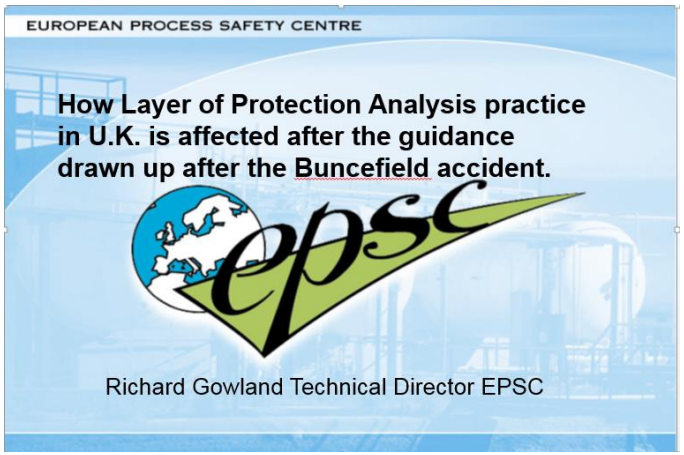
RCC-Seminar
HAZOP, LOPA, Funktionale Sicherheit
Referat 3



LOPA-Teil 1

1 .Ereignis-Auslöser (Initiating Event),
2. High Demand, Low Demand (Hohe/niedrige Anforderungsrate)
3. Spezifikationen für PLT- Schutzsysteme(SIL) bzw. für mechanische Schutzeinrichtungen (IPL),
4. Eintrittshäufigkeiten von Auslösern, Standarddaten
5. Ausfallwahrscheinlichkeit von Schutzeinrichtungen, Standarddaten

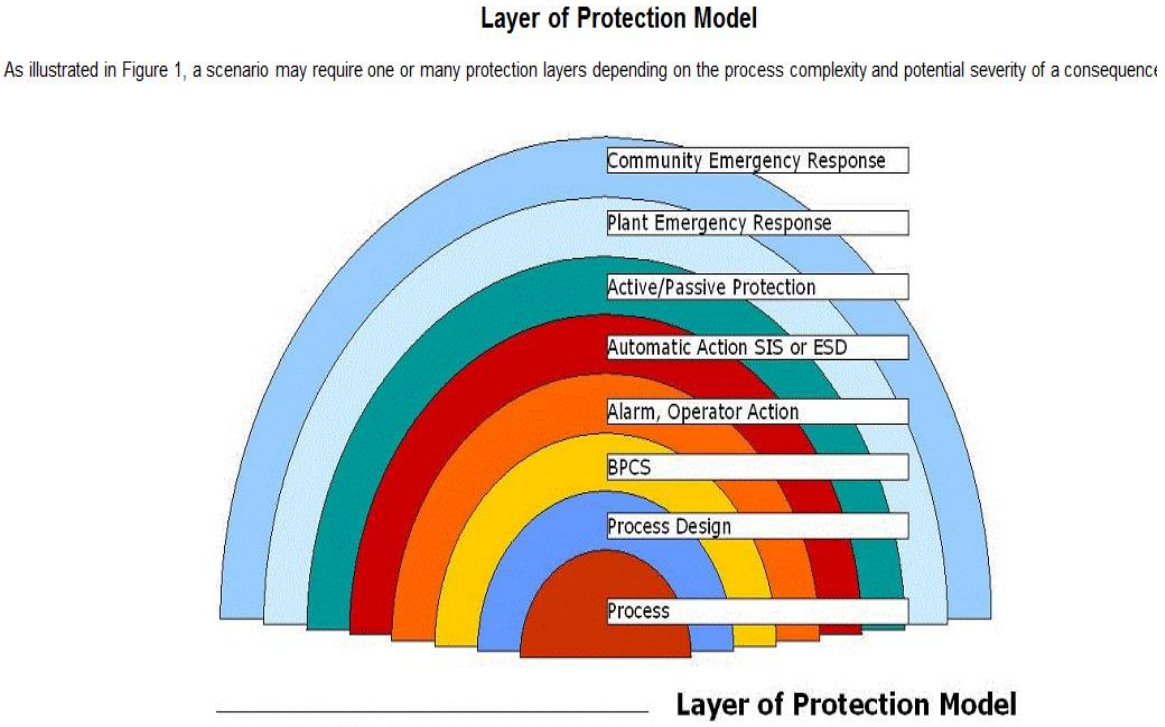
LOPA-Teil 2

5. Eintrittsermöglicher (Enabling Condition)
6. Auswirkungsmodifikatoren (Conditional Modifier)
Glossar
Literatur

2001 LOPA
EU-Commission: Gateway to Plant and Process safety

Im Jahre 2001 wurde in den USA das Buch *Layer of Protection Analysis – Simplified Process Risk Assessment* /7/ vom Center for Chemical Process Safety (CCPS), einer Abteilung des American Institutes of Chemical Engineers (AICHE), veröffentlicht.
Damit wurde eine vereinfachte semiquantitative
Methode zur Durchführung einer Risikoabschätzung und -beurteilung von Chemieanlagen zur Verfügung gestellt.

Der wesentliche Unterschied gegenüber der Verfahrensweise mit dem **Risikographen nach VDI/VDE 2180, der grundsätzlich das gleiche Ziel wie LOPA verfolgt**, ist die Benutzung **quantitativ bewerteter Parameter zur Risikobestimmung** (aus Literatur siehe nebenstehend).



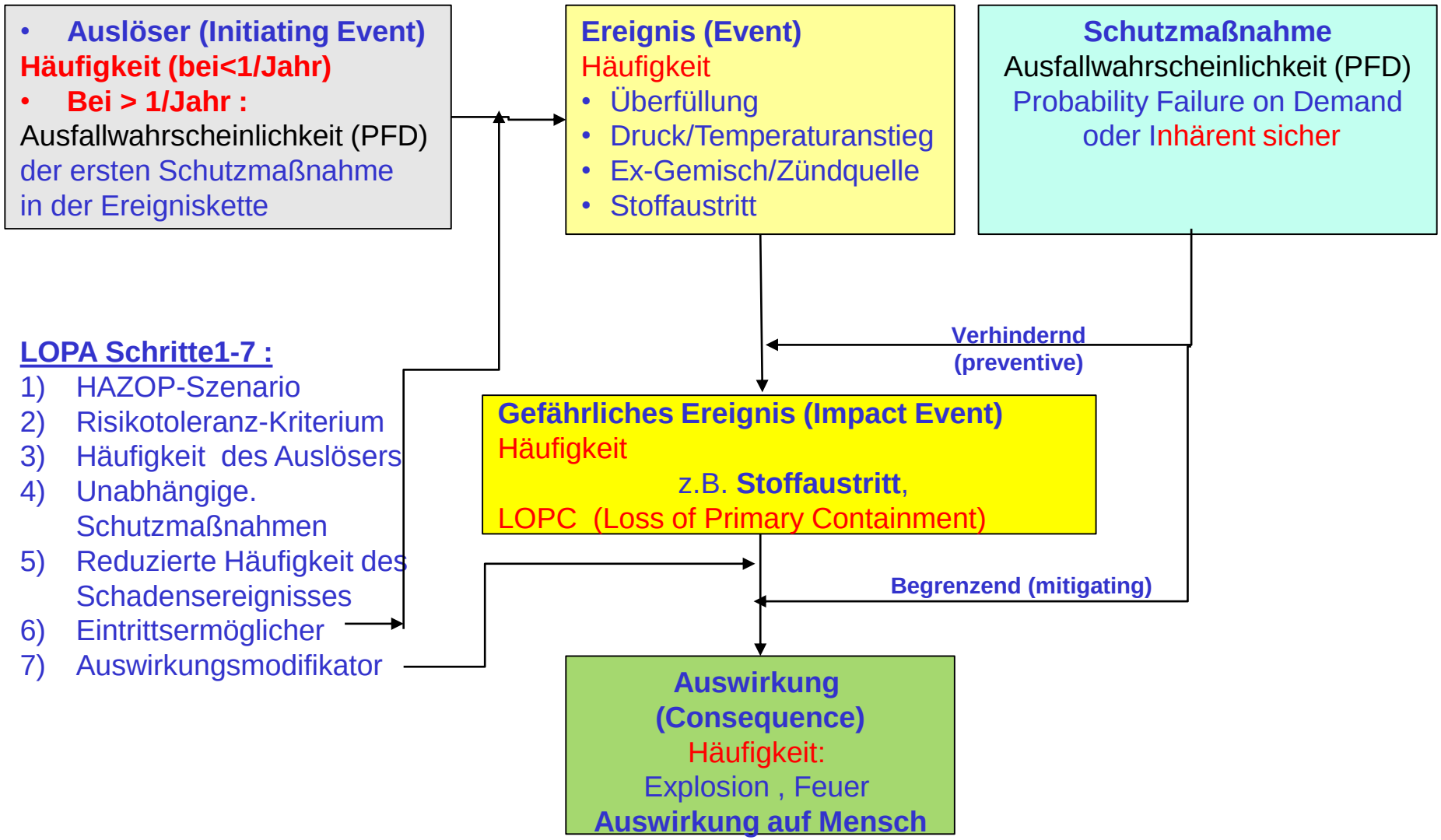
1. Guidelines for Initiating Events and Independent Protection Layers in Layer of Protection Analysis,CCPS (Center for Chemical Process Safety) February 2015,ISBN: 978-0-470-34385-2,http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0470343850.html
2. DIN EN 61511-::2019-02 Funktionale Sicherheit
3. https://hseengineer.wordpress.com/lopa-layer-of-protection-analysis,
4. http://www.safety-s2s.eu/modules.php?name=s2s_wp4&idpart=2&op=v&idp=750
5. **http://www.jlab.org/accel/ssg/safety/lopa.pdf**
6. TÜV Austria, Layer of Protection Analyse (LOPA) zur risikobasierenden Bewertung von Szenarien (DEUTSCH) Guideline zur Anwendung für prozessbedingte Störungen bei der Sicherheitsanalyse von technischen Anlagen [2. Auflage] 2017, R.Preiss, M. Struckl

LOPA wird zur Bewertung von Einzelszenarien eingesetzt

- „ LOPA wird in prozesstechnischen Anlagen zur Bewertung (hauptsächlich) präventiver Schutzmaßnahmen **bei Einzelszenarien** eingesetzt, nicht aber für die integrale Bewertung von Maßnahmen zur Begrenzung von Individual- oder Gemeinschaftsrisiken (engl. „ Individual Risk bzw. „Societal Risk"), welche sich aus der Summe aller Risiken durch mögliche Störfälle in Industrieanlagen für Einzelpersonen oder Personengruppen ergeben können.
- Der Einsatz der LOPA ist daher nicht für die Planung von Notfallmaßnahmen und Maßnahmen der Flächenwidmungsplanung geeignet. Außerdem ist das Verfahren nicht zur Beurteilung von Maßnahmen des klassischen Arbeitnehmerschutzes anwendbar.
- Trotzdem wird durch eine entsprechende Risikoreduktion von Einzelszenarien grundsätzlich auch eine (wenn auch nicht im Rahmen von LOPA quantifizierte) Reduktion des integralen Individualrisikos als begründet anzusehen sein, wenn der Risikogrenzwert für das Einzelszenario nur einen Bruchteil des Grenzwerts für die Summe aller Risiken (s. o.) beträgt.
- Die LOPA-Methode kann zur Klassifizierung von PLT-Schutzeinrichtungen - als alternative Methode zu den Risikographen nach EN 61511-3, Anhänge D und E - herangezogen werden, **jedoch ist der grundlegende Anwendungsbereich der LOPA in einem breiteren Umfang zu sehen, d. h. generell zur Evaluierung der Angemessenheit von Schutzmaßnahmen zur Absicherung von prozessbedingten Szenarien mit potenziell hohem Schadensausmaß.**
- Die Anwendung von quantitativen Verfahren zur Risikobewertung erfordert die Festlegung von Referenzwerten hinsichtlich Akzeptanz bzw. Toleranz von Restrisiken…. Die angegebenen Akzeptanz- und Toleranzgrenzwerte sind jedoch nur in Zusammenhang mit der Anwendung des LOPA-Verfahrens als Risikogrenzen zur Bewertung von Einzelszenarien in prozesstechnischen Anlagen anzuwenden.“

TÜV Austria 2017,LOPA, Kap. 2

Überblick LOPA



Guidelines for Initiating Events and Independent Protection Layers in Layer of Protection Analysis, Lit-20., EN 61511-3: 2019-02 A.6,Bild A3, Crawley Chapter 10.3, p 74-76, https://hseengineer.wordpress.com/lopa-layer-of-protection-analysis

Schritt 1: Auswahl eines Szenarios Ereignis-Folgen
Von HAZOP nach LOPA (Entsprechungen =Spaltenzahlen)

