

## **HAZOP/LOPA-Seminar Dresden 2019,**

10:15 bis 11:00

HAZOP-Studie und Gefährdungsbeurteilung,

**11:00 bis 11:45**

Risikograph - Methode

# Risikograph und andere Methoden der Risikoanalyse

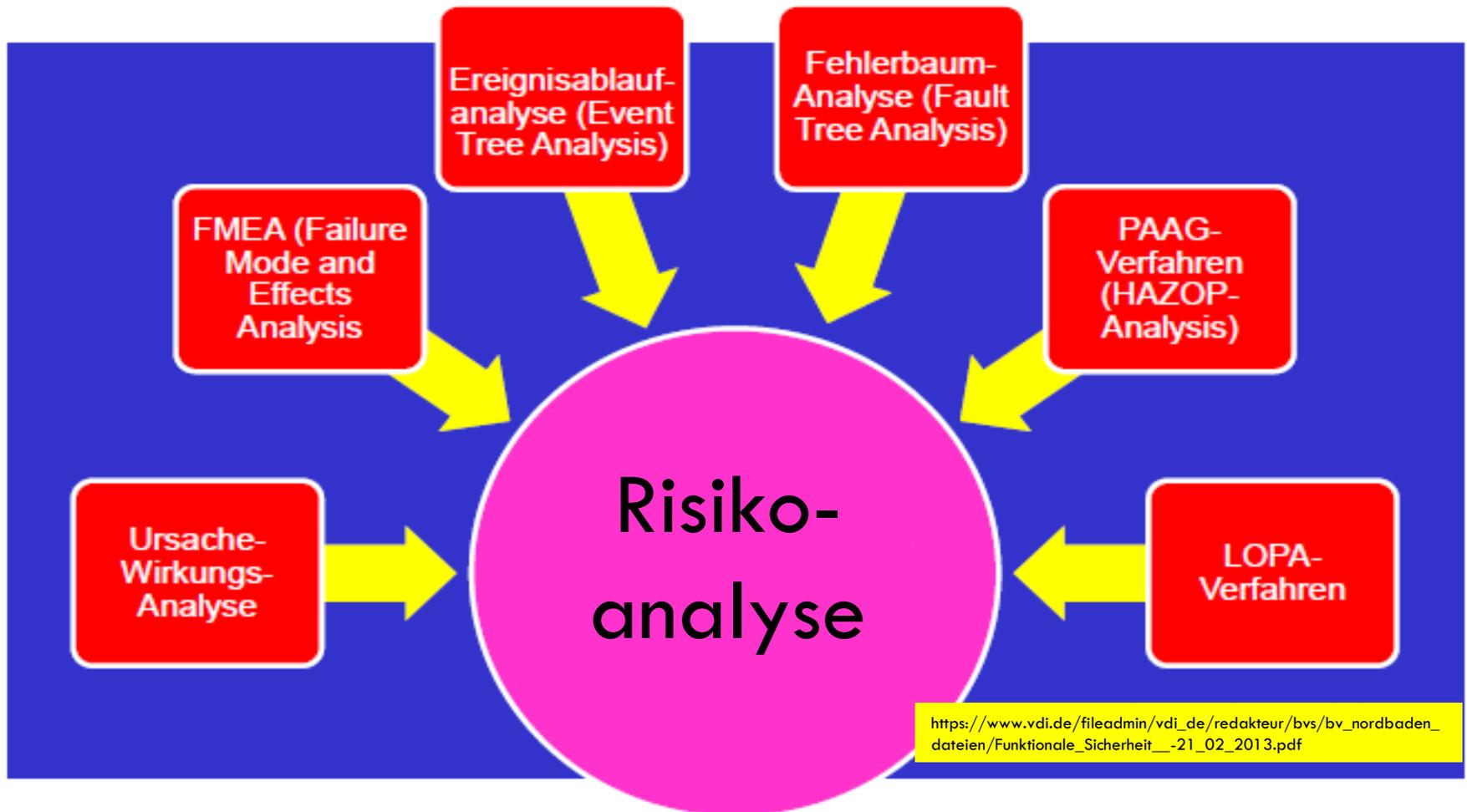
1. Formulargestützte Risikoanalysen
2. HAZOP und Varianten
3. Risikomatrix
4. Risikograph

# formulargestützte Risikoanalysen

Seit Einführung der HAZOP in England sind eine Reihe von Varianten zur formulargestützten Risikoanalyse entstanden.

