwärmetauscher

http://www.igs-anlagentechnik.de

Übung 1 Kanaltrockner

In diesem Beispiel soll sich auf die Vermeidung der Bildung einer explosiven Atmosphäre durch Überschreiten der höchstzulässigen Konzentration brennbarer Stoffe beschränkt werden.
Dies erfolgt nach Forderung der DIN EN 1539 4.9.1 (2015) durch:

- Unterschreiten des minimal erforderlichen Abluftvolumenstromes;
- Überschreitung der maximal zulässigen Temperatur;
- Unterschreitung des Mindesttrocknungs-Temperaturverlaufs;
- Überschreitung der maximal zulässigen Transportgeschwindigkeit des Förder-systems

und/oder

- Überschreitung des maximal zulässigen Eintrags brennbarer Stoffe;

Übung 1 Kanaltrockner

aufgrund von

- Ausfall, unerwartetem Anlauf oder Durchlauf des Heizsystems;
- Ausfall des Fördersystems (z. B. Trockner von Druckmaschinen, Holzmaterialien, Überhitzung der Gegenstände);
- unerwartetem Anlauf oder Durchlauf des Fördersystems;
- Ausfall der technischen Lüftung (einschließlich Umluft);
- Ausfall der Energieversorgung

und/oder

- Ausfall von Regeleinrichtungen/Steuerung wie z. B. Fehlfunktion der Temperatur- oder Konzentrationsüberwachungseinrichtung

Übung 1 Kanaltrockner

Aufgabenstellung:
Betrachten sie bitte die beiden Punkte Abluftvolumenstrom und Temperatur.
Die Anlage steht in einem Produktionsgebäude, in dem sich auch die Leitwarte befindet. Alle 8 Stunden erfolgt ein Rundgang von 2 Mitarbeitern.
Für die Abluft sind 2 Lüfter mit jeweils 100% Leistung eingebaut (getrenntes Energienetz). Die Lüfter werden überwacht und bei Ausfall eines Lüfters erfolgt eine Alarmierung.
Die Abschaltung der Beheizung erfolgt 2-kanalig über sicherheitsgerichtete Eingänge des Feuerungsautomaten. Der Feuerungsautomat inkl. der Ventile ist Baumustergeprüft und kann als fehlersicher angesetzt werden.
Machen sie hierzu eine Gefahren- und Risikoanalyse, legen sie die Sicherheitseinrichtungen (falls erforderlich) aus und weisen sie nach, dass die Anforderungen erfüllt werden.

Übung 1 Kanaltrockner

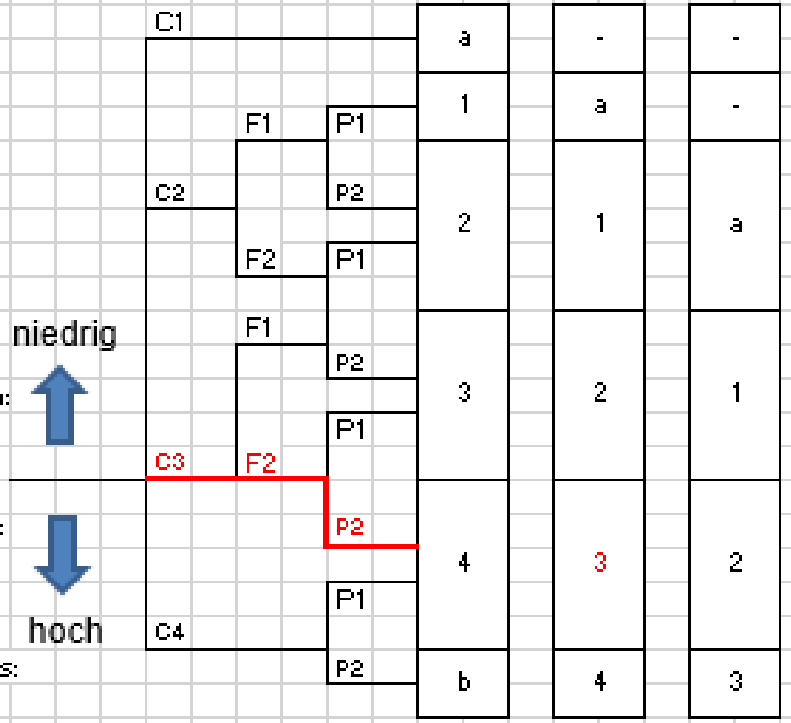
Abluftüberwachung SIL 2

Erforderliche sicherheitsbezogene Anforderungsstufe:

-	keine Sicherheitsanforderungen;	
a	keine besonderen Sicherheitsanforderungen;	
1,2,3,4	sicherheitsbezogene Anforderungsstufen;	
b	einfaches Schutzsystem nicht ausreichend	

Risikoparameter:

-		
C1	leichte Verletzung;	☐
C2	schwere irreversible Verletzung einer oder mehrerer Personen, Tod einer Person;	☐
C3	Tod mehrerer Personen;	☑
C4	sehr viele Tote.	☐
-	Häufigkeit und Dauer des Aufenthalts im Gefahrenbereich:	
F1	selten bis öfter;	☐
F2	häufig bis dauernd.	☑
-	Möglichkeit der Abwendung des gefährlichen Ereignisses:	
P1	möglich unter bestimmten Bedingungen;	☐
P2	kaum möglich.	☑
-	Eintrittswahrscheinlichkeit des unerwünschten Ereignisses:	
W1	sehr geringe Wahrscheinlichkeit;	☐
W2	geringe Wahrscheinlichkeit;	☑
W3	relativ hohe Wahrscheinlichkeit.	☐



W3	W2	W1
a	-	-
1	a	-
2	1	a
3	2	1
4	3	2
b	4	3

Übung 1 Kanaltrockner

Sollfunktion:	**Trocknung : Betreiben mit Einsatz von brennbaren Lösemitteln** Betreiben von Kanaltrocknern mit kontinuierlich durchlaufenden beschichteten Fäden im indirekt beheizten Luftstrom –über Wärmetauscher, mit Thermalöl betrieben.		
Abweichung	Ursache	Auswirkung	Gegenmaßnahme
Stand zu hoch/tief			
Druck zu hoch			Notentlastung über Notkamin, Umschaltung über UEG-Funktion
Temp.zu hoch			Zu heiße Trocknungsluft: sicherheitsgerichtete Temperaturüberwachung von max 240 C (TZ+) mit Abschaltung der Lösemittelaufgabe und der Aufheizung- Grenztemperatur noch festzulegen , Verriegelung von Thermalölheizung TZ+A+ bei Überhitzung
Ex-Gemisch & Zündquelle innen	Ausfall Ventilation des Luftstromes,	Glimmbrand zündet Ex-Gemisch. Explosion, Trümmerflug	UEG-Überwachung im Abluftstrom; bei > 25% UEG Abschaltung der Lösungszufuhr- - beide in sicherheitsrelevanter Ausführung, Not-Aus Stromkreise; Überwachung Mindestabluftstrom, durch sicherheitsgerichtete Durchfluss-Messgeräte (FZ-)mit Abschaltung der Lösemittelaufgabe und Entlüftung über Notkamin bei Erreichen > 25% UEG .Elektrische Ausrüstung im Innenraum gemäß Zonenfestlegung, Vermeidung elektrostatischer Entladung: Erdung/Potentialausgleich, Abnahme der E-Installation nach VDE100, VDE 0165
Stoffaustritt			
Ex-Gemisch & Zündquelle außen			Äußerer Blitzschutz und Innerer Blitzschutz (Schaltschränke). Regelmäßige Überprüfung. Energieausfall: Notstromversorgung für sicheres Belüften, Abschalten der Lösemittel-Zufuhr, verstärkte Absaugung über Notgebläse
Bewegte Teile			
Arbeiten (Proben, Reinigen, Instandhalten An-Abfahren)			