HAZOP-Studie							
Teilanl./Apparat:							
Sollfunktion:							
Nr.	**Abweichung(2)**	**Ursache(2,3)**	**Auswirkung (1,4)**	**S/B()5,6,7)**	**Gegenmaßnahme (5,6,7,8)**	**Typ(5-8)**	**Vh.**
	vom Sollwert: Stand, Druck, Temperatur, Fließrichtung, Undichtigkeit,	Auslöser: techn. Versagen , Zündquelle Bedienungsfehler, Luftzutritt,	Zündung von Ex-Gemisch, Personen-schaden,	S: Schutz-massnahme, B: Betriebs-Einrichtung	elektrische Einrichtung nach Zone 1, N2-überlagerung	Org, PLT Techn.	ja/ nein

LOPA-Studie								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aus-wirkung/ *Häufigkeit*	Iniating Event Auslöser *Häufig-keit*	Enabling Condition= Eintritts-Ermöglicher *Häufigkeit*	Conditional Modifier= Modifikator für Zustand nach dem Ereignis-eintritt *Häufigkeit*	**Unabhängige Schutzebenen** (Independent Layers of Protection (IPL's)) Betriebs& Überwachungs-PLS. *PFD*	Alar-mierung & Eingriff *PFD*	PLS sicherheits-gerichtet *PFD*	NICHT-unabhängige Schutz-maß-nahmen (nicht in Spalte 9 berück-sichtigt)	Häufigkeit Ereignis 2 nach Berücksichtigung 2,3,4,5,6,7

PFD= Probability of Failure on Demand, Ausfallwahrscheinlichkeit

Vgl. (2002) :https://www.jlab.org/eng/ssg/safety/lopa.pdf

Bild F1, DIN 61511-3, s.50 ist identisch mit Lopa.pdf

Schritt 2 Risikotoleranz-Kriterium,
(2019) S2S –A Gateway for Plant and Process SafetyTraining – LOPA

K	Auswirkungen					Eintrittshäufigkeit/Jahr				
	Personal	Menschen außerhalb Werk	Umwelt	Betrieb	1E-6 1E-5	1E-5, 1E-4	1E-4, 1E-3	1E-3, 1E-2	1E-2, 1E-1	1E-1, 1E-0
5	Tod oder permanente Behinderung	Eine oder mehrere schwere Verletzungen	Bedeutender Stoffaustritt mit ernsten akuten oder Langzeit- Gesundheits Schäden außerhalb Werksgelände	Schaden am Betrieb >10Mio oder großer Produktions-Ausfall	4	5	6	7	8	9
4	Eine oder mehrere Verletzungen	Eine oder mehrere leichte Verletzungen	Bedeutender Stoffaustritt mit ernsten gesundheitsschaden außerhalb Werksgelände	Schaden am Betrieb >1Mio oder Produktions-Ausfall	3	4	5	6	7	8
3	Eine Verletzung, nicht schwer, Ausfallzeit	Klagen überGeruch oder Lärm	Stoffaustritt, Meldepflichtig, Verletzung der Betriebs-erlaubnis	Schaden am Betrieb >0,1Mio +geringer Produktions-Ausfall	2	3	4	5	6	7
2	Verletzung keine Ausfallzeit	Keine Klagen	Meldepflichtig	Schaden am Betrieb <0,1Mio+ kein Produktions-Ausfall.	1	2	3	4	5	6

Matrix vom Referenten aus Auswirkungen und Häufigkeiten zusammengefügt

Quellen: Auswirkungen : http://www.safety-s2s.eu/modules.php?name=s2s_wp4&idpart=2&op=v&idp=889
Häufigkeiten: http://www.safety-s2s.eu/modules.php?name=s2s_wp4&idpart=2&op=v&idp=897

LOPA

Schritt 3 : welcher Auslöser, wie häufig

Auslöser (Initiating Event), Dimension: Häufigkeit/Jahr

- Ausfall von PLT-Systemen (Sensor, Aktor, Logik)
- Ausfall Energien-Versorgung , Steuerluft (Common Cause)
- Menschliche Fehler (Instandhaltung, Produktion: systematische Fehler)
- Ausfall aktiver mechanischer Komponenten (Rührer, Pumpen, Kompressoren,..)
- Leckagen

(CCPS 2015, Ch.2.4.1, 4.3)

Table: Typical failure rate data (LOPA/CCPS)	
Failure	PFD
pressure vessel residual failure	$10^{-7} < f < 10^{-5}$ per year
atmospheric tank failure	$10^{-5} < f < 10^{-3}$ per year
piping residual failure full breach	$10^{-8} < f < 10^{-7}$ per year and mete
piping residual failure 10% section	$10^{-6} < f < 10^{-5}$ per year and mete
Gasket/packing blow out	$10^{-6} < f < 10^{-2}$ per year
Pump seal failure	$10^{-2} < f < 10^{-1}$ per year
Unloading/loading hose failure	$10^{-2} < f < 10^{-0}$ per year
BPCS (loop failure)	$10^{-2} < f < 10^{-0}$ per year
Regulator failure	$10^{-1} < f < 10^{-0}$ per year
Operator (routine, well trained, unstressed, not fatiqued)	$10^{-3} < f < 10^{-1}$ per opportunity

„Szenarien, die nicht durch systematisch erfassbare prozesstechnische Abweichungen bedingt sind, sondern durch Einflüsse wie Korrosion, unzureichende Wartung, Materialermüdung, Vibrationen, Erosion etc., können durch die Schutzebenen-betrachtung der LOPA-Methode nicht sinnvoll dargestellt werden“

Layer of Protection Analyse (LOPA)
zur risikobasierenden Bewertung von Szenarien, Dipl.-Ing. Dr. Reinhard Preiss und Dipl.-Ing. Dr. Michael Struckl (Editoren)
TÜV AUSTRIA AKADEMIE GMBH
2. Auflage 2017, Kap 5
https://www.tuv-akademie.at/uploads/media/Blick_ins_Buch_LOPA2.pdf

Process and HSE Engineering (besucht 9.03.2019)
https://hseengineer.wordpress.com/lopa-layer-of-protection-analysis/

Schritt 5: resultierende Häufigkeit des untersuchten Schadensereignisses (Einzel-Szenario): Rechenweg

Szenario	Durchgehende Reaktion, Bersten des Reaktors	Häufigkeit/Jahr	Risikominderung PFD
1.Risikotoleranzkriterium	1Todesfall	1E-5	
2. Auslösendes Ereignis	Ausfall Kühlung	1E-1	
3. Betriebsmaßnahme	TA+,Stopp der Zugabe von Reaktant von Hand		1E-1
4.Schutzmaßnahmen	TIS+ mit automatischer Abschaltung der Zugabe		1E-1
	SV: Sichere Druckentlastung		1E-2
Risikominderung, gesamt			1E-4
5.Schadensereignis , nach Risikominderung		1E-5	

Format : Quelle
Wiley: Guidelines for Enabling Conditions and Conditional Modifiers in Layer of Protection Analysis ,CCPS (Center for Chemical Process Safety) 2013
- http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-111877793X.html
- Tabelle1.1

Das Team sollte aus den folgenden bestehen:
–"Betreiber" (Meister)*– Ingenieur*;– Betriebsleiter;– Prozessleittechnik*;– Wartung/Instandhaltung von instrumentierten /elektrischen Anlagen* *und mechanischen Schutzeinrichtungen (ergänzt vom Autor);*
– Spezialist für Risikoanalyse/ in der LOPA-Methode geschult.
*mit Erfahrung des betrachteten Prozesses;
DIN EN 61511-3 :2019-02 Anhang F, F.1

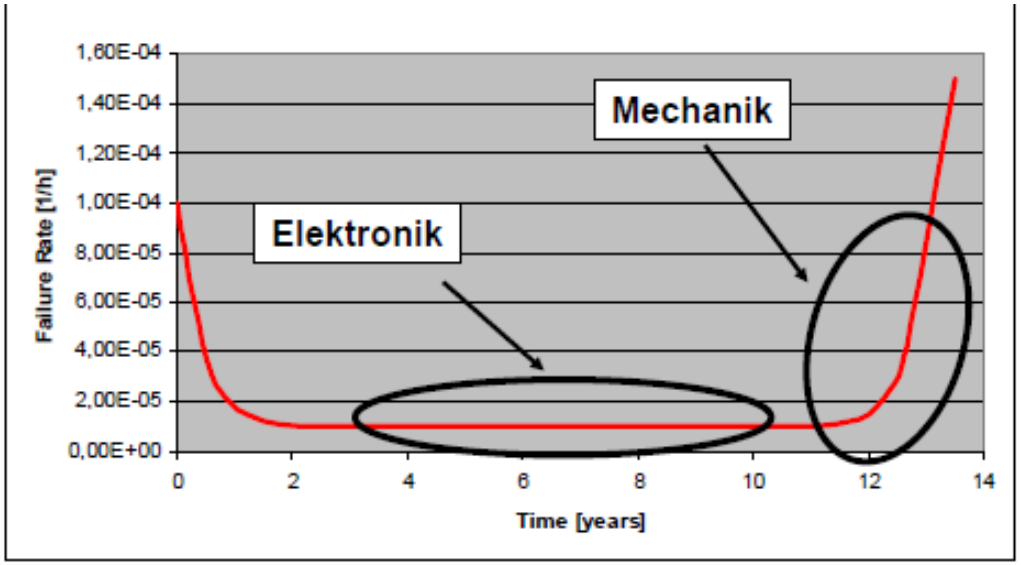
Häufigkeiten von Ausfällen /Jahr „Standarddaten“

Tab. 4.1.	Ausfall der BPCS-Regelschleife	1E-1
Tab. 4.2.	Falsche Bedienung von SCAI	1…1E-1
Tab. 4.3.	Menschliches Versagen bei einer Routineaufgabe, die einmal pro Woche ausgeführt wird 1	1
Tab. 4.4.	Menschliches Versagen bei einer Aufgabe, die zwischen 1/Monat und 1/ Woche ausgeführt wird	1E-1
Tab. 4.5.	Menschliches Versagen bei einer nichtroutinemäßigen Aufgabe, die <1 pro Monat ausgeführt wird	1E-2
Tab. 4.6.	Druck-Regler-Versagen	1E-1
Tab. 4.7.	Ausfall Schnecken-Förderer	1..10
Tab. 4.8.	Schneckenförderer , überhitzte Werkstoffe	1E-1
Tab. 4.9.	Pumpe, Kompressor, Ventilator oder Gebläse	1E-1
Tab. 4.10.	Einzelschaltkreis	1E-1
Tab. 4.11.	Ausfall Rückschlagventil	1E-1
Tab. 4.12.	Ausfall von Doppelrückschlagventilen in Serie	1E-2
Tab. 4.13	Pumpe: Primär-Dichtung: Leck	1
Tab. 4.14.	Pumpe: Kompletter Ausfall der Primär-Dichtung	1E-1
Tab. 4.15	Schlauch Ausfall, Leck und Bruch	1E-1 (Leck) 1E-2(Bruch)
Tab. 4.16.	Vorzeitiges Öffnen von federbelastetem Entlastungsventil	1E-2
Tab. 4.17.	Atmosphärischer Tank: Katastrophales Versagen	1E-4..1E-5
Tab. 4.18.	Atmosphärischer Tank: Durchgehend 10 mm Leck	1E-3..1E-4
Tab. 4.19.	Druckbehälter: Katastrophales Versagen	1E-4..1E-5
Tab. 4.20.	Oberirdische Rohrleitungen: Rohrbruch(Rohr 150 mm,6 in)	1E-5..1E-6
Tab. 4.21.	Oberirdische Rohrleitungen: Rohrbruch (Rohr>l5Omm,6 in)	1E-6..1E-7
Tab. 4.22.	Oberirdische Rohrleitungen: Leck (Rohrgröße 150 mm, 6 in).	1E-4..1E-5
Tab. 4.23.	Oberirdische Rohrleitungen: Leck (Rohrgröße > 150 mm, 6 in)	1E-5..1E-6

Guidelines for Initiating Events and Independent Protection Layers in Layer of Protection Analysis, CCPS (Center for Chemical Process Safety) ,ISBN: 978-0-470-34385-2,February 2015, Ch. 4
http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0470343850.html

PLT-Schutzeinrichtungen, mechanische Schutzeinrichtungen, Unterschiede

PLT-Fehler	Erkannt	Un-erkannt
Sicher	λ_{sd}	λ_{su}
Gefähr-lich	λ_{dd}	λ_{du}



Elektronik	Mechanik
Kleine ,viele Bauteile, Ausfallrate als Teil der Zuverlässigkeit	Große Bauteile, Alterungs-und Verschleißmechanismen bekannt: systematische Fehler.
Einsatz in abgeschirmten Bereichen	Einsatz im Feld, Kontakt mit Stoffen
Angriff durch elektrochemische Prozesse	Angriff durch Korrosion
Unerkannte Defekte mit Frühausfällen, schnelle Diagnose im Feld	Designanalyse, Stresstest , Labor- und Werkstoffbefundung, langsame Diagnose im Feld
Stresstest, Designanalyse : schwierig	Stresstest, Designanalyse : abdeckend

Dr. Thomas Karte / E99 SAMSON AG/E99/Ka/091119, http://docplayer.org/24676266-Qualifikation-mechanischer-teilsysteme.html

Risikomindernde Schutzmaßnahmen: Spezifikation durch Safety Integrity Level (SIL) und Independent Protection Layer(IPL), Eigenschaft: PFD: Probability of Failure on Demand

Spezifikation der PLT-Schutzeinrichtungen

„Der Safety Integrity Level (SIL) nach IEC 61508/61511 definiert die Anforderung an die Sicherheitsfunktion.