- Die Wichtigste ist die von der BG Chemie entwickelte **PAAG Methode**, die auch international anerkannt ist. Sie wurde und wird von verschiedenen Anwendern entsprechend ihren Bedürfnissen angepasst.
- **Die Ursachen-Wirkungs-Analyse (RCA)** wird oft bei der Untersuchung von Fehlern verwendet, aber auch bei der Entwicklung und Schwachstellenanalyse von Software.
- Varianten der RCA sind die **Fehlerbaumanalyse** und die **Ereignis-Ablauf Analyse** sowie die **Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)**.

# Risikoanalyse, methodische Ansätze



# „Sicherheitsbetrachtung“ = PAAG

## Muster der BG RCI

Sicherheitsbetrachtung										
Verfahren:		Betriebsgelände:			Gebäude:		Anlage:			
Fließbild Nr.:							Stand:			
Teilanlagen / Apparat:										
Sollfunktion:										
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung	S/B	Gegenmaßnahmen	Typ	Vh.	Verantw.	Termin	Bemerkung
	Hier werden Sollwert-Abweichungen von Prozessparametern des bestimmungsgemäßen Betriebs aufgeführt. Die Abweichungen 1 bis 6 sind für jeden Einsatzstoff einschließlich der Hilfs- und Lösemittel einzeln zu diskutieren. Die Abweichungen 24 bis Ende sind im Wesentlichen redundante Fragestellungen und können ggfs. gelöscht werden, auch wenn sie bereits als Ursachen oder Auswirkungen diskutiert waren.	Hier werden mögliche Ursachen für die Abweichung beschrieben. Für jede Ursache ist möglichst eine eigene Zeile anzulegen.	Hier werden potentielle Auswirkungen der Abweichung aufgezeigt. Es ist darauf zu achten, dass anhand der Beschreibung eine Entscheidung über die Relevanz der Störung getroffen werden kann.	Hier wird eine Bewertung der Auswirkung getroffen, z. B. S= sicherheitsrelevant, B= nicht sicherheitsrelevant (betriebsintern)	Hier werden die Gegenmaßnahmen beschrieben, die ein Eintreten der Störung wirksam verhindern oder ihre Auswirkungen begrenzen sollen.	Hier kann für Recherchezwecke dokumentiert werden, ob es sich um z. B. konstruktiv-technische oder organisatorische Maßnahmen handelt.	Hier kann für Recherchezwecke dokumentiert werden, ob die beschriebenen Maßnahmen vorhanden sind (Eintrag „ja“) oder nicht.	Hier kann für Recherchezwecke dokumentiert werden, wer für die Umsetzung der Maßnahme verantwortlich ist.	Hier kann für Recherchezwecke dokumentiert werden, bis wann die Umsetzung der Maßnahme erfolgt sein soll.	Hier können weitere Anmerkungen und Kommentare dokumentiert werden.

# PAAG 2008 Variante von INFRASERV Höchst

**Bild 15c: Konkretisierte „Leitwort-Kataloge“ verschiedener Unternehmen - Prüfpunkte der InfraserV Höchst, integriert auf Dokumentationsformular**

Störungsbetrachtung						
Projekt			Datum:	bearbeitet von / Teilnehmer SIG:	geprüft	
Apparate/verfahrenstechnische Grundoperation:			Fließbild(er):	Revision:		
Abweichungen bei:						
1.1 Spezifikation    1.2 Präsenz der Ausgangsstoffe    1.3 Dosierung    1.4 Reaktionsbedingungen    1.5 Vermischung    1.6 Explosionsfähige Atmosphäre 2.1 Hilfsenergien    2.2 Heiz-/Kühlmedien    2.3 PLT-Einrichtungen    2.4 Stoffströme    2.5 Füllstand    2.6 Rührung    2.7 Integrität der Bauteile						
Nr.	Störung	Ursache(n)	Auswirkung(en)	Wie wird die Störung bemerkt? Gegenmaßnahme(n)	Handlungsbedarf (Wer?/Bis wann?)	Status

# HAZOP-Varianten, zum Vergleich FMEA

HAZOP					
Nr.	Abweichung	Ursache	Wie erkennbar	Auswirkung	Gegenmaßnahmen

HAZOP							
Nr.	Abweichung	Ursache	Eintrittswahrscheinlichkeit (W)	Auswirkung	Schadens ausmaß (S)	Risiko klasse (WxS)	Gegenmaßnahmen

- HAZOP ist im Wesentlichen ein **systemzentrierter Ansatz**
- Die HAZOP-Studie ermittelt mögliche Abweichungen von der Konstruktionsabsicht in zwei Richtungen, eine in Richtung Abweichung / mögliche Ursachen, die andere in Richtung Auswirkungen.