Übung 1 Kanaltrockner

Trocknung : Betreiben mit Einsatz von brennbaren Lösemitteln Betreiben von Kanaltrocknern mit kontinuierlich durchlaufenden beschichteten Fäden im indirekt beheizten Luftstrom –über Wärmetauscher, mit Thermalöl betrieben. , Bildung von Ex-Gemisch durch Glimmbrand, zündet Ex-Gemisch.		**Eintritts häufigkeit/ Jahr**	**Wahrschein lichkeit**
Auswirkung	Ex-Gemisch Abgas/Luft wird gezündet ; Explosion , Brand, Tod von Personen		
tolerierbares Risiko	Tod von Personen	1E-6	
Auslöser	Ausfall Ventilation des Luftstromes nach dem Anfahren und Glimmbrand	1E-1	
Eintrittsermöglicher	kritisches Zeitfenster,		
Auswirkung modifikator	Bildung von Ex-atmosphäre:		
	Entzündung :		
	Personal im Gefahrenbereich :		
	Versagen drucktragender Teile :		
Eintrittshäufigkeit der Gefahrenquelle ohne Schutzebenen		1E-1	
PLT-Betriebssystem+ Personal-Eingriff	, Überwachung des Mindest –Luftvolumenstromes (Volumenstrom der technischen Lüftung) Alarmierung FA-bei Unterschreiten, Verriegelung der Beschickung mit brennbaren Stoffen von Hand , bis der Mindest-Volumenstrom der technischen Lüftung erreicht und überschritten ist (Unabhängig von SIF)		1E-1
Druckentlastung	Druckentlastung über Notkamin		1E-2
PLT- Schutz-Funktion(SIF)	UEG-Überwachung im Abluftstrom; bei > 25% UEG Abschaltung der Dipp-Lösungszufuhr- - beide in sicherheitsrelevanter Ausführung, Überwachung Mindestabluftstrom, durch sicherheitsgerichtete Durchfluss-Messgeräte (FZ-)mit Abschaltung der Lösemittelaufgabe und Entlüftung über Notkamin bei Erreichen > 25% UEG		1E-2
Schutzmaßnahmen , keine IPL	Anfahrvorgänge mit 5x Luftwechsel ,Elektrische Ausrüstung im Innenraum gemäß Zonenfestlegung, Vermeidung elektrostatischer Entladung: Erdung/Potentialausgleich, Abnahme der E-Installation nach VDE100, VDE 0165, Not-Aus Stromkreise, verstärkte Absaugung über Notgebläse		
Gesamt PFD für alle Schutzebenen			1E-5
Eintrittshäufigkeit mit Schutzebenen	Kriterien der tolerierbaren Risiken erfüllt: ja	1E-6	
Handlungsbedarf			

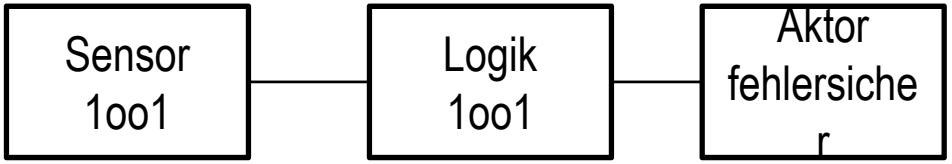
Übung 1 Kanaltrockner

SIF Abluft-Volumenstrom „SIL2“:

Es gilt:

$$PFD = PFD_{Sensor} + PFD_{Logik} + PFD_{Aktor}$$

Ersatzschaltbild:



Übung 1 Kanaltrockner

Annahmen:

- β = 10%
- Testintervall 1 Jahr
- Druckerfassung ABB 265D
- Grenzwertschalter: P+F KFD2-CRG2-1.D
- Sicherheitsrelais Phoenix Contact PSR…24DC/FSP/1X1/1X2
- Feuerungsautomat fehlersicher → λ_{DU} = 0

Übung 1 Kanaltrockner

$PFD_{Sensor\ 1oo1} = PFD_{Druck} + PFD_{GW} = \lambda_{DU\ Druck} + \lambda_{DU\ GW}$

$PFD_{Sensor\ 1oo1} \approx ½ *(\lambda_{DUDruck} + \lambda_{DUGW})* T_1$

$PFD_{Sensor\ 1oo1} \approx ½ * (199 + 114) * 10^{-9} * 8760$ **$= 2{,}74 * 10^{-3}$**

$PFD_{Logik\ 1oo1} \approx ½ * \lambda_{DU} * T_1$

$PFD_{Logik\ 1oo1} \approx ½ * 2{,}09 * 10^{-9} * 8760$ **$= 9{,}15 * 10^{-6}$**

$PFD_{avg} = \Sigma PFD = 2{,}74 * 10^{-3} + 9{,}15 * 10^{-6}$ **$= \underline{2{,}75 * 10^{-3}}$**

HFT

Sensorik: 0

Logik: 1

Aktorik: 1

Übung 1 Kanaltrockner

Bewertung:

PFD = **2,75 * 10^{-3}**

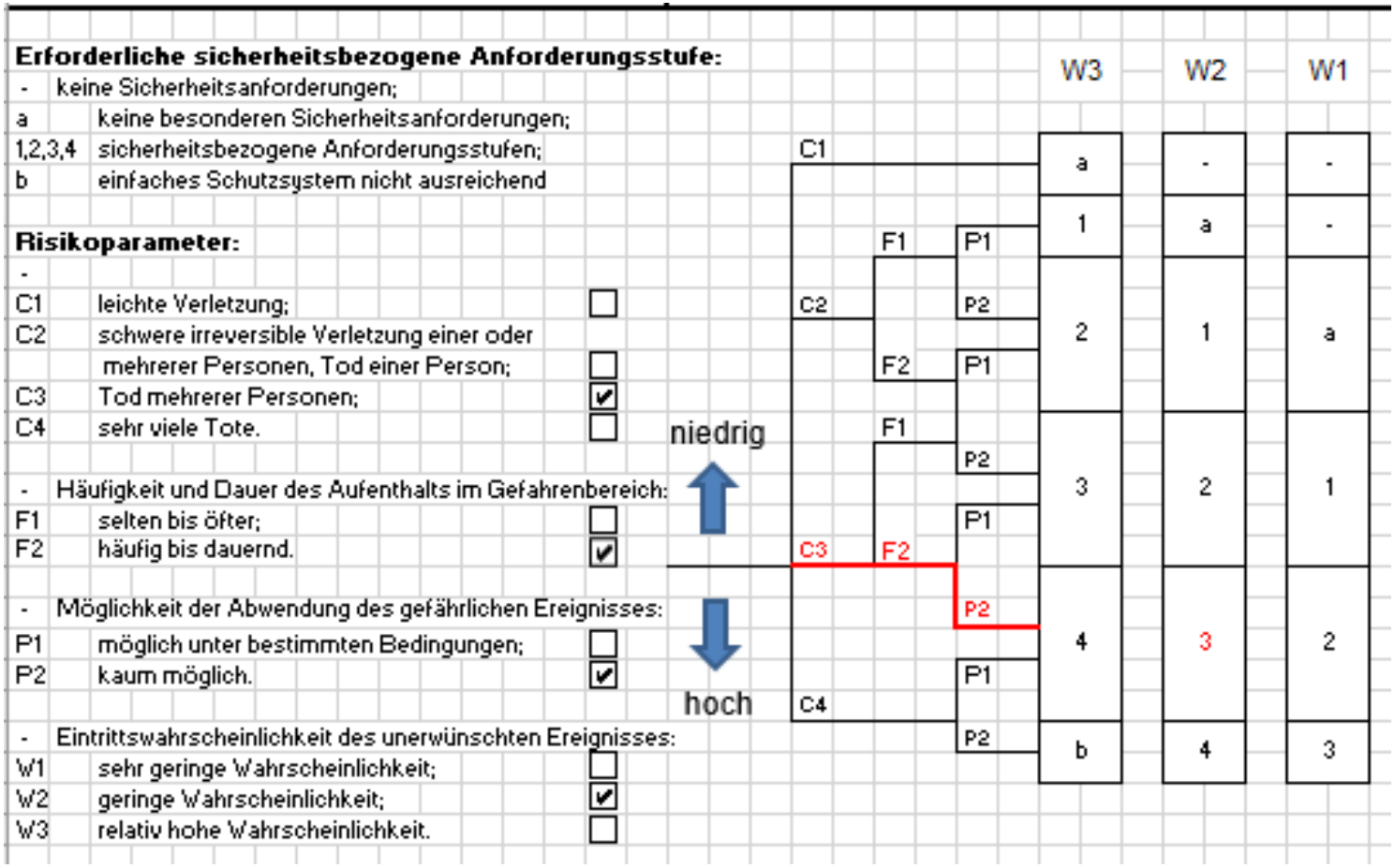
HFT : $HFT_{System} = 0$

PFD	
10^{-2} … 10^{-1}	SIL 1
10^{-3} … 10^{-2}	SIL 2
10^{-4} … 10^{-3}	SIL 3
10^{-5} … 10^{-4}	SIL 4

SIL	Hardware-Fehlertoleranz		
	0	1	2
1	X		
2 (Low Demand)	X		
2 (High Demand)		X	
3		X	
4			X

Übung 1 Kanaltrockner

Temperaturüberwachung SIL 3



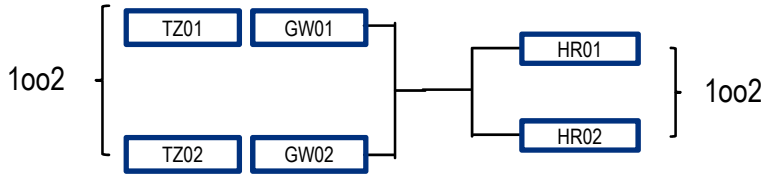
Übung 1 Kanaltrockner

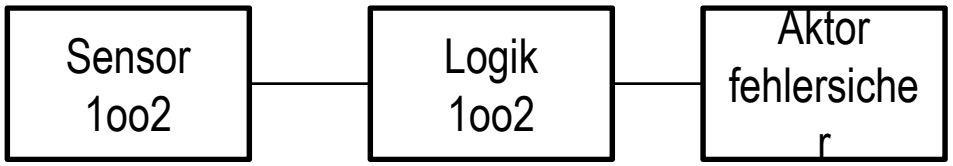
SIF Temperatur „SIL3“:

Es gilt:

$$PFD = PFD_{Sensor} + PFD_{Logik} + PFD_{Aktor}$$

Ersatzschaltbild:





Übung 1 Kanaltrockner

Annahmen:

- β = 10%
- Testintervall 1 Jahr
- Temperaturerfassung: E+H TMT 182 / 4-Drahtanschluss
- Grenzwertschalter: P+F KFD2-CRG2-1.D
- Sicherheitsrelais Phoenix Contact PSR…24DC/FSP/1X1/1X2
- Feuerungsautomat fehlersicher $\rightarrow \lambda_{DU} = 0$

Übung 1 Kanaltrockner

$$PFD_{Sensor\ 1oo1} = PFD_{Temp} + PFD_{GW} = \lambda_{DU\ Temp} + \lambda_{DU\ GW}$$

$$PFD_{Temp\ 1oo2} \approx \tfrac{1}{3} * (\lambda_{DUTemp} + \lambda_{DUGW})^2 * T_1^2 + \beta * \tfrac{1}{2} * *(\lambda_{DUTemp} + \lambda_{DUGW})*T_1$$

$$PFD_{Temp\ 1oo2} \approx \tfrac{1}{3} * [(127 + 114)* 10^{-9}]^2 * 8760^2$$
$$+ 0{,}1 * \tfrac{1}{2} * (127 + 114)* 10^{-9} * 8760$$

$$PFD_{Temp\ 1oo2} \approx \mathbf{1{,}07 * 10^{-4}}$$

$$PFD_{Logik\ 1oo2} \approx \tfrac{1}{3} * \lambda_{DU}^2 * T_1^2 + \beta * \tfrac{1}{2} * \lambda_{DU} * T_1$$

$$PFD_{Logik\ 1oo2} \approx \tfrac{1}{3} * (2{,}09 *10^{-9})^2 * 8760^2 + 0{,}1 * \tfrac{1}{2} * 2{,}09 *10^{-9}* 8760$$

$$PFD_{Logik\ 1oo2} \approx \mathbf{9{,}16*10^{-7}}$$

$$PFD_{avg} = \Sigma\ PFD = 1{,}07 * 10^{-4} + 9{,}16 * 10^{-7} = \mathbf{1{,}08 * 10^{-4}}$$

Übung 1 Kanaltrockner

HFT

Sensorik: 1

Logik: 1

Aktorik: 1

Übung 1 Kanaltrockner

Bewertung:

PFD = **1,08 * 10^{-4}**

HFT : HFT_{System} = 1

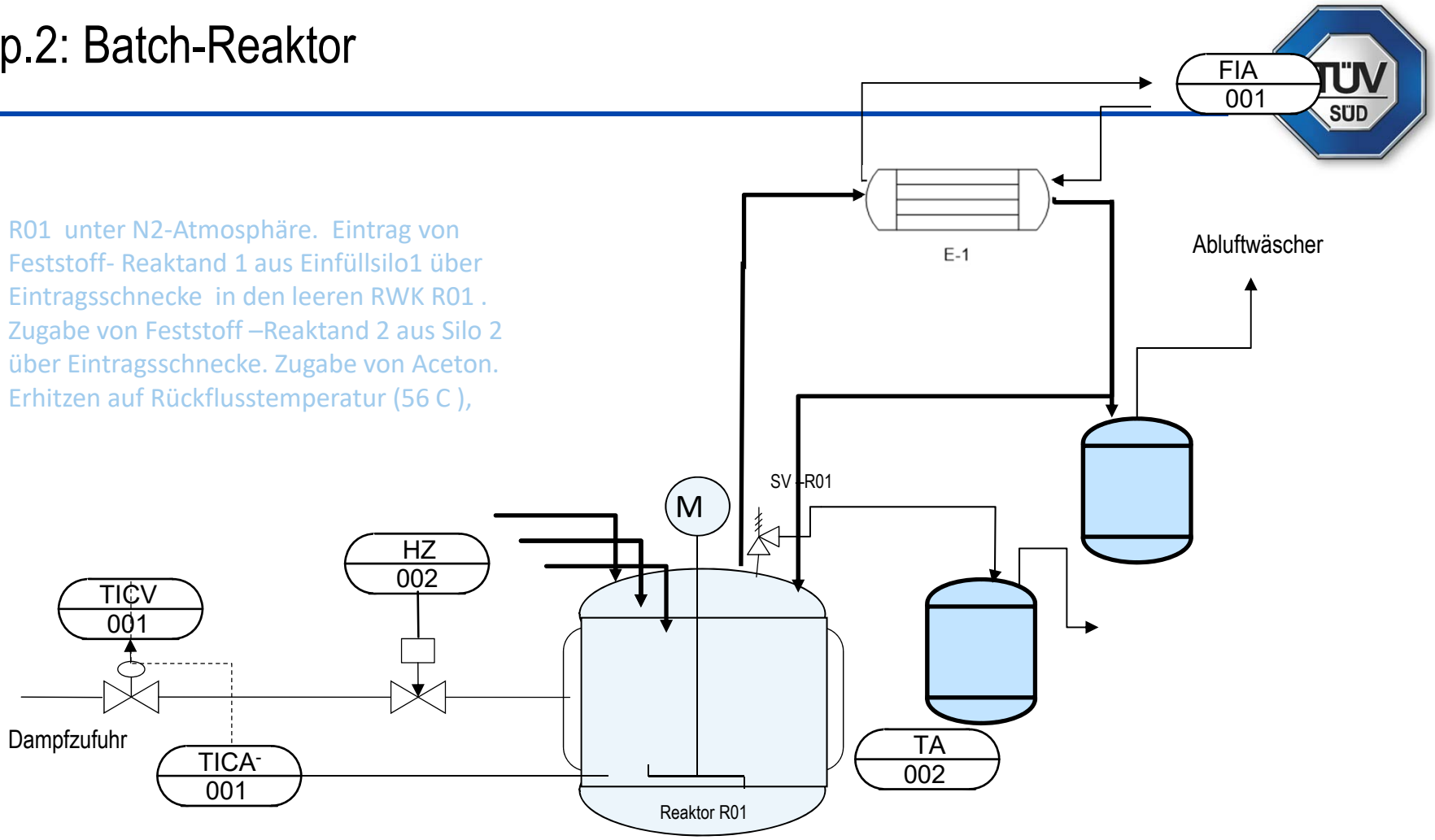
PFD

10^{-2} … 10^{-1}	SIL 1
10^{-3} … 10^{-2}	SIL 2
10^{-4} … 10^{-3}	SIL 3
10^{-5} … 10^{-4}	SIL 4

SIL	Hardware-Fehlertoleranz		
	0	1	2
1	X		
2 (Low Demand)	X		
2 (High Demand)		X	
3		X	
4			X

Bsp.2: Batch-Reaktor

R01 unter N2-Atmosphäre. Eintrag von Feststoff- Reaktand 1 aus Einfüllsilo1 über Eintragsschnecke in den leeren RWK R01 . Zugabe von Feststoff –Reaktand 2 aus Silo 2 über Eintragsschnecke. Zugabe von Aceton. Erhitzen auf Rückflusstemperatur (56 C),



Rückflusskühler:Kühlwasserüberwachung FIA- mit Umschalten auf Kühlung des Reaktor -Mantels v.Hand , Alarmierung über TA+ im Mantel mit anschließendem Bedienungseingriff bei T>80 °C; Umschalten auf Mantelkühlung,
TIA+S+ im Reaktor- Innenraum: Sicherheitstemperaturbegrenzers (Hardware) T> 100 °C schließt das Dampfventil Mantelheizung (S) Mantelheizung mit Warmwasser(WW) :Abschaltung der Kreislauf-Pumpe TIA+S+ (S) (HW-Sicherheits-Temperaturbegrenzer) S+ schließt bei Überschreiten von 100 °C das Dampfventil