PFD (nach IEC 61508/11)-Werte lassen sich direkt in den SIL-Wert übersetzen:

PFD	SIL
0.1 – 0.01	1
0.01 – 0.001	2
0.001 – 0.0001	3

Ausführung der PLT-Einrichtung

Die IEC fordert für höhere SIL-Anforderungen (spätestens bei einer SIL 3- Anforderung) zwingend eine redundante, mehrkanalige Ausführung der Sicherheitsfunktion.

In den PFD-Wert nach IEC 61508/11 gehen maßgeblich **zufällige, gefahrdrohende, unerkannte Fehler ein**, eine Teilmenge der Gesamtausfallwahrscheinlichkeit, die zum Versagen der Sicherheitseinrichtung im Anforderungsfall führen“

Spezifikation von mechanischen Schutzeinrichtungen

Die Gesamtausfallwahrscheinlichkeit von Fehlern ist maßgeblich und wird durch **IPL(LOPA)** ausgedrückt:

Ein Independent Protection Layer (IPL) ist eine vom Ereignis unabhängige Schutzbarriere, welche geeignet ist, das Schadensrisiko quantitativ zu reduzieren. Ein IPL mit IPL-Wert 1 reduziert das Schadensrisiko um eine Größenordnung (*Zehnerpotenz Anm. Autor*)

Schutzbarrieren (IPL) müssen voneinander unabhängig sein. D.h. beispielsweise, dass die Funktion einer Komponente nicht in mehreren Barrieren angesetzt werden darf.

Analog der SIL-Bewertung gilt:

PFD	IPL
0.1 – 0.01	1
0.01 – 0.001	2
0.001 – 0.0001	3

Für die **Ausführung der mechanischen Einrichtung** gilt die Berücksichtigung der Randbedingungen für das PDF gemäß Folien 11ff

https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/2018+Verf%C3%BCgbarkeit+Sicherheitsventile.pdf DECHEMA

2012 EPSC, Häufigkeiten: Berücksichtigung von hoher Anzahl gleicher Bausteile und deren Lebensdauer, Low Demand/High Demand (= Folie 17 Vortrag 2)

Häufigkeiten/ Jahr	Art des Auftretens
>1	High Demand
$>10^{-2}$	Kann mehrmals während der Anlagen-Laufzeit (20 zu 30 Jahre) auftreten
10^{-2} - 10^{-3}	Kann einmal für 10 bis 20 ähnliche Anlagen während der Anlagen-Laufzeit (20 zu 30 Jahre) auftreten (1/10x20)=$5x10^{-3}$); 1/(20x30)= 1/600=$3,3x10^{-3}$
10^{-3} - 10^{-4}	Einmal pro Jahr für wenigstens 1000 Anlagen. Einmal für 100 bis 200 ähnliche Anlagen in der Welt während Laufzeit (20 bis 30 Jahre) der Anlage: Hat bereits im Unternehmen stattgefunden, aber Korrekturmaßnahmen sind durchgeführt worden.
10^{-4} - 10^{-5}	Hat bereits wenige Male in der Industrie stattgefunden, aber Korrekturmaßnahmen sind durchgeführt worden.
$<10^{-5}$	Ereignis physikalisch vorstellbar, ist aber nie eingetreten oder nur wenige Male während eines Zeitraums von 20- 30 Jahre für eine große Menge an Einheiten (> einige tausend, z.B: Kesselwagen, Betriebsfässer,...)

Report 33, Safety Critical Measures , Ch.12.2.3
http://www.epsc.org//data/files/Reports/ReportNo33.pdf

High/Low Demand/ Hohe/niedrige Anforderungsrate

IEF: Initiating Event Frequency=Auslöserhäufigkeit/Jahr, IPL:Independent Protection Layer=Unabh.Schutzebene

Szenario: Stromausfall im Betrieb, Diesel-Generator springt nicht an, Betrieb hat Energieausfall 10/Jahr (Auslöserhäufigkeit IEF = 10/Jahr)

PFD_G (Ausfallwahrscheinlichkeit) für Generator : 1/10 Jahr

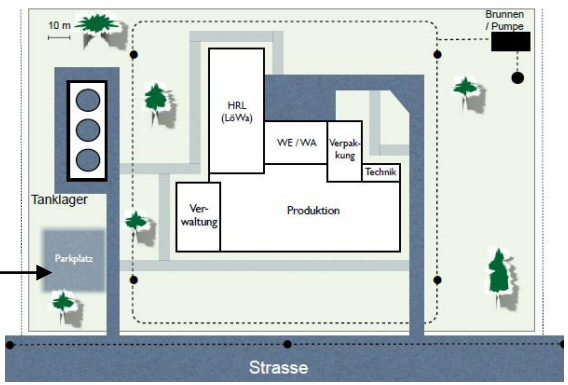
Anwendung von Gleichung für LOW DEMAND führt zu FALSCHEM ERGEBNIS!

f (Häufigkeit der Auswirkung: Betrieb hat Energieausfall) = Auslöser-Häufigkeit(IEF) der Anforderung von Betrieb x PFD_G = 10x 1/10= 1

Richtig ist aber: Generator fällt nur aus 1x in 10Jahren

f (Häufigkeit der Auswirkung: Betrieb hat Energieausfall)=1/10 Jahr

GL for Initiating Events and Independent Protection Layers in LOPA, CCPS, Wiley 2015, Ch. 3.5



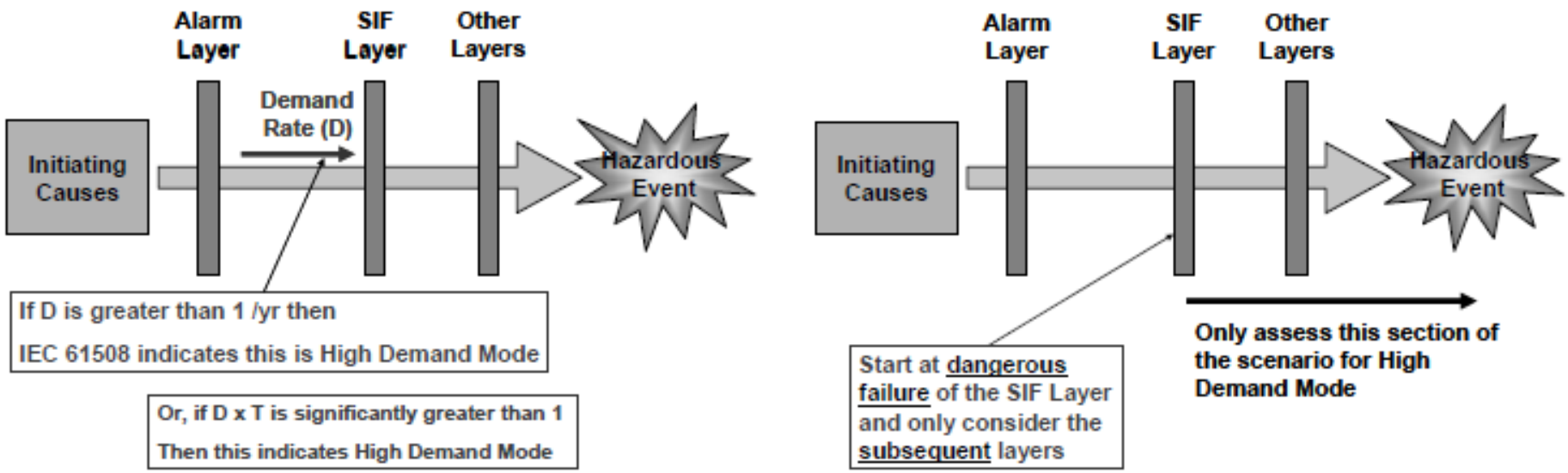
- Low Demand Mode: Anforderung < 1x/Jahr;
  (1)Häufigkeit einer Auswirkung f=Auslöserhäufigkeit (IEF) x PFD von Schutzebene (IPL)

- High Demand Mode; Anforderung> 1x/Jahr; (kontinuierliche Anforderung)
  Anstelle der Häufigkeit des ursprünglichen Auslösers wird jetzt der Ausfall der Schutzebene (IPL) als Auslöser (IEF) mit dem Wert vom PFD der Schutzebene genommen .
  IEF(n /Jahr)=[PFD] /Jahr

High Demand_Hohe Anforderungsrate

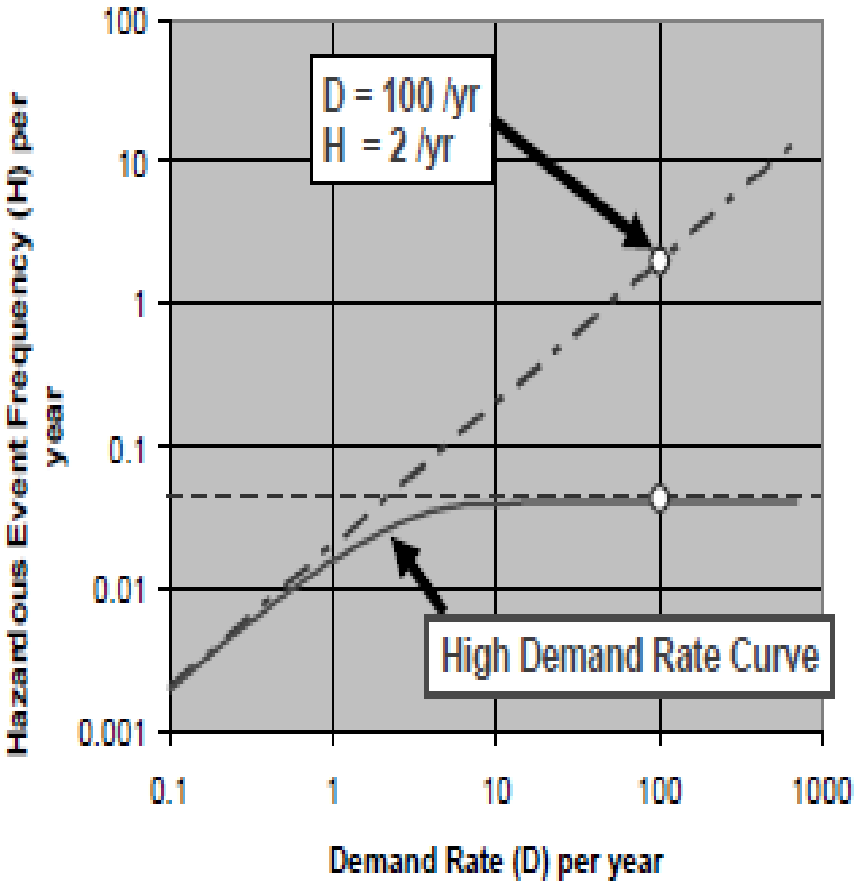
IEC 61508: hohe Anforderungsrat
Anforderungsrate größer ist als 1/Jahr,
Anforderungsrate (D) X Prüfintervall (T) ist deutlich größer als 1 ist

Wichtige Voraussetzung ist zu erkennen, wenn die Anforderungsrate an der SIF "hoch" ist.. Die zu berücksichtigende Anforderungsrate ist diejenige nach einer Alarm-Ebene und nach irgendwelchen anderen Faktoren vor der echten Anforderung auf die SIF-Ebene.
Wenn High Demand Modus feststeht, dann beginnt die SIL Bestimmung auf der SIF-Ebene und berücksichtigt nur diejenigen Aspekte des Szenarios, die bei einem SIF-Ebene-Ausfall relevant sind.