FMEA								
Nr.	Störung	Entdeckbarkeit (E)	Ursachen	Auftreten Häufigkeit (A)	Folgen Auswirkung	Bedeutung (B)	RPZ (ExAxB)	Gegenmaßnahmen

- FMEA **Komponenten-zentrierter Ansatz**
- FMEA beginnt mit einem möglichen Bauteilversagen und untersucht dann die Folgen dieses Fehlers auf das System als Ganzes. Somit ist die Untersuchung unidirektional, von der Ursache zur Folge...

Das PAAG -Verfahren, 3.Aufl. , 2000, Tabelle S.70-76, Erkennbarkeit StörfallIV , FMEA: Bild 14 ,S. 54

# Wacker-Verfahren (1997), modifiziertes PAAG Verfahren

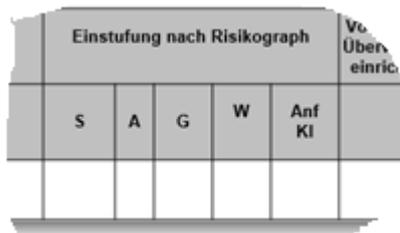
		Sicherheitsanalyse									
Teilantl./Apparat:		Apparate Bezeichnungen, Auslegung, Werkstoff,									
Sollfunktion:		Prozessschritt mit z.B. Stoffzugabe, Umsetzung, Probenahme, Aufarbeitung oder Wartungsarbeiten etc									
Nr.	Gefahrenquelle	Folgen (Auswirkung)					Störfalleintritts voraussetzung			Störfall verhindernde/begrenzende Maßnahmen	

Nr	Anlagen teil	Mess stelle	Einstufung nach Risikograph					Vorgeschaltete Überwachungs- einrichtungen	Gefahren		
			S	A	G	W	Anf KI		Stoffe Eig,	Mengen kg	Art der Freisetzung (z.B. SV)

Fragenkatalog ist umfangreicher als beim Standardverfahren, bestimmte Gefahrenquellen, z.B. Stromausfall, werden unidirektional (FMEA) untersucht.

# Wacker-Verfahren in Kombination mit Risikograph DIN V 19250



Schadensausmaß	Aufenthaltsdauer	Gefahrenabwehr	Eintrittswahrscheinlichkeit
S4 - Viele Tote, Katastrophe			
S3 - Tod mehrerer Personen auch außerhalb des Werksgeländes			W3 - relativ hoch
S2 schwere, irreversible Verletzungen oder Tod 1 Person, Schäden in Umgebung	A2- häufig bis dauernd	G2- kaum möglich	W2 - gering
S1 - leichte Verletzung, lokaler Umweltschaden	A1 -selten bis häufig	G1 - möglich unter bestimmten Voraussetzungen	W1 - relativ gering

# Fragenkatalog des Wacker-Verfahrens

<b>Versagen von Anlagenteilen</b>	<p><b>1.1 Ausfall aktiver Aggregate</b> (z. B. Pumpen, Rührwerke, Verdichter, Knetter, Zentrifugen)</p> <p><b>1.2 Bruch von Einbauteilen</b> (z. B. Rührer, Statikmischer, Filter, Propellerschaukeln, Antriebswellen, Kolonnenböden)</p> <p><b>1.3 Blockierter Durchfluss</b> (z. B. Verstopfung, blockierte Ventile, verklebte Ventile, vergessene Steckscheiben, blockierte Explosionsdruckentlastungen)</p> <p><b>1.4 Ausfall von PLT-Einrichtungen</b> (z. B. Überfüllsicherungen, Druck-/Temperaturbegrenzer, Durchflussmesser, Regler, Analysegeräte, Explosionsunterdrückung)</p>	<p><b>1.5 Aktivierung wirksamer Zündquellen in Ex-Zone 0/1 bzw. 20/21</b> (z. B. heißgelaufene Teile, mechanische Funken, elektrische Funken, statische Elektrizität)</p> <p><b>1.6 Versagen innerer Trennwände</b> (z. B. Kühlschlangen, Heizmantel, Mehrkammertankabtrennungen)</p> <p><b>1.7 Versagen Durchfluss verhindernder Maßnahmen</b> (z. B. Rückschlagventile, Absperrventile, Flammendurchschlagsicherungen, Zerfallssperren)</p> <p><b>1.8 Versagen der äußeren Umschließung</b> (z. B. Behälterwandung, Rohrleitungen, Flanschverbindungen, Wellendichtungen, Druckentlastungseinrichtungen, Abspereinrichtungen)</p>
<b>Energieausfall</b>	<p><b>2.1 Elektrische Energie für Antriebe/Heizung</b></p> <p><b>2.2 Elektrische Energie für PLT</b></p> <p><b>2.3 Steuerluft</b></p> <p><b>2.4 Druckluft</b></p> <p><b>2.5 Kühlwasser</b></p>	<p><b>2.6 Kühlsolekreislauf</b></p> <p><b>2.7 Kälteanlagen</b></p> <p><b>2.8 Dampf</b></p> <p><b>2.9 Heizkreislauf</b></p> <p><b>2.10 Inertgas (u. a. Stickstoff)</b></p>
<b>menschliche Fehlhandlungen</b>	<p><b>3.1 Unterlassen notwendiger Handgriffe</b> (z. B. nicht abschalten, nicht zudosieren, nicht umschalten)</p> <p><b>3.2 Ausführen unzulässiger Handlungen</b> (z. B. absperren, Heizung starten, Anlageteile öffnen, überbrücken, mechanisch beschädigen)</p>	<p><b>3.3 Falsches Ausführen von Eingriffen</b> (z. B. falscher Ort, Zeitpunkt, Handgriff, Stoff, Ablauf, falsche Verbindung, Zeitspanne)</p> <p><b>3.4 Wartungs-/Reparaturfehler</b> (z. B. falsches Einbauteil, unvollständige Montage, vergessene Hilfsmittel, übersehener Fehler)</p>