Bsp.2: Batch-Reaktor

Abweichung	Ursache	Auswirkung	Gegenmaßnahme
Durchfluss/ Stand zu hoch			
Durchfluss/ Stand zu tief			
Druck zu hoch	Kühlmittelausfall	durchgehende Reaktion, Druckanstieg	Sicherheitsventil ausgelegt für siedendes Aceton, Mantel max 100C
Druck zu tief			
Temp.zu tief			
Temp.zu hoch	b)Kühlwasserausfall auf Rücklaufkühler	durchgehende Reaktion, Bersten, Druckanstieg Explosion, Brand, Tod einer Person	Kühlwasserüberwachung FIA- mit Umschalten auf Kühlung des Mantels v.Hand , Alarmierung über TA+ im Mantel mit anschließendem Bedienungseingriff bei T>80 °C; Umschalten auf Mantelkühlung, TIA+S+ im Innenraum: Sicherheitstemperaturbegrenzers (Hardware) T> 100 °C schließt das Dampfventil Mantelheizung (S) Mantelheizung mit Warmwasser(WW) :Abschaltung der Kreislauf-Pumpe TIA+S+ (S) (HW-Sicherheits-Temperaturbegrenzer) S+ schließt bei Überschreiten von 100 °C das Dampfventil
Ex-Gemisch & Zündquelle innen	a) Elektrostatische Aufladung durch Eintrag von Feststoff, Ex-Gemisch	Zündfunke Explosion, Bersten, Trümmerflug, tödliche Verletzungen	FIS-A-: Zufluss von N2 überwacht mit Alarmierung und HW-Verriegelung von Zugabe aus Silo Von Restgehalt an Aceton befreien durch Anlegen von Vakuum und Anheizen des Mantels auf ca. 50 °C; Brechen des Vakuums mit Stickstoff, Potentialausgleich, Zündquellenvermeidung gemäß Zone 0
Stoffaustritt			
Ex-Gemisch & Zündquelle außen			
Bewegte Teile			
Arbeiten (Proben, Reinigen, Instandhalten An-Abfahren)			

Bsp.2a: Batch-Reaktor, elektrostatische Zündquelle

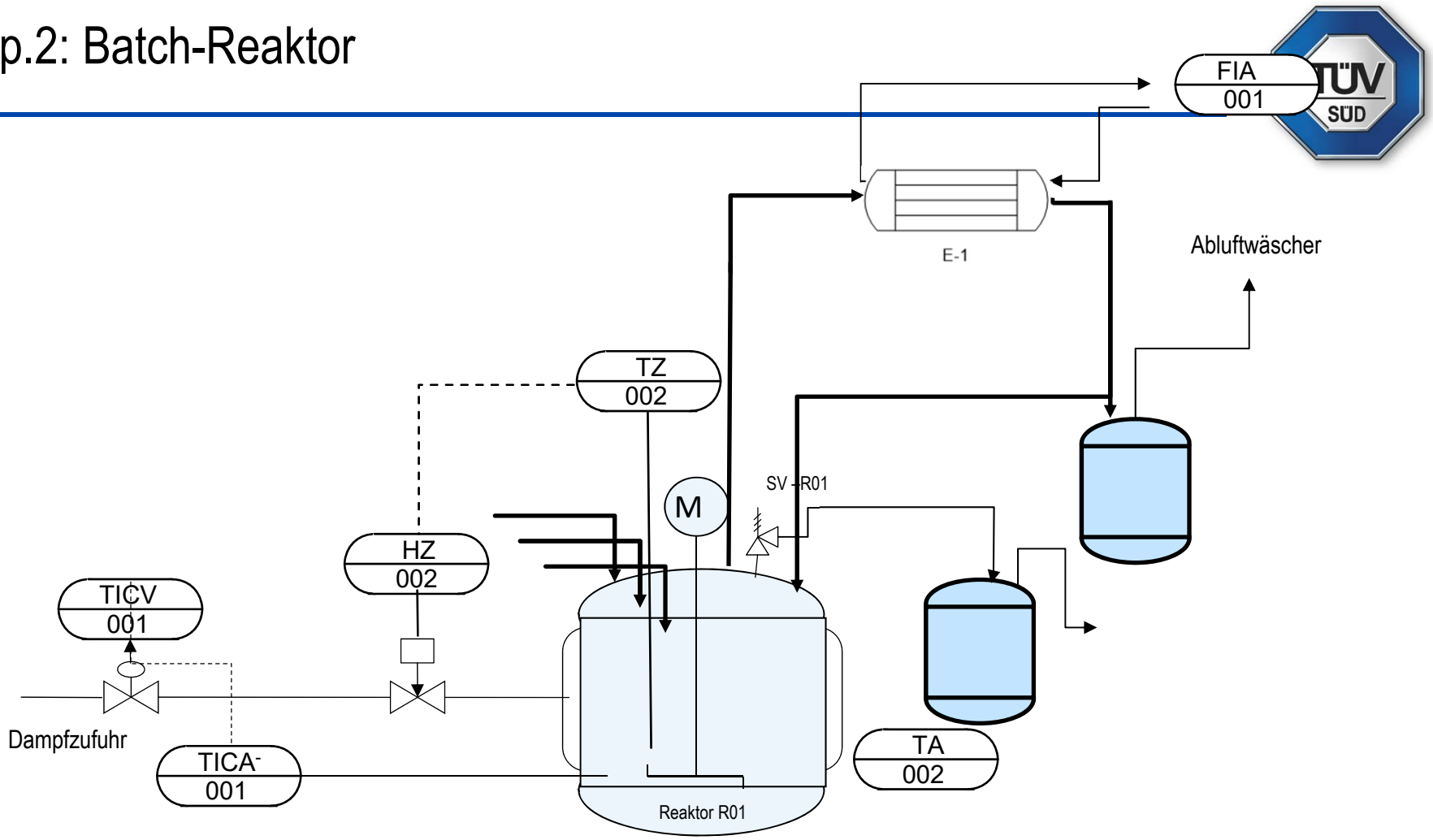
Szenario R01 unter N2-Atmosphäre. Eintrag von Feststoff- Reaktand 1 aus Einfüllsilo1 über Eintragsschnecke in den leeren RWK R01 . Zugabe von Feststoff –Reaktand 2 aus Silo 2 über Eintragsschnecke. Zugabe von Aceton. Erhitzen auf Rückflusstemperatur (56 C), Elektrostatische Aufladung durch Eintrag von Feststoff, Zündung von Ex-Gemisch		**Häufigkeit/ Jahr**	**Wahrscheinlichkeit**
Auswirkung	Explosion, Bersten von Anlagen, Trümmerflug, Brand, Tod einer Person		
tolerierbar	Personenschaden: Tod einer Person	1E-5	
Auslösendes Ereignis	Elektrostatische Aufladung durch Eintrag von Feststoff(>1/Jahr) high Demand: PDF von nachfolgender Einrichtung (1)	1E-1	
Eintrittsermöglicher	Kampagnenfahrweise, kritisches Zeitfenster,		
Auswirkungs modifikator	Bildung von Ex-atmosphäre:		
	Entzündung : Potentialausgleich Silo-Kessel, Erdung, regelmäßige Wartung		(1E-2)
	Personal im Gefahrenbereich		
	Versagen drucktragender Teile		
Auswirkungen, Eintrittshäufigkeit ohne Schutzebenen		1E-3	
Unabhängige Schutzebenen (IPL)			
PLT-Betriebssystem+ Personal-Eingriffe	(1) ~~Von Restgehalt an Aceton befreien durch Anlegen von Vakuum und Anheizen des Mantels auf ca. 50 °C; Brechen des Vakuums mit Stickstoff~~		~~1E-1~~
Druckentlastung			
PLT- Schutz-Funktion(SIF)	FIS-A-: Zufluss von N2 überwacht mit Alarmierung und HW-Verriegelung von Zugabe aus Silo		1E-2
Gesamte PFD für alle IPLs			1E-2
Häufigkeit Auswirkung mit IPLs: Risiko-Toleranzkriterien eingehalten? ja		1E-5	
Handlungsbedarf			

Bsp.2b: Batch-Reaktor, Kühlwasserausfall auf Rückflusskühler

Szenario R01 unter N2-Atmosphäre. Eintrag von Feststoff- Reaktand 1 aus Einfüllsilo1 über Eintragsschnecke in den leeren RWK R01 . Zugabe von Feststoff –Reaktand 2 aus Silo 2 über Eintragsschnecke. Zugabe von Lösemittel(Aceton). Erhitzen auf Rückflusstemperatur (56 C),KW-Ausfall, durchgehende Reaktion, Druckaufbau		Häufigkeit/ Jahr	Wahrscheinlichkeit
Auswirkung	Explosion, Bersten von Anlagen, Brand, Tod einer Person		
tolerierbar	Personenschaden: Tod einer Person	1E-5	
Auslösendes Ereignis	Kühlwasserausfall auf Rückflusskühler;1/Jahr (High Demand PFD der ersten Schutzebene einsetzen(1)	1E-1	
Eintrittsermöglicher	Kampagnenfahrweise, kritisches Zeitfenster,		
Auswirkungs modifikator	Bildung von Ex-atmosphäre:		
	Entzündung		
	Personal im Gefahrenbereich		
	Versagen drucktragender Teile		
Auswirkungen, Eintrittshäufigkeit ohne Schutzebenen		1E-1	
Unabhängige Schutzebenen (IPL)			
PLT-Betriebssystem+ Personal-Eingriffe	(1)~~(Kühlwasserüberwachung FIA- mit Umschalten auf Kühlung des Mantels v.Hand. -Alarmierung über TA+ im Mantel mit anschließendem Bedienungseingriff bei T>80 °C; Umschalten auf Mantelkühlung~~)		~~(1E-1)~~
Druckentlastung	Sicherheitsventil mit Auslegung für Druckanstieg bei Kühlmittelausfall		1E-02
PLT- Schutz-Funktion(SIF)	TIA+S+ im Innenraum: Sicherheitstemperaturbegrenzers (Hardware) T> 100 °C schließt das Dampfventil Mantelheizung (S) Mantelheizung mit Warmwasser(WW) :Abschaltung der Kreislauf-Pumpe TIA+S+ (S) (HW-Sicherheits-Temperaturbegrenzer) S+ schließt bei Überschreiten von 100 °C das Dampfventil		1E-02
Gesamte PFD für alle IPLs			1E-4
Häufigkeit Auswirkung mit IPLs: Risiko-Toleranzkriterien eingehalten?		1E-5	
handlungsbedarf			