SIL Determination: Dealing with the Unexpected, Alan G King,ABB Consulting
http://www.aidic.it/cet/13/31/013.pdf

Low Demand Rate, High Demand Rate



High Demand Rate Single Channel SIF Equation

- Hazardous Event Frequency (H) = λ (1 – exp (-DT/2)) **

wenn (a) die Anforderungsrate niedrig ist

- If Demand Rate (D) is low:

$$H = \lambda (1 - (1 - DT/2 + \ldots))$$

$$\approx \lambda DT/2 \text{ or } D \times \tfrac{1}{2}\lambda T$$

wenn die Anforderungsrate hoch ist

- If the Demand Rate (D) is high:

$$H = \lambda (1 - \exp(-DT/2))$$

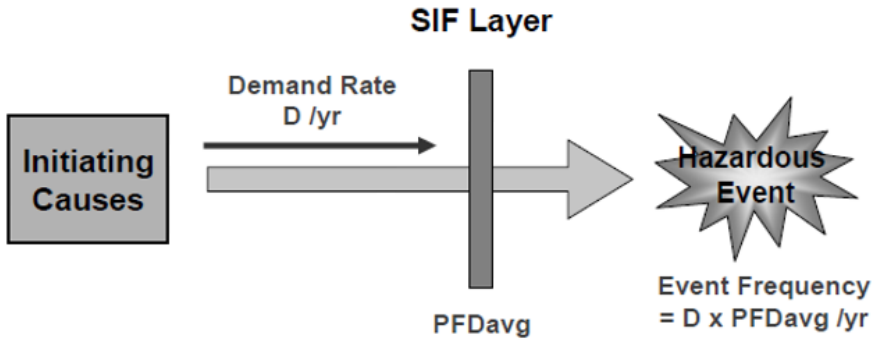
$$\approx \lambda$$

** *High Demand Rate Single Channel SIF Equation*

λ Anzahl gefährlicher Ausfälle /Jahr
T Zeit zwischen zwei Prüfungen in Jahren

http://www.aidic.it/cet/13/31/013.pdf

LOW Demand Rate



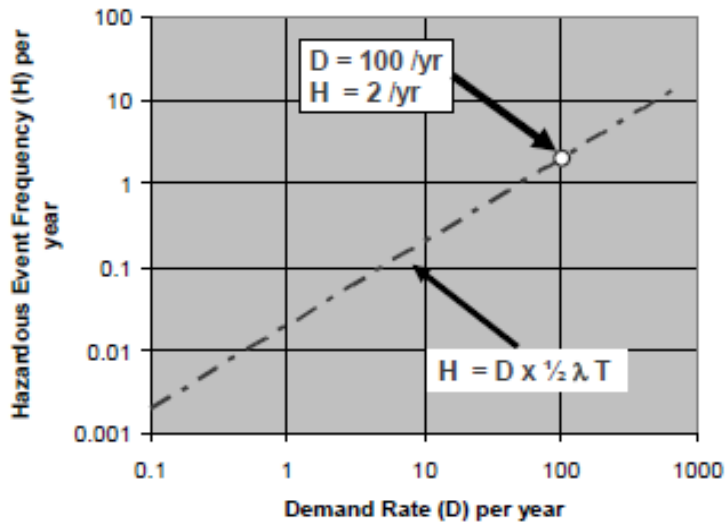
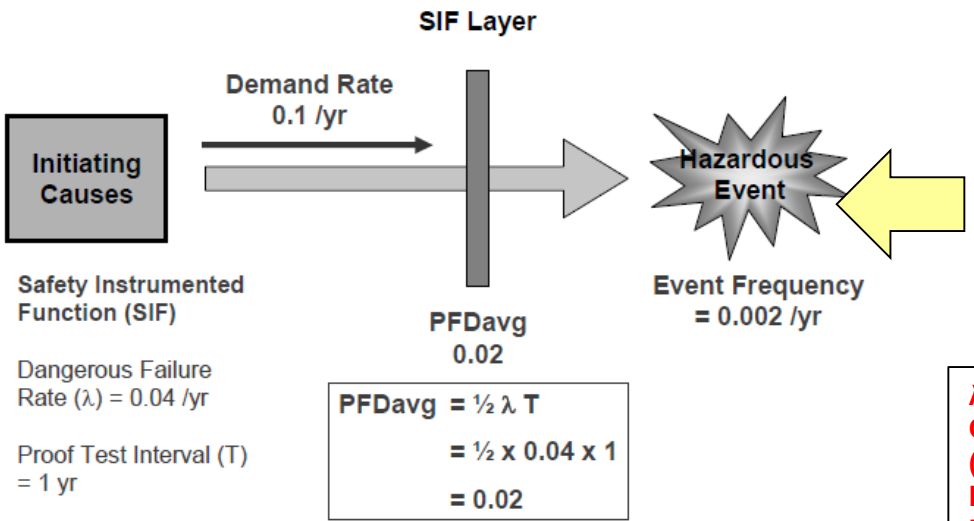


Figure 2: Typical Process Sector Low Demand Scenario



- Hazardous Event Frequency (H) = λ (1 – exp (-DT/2))
- If Demand Rate (D) is low:

$$H = \lambda (1 - (1 - DT/2 + \ldots))$$

$$\approx \lambda DT/2 \text{ or } D \times \tfrac{1}{2}\lambda T$$

λ= gefährlicher Fehler Häufigkeit/Jahr
Gefährdungsrate (H) = Anforderungsrate (D) x mittlere Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung (PFDavg)
$H = D \times PFD_{avg} = Dx1/2\lambda T$

Figure 3: Low Demand Scenario Calculation

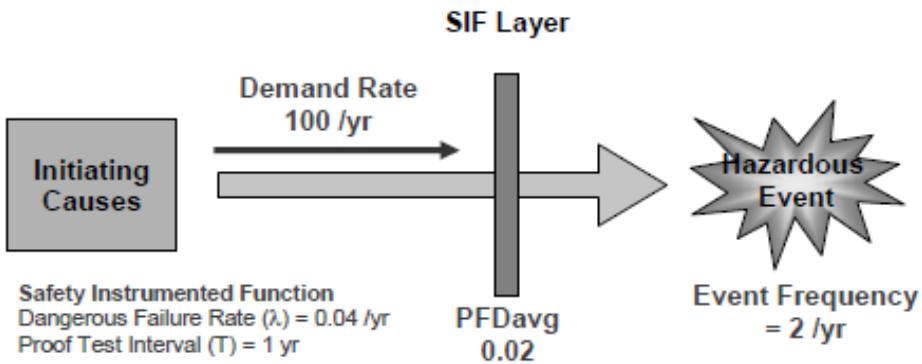
*** High Demand Rate Single Channel SIF Equation*

http://www.aidic.it/cet/13/31/013.pdf

High Demand Rate

http://www.aidic.it/cet/13/31/013.pdf

Mit der Formel für Low Demand ergibt sich:100x
0,02= 2/Jahr
Falsche Formel!



- Hazardous Event Frequency (H) = λ (1 – exp (-DT/2))

- If the Demand Rate (D) is high:

$$H = \lambda (1 - \exp(-DT/2))$$

$$\approx \lambda$$

** *High Demand Rate Single Channel SIF Equation*

Ereignishäufigkeit λ=0,04/Jhr

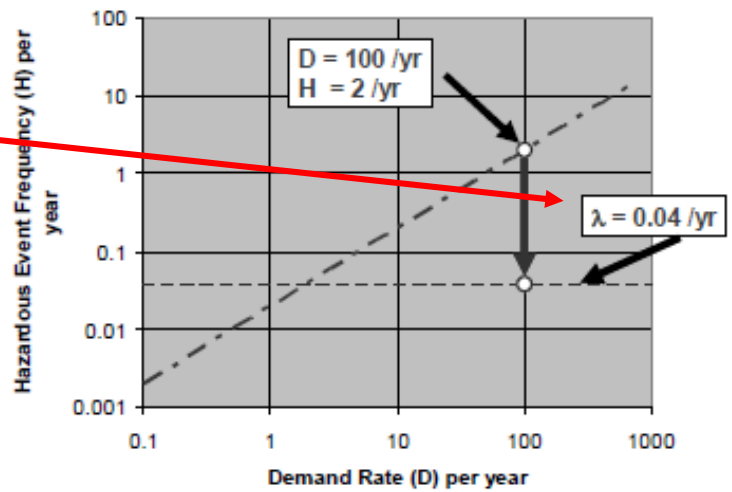
Formel für HIGH DEMAND

H= **λ**

PFD_{avg}=1/2 **λT**

Bei T=2

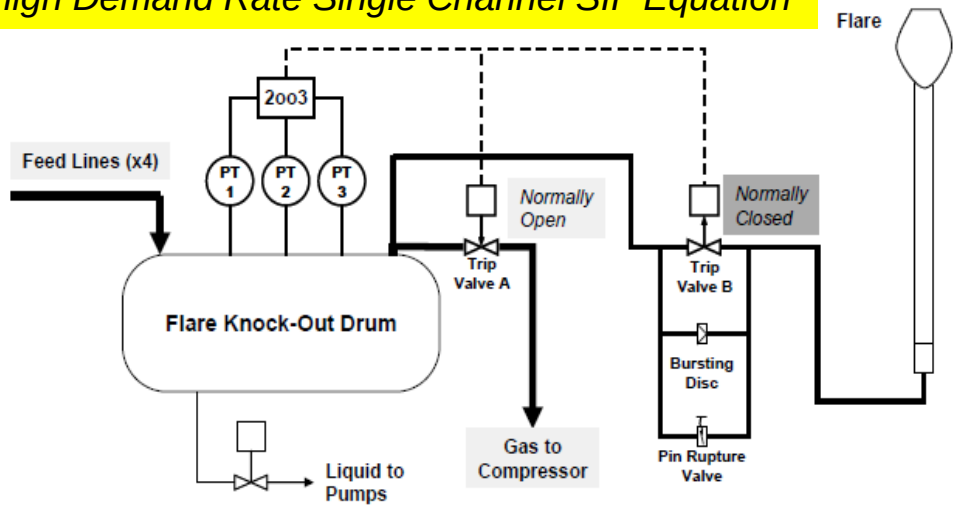
$H=PFD_{avg}$

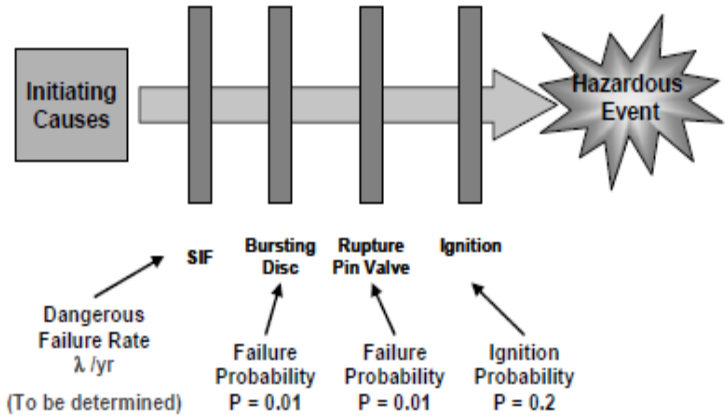


High Demand Rate/

http://www.aidic.it/cet/13/31/013.pdf

High Demand Rate Single Channel SIF Equation





Szenario		Häufigkeit/ Jahr	Risikominderung PFD
.Risikotoleranzkriterium	1Todesfall	1E-6	
. Auslösendes Ereignis	22/Jahr: stattdessen wird das PFD/Jahr der nachgeschalteten Schutzeinrichtung eingesetzt	1E-2	
Auswirkungsmodifikator	Zündung	2E-1	
Schutzmaßnahmen	PT (2oo3)		(1E-2)
	Berstscheibe		1E-2
	Pin rupture valve		1E-2
Schadensereignis		2E-7	

Abbildung 8 zeigt ein schematisches Diagramm des relevanten Abschnitts des Prozesses. Es zeigt die Flare Knock-out-Trommel. Normalerweise wird der Kohlenwasserstoff-Gasstrom aus verschiedenen Bereichen der Anlage zur Knock-out-Trommel zum Gaskompressor zurückgeführt. Wenn aber das der Zustrom zur Knock-out-Trommel
die Kompressorkapazität übersteigt, dann verhindert die Hochdrucksicherheitsfunktion (SIF)
Überdruck in der Flare Knock-out Trommel. Es gibt drei Drucksensoren mit einer 2oo3-Konfiguration, um das SIF auszulösen. Die Aktion zur Erkennung von Hochdruck ist es, Ventil B zu öffnen und Ventil A zu schließen
Die Aktion, Ventil A zu schließen, ist jedoch keine wesentliche Maßnahme und daher soll das SIF
nur die drei Drucksensoren und Ventil B umfassen. Es gibt zwei weitere Risikoreduzierung-Maßnahmen, die den Überdruck der Knock-out-Trommel verhindern; Diese sind so ausgelegt, dass sie handeln, wenn die SIF ausfällt Diese Maßnahmen sind (a) eine Berstscheibe und (b) ein Bruch-Stift-Ventil.
Die Anforderungsrate : etwa 22/Jahr
Identifizierte Anforderungen auf die SIF (a) Gas-Zustrom übersteigt die Kompressor-Kapazität oder (b) Kompressor löst aus oder (c) fälschliche Schließung des Auslöseventils A.