Gefahrenermittlung und Gefahrenbewertung in der Anlagensicherheit, IVSS Sektion Chemie c/o BG RCI, 2. Auflage 2012, ISBN 92-843-7122-8, Abb.26  
<http://193.134.194.37/ger/Resursy/Resources/Gefahrenermittlung-und-Gefahrenbewertung-in-der-Anlagensicherheit>

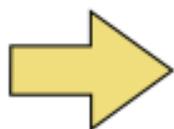
# Fragenkatalog des Wacker-Verfahrens

<b>unerwünschte Stoffpaarungen</b>	<p><b>4.1 Vermischung miteinander reagierender Stoffe</b> (z. B. Säuren/Laugen)</p> <p><b>4.2 Reaktionsauslösende Verunreinigungen</b> (z. B. Korrosionsprodukte, katalytisch wirkende Verunreinigungen, Kristallkeime, Polymerkeime, Produkt)</p> <p><b>4.3 Falsche Produkt-/Werkstoffpaarung</b> (z. B. Chlor mit Buntmetallen)</p>	<p><b>4.4 Heiße und kalte Flüssigkeiten</b> (Wasser in (Metall-)Schmelze oder in heißes Produkt)</p> <p><b>4.5 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in inertisierten Anlagenteilen</b> (eingedrungene Luft, freigesetzter Sauerstoff, angesaugte, nicht verdrängte Luft, Überschreiten der Sauerstoffgrenzkonzentration)</p> <p><b>4.6 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre durch zu hohe/niedrige Stoffkonzentration innerhalb/außerhalb von Anlagenteilen</b> (z. B. Über-/Unterschreiten der Explosionsgrenzen, aufgewirbelter Staub, Gasfreisetzung)</p>
<b>Abweichung betrieblicher Parameter</b>	<p><b>5.1 Druck (-differenz)</b></p> <p><b>5.2 Temperatur (-differenz)</b></p> <p><b>5.3 Füllstand (max./min.)</b></p> <p><b>5.4 Durchflussmenge (max./min.)</b></p> <p><b>5.5 Durchflussrichtung</b></p>	<p><b>5.6 Reaktionszeit</b></p> <p><b>5.7 Verweilzeit</b></p> <p><b>5.8 Viskosität</b></p> <p><b>5.9 pH-Wert</b></p> <p><b>5.10 Mischungsverhältnis/Konzentration</b> (z. B. zu hoch, zu niedrig, Entmischung)</p>

# Einfache Risikomatrix nach Nohl

Risikomatrix (nach Nohl)		Mögliche Schadensschwere S			
		Leichte Verletzungen oder Erkrankungen	Mittelschwere Verletzungen oder Erkrankungen	Schwere Verletzungen oder Erkrankungen	Möglicher Tod, Katastrophe
Wahrscheinlichkeit W	sehr gering	1	2	3	4
	gering	2	3	4	5
	mittel	3	4	5	6
	hoch	4	5	6	7

[www.maschinen-sicherheit.net](http://www.maschinen-sicherheit.net)



- 1-2: keine Risikoreduzierung nötig
- 3-4: Risikoreduzierung notwendig
- 5-7: Risikoreduzierung dringend notwendig