GL LOPA Enabling conditions.CCPS 2014, Table 1.1 , S.9

Bsp.2: Batch-Reaktor

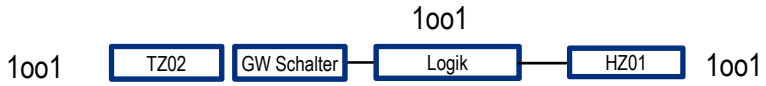


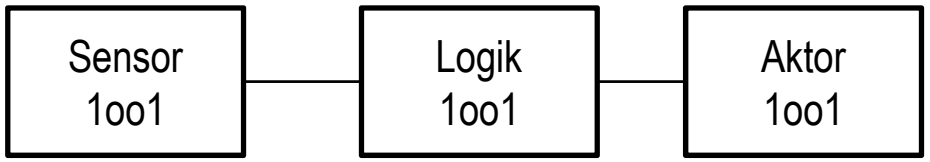
Übung 2 Batchreaktor, Zulaufreaktion

Es gilt:

$$PFD = PFD_{Sensor} + PFD_{Logik} + PFD_{Aktor}$$

Ersatzschaltbild:





Übung 2 Batchreaktor, Zulaufreaktion

Annahmen:

- β = 10%
- Testintervall 1 Jahr
- Temperaturerfassung: E+H TMT 182 / 4-Drahtanschluss
- Grenzwertschalter: P+F KFD2-CRG2-1.D
- Hilfsschütz Siemens 3RH1
- Magnetventil Baureihe 3967
- Das Ventil wurde einem Fehlerausschluss-Verfahren unterzogen und als geeignet für den Einsatz in Sicherheitseinrichtungen bis SIL 2 eingestuft. Das Ventil ist betriebsbewährt.

Übung 2 Batchreaktor, Zulaufreaktion

$$PFD_{Sensor\ 1oo1} = PFD_{Temp} + PFD_{GW} = \lambda_{DU\ Temp} + \lambda_{DU\ GW}$$

$$PFD_{Temp\ 1oo1} \approx \tfrac{1}{2} * (\lambda_{DUTemp} + \lambda_{DUGW}) * T_1$$

$$PFD_{Temp\ 1oo1} \approx \tfrac{1}{2} * (127 + 114) * 10^{-9} * 8760 \quad \mathbf{= 1{,}06 * 10^{-3}}$$

$$PFD_{Logik\ 1oo1} \approx \tfrac{1}{2} * \lambda_{DU} * T_1$$

Rechnung mit 3RH: $B_{10} = 10^6$; AGA = 40%

$$\lambda_{DU10} = \frac{0{,}1 * AgA}{B_{10}} = \frac{0{,}1 * 40\%}{1 * 10^6} = 40 * 10^{-9}$$

$$PFD_{Logik\ 1oo1} \approx \tfrac{1}{2} * 40 * 10^{-9} * 8760 \quad \mathbf{= 1{,}75 * 10^{-4}}$$

Übung 2 Batchreaktor, Zulaufreaktion

$$PFD_{Aktor} = PFD_{MV} + PFD_{Ventil}$$

$$PFD_{MV} \approx \frac{1}{2} * \lambda_{DU} * T_1 = \frac{1}{2} * 2 * 10^{-9} * 8760 = 8{,}76 * 10^{-6}$$

$$PFD_{Ventil} \approx \frac{1}{2} * 4 * 10^{-7} * 8760 = 1{,}75 * 10^{-3}$$

$$PFD_{Aktor} \approx 8{,}76 * 10^{-6} + 1{,}75 * 10^{-3} \quad \mathbf{= 1{,}76 * 10^{-3}}$$

$$PFD_{avg} = \Sigma PFD = 1{,}06 * 10^{-3} + 1{,}75 * 10^{-4} + 1{,}76 * 10^{-3} \quad \mathbf{= \underline{3{,}0 * 10^{-3}}}$$

Übung 2 Batchreaktor, Zulaufreaktion

HFT

Sensorik: 0

Logik: 0

Aktorik: 0

Übung 2 Batchreaktor, Zulaufreaktion

Bewertung:

PFD = **3,0 * 10^{-3}**

HFT : $HFT_{System} = 0$

PFD

10^{-2} … 10^{-1}	SIL 1
10^{-3} … 10^{-2}	SIL 2
10^{-4} … 10^{-3}	SIL 3
10^{-5} … 10^{-4}	SIL 4

SIL	Hardware-Fehlertoleranz		
	0	1	2
1	X		
2 (Low Demand)	X		
2 (High Demand)		X	
3		X	
4			X

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

Die DECHEMA führte 2017 machte eine Umfrage bei 13 Firmen, welche eine Gefahren- und Risikoanalyse an einem Beispielprojekt im „Round Robin Test“ durchführen sollten. Die Methode hierzu war frei wählbar. Danach wurden die Ergebnisse verglichen. Ziel war es um festzustellen, ob vorhandene Regeln ausreichend sind, um ein einheitliches Niveau von Sicherheitskonzepten zu gewährleisten?

https://dechema.de/SIL_Klassifizierung-path-123212,124930,20051805.html
https://epsc.be/Activity/Conferences/EPSC+Presentations+at+ACHEMA/_/2_Ulrich%20Hoercher,%20BASF%20-%20SQRA.pdf

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

Modellfall:
Ermittlung des Sicherheitskonzeptes – insbesondere Definition der erforderlichen SIL-Klassifizierung für die Temperaturabsicherung TS02LL und die Druckabsicherung PS03HH. Sowohl TS02LL als auch PS03HH schließt XV01.
Für die Druckabsicherung werden zwei Varianten des Sicherheitskonzeptes unterschieden.
»» Variante 1: PSV01 ist dimensioniert für die „volle Menge“
»» Variante 2: PSV01 ist nur ausgelegt für „Brand“ und „Undichtigkeit XV01“
Alle Ventile sind „fail safe closed“ ausgeführt.
Der Modellfall ist in Abbildung 1 dargestellt. Tabelle 1 gibt einen Ausschnitt einer HAZOP-Analyse für den Modellfall wieder:

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

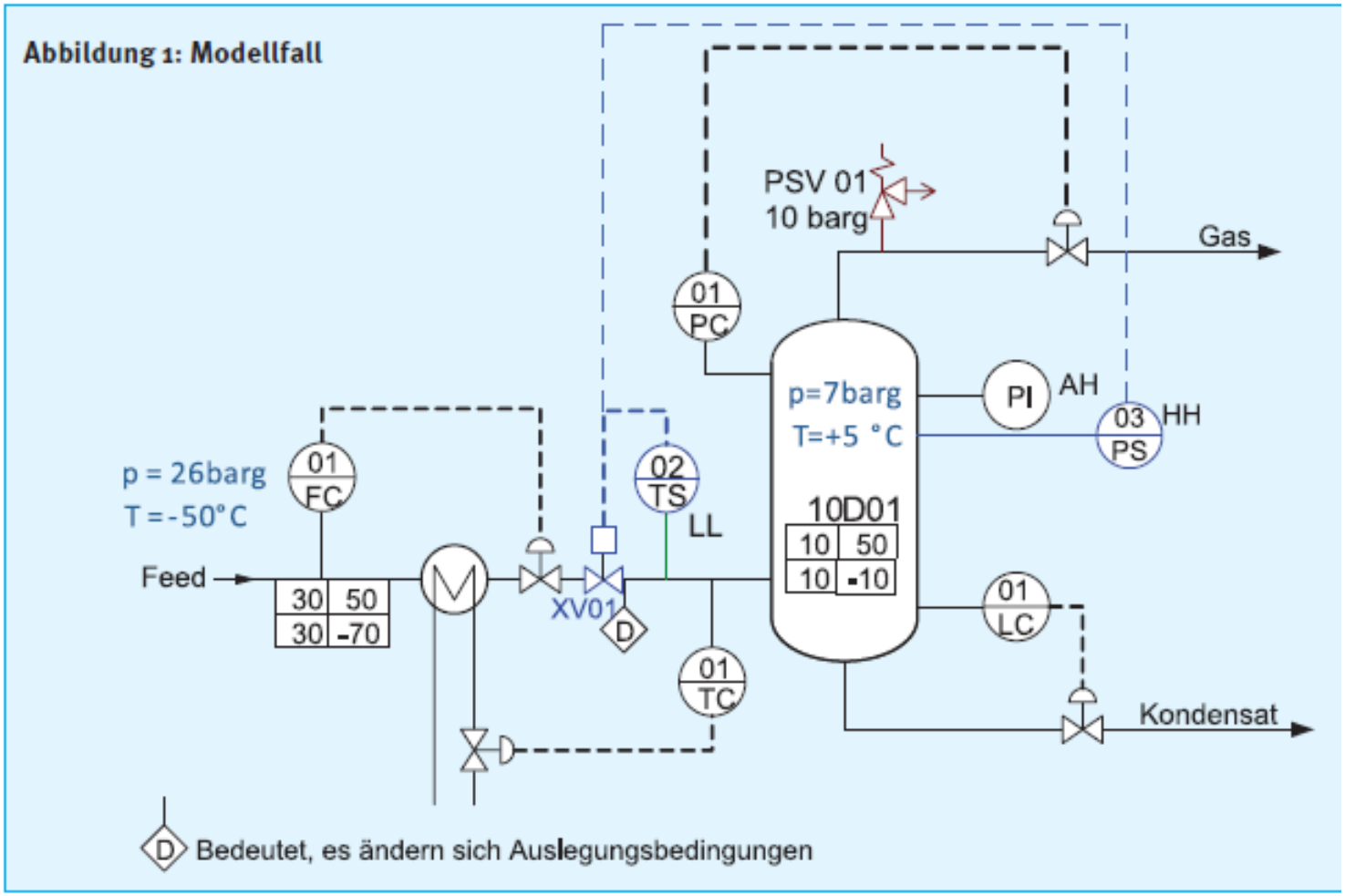
Randbedingungen:
Massenstrom 100 t/h
Stoffzusammensetzung: Kohlenwasserstoffe C1 bis C5
Volumen 10D01 = 20m3
Flüssigvolumen 10D01 = 4m3
Bedingungen auf der Hochdruck-Seite:
Betriebsbedingungen: 26barg, -50°C
Mechanische Auslegungsbedingungen: 30barg bei -70°C bis +50°C
Material: Edelstahl
Bedingungen auf der Niederdruck-Seite:
Betriebsbedingungen: 7barg, +5°C
Mechanische Auslegungsbedingungen: 10barg bei -10°C bis +50°C
Material: C-Stahl

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

Tabelle 1: Ausschnitt aus HAZOP Analyse

Leitwort	Ursache	Auswirkung	Gegenmaßnahme
höherer Druck	Regelkreisfehler PC01 – Ventil geschlossen ODER Regelkreisfehler FC01 – Ventil voll offen	Druck übersteigt zulässigen Betriebsüberdruck, Behälter-versagen, unkontrollierte Stoff-Freisetzung, Risiko von Brand und Explosion, mögliche Todesfälle	» PAH Druck-hoch Alarm » PS03HH Druck-hoch Sicherheitsschaltung » PSV01 (nicht verfügbar für Variante 2)
niedrigere Temperatur	Regelkreisfehler TC01 – Ventil geschlossen ODER Ausfall Wärmemedium (z.B. Ausfall Pumpe)	Temperatur in 10D01 sinkt unter-halb Materialeinsatztemperatur, Kaltversprödung, mögliches Behälterversagen, unkontrollierte Stoff-Freisetzung, Risiko von Brand und Explosion, mögliche Todesfälle	» TS02LL Temperatur-tief Sicherheitsschaltung

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA



Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

Leitwort	Ursache	Auswirkung	Gegenmaßnahme
höherer Druck	Regelkreisfehler PC01 – Ventil geschlossen ODER Regelkreisfehler FC01 – Ventil voll offen	Druck übersteigt zulässigen Betriebsüberdruck, Behälter-versagen, unkontrollierte Stoff-Freisetzung, Risiko von Brand und Explosion, mögliche Todesfälle	» PAH Druck-hoch Alarm » PS03HH Druck-hoch Sicherheitsschaltung » PSV01 (nicht verfügbar für Variante 2)
niedrigere Temperatur	Regelkreisfehler PC01 – Ventil geschlossen ODER Ausfall Wärmemedium (z.B. Ausfall Pumpe)	Temperatur in 10D01 sinkt unter-halb Materialeinsatztemperatur, Kaltversprödung, mögliches Behälterversagen, unkontrollierte Stoff-Freisetzung, Risiko von Brand und Explosion, mögliche Todesfälle	» TS02LL Temperatur-tief Sicherheitsschaltung

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

Variante : 1	Konti-Zustrom von C1-C5 Kohlenwasserstoff-Gemisch(-50C)(100t/h) über Wärmetauscher mit Temperaturregelung auf 20m3 Gasabscheider bei 4m3 Flüssigvolumen: **Regelkreisfehler PC01 – Ventil geschlossen ODER Regelkreisfehler FC01 – Ventil voll offen, Druck übersteigt zulässigen Betriebsüberdruck, Behälterversagen, unkontrollierte Stoff- Freisetzung, Risiko von Brand und Explosion, mögliche Todesfälle**	**Eintrittshäufig-keit/Jahr**	**Wahrschein lichkeit**
Auswirkung	unkontrollierte Stoff- Freisetzung, Brand und Explosion, mögliche Todesfälle		
tolerierbares Risiko	Mehrere Todesfälle	1E-6	
Auslöser	Regelkreisfehler PC01 – Ventil geschlossen ODER Regelkreisfehler FC01 – Ventil voll offen,	1E-1	
Eintrittsermöglicher	Kampagnenfahrweise, Kritisches Zeitfenster		
Auswirkungs-modifikator	Bildung von Ex-atmosphäre:		
	Entzündung :		
	Personal im Gefahrenbereich:		
	Versagen drucktragender Teile :		
Eintrittshäufigkeit der Gefahrenquelle ohne Schutzebenen		1E-1	
PLT-Betriebssystem+ Personal-Eingriff	PAH Druck-hoch Alarm		1E-1
Druckentlastung	PSV01 (verfügbar für Variante 1)		1E-2
PLT- Schutz-Funktion(SIF)	PS03HH Druck-hoch Sicherheitsschaltung		1E-2
Alle PFD von IPLs			1E-5
Häufigkeit Wirkung mit IPLs: Risikotoleranzkriterien eingehalten? ja		1E-6	
Handlungsbedarf			

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

Variante : 2	Konti-Zustrom von C1-C5 Kohlenwasserstoff-Gemisch(-50C)(100t/h) über Wärmetauscher mit Temperaturregelung auf 20m3 Gasabscheider bei 4m3 Flüssigvolumen: **Regelkreisfehler PC01 – Ventil geschlossen ODER Regelkreisfehler FC01 – Ventil voll offen, Druck übersteigt zulässigen Betriebsüberdruck, Behälterversagen, unkontrollierte Stoff- Freisetzung, Risiko von Brand und Explosion, mögliche Todesfälle**	**Eintrittshäufig-keit/Jahr**	**Wahrschein lichkeit**
Auswirkung	unkontrollierte Stoff- Freisetzung, Brand und Explosion, mögliche Todesfälle		
tolerierbares Risiko	Mehrere Todesfälle	1E-6	
Auslöser	Regelkreisfehler PC01 – Ventil geschlossen ODER Regelkreisfehler FC01 – Ventil voll offen	1E-1	
Eintrittsermöglicher	Kampagnenfahrweise, Kritisches Zeitfenster		
Auswirkungs-modifikator	Bildung von Ex-atmosphäre:		
	Entzündung :		
	Personal im Gefahrenbereich:		
	Versagen drucktragender Teile :		
Eintrittshäufigkeit der Gefahrenquelle ohne Schutzebenen		1E-1	
PLT-Betriebssystem+ Personal-Eingriff	PAH Druck-hoch Alarm (Handlungsbedarf)		1E-2
Druckentlastung	PSV01 (nicht verfügbar für Variante 2)		
PLT- Schutz-Funktion(SIF)	PS03HH Druck-hoch Sicherheitsschaltung		1E-3
Alle PFD von IPLs		1E-5	
Häufigkeit Wirkung mit IPLs: Risikotoleranzkriterien eingehalten? erst nach Realisierung von Handlungsbedarf		1E-6	
Handlungsbedarf	PS03HH Druck-hoch Sicherheitsschaltung auf SIL 3, PAH Druck-hoch Alarm und Abschaltung von Zustrom durch PS+A+ SIL 3		