Schritt 4: Unabhängige Schutzebenen, Independent Protection Layers (IPLs)

Kernpunkte	Kommentare	Auslöser-Häufigkeit (H) = λ (1 – exp (-DT/2)) **
Betriebsart • Low Demand • niedriger Anforderungsrate	Betriebsart mit Für eine Sicherheitsfunktion, die in der Betriebsart mit niedriger Anforderungsrate betrieben wird, hängt die erreichte Gefährdungsrate von der Anforderungsrate an das sicherheitsbezogenen E/E/PE-System und der Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung des sicherheitsbezogenen E/E/PE-Systems im Zusammenhang mit einer festgelegten Sicherheitsfunktion ab. (Anforderungsrate nicht höher als einmal pro Jahr oder nicht höher als die doppelte Frequenz der Wiederholungsprüfung) **Gefährdungsrate (H) = Anforderungsrate (D) x mittlere Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung (PFDavg)** **$H = D \times PFD_{avg} = Dx1/2\lambda T$**	• **Anforderungsrate(D) niedrig:** **H = λ (1 – (1 -DT/2 + …))** **≈ λ DT/2 or D x ½λT** • **Anforderungsrate(D) hoch:** **H = λ (1 – exp (-DT/2))** **≈ λ** • H= hazardous Event Rate Auslöserhäufigkeit • D=Demand Rate,, • λ= dangerous failure rate of SIF, • T= Prüf test Interval/Jahr
Betriebsart High Demand GL for Initiating Events and Independent Protection Layers in LOPA, CCPS, Wiley 2015; Chapter 3.5	**Betriebsart mit hoher Anforderungsrate oder kontinuierlicher Anforderung** Sie bezieht den Sicherheits-Integritätslevel auf die Häufigkeit eines gefahrbringenden Ausfalls pro Stunde, die gleichwertig zu der Gefährdungsrate ist und niedrig genug zum Erreichen eines tolerierbaren Risikos sein muss.(**Anforderungsrate höher als einmal pro Jahr** oder höher als die doppelte Frequenz der Wiederholungsprüfung).. **Gefährdungsrate (H) = Häufigkeit eines gefahrbringenden Ausfalls pro Stunde (PFH) der vorgelagerten Schutzeinrichtung H=λ**	

http://www.aidic.it/cet/13/31/013.pdf

Schritt 5: resultierende Häufigkeit des Schadensereignisses
Rechenweg : Low Demand

Szenario	Durchgehende Reaktion, Bersten des Reaktors	Häufigkeit/Jahr	Risikominderung PFD
1.Risikotoleranzkriterium	1Todesfall	1E-5	
2. Auslösendes Ereignis	Ausfall Kühlung 1/10	1E-1	
3. Betriebsmaßnahme	TA+,Stopp der Zugabe von Reaktand von Hand		1E-1
4.Schutzmaßnahmen	TIS+ mit automatischer Abschaltung der Zugabe		1E-1
	SV: Sichere Druckentlastung		1E-2
Risikominderung, gesamt			1E-4
5.Schadensereignis , nach Risikominderung		1E-5	
6. Zusatzmaßnahme			

Low Demand: Anforderungsrate < 1/Jahr oder
Gefährdungsrate (H) = Anforderungsrate (D) x mittlere Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung (PFDavg)
http://www.aidic.it/cet/13/31/013.pdf

Schritt 5: resultierende Häufigkeit des Schadensereignisses
Rechenweg: High Demand

Szenario	Durchgehende Reaktion, Bersten des Reaktors	Häufigkeit/Jahr	Risikominderung PFD
1.Risikotoleranzkriterium	1Todesfall	1E-5	
2. Auslösendes Ereignis	Ausfall Kühlung: 10x /Jahr	1E-1	
3. Betriebsmaßnahme	(TA+, Stopp der Zugabe von Reaktand von Hand)		(1E-1)
4.Schutzmaßnahmen	TIS+ mit automatischer Abschaltung der Zugabe		1E-2
	SV: Sichere Druckentlastung		1E-2
5.Schadensereignis , nach Risikominderung,	Nach Installation der Zusatzmaßnahme	1E-5	1E-4
6. Zusatzmaßnahme	TIS+ zu 1E-2 aufgerüstet		

Schritt 4: Unabhängige Schutzebenen Independent Protection Layers (IPLs)

Kernpunkte	Kommentare
• **Alle IPLs sind Schutz-einrichtungen (Safeguards)-aber nicht alle safeguards sind IPLs**	Arten von IPLs • Prozessauslegung, • Basic Prozessleitsystem (BPCS),kritische Alarme und menschliche Eingriffe • sicherheitstechnische Funktionen (SIF),Sicherheit instrumentiert Systeme (SIS) • Notabschaltung (ESD), • physischer Schutz (Entlastung-), nachträglicher physischer Schutz (Wände, Deiche) /1/
Unabhängigkeit /2/	• Betriebe haben gemeinsam: Energieversorgung, Personal für Instandhaltung und Kalibrierung, Personal für PLT, Personal für Produktion, Lieferanten für Apparate • Abhängige Sicherheitssysteme: Druckentlastung abh. vom max. Eingangs-Volumenstrom ; Unterfeuerung ist zu berücksichtigen oder auszuschließen. • Common Cause: dieselbe Person macht denselben Fehler bei Kalibrierung redundanter Instrumente; derselbe Typ Ventil, Sensor wird in vielfachen Systemen verwendet. Energieversorgung: Ausfall setzt gleichzeitig mehr als ein PLT-System still. **Diversität von IPLs: erlaubt Common Cause Failures (CCF) zu entdecken!** • Personalfehler (human Error): Personen aus einer Gruppe werden nicht betrachtet als unabhängig:(Information und Eingriff sind nicht voneinander unabhängig

Funktionalität/ Zuverlässigkeit /2/	• beherrscht Anfahren, Abfahren, Normalbetrieb, Batch-Fahrweise, etc..
	  • ***PLT-Maßnahmen, Mechanische Verriegelungen*** *und* Zeit bis zu deren Wirksamwerden
	  • ***Bedieneingriff und Eingriffszeit*** : Bedienanweisung und Training für alle Fahrweisen, Alarm-meldungen, Eingriffe und Notfälle (Human Error Probability)

/1/**Atypical Scenarios Known and Unknown Unknowns** /Report 34,EPSC, 2012
2/Guidelines for Initiating Events and Independent Protection Layers in Layer of Protection Analysis – CCPS,2015 (p43-49)
http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0470343850.htmlls
DIN 61511-3:2019-02, F.8

Schritt 4: Unabhängige Schutzebenen
Anforderungen

Kernpunkte	Kommentare
Integrity **Wirksamkeit** **Bestimmtheit**	Der Grad an Integrität ist maßgeblich für die Größenordnung (in 10-Potenzen) der Risiko-Reduzierung der IPL. **Einbindung in Sicherheits-Managementsystem !** Integrity bezieht sich auf: • Apparate: Auslegung, Installation, Betrieb, Instandhaltung in Betriebsumgebung; **I**nspection, **T**esting and **P**reventive **M**aintenance (ITPM): a)Erfassung des bestehenden Zustandes und Verfolgung der Abnutzung b)Prüfen der Funktionsfähigkeit/ ggf. Ertüchtigung (ITPM ist Element von Asset Integrity) • PLT (SIS)siehe IEC 61511: verlangt Risiko-Reduktion zu verifizieren durch quantitative Analyse • Zusammenspiel mit Menschen bei „Human IPL“: ausreichende Eingriffszeit, Qualifikation, Übung • Erkannter Fehler versus unerkannter Fehler Erkannte Fehler führen zu identifizierbaren Prozessabweichungen >**Auslöser** Nichterkannter Fehler (holes in layers of protection): Tank mit LIA+S++: wenn der S++ ausfällt, geht der Füllvorgang weiter incl. Überfüllung: **Ausfall von IPLs sind durch Asset Integrity Plan (ITPM) und Proof Testing/Verifikation zu verhindern. Ausfallüberwachung wird nicht (immer) als IPL betrachtet, führt aber zu einem niedrigeren PFD:** • abhängig von Fehlerabdeckungsgrad (70-100%) • Reparaturdauer • Welche Aktion erfolgt bei Ausfall

GL for Initiating Events and Independent Protection Layers in LOPA, CCPS, Wiley 2015, Ch. 3.4
DIN 61511-3:2019-02, F.8

EPSC\Report34Pub.pdf

Schritt 4: Unabhängige Schutzebenen Anforderungen

Kernpunkte	Kommentare
Prüfbarkeit	• Auslegung, Installation, Betrieb, Instandhaltung in Betriebsumgebung; **I**nspection, **T**esting and **P**reventive **M**aintenance (ITPM): • a)Erfassung des bestehenden Zustandes und Verfolgung der Abnutzung • b)Prüfen der Funktionsfähigkeit/ ggf. Ertüchtigung (ITPM ist Element von Funktionstüchtigkeit) • MOC-Prozess
Access Security	• BPCS; unautorisierter Zugang von Programmierer, remote und lokaler Zugang zum System • Ventilstellungen, sicher blockiert, regelmäßige Kontrollen • Schlüssel-Transfer-System zur Abfolge –Sicherung • Endlagenschalter auf Bypass Ventilen oder Absperrventilen (zur Erkennung der bestimmungsgemäßen Stellung)
Management of Change (MOC)	• Für IPLs : auch Überbrücken von Einrichtungen (Bypassing) für Prüfungen oder teilweises Arbeiten mit einer eingeschränkten IPL • **Änderungen können die Häufigkeit von Auslösern oder von PFDs von IPLs beeinflussen**

GL for Initiating Events and Independent Protection Layers in LOPA, CCPS, Wiley 2015

Schritt 4: Unabhängige Schutzebenen
Beispiele für Mechanische Bauteile und Ausfallwahrscheinlichkeit (PFD)

Passive IPLs	PFD
End-of-line deflagration arrester	1E-2
In-line deflagration arrester	1E-1, 1E-2
Unstable (overdriven) detonation arrester,	1E-2,1E-3
Overflow line with no impediment to flow	1E-3
Overflow line containing a passive fluid or with a rupture disk	1E-2
Line containing a fluid with the potential to freeze	1E-1
Dikes, berms, and bunds	1E-2
Drainage to dikes, berms, and bunds with impoundment	1E-2
Permanent mechanical stop that limits travel	1E-2
Fire-resistant insulation and cladding on vessel	1E-2

GL for Initiating Events and Independent Protection Layers in Layer of Protection Analysis,CCPS, Wiley,New York,2015,Ch. 5

Schritt 4: Unabhängige Schutzebenen
Beispiele für Mechanische Bauteile und Ausfallwahrscheinlichkeit (PFD)

Active IPLs	PFD
Safety control loop,	1E-1
SIS loop	1E-1, 1E-2,1E-3
Spring-operated pressure relief valve	1E-2
Dual spring-operated pressure relief valves	1E-3
Pilot-operated pressure relief valve	1E-2
Gas balance/adjustable set pressure surge relief valve	1E-2
Buckling pin relief valve	1E-2
Buckling pin isolation valve	1E-2
Rupture disk	1E-2
Spring-operated pressure relief valve rupture disk	1E-2
Conservation vacuum and/or pressure relief vent	1E-2
Vacuum breaker	1E-2
Frangible roof on flat-bottom tank	1E-2
Explosion isolation valve	1E-2
Explosion panels on process equipment	1E-2
Vent panels on enclosures	1E-2
Excess flow valve	1E-1
Restrictive flow orifice	1E-2
Pipeline surge dampening vessel	1E-2
Check valve	1E-1
Pressure reducing regulator	1E-1

Active IPLs	PFD
Continuous pilot flame	1E-1
Captive key/lock system	1E-2
Multiple mechanical pump seal system with seal failure detection and response	1E-1
Continuous ventilation without automated performance monitoring	1E-1
Continuous ventilation without automated performance monitoring	1E-1
Continuous ventilation with automated performance monitoring	1E-2
Emergency ventilation initiated by safety controls, alarms, and interlocks SCAI) device	1E-1
Mechanical overspeed trip on a turbine	1E-1
Automatic fire suppression System within process Equipment	1E-1
Automatic fire suppression system for local application	1E-1
Automatic fire suppression system for a room	1E-1
Automatic explosion suppression system for process Equipment	1E-1

GL for Initiating Events and Independent Protection Layers in Layer of Protection Analysis,CCPS, Wiley,New York,2015, Ch. 5