# Komplexe Risikomatrix zur Bewertung der Auswirkungen für die HAZOP Study

Ausmaß	Personen innerhalb Standort	Umgebung außerhalb/innerhalb Standort	Werte	>10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-2</sup> -10 <sup>-3</sup>	> 10 <sup>-2</sup>
5	viele Todesopfer	<u>Außerhalb Standort</u> letale Wirkungen auf großen bewohnten Zonen - mehrere Todesopfer, große und anhaltende Verschmutzung und/oder umfangreicher Verlust von Leben im Wasser	> 100 Mio.€	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
4	tödliche Auswirkungen auf mehrere Personen (mehrere Todesfälle)	<u>Außerhalb Standort</u> tödliche Wirkung, ein Todesfall, mehrere Verletzungen, erhebliche Verschmutzung mit nachhaltigen Auswirkungen auf die Umwelt	10 - 100 M€	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
3	tödliche Wirkung auf eine Person - mehrere (permanente) Invaliditätsfälle	<u>Außerhalb Standort</u> dauerhafte Auswirkungen Evakuierung von Personen, erhebliche Umweltverschmutzungen	2 – 10 M€	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
2	permanente Verletzung - Arbeitsausfall	<u>Innerhalb des Standorts</u> nicht dauerhafte Auswirkungen Mäßige Verschmutzung	0,2 – 2 M€	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
1	keine dauerhafte Verletzungen – meldepflichtige Verletzungen, kein Arbeitsausfall– medizinische Behandlung	keine Wirkung Freisetzung von Schadstoffen erfordert eine Meldung an die Behörden, ohne Folgen für die Umwelt	200 k €	Green	Green	Green	Green	Yellow

# Risk Assessment Matrix

Grundmatrix Shell 2001

CONSEQUENCE					INCREASING LIKELIHOOD				
SEVERITY	People	Assets	Environment	Reputation	A	B	C	D	E
					Never heard of in ... industry	Heard of in ... industry	Incident has occurred in our Company	Happens several times per year in our Company	Happens several times per year in a location
0	No health effect/injury	No damage	No effect	No impact	<i>Continuous Improvement</i>				
1	Slight health effect/injury	Slight damage	Slight effect	Slight impact					
2	Minor health effect/injury	Minor damage	Minor effect	Limited impact	<i>Demonstrate ALARP</i>				
3	Major health effect/injury	Localised damage	Localised effect	Considerable impact					
4	PTD* or 1 to 3 fatalities	Major damage	Major effect	National impact	<i>Intolerable Risk</i>				
5	Multiple fatalities	Extensive damage	Massive effect	International impact					

\* Permanent Total Disability

Operational Excellence  
RISK ASSESSMENT MATRIX

Likelihood – Quantitative - Annual

1/10,000 –  
1/100,000 yr  
(0.00001 –  
0.0001)

1/10,000 –  
1/1000 yr  
(0.0001 –  
0.001)

1/1000 –  
1/100 yr  
(0.001 –  
0.01)

1/100 –  
1/10 yr  
(0.01 – 0.1)

>1/10 yr  
(0.1 – 1.0)

CONSEQUENCES

Likelihood – Qualitative - Historical

S  
E  
V  
E  
R  
I  
T  
Y

People

Assets  
(\$+CBL)

Environ-  
ment

Reputa-  
tion

A

B

C

D

E

Occurred in the  
World and/or has  
not occurred in  
Petro-chemical  
industry.

Occurred in Petro-  
chemical industry.

Occurred in Chemicals  
and/or several times in  
Petro-chemical  
industry.

Happened at site  
and/or several  
times within  
Chemicals.

Happened at my  
workplace and/or  
several times at  
site.

0

No effect

No damage

No effect

No impact

1

First Aid &  
Medical  
Treatment

<\$10,000  
USD

Slight effect

Slight  
impact

2

Restricted &  
Lost Time

\$10,000 -  
\$100,000  
USD

Minor  
effect

Limited  
impact

3

Permanent  
Partial  
Disability

\$100,000 -  
\$1,000,000  
USD

Localized  
effect

Considerabl  
e impact

Low  
Risk

Medium  
Risk

4

PTD or 1 to  
3 fatalities

\$1,000,000-  
\$10MM  
USD

Major  
effect

National  
impact

(AE  
R)

(P)

(AE  
R)

(P)