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

Variante 3	Konti-Zustrom von C1-C5 Kohlenwasserstoff-Gemisch(-50C)(100t/h) über Wärmetauscher mit Temperaturregelung auf 20m3 Gasabscheider bei 4m3 Flüssigvolumen: **Regelkreisfehler PC01 – Ventil geschlossen ODER Ausfall Wärmemedium (z.B. Ausfall Pumpe**)	**Eintrittshäufig-keit/Jahr**	**Wahrschein lichkeit**
Auswirkung	Temperatur in 10D01 sinkt unter- halb Materialeinsatztemperatur, Kaltversprödung, mögliches Behälterversagen, unkontrollierte Stoff-Freisetzung, Risiko von Brand und Explosion		
tolerierbares Risiko	Mehrere Todesfälle	1E-6	
Auslöser	„Regelkreisfehler PC01 – Ventil geschlossen ODER Ausfall Wärmemedium (z.B. Ausfall Pumpe“ so in Dechema -Bericht)	1E-1	
Eintrittsermöglicher	Kampagnenfahrweise, Kritisches Zeitfenster		
Auswirkungs-modifikator	Bildung von Ex-atmosphäre:		
	Entzündung :		
	Personal im Gefahrenbereich:		
	Versagen drucktragender Teile :		
Eintrittshäufigkeit der Gefahrenquelle ohne Schutzebenen		1E-1	
PLT-Betriebssystem+ Personal-Eingriff	Handlungsbedarf!		1E-2
Druckentlastung			
PLT- Schutz-Funktion(SIF)	TS02LL Temperatur-tief , Sicherheitsschaltung		1E-3
Alle PFD von IPLs		1E-5	
Häufigkeit Wirkung mit IPLs: Risikotoleranzkriterien eingehalten? erst nach Realisierung von Handlungsbedarf		1E-6	
Handlungsbedarf	TC01 erweitern zu TCS-01, schließt Zulauf SIL 2		

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

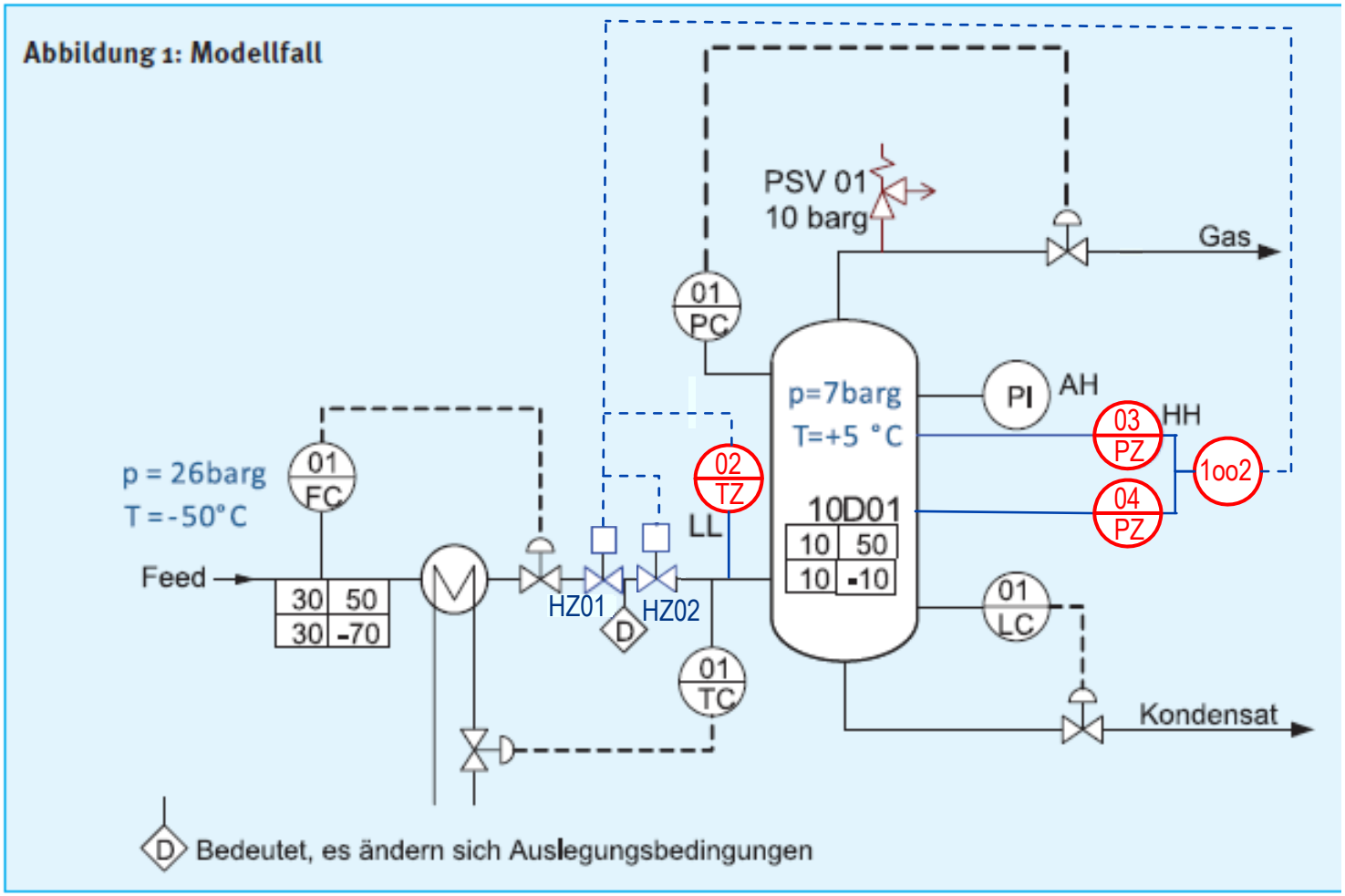
Ergebnis des Ringvergleich:
Bei Wahl einer Druckentlastung mittels Sicherheitsventil (Variante 1; mechanische Lösung) reichte
überwiegend – in 11 von 18 Fällen – die Installation eines Sicherheitsventils, das für die volle Menge
ausgelegt ist, aus. Sieben Teilnehmer forderten eine zusätzliche Druck-Hoch-Abschaltung (PLTLösung)
als SIL1 System.
»» Bei Wahl der Druck-Hoch-Abschaltung (PLT-Lösung) als alleinige Absicherung (Variante 2) wurde
überwiegend – in 13 Fällen – ein SIL-3-System gefordert. In fünf Fällen wurde ein SIL-2-System als
ausreichend erachtet.
»» Bei der Auslegung der Temperatur-Tief-Abschaltung wurde in 16 von 18 Fällen ein SIL-3-System gefordert.
In zwei Fällen wurde die Temperaturabsicherung als SIL-2-System klassifiziert.

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

Tabelle2: Ergebnisse der einzelnen Teilnehmer und Methoden

Teilnehmer	Methode	Anforderungen an die Temperatur-absicherung	Anforderungen an die Druckabsicherung Variante 1 mit SV	Anforderungen an die Druckabsicherung Variante 2 ohne SV
1	A	SIL 2	no SIL	SIL 2
1	C	SIL 3	no SIL	SIL 3
2	A	SIL 3	no SIL	SIL 3
3	A	SIL 3	no SIL	SIL 3
4	A	SIL 3	SIL 1	SIL 3
5	B	SIL 3	SIL 1	SIL 3
5	C	SIL 3	SIL 1	SIL 3
6	A	SIL 3	SIL 1	SIL 3
7	A	SIL 3	no SIL	SIL 3
7	C	SIL 2	no SIL	SIL 2
8	B	SIL 3	no SIL	SIL 3
9	A	SIL 3	no SIL	SIL 3
10	C	SIL 3	SIL 1	SIL 3
10	C	SIL 3	no SIL	SIL 2
10	A	SIL 3 (oder 2 x SIL2)	SIL 1	SIL 3 (oder 2 x SIL 2)
11	B	SIL 3	no SIL	SIL 2
12	A	SIL 3	no SIL	SIL 2
13	C	SIL 3	SIL 1	SIL 3

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA



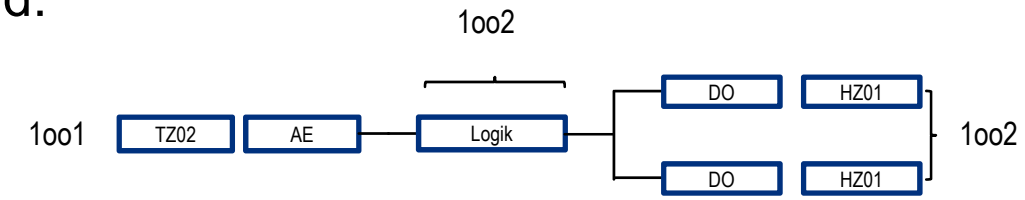
Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

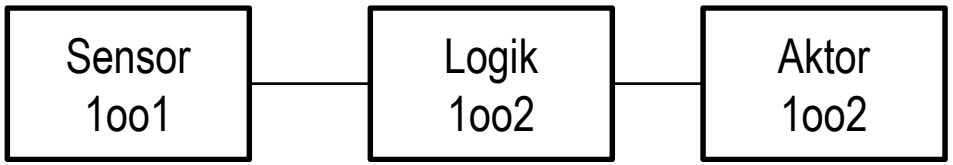
SIF Temperatur „SIL2“:

Es gilt:

$$PFD = PFD_{Sensor} + PFD_{Logik} + PFD_{Aktor}$$

Ersatzschaltbild:





Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

Annahmen:

- β = 10%
- Testintervall 1 Jahr
- Temperaturerfassung: E+H TMT 182 / 4-Drahtanschluss
- SSPS :
  - Siemens 315-F-2PN (6ES7315-2FJ14)
  - Analogeingang SM336, F-AI
  - Digitalausgabe SM326, DO
- Magnetventile Samson 3967
- Das Ventil wurde einem Fehlerausschluß-Verfahren unterzogen und als geeignet für den einkanaligen Einsatz in Sicherheitseinrichtungen bis SIL 2 eingestuft. Das Ventil ist betriebsbewährt

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

$PFD_{Sensor\ 1oo1} = PFD_{Temp} + PFD_{AE}$

$PFD_{Temp\ 1oo1} = ½ * \lambda_{DU} * T_1 = ½ * 127 * 10^{-9} * 8760 = 5{,}56 * 10^{-4}$

$PFD_{AE} = 1 * 10^{-4}$

$PFD_{Sensor\ 1oo1} = 5{,}56 * 10^{-4} + 1 * 10^{-4} = \mathbf{6{,}56 * 10^{-4}}$

$PFD_{Logik} = \mathbf{8 * 10^{-5}}$ (bei T1 = 20 Jahre)

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

$PFD_{Aktor\ 1oo1} = PFD_{DO} + PFD_{MV} (+ PFD_{Vent})$

$PFD_{MV\ 1oo1} \approx ½ * \lambda_{DU} * T_1 \approx ½ * 2 * 10^{-9} * 8760 \approx 8{,}76 * 10^{-6}$

$PFD_{Ventil\ 1oo1} \approx ½ * \lambda_{DU} * T_1 \approx ½ * 4 * 10^{-7} * 8760 \approx 1{,}75 * 10^{-3}$

$PFD_{Aktor\ 1oo1} = 1 * 10^{-5} + 8{,}76 * 10^{-6} + 1{,}75 * 10^{-3} = 1{,}77 * 10^{-3}$

$PFD_{Aktor\ 1oo2} \approx 4/3 * PFD_{1oo1}^2 + \beta * PFD_{1oo1}$

$PFD_{Aktor\ 1oo2} \approx 4/3 * (1{,}77 * 10^{-3})^2 + 0{,}1 * (1{,}77 * 10^{-3})$ **$= 1{,}81 * 10^{-4}$**

$PFD_{avg} = \Sigma PFD = 6{,}56 * 10^{-4} + 8 * 10^{-5} + 1{,}81 * 10^{-4}$ **$= \underline{9{,}17 * 10^{-4}}$**

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

HFT

Sensorik: 0

Logik: 1

Aktorik: 1

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

Bewertung:

PFD = **9,17 * 10^{-4}**

HFT : HFT_{System} = 0

PFD

10^{-2} … 10^{-1}	SIL 1
10^{-3} … 10^{-2}	SIL 2
10^{-4} … 10^{-3}	SIL 3
10^{-5} … 10^{-4}	SIL 4

SIL	Hardware-Fehlertoleranz		
	0	1	2
1	X		
2 (Low Demand)	X		
2 (High Demand)		X	
3		X	
4			X

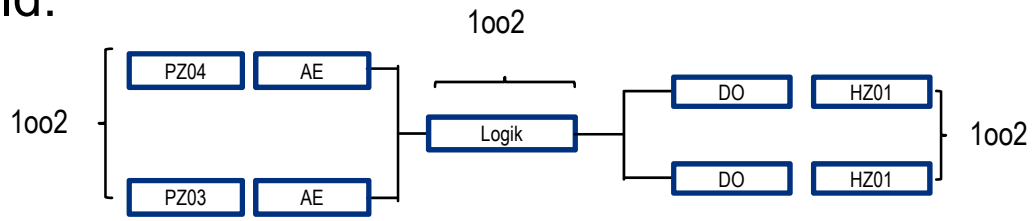
Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

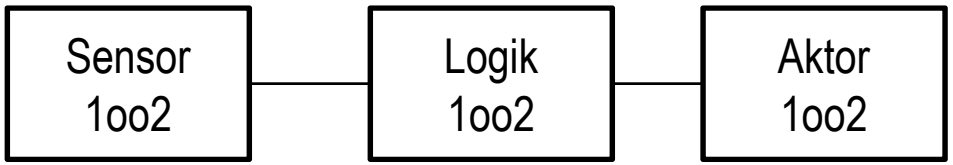
SIF Druck „SIL3“:

Es gilt:

$$PFD = PFD_{Sensor} + PFD_{Logik} + PFD_{Aktor}$$

Ersatzschaltbild:





Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

Annahmen:

- β = 10%
- Testintervall 1 Jahr
- Druckerfassung ABB 265D
- SSPS :
  - Siemens 315-F-2PN (6ES7315-2FJ14)
  - Analogeingang SM336, F-AI
  - Digitalausgabe SM326, DO
- Sicherheitsrelais Phoenix Contact PSR…24DC/FSP/1X1/1X2
- Magnetventile Samson 3967
- Das Ventil wurde einem Fehlerausschluß-Verfahren unterzogen und als geeignet für den einkanaligen Einsatz in Sicherheitseinrichtungen bis SIL 2 eingestuft. Das Ventil ist betriebsbewährt

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

$PFD_{Sensor\ 1oo1} = PFD_{Druck} + PFD_{AE}$

$PFD_{Druck\ 1oo1} = ½ * \lambda_{DU} * T_1 = ½ * 199 * 10^{-9} * 8760 = 8{,}72 * 10^{-4}$

$PFD_{AE} = 1 * 10^{-4}$

$PFD_{Sensor\ 1oo1} = 8{,}72 * 10^{-4} + 1 * 10^{-4} = \mathbf{9{,}72 * 10^{-4}}$

$PFD_{Sensor\ 1oo2} \approx 4/3 * PFD_{1oo1}^{2} + \beta * PFD_{1oo1}$

$PFD_{Sensor\ 1oo2} \approx 4/3 * (9{,}72 * 10^{-4})^{2} + 0{,}1 * 9{,}72 * 10^{-4} = \mathbf{9{,}85 * 10^{-5}}$

$PFD_{Logik} = \mathbf{8 * 10^{-5}}$ (bei T1 = 20 Jahre)

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

$PFD_{Aktor\ 1oo1} = PFD_{DO} + PFD_{MV}\ (+ PFD_{Vent})$

$PFD_{MV\ 1oo1} \approx ½ * \lambda_{DU} * T_1 \approx ½ * 2 * 10^{-9} * 8760 \approx 8{,}76 * 10^{-6}$

$PFD_{Ventil\ 1oo1} \approx ½ * \lambda_{DU} * T_1 \approx ½ * 4 * 10^{-7} * 8760 \approx 1{,}75 * 10^{-3}$

$PFD_{Aktor\ 1oo1} = 1 * 10^{-5} + 8{,}76 * 10^{-6} + 1{,}75 * 10^{-3} = 1{,}77 * 10^{-3}$

$PFD_{Aktor\ 1oo2} \approx 4/3 * PFD_{1oo1}^2 + \beta * PFD_{1oo1}$

$PFD_{Aktor\ 1oo2} \approx 4/3 * (1{,}77 * 10^{-3})^2 + 0{,}1 * (1{,}77 * 10^{-3})$ **$= 1{,}81 * 10^{-4}$**

$PFD_{avg} = \Sigma\ PFD = 9{,}85 * 10^{-5} + 8 * 10^{-5} + 1{,}81 * 10^{-4}$ **$= \underline{3{,}59 * 10^{-4}}$**

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

HFT

Sensorik: 1

Logik: 1

Aktorik: 1

Übung 3 Methodenvergleich DECHEMA

Bewertung:

PFD = **3,59 * 10^{-4}**

HFT : HFT_{System} = 1

PFD

10^{-2} … 10^{-1}	SIL 1
10^{-3} … 10^{-2}	SIL 2
10^{-4} … 10^{-3}	SIL 3
10^{-5} … 10^{-4}	SIL 4

SIL	Hardware-Fehlertoleranz		
	0	1	2
1	X		
2 (Low Demand)	X		
2 (High Demand)		X	
3		X	
4			X

Wir stehen Ihnen zur Verfügung

Hans-Dieter Schwender

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Leiter Funktionale Sicherheit / MSR-Technik
AN1-MUC

Westendstraße 199
80686 München
Telefon : +49 (0)89 5791 4149
Mobil: +49 (0)151 277 45-659
E-Mail: hans-dieter.schwender@tuev-sued.de