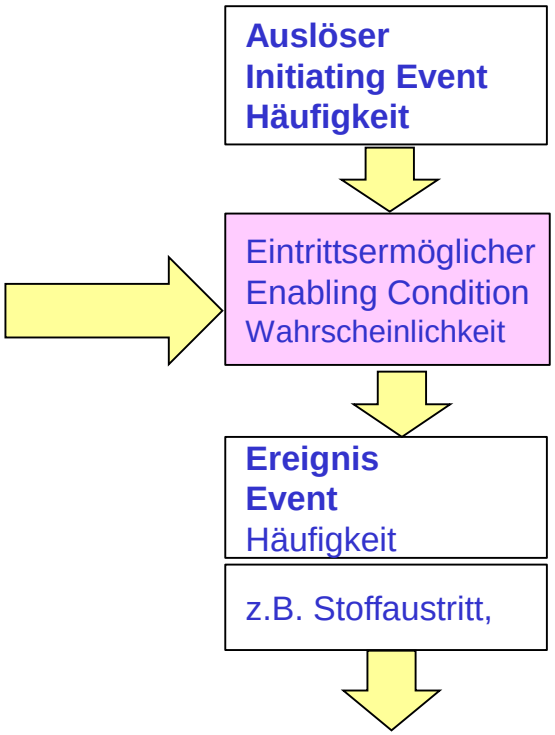
Schritt 6 : Eintrittsermöglicher

Eintrittsermöglicher begründen eine niedrigere Beurteilung der Häufigkeit des Schadenseintritts

- Zeitfenster für Risiko (Time at Risk)
  - Witterungs-Risiko(Seasonal risk)
  - Prozess-Zustand Risiko (Process State Risk)
  - Anfahrphase und Abfahrphase werden als „Time at Risk“ betrachtet [1]
- Kampagnen-Fahrweise-(Campaign enabling conditions)
  - Anlagen nicht ganzjährig in Betrieb
  - Mehrzweckanlagen
- **Die meisten LOPA Szenarien verwenden keine Eintrittsermöglicher**[1]
- Manche Firmen begrenzen **Eintrittsermöglicher** auf 1E-1/Jahr (Achtung: PEAK RISK für Personal im kritischen Zeitfenster wird evtl zu hoch und damit unbeherrschbar) [2]

[1] Guidelines for Enabling Conditions and Conditional Modifiers in Layers of Protection Analysis | CCPS/ 2014. Ch.2 .4 , P. 30

[2] CCPS/ 2014, App. B



Eintrittsermöglicher

- Ohne Zusammentreffen des Auslösers mit dem Eintrittsermöglicher kann ein gefährlicher Zustand nicht eintreten.
- **Eintrittsermöglicher ist kein Fehler, kein Ereignisauslöser und keine Schutzbarriere!**
- sollte Häufigkeit eines Szenarios maximal um Faktor 10 senken.
- Wird oft nicht extra ausgewiesen, sondern in der Bestimmung der Häufigkeit des Auslösers berücksichtigt.

TÜV Austria Akademie: Layer of Protection Analyse (LOPA) zur risikobasierenden Bewertung von Szenarien(2017), Kap.7

https://hseengineer.wordpress.com/lopa-layer-of-protection-analysis/>

Achema, June 2018,Semiquantitative Risk Evaluation Methods, An EPSC Working Group,

Use of Modifiers and Enabling Conditions

- 8 members of the working group participated in a survey on the use of modifiers and enabling conditions
  - **4 members use them**
  - **4 members do not use them**
- Reasons for not using them:
  - To be on the conservative side and to keep SQ risk assessment as simple as possible
- Most frequent field of use:
  - Personnel presence
  - Probability of ignition
  - Campaign production (different processes) with higher and lower risk

EPSC

15

https://epsc.be/Activity/Conferences/EPSC+Presentations+at+ACHEMA-p-900/_/2_Ulrich%20Hoercher,%20BASF%20-%20SQRA.pdf

Schritt 5 a: Eintrittsermöglicher
nutzt Fehlerbaum-teil

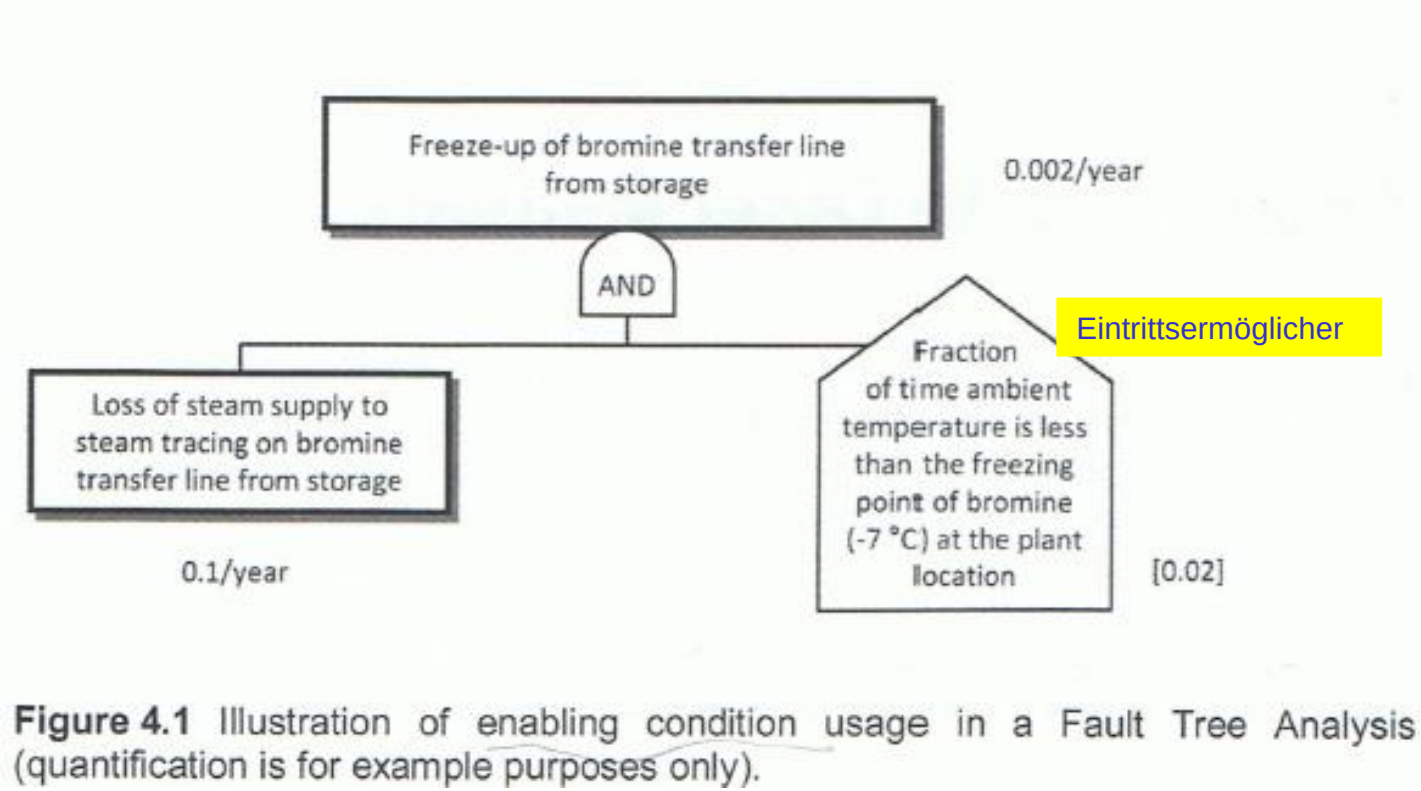


Figure 4.1 Illustration of enabling condition usage in a Fault Tree Analysis (quantification is for example purposes only).

Guidelines for Enabling Conditions and Conditional Modifiers, CCPS 2013 ,Chapter 4, P. 72

Schritt 6 Eintrittsermöglicher :
Kampagnenfahrweise

Szenario 4	Reaktor (RWK) ,Rührer in Funktion ,Kühlwasserausfall, durchgehende Reaktion, Überdruck, Leckage, Bersten	Häufig-keit/Jahr	Wahrschein Lichkeit
Auswirkung	Verletzte, Tote,		
Kriterien der tolerierbaren Risiken für Kategorie	Nicht akzeptierbar:>	1E-4	
	Akzeptierbar = oder<	1E-6	
Auslösendes Ereignisse	Kühlwasserausfall	1E-1	
Eintrittsermöglicher Auf ein Produkt bezogen	Kampagnenfahrweise: 1Woche /Jahr Kühlwasserausfall 1/52= 2%		2 E-2
Auswirkungsmodifikator	Zündung/Exgemisch:		
	Personal im Gefahrenbereich/Verletzung tödlich:		
	Versagen drucktragender Teile		
Auswirkungen, Eintrittshäufigkeit ohne Schutzebenen		**2 E-3**	

- Kampagnen-Ereignisermöglicher haben Ähnlichkeiten mit Kritisch-Zeitfenster(Time at Risk) -Ereignisermöglichern. Prozesse können abweichen von Zeit zu Zeit oder von Charge zu Charge in Bezug auf Rohstoffe (Chemikalien, Konzentrationen ,Geschwindigkeiten, Mengen) Katalysatoren, Endprodukte , Herstell-Bedingungen und/oder Prozesskonfiguration (z. B. Recycling vs. nicht-Recycling Betriebsart).
- Diese Unterschiede führen zu ungleichmäßiger Risiken während der verschiedenen Kampagnen.
- Die Verwendung von Ereignisermöglichern ist ein Mittel zur Adressierung der ungleichmäßigen Risiken in solchen Anlagen.

- (Anfahrphase und Abfahrphase werden als „Time at Risk“ betrachtet-nicht als „Kampagnen-bedingt)

Quelle: CCPS GL Enabling Conditions,..LOPA, 2013,Ch 2.4,P 30ff

Schritt 7: Auswirkungsmodifikator (Conditional Modifier)

Auswirkungsmodifikator:
Begründet eine abgesenkte Beurteilung der Schwere der Auswirkung
(Dimension : Wahrscheinlichkeit)

- Ex-Gemisch
- Zündung
- Explosion
- Personen im Gefahrenbereich
- **Verletzung oder Tod**
- Versagen von drucktragenden Teilen

Wiley: Guidelines for Enabling Conditions and Conditional Modifiers in Layer of Protection Analysis , CCPS) Ch.3,P.37
- http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-111877793X.html

Allgemein

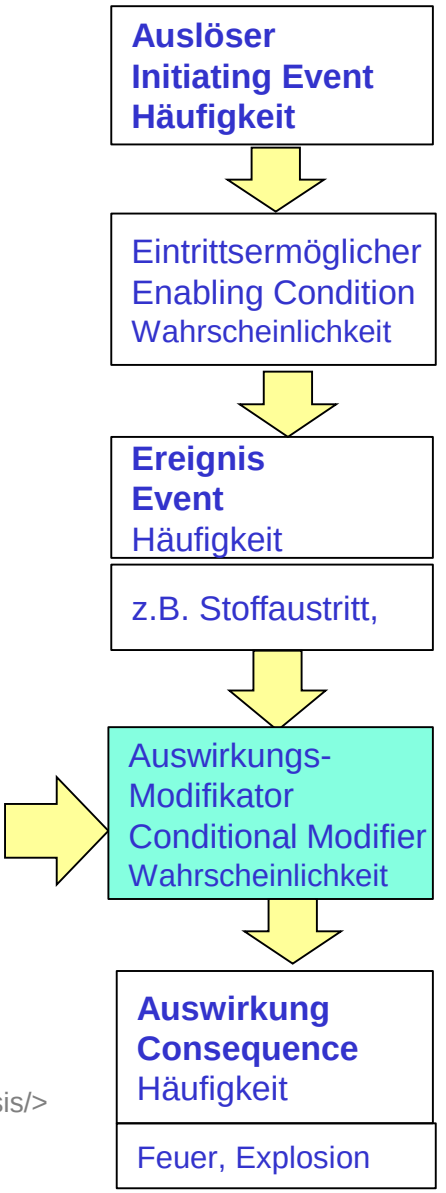
- **Ereignisermöglicher**, wenn eine zeitbasierte Wahrscheinlichkeit mit dem Teil einer Ereignisfolge im Vorfeld einer Freisetzung von gefährlichen Stoffen oder Energie verknüpft ist:
- **Auswirkungsmodifikator**: wenn die zeitbasierte Wahrscheinlichkeit mit dem Teil einer Ereignisfolge nach der Freisetzung verknüpft ist:

Auswirkungsmodifikator:

- Zündung nach Stofffreisetzung (brennbar) , Vermeiden von Zündquellen
- Personen im Gefahrenbereich
- **Notfallmaßnahmen zum Personenschutz(Flucht/ Evakuierung von Personen/PSA etc)**
- Versagen von drucktragenden Teilen
- **Versagen bei Unterschreiten der Betriebstemperatur**