5

Multiple  
fatalities

>\$10MM  
USD

Massive  
effect

Internationa  
l impact

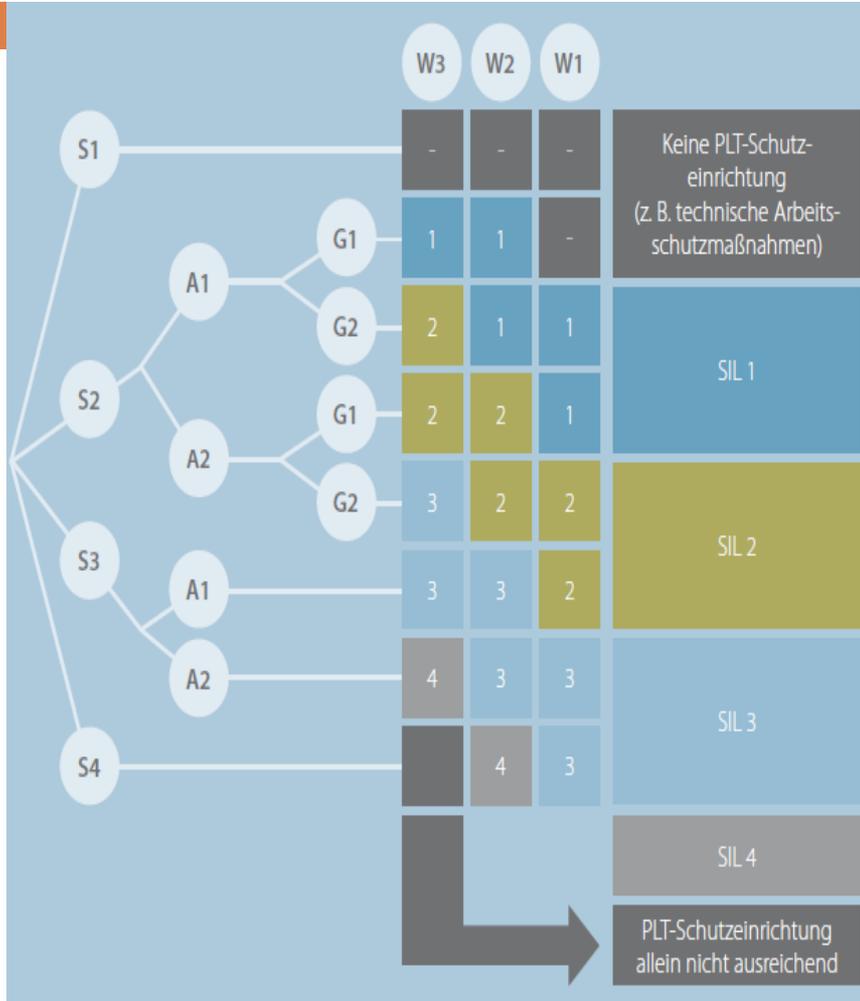
Medium  
Risk

(AE  
R)

(P)

High  
Risk

# Risikograph nach VDI VDE 2180/ EN 61511-3 2004



## Schadensausmaß (S)

- S1: leichte Verletzung einer Person die z. B. nicht unter Störfall V fallen
- S2: schwere, irreversible Verletzung einer oder mehrerer Personen, Tod einer Person
- S3: Tod mehrerer Personen
- S4: katastrophale Auswirkungen, viele Tote

## Aufenthalt im Gefahrenbereich (A)

A1: selten bis häufig

A2: häufig bis andauernd

## Gefahrenabwendung (G)

G1: möglich unter bestimmten Bedingungen

G2: kaum möglich

- Betrieb der Anlage ständig/nicht ständig überwacht
- Ereignis entwickelt sich schnell/nicht schnell
- Gefahrenerkennung: einfach, sofort; mit/ohne techn. Mittel
- Vermeidung: z.B. Fluchtweg möglich/nicht möglich/ggf. möglich
- Erfahrungen mit gleichem/ähnlichem Verfahren?

## Eintrittswahrscheinlichkeit (W)

**ohne SIS (E/E/PES oder andere Technologie) jedoch unter Berücksichtigung der sonstigen Einrichtungen zur Risikominderung**

W1: sehr gering

W2: gering

W3: relativ hoch)

# Zusammenfassung Gefahrenfelder

- Die **Identifikation von Gefahrenfeldern** mit ihren möglichen gefährlichen Auswirkungen auf Mensch, Technik sowie Umwelt ist **Gegenstand aller an der Sicherheit beteiligten Fachdisziplinen**.
- Daraus werden vielfältige **Schutzkonzepte** zur Reduzierung der Risiken aus einer produzierenden Anlage abgeleitet und entwickelt, insbesondere beim Vorhandensein oder Entstehen von Gefahrstoffen.
- Dabei sind u. a. Aspekte der BetrSichV, MaschinenRI, Druckgeräte RL, ArbStättenV, DGUV, ATEX-RL, BImSchG, SEVESO III-RL, WHG, AWSV, TA-Luft zu betrachten.
- Das gezielte Zusammenwirken aller Beteiligten (interdisziplinär) bildet das **Sicherheitsmanagementsystem eines Unternehmens**.