LOPA, TÜV Austria (2012,2017) Kap.9

Auswirkungsmodifikator:
Wahrscheinlichkeit für den Zustand der Anlage im Moment , bevor die Ereignisabfolge die Auswirkung erreicht



https://hseengineer.wordpress.com/lopa-layer-of-protection-analysis/>

Schritt 7: Auswirkungsmodifikator (Conditional Modifier) nutzt Ereignisbaum-Teil

Guidelines for Enabling Conditions and Conditional Modifiers, CCPS 2013 ,Chapter 4, P. 73

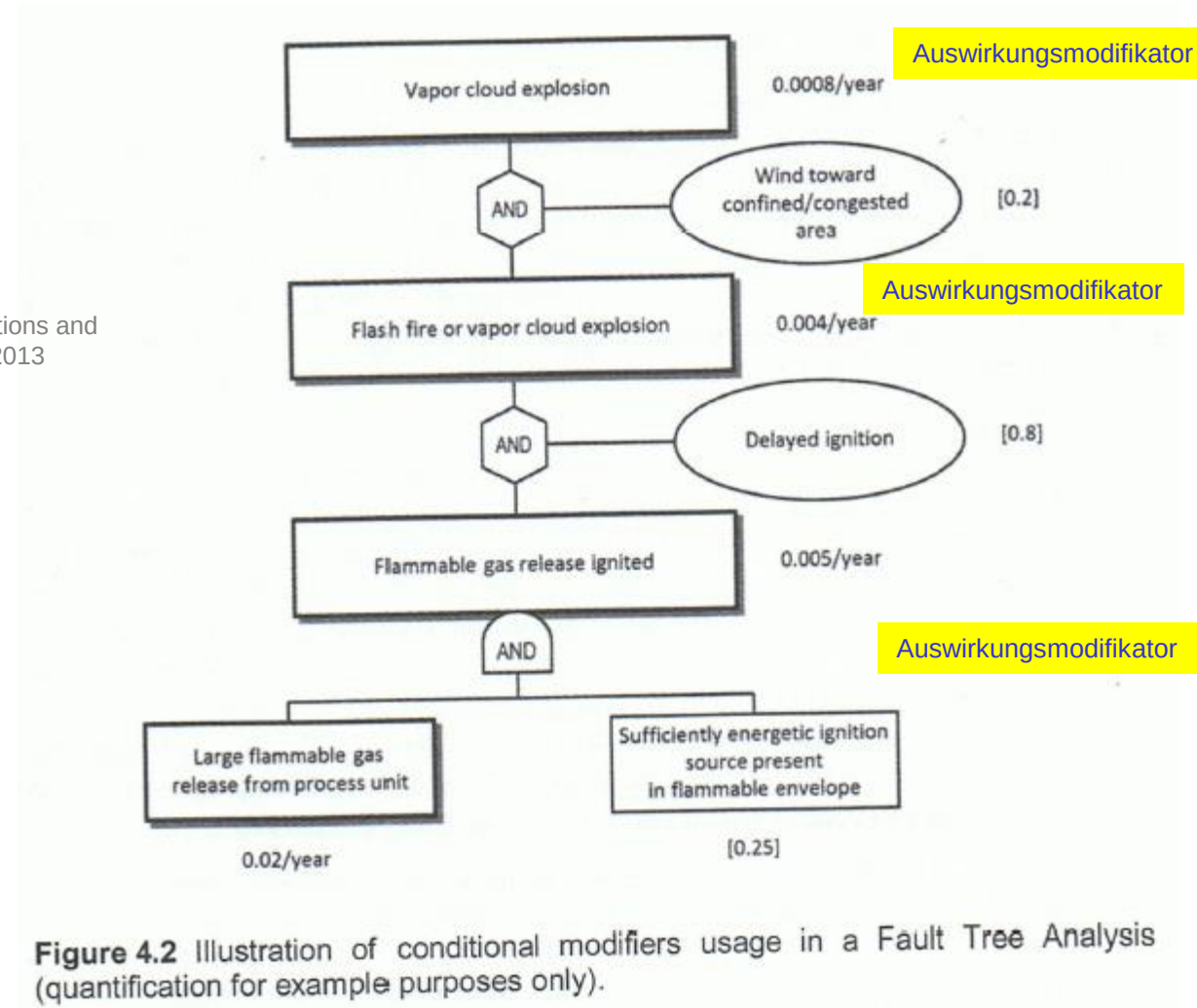


Figure 4.2 Illustration of conditional modifiers usage in a Fault Tree Analysis (quantification for example purposes only).

Schritt 7: Auswirkungsmodifikator
Ex-Gemisch, Zündquelle (nur oberer Teil des Formulars)

Szenario	Austritt von Xylolen aus Mischer, Lachenbildung und Entzündung, kleiner bis mittlerer Anlagenschaden	Häufigkeit/Jahr	Wahrscheinlichkeit
Auslösendes Ereignis	Schaden des primären Einschlusses. Mechanischer Fehler an Dichtung einer Förderpumpe	1E-1	
Auswirkungs-modifikator	Wahrscheinlichkeit der Bildung einer Ex-Atmosphäre: ca. 6 Monate /Jahr sind Umgebungstemperaturen>Flammpunkt(26 C) von Xylolen, keine Bildung von Nebel		5E-1
	Wahrscheinlichkeit der Zündung: 10 Jahre Erfahrung an diesem Standort: 2von 5 Stoffaustritte zündeten;		4E-1
Auswirkungen, Eintrittshäufigkeit ohne Schutzebenen		2E-2	2E-1

Gefährliche Atmosphäre(andere Beispiele)

- Stoffaustritt ins Freie: Brennbare Dämpfe oder Stäube. Temperatur höher als Flammpunkt : Ex-Atmosphäre
- Luftzutritt in inerte Umgebung, Temperatur>Flammpunkt: Explosionsfähige Atmosphäre
- Gefahrstoffaustritt in Einhausung.: z.B. N_2

Zündung bei brennbaren Gasen Dämpfen(Wahrscheinlichkeit)

- Konservativ :1
- Verweis auf Literaturzitat !! In Quelle:
  - 0.15 = Wahrscheinlichkeit sofortiger Zündung
  - 0.30 = Wahrscheinlichkeit verzögerter Zündung nachdem

  keine sofortige Zündung eingesetzt hat

- Wenn normalerweise eine Ex-Atmosphäre im Inneren der Prozessanlage vorliegt und eine interne Verpuffung eintritt, sobald ausreichend energetische Zündquelle vorhanden ist, dann ist die Zündquelle das auslösende Ereignis. Die ausreichend energetische Zündquelle kann durch Ausfall von Erdung oder Potentialausgleich auftreten
- Wenn Ex-Atmosphäre und Zündquelle beide kurzzeitige seltene Ereignisse (d.h. aufgedeckte Fehler) sind, müssen **Zusammenwirken von der explosionsfähigen Atmosphäre und die Zündquelle ausgewertet werden mit dem Ansatz für gleichzeitige Ausfälle (in CCPs 2013, Anhang A beschrieben.)**

Guidelines for Enabling Conditions and Conditional Modifiers in Layer of Protection Analysis ,CCPS 2013 , Kap 3, S.42-48,Tabelle 3.1

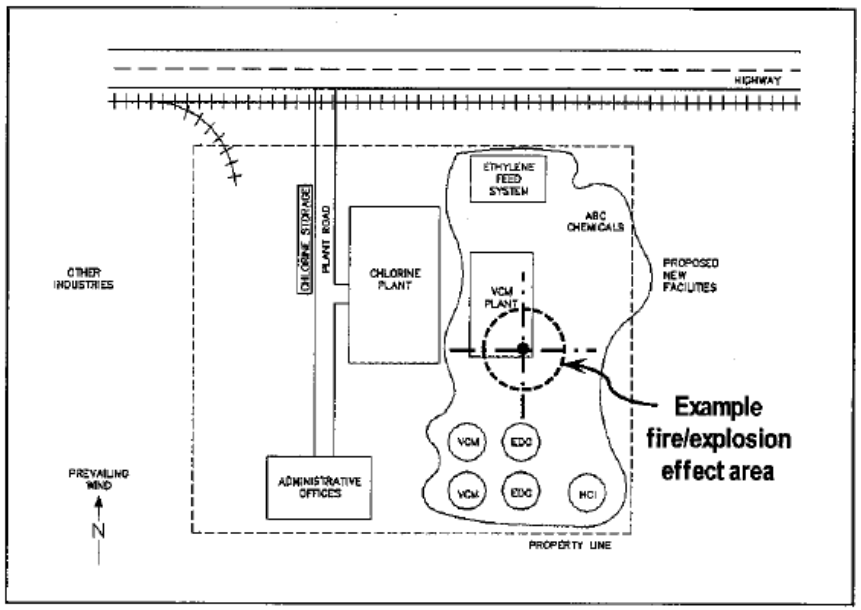
Schritt 7: Auswirkungsmodifikator
Beispiel: Druckaufbau (nur oberer Teil des Formulars)

Szenario	Durchbruch von Hochdruck-Flüssigkeit in einen Lagerkessel, Bersten des Kessels unter Freisetzung von Flüssigkeit/Sprühnebel in die Umgebung,1 Todesfall infolge Trümmerflug	**Häufigkeit /Jahr**	**Wahrschein-lichkeit**
Toleranzkriterium	Tod einer Person	1E-5	
Auslösendes Ereignis	Druckeingangsventil öffnet nicht bestimmungemäß, Eintritt von Flüssigkeit unter Hochdruck in Lagerkessel,	1E-1	
Eintrittsermöglicher			
Auswirkungs-Modifikator	Wahrscheinlichkeit, dass der Eintrittsdruck der Eintritts-Flüssigkeit ausreicht, um einen Druck im Lagerkessel zu erzeugen größer als dessen Auslegung		1E-1
	(Anwesenheit von Personal im Gefahrenbereich)		1
Auswirkungen, Eintrittshäufigkeit ohne Schutzebenen		1E-2	
Unabhängige Schutzebenen (IPLs) Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung (PFDs)			
Sicherheitsventil			1E-2
Szenario Häufigkeit mit IPLs		1E-4	

Wiley: Guidelines for Enabling Conditions and Conditional Modifiers in Layer of Protection Analysis ,CCPS , Kap 2,Table 3.3, S.51-52
- http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-111877793X.html

Schritt 7: Auswirkungsmodifikator

Wahrscheinlichkeit _Personal Anwesenheit



Gefahrenbereiche: Toxische Effekte

Berechnung mit

- Endpunkt Konzentration oder Kombination Konzentration/ Zeit
- Endpunkt: Personen anwesend zum Zeitpunkt der Stoff-Freisetzung,
- Endpunkt: Vergleich Personen innerhalb/außerhalb Werk

Gefahrenbereich: Brand- und Explosion

- Wärmestrahlung ,Wärmestrom - bestimmte Zeit
- UEG ,% von UEG
- eingedeichter Bereich (z. B. kleinere Pool Brände)
- Brand im Gebäude-Innern: Raum, Gehäuse oder sonstiger Bereich mit Fluchtbehinderung und/oder ohne Brand-Abschirmung

Die Wahrscheinlichkeit für Personal- Anwesenheit sollte für das gesamte Personal im Effektbereich gelten,

- einschließlich Routinearbeiten, vorübergehende oder kurzfristige Arbeiten wie Start-ups, Wartungsarbeiten, geplante Ausnahme-Situationen und Zeiträume mit Möglichkeit einer größeren Zahl von anwesenden Menschen.
- Start-ups und Turnarounds separat vom Dauerbetrieb bewerten
- Personal in angrenzenden Einheiten berücksichtigen bei größerem Ereignis. Wirksamkeit der Zugangskontrolle berücksichtigen.

Berechnung der Wahrscheinlichkeit „Personal Anwesenheit“

1. Gefahrenbereich festlegen.
2. Summe der insgesamt im Gefahrenbereich verbrachten Arbeitsstunden pro Tag oder pro Woche

Zeit per Woche	Probabilty	Einzelne Unternehmen
17 h	1E-1	Beschränken auf 1E-1!
2 h	1E-2	
10 min	1E-3	

Wiley: Guidelines for Enabling Conditions and Conditional Modifiers in Layer of Protection Analysis ,CCPS 2013 , Kap 3.5, S.55-62

Zusammenfassung

„LOPA wird zur Bewertung von Schutzmaßnahmen bei **Einzelszenarien** eingesetzt nicht aber für die integrale Bewertung von Maßnahmen zur Begrenzung von Individual- oder Gemeinschaftsrisiken (engl. „ Individual Risk bzw. „Societal Risk"), welche sich aus der Summe aller Risiken durch mögliche Störfälle in Industrieanlagen für Einzelpersonen oder Personengruppen ergeben können“.

TÜV Austria 207, Kap . 2

Gesamtrisiko

Vermeidenswahrscheinlichkeiten für alle ernsten und schwerwiegenden Ereignisse, die die gleiche Gefährdung verursachen, werden addiert und in Gleichungen der folgenden Art verwendet:

- **Todesfallrisiko aufgrund von Brand** =
  - (Vermeidenswahrscheinlichkeit für das Freisetzen von brennbaren Stoffen) x
  - (Entzündungswahrscheinlichkeit) x (Aufenthaltswahrscheinlichkeit einer Person im betroffenen Gebiet) x
  - (Wahrscheinlichkeit einer tödlichen Brandverletzung).
- **Todesfallrisiko aufgrund der Freisetzung von Giftstoffen** =
  - (Vermeidenswahrscheinlichkeit für die Freisetzung von Giftstoffen) x
  - (Aufenthaltswahrscheinlichkeit einer Person im betroffenen Gebiet) x
  - (Wahrscheinlichkeit einer tödlichen Verletzung durch die Freisetzung).

Die Sachkunde des Risikoanalysespezialisten und die Kenntnisse des Teams sind wichtige Faktoren bei der Anpassung der in den Gleichungen enthaltenen Parameter an die in der Anlage vorliegenden Bedingungen und Arbeitsmethoden sowie an die betroffene Öffentlichkeit.

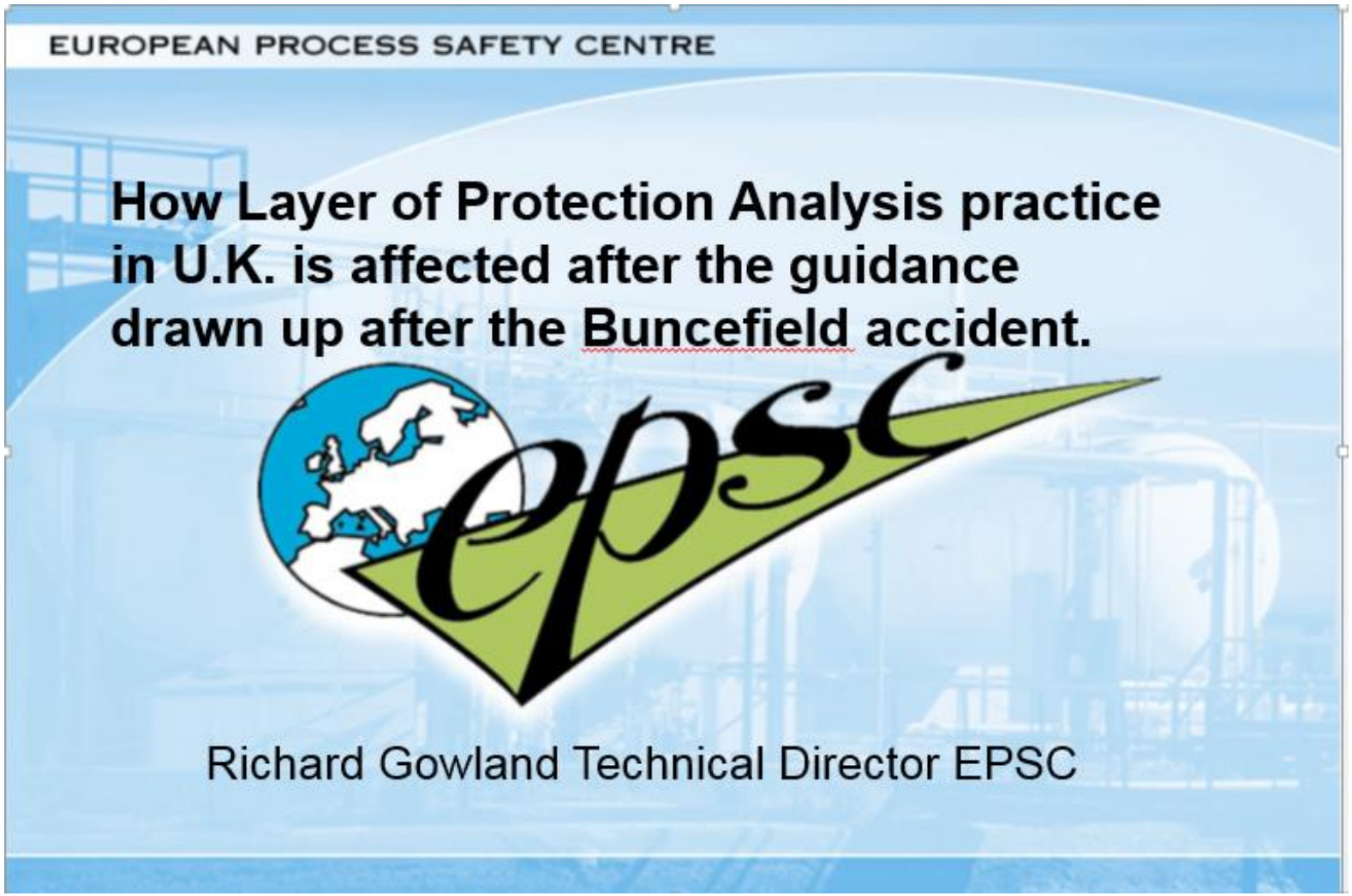
Das von diesem Prozess für den Anlagenbetreiber ausgehende Gesamtrisiko kann jetzt durch Zusammenrechnung der aus den einzelnen Gleichungen erhaltenen Ergebnisse bestimmt werden.

Wenn dieses Ergebnis gleich oder kleiner ist als der unternehmenseigene Zielwert für die betroffene Population, ist die LOPA-Analyse abgeschlossen.

DIN EN 61511-3 (VDE 0810-3):2019-02 EN 61511-3:2017; F.12

Danke!
Fragen?

- Weiterführende Literatur:
- Vortrag Drewitz 2012
- EPSC : LOPA und Buncefield Accident
- LOPA-Software



epsc..\Quellen\EPSC\EPSC LOPA Buncefield v1.ppt

QRAD, Uni Wuppertal,2012

83. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium
Bergische Universität Wuppertal

Quantitative Risikoanalyse unter Berücksichtigung des Standes der Sicherheitstechnik bei Störfallanlagen in Deutschland (QRAD) – Methodik und Anwendungsbeispiele

Dr.-Ing. Yvonne Drewitz
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH
Standort Berlin

5. Anwendungsbeispiele - Flüssiggasanlage

- Sicherheitsabstand ist zu
zuhalten
leckage für eine
nde Rohrleitung der
Flüssiggasanlage
abstände nach TRB
berechnet:
. 93 m
1 m

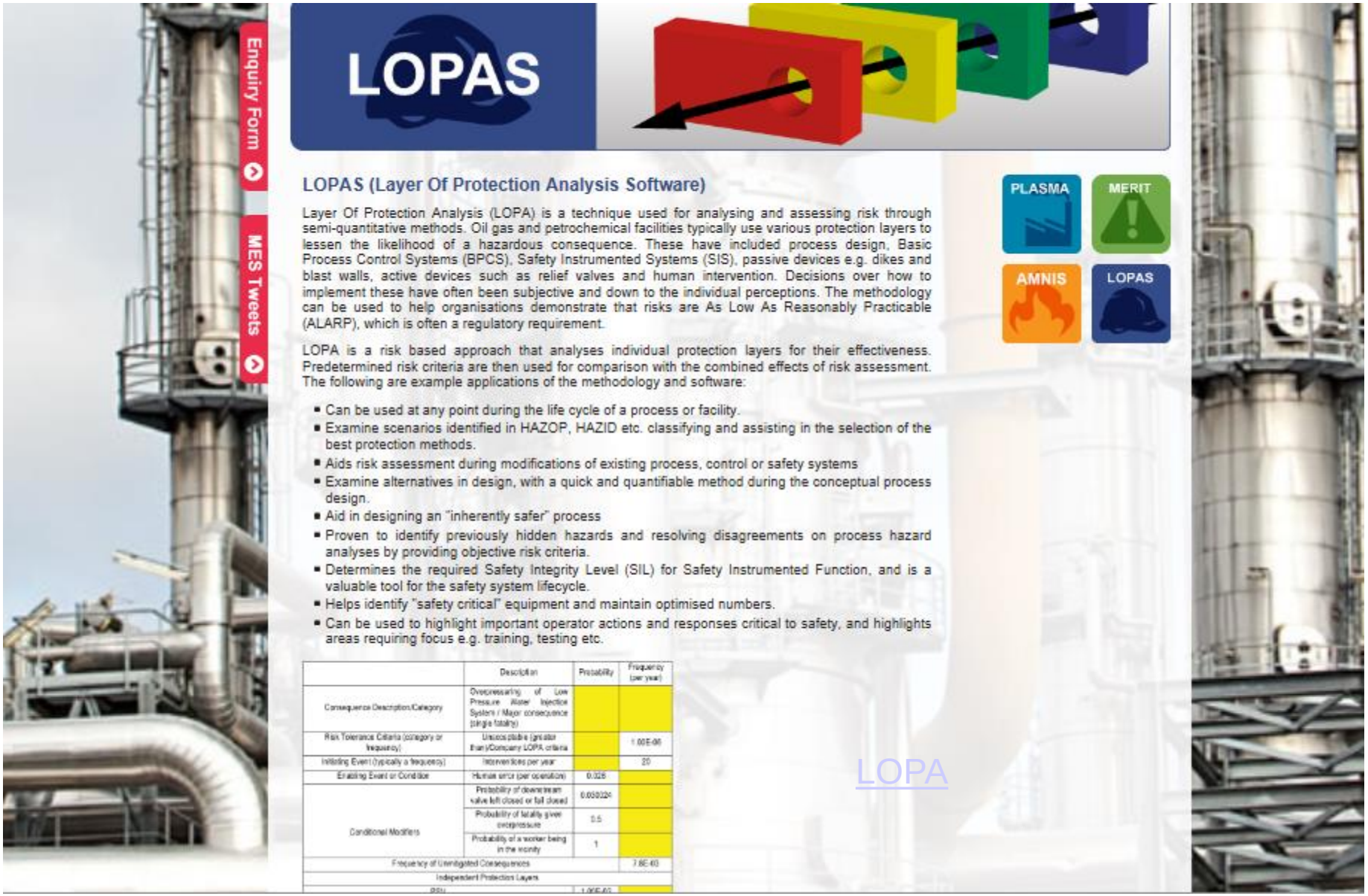
Fazit:

- Der Risikowert von $5*10^{-6}$ /Jahr entspricht somit dem akzeptierten Risiko für diese Flüssiggasanlage.
- Der erarbeitete Datensatz führt zu plausiblen Ergebnissen und kann für die weiteren Berechnungen angewendet werden.
- Das weiterentwickelte Zündwahrscheinlichkeitsmodell nach Daycock kann ebenfalls für die Risikoberechnungen verwendet werden.

19.06.2012 Dr.-Ing. Yvonne Drewitz 25

- Weiterführende Literatur: Vortrag Drewitz 2012
https://www.suqr.uni-wuppertal.de/fileadmin/site/suqr/Kolloquium_Download/Drewitz_2012-06-19.pdf

http://www.mes-international.com/lopas.php



LOPAS (LOPA Software)

	Description	Probability	Frequency (per year)
Consequence Description/Category	Overpressuring of Low Pressure Water Injection System / Major consequence (single fatality)		
Risk Tolerance Criteria (category or frequency)	Unacceptable (greater than)/Company LOPA criteria		1.00E-06
Initiating Event (typically a frequency)	Interventions per year		20
Enabling Event or Condition	Human error (per operation)	0.026	
Conditional Modifiers	Probability of downstream valve left closed or fail closed	0.030024	
	Probability of fatality given overpressure	0.5	
	Probability of a worker being in the vicinity	1	
Frequency of Unmitigated Consequences			7.8E-03
Independent Protection Layers			
PSV		1.00E-02	
Total PFD for all IPLs		1.00E-02	
Frequency of Mitigated Consequences			7.8E-05
Risk Tolerance Criteria Met? (Yes/No)	No		

http://www.mes-international.com/lopas.php

- Dient der Untersuchung von in HAZOP, HAZID usw. identifizierten Szenarien und der **SIL-Bestimmung** und erlaubt, den **Lebenszyklus des Sicherheitssystems zu** berücksichtigen .
- Ermöglicht, versteckte Gefahren zu erkennen und Unstimmigkeiten bei der Prozess-Gefährdungsanalyse durch objektive Risikokriterien zu lösen
- Bei Prozess-Entwicklung: Untersuchung von Design - Alternativen mit einer schnellen und quantifizierbaren Methode
- **Hilft bei der Gestaltung eines "inhärent sicheren" Prozesses**
- Hilft, wichtige Bedien-und sicherheitskritische Maßnahmen Training, Tests hervorzuheben zu markieren
- Hilft Risikobewertung bei **Modifikationen** bestehender Prozess-, Steuerungs-oder Sicherheitssysteme

LOPA