# HAZOP: Schritt 1-6

Sicherheitsbetrachtung								
Verfahren:								
Betriebsgelände:				Gebäude:			Anlage:	
Fließbild							Stand:	
Teilanzl./Apparat:		Apparate Bezeichnungen, Auslegung, Werkstoff,						
Sollfunktion:		Prozessschritt mit z.B. Stoffzugabe , Umsetzung, Probenahme, Aufarbeitung oder Wartungsarbeiten etc						
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung Zuordnung zu Risiko-Matrix	S/B	Wie erkennbar Gegenmaßnahme	Typ	Vh.	Verantwortlich (Bezug zu Regelwerk/1)

1. “Knoten” (verknüpfte Apparate) festlegen für den 1. und 2. HAZOP-Abschnitt & Soll-Funktion beschreiben
2. Abweichungen und deren Auslöser suchen
3. Wie meldet sich eine Abweichung vom sicheren Bereich?
4. Abschätzen der Auswirkungen, Häufigkeiten
5. Häufigkeiten für jede Abweichung, Risikomatrix, Risikograph
6. Gegenmaßnahmen festlegen, SIL Anforderungen

# HAZOP: Schritt 1

## Knoten festlegen, Soll-Funktion und Prozessparameter beschreiben

19

Sicherheitsbetrachtung									
Verfahren:									
Betriebsgelände:			Gebäude:			Anlage:			
FließbildNr.							Stand:		
Teilant./Apparat:		Apparate Bezeichnungen, Auslegung, Werkstoff,							
Sollfunktion:		Prozessschritt mit z.B. Stoffzugabe, Umsetzung, Probenahme, Aufarbeitung oder Wartungsarbeiten etc							
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung	S/B	Gegenmaßnahme	Typ	Vh.	Zuordnung zu Risiko-Matrix	

### Der bestimmungsgemäße Betrieb als Sollfunktion

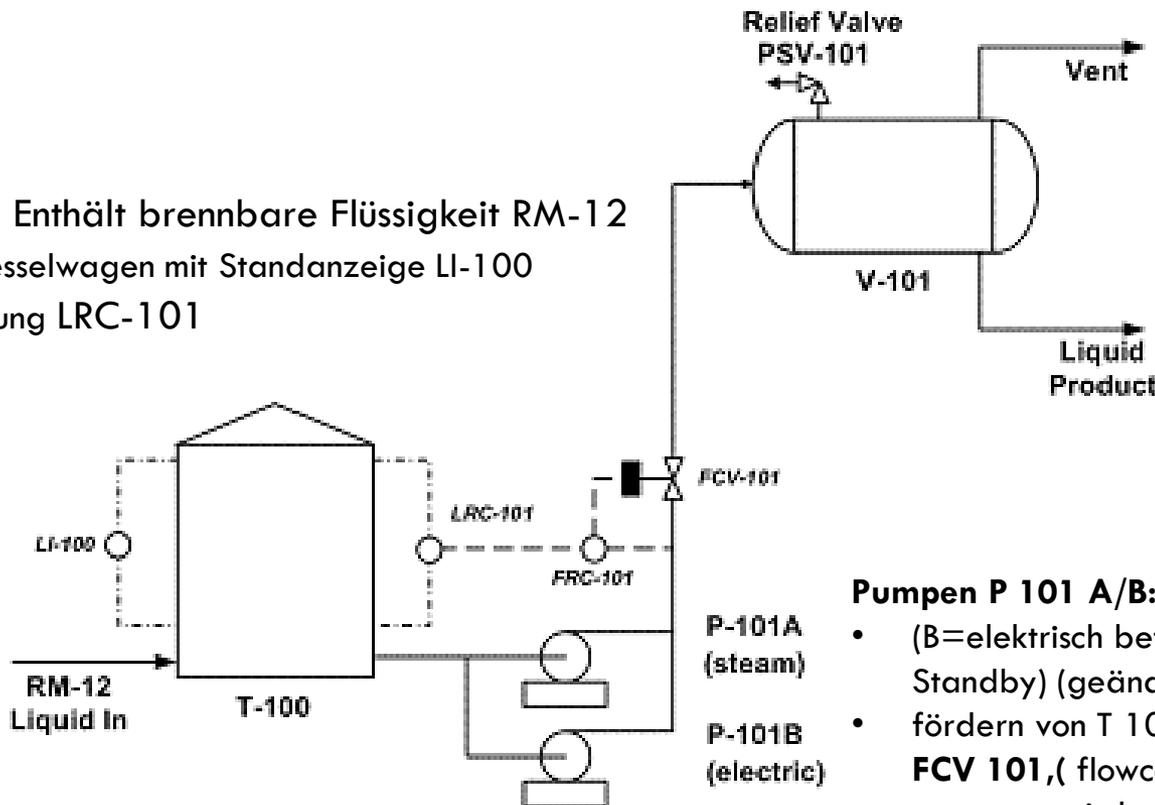
- umfasst den Betrieb, für den eine Anlage nach ihrem technischen Zweck bestimmt, ausgelegt und geeignet ist, (**Gutbereich, zulässiger Fehlbereich**)
- sowie Betriebszustände, die bei einer Fehlfunktion von Komponenten oder bei einer Fehlbedienung auftreten, ohne dass sicherheitstechnische Gründe einer Fortführung des Betriebes entgegenstehen.
- den Normalbetrieb, für den eine Anlage nach ihrem technischen Zweck bestimmt und geeignet ist (Gutbereich). Der Normalbetrieb umfasst auch
  - betriebsnotwendige Eingriffe,
  - Füll-, Umfüll- und Abfüllvorgängen,
  - An- und Abfahrbetrieb.
- die In- und Außerbetriebnahme,
- den Probebetrieb,
- Wartungs-, Inspektions-, Instandsetzungs- und Reinigungsarbeiten

# HAZOP: Schritt 1

## Knoten festlegen, Soll-Funktion und Prozessparameter beschreiben

20

**Tank 100:** Enthält brennbare Flüssigkeit RM-12 aus Bahnkesselwagen mit Standanzeige LI-100 Standregelung LRC-101



**Ausgleichsbehälter V 101 :**

- Standort 20m über Niveau.
- Nicht für Druck ausgelegt, abgesichert durch PSV -101 zur Fackel.
- Dient zum Ausgleich von schwankenden Mengen. Gasatmosphäre über Abluftleitung zur Gaspendel-system. Flüssigkeit zur Weiterverarbeitung.

### Pumpen P 101 A/B:

- (B=elektrisch betrieben, A dampfbetrieben in Standby) (geändert)
- fördern von T 100 nach V101 über Regelventil **FCV 101**, ( flowcontrol-valve) , das von **FRC -101** gesteuert wird, wobei die Grenzwerte von LRC 101 kommen

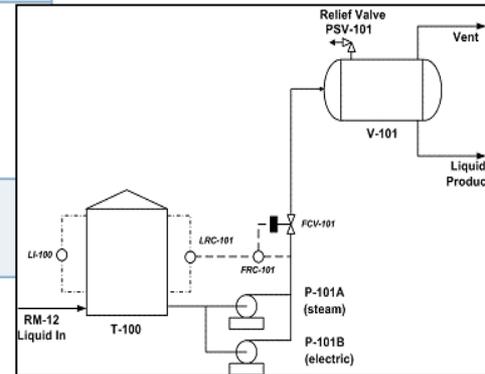
<http://bin95.com/hazop.pdf>

# Schritt 1:

## Knoten festlegen, Soll-Funktion und Prozess-Parameter beschreiben, kritische Prozess-Parameter und sicheren Bereich identifizieren

21

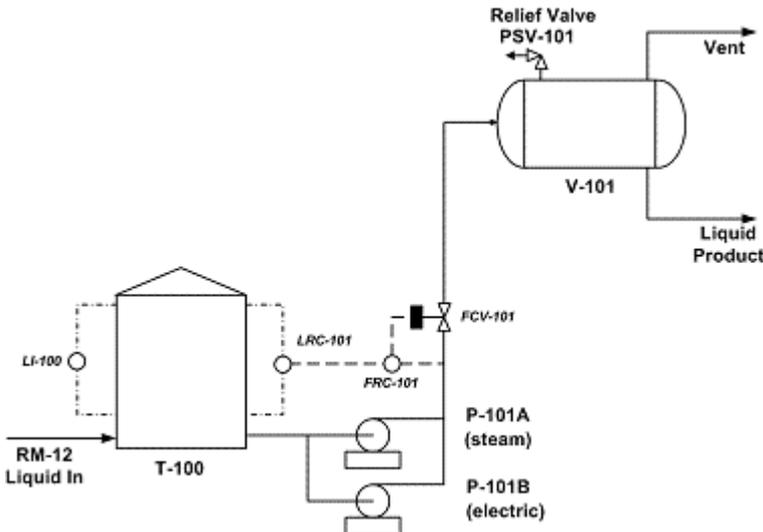
App	Parameter für sicheren Normalbetrieb	Einheit	Obergrenze	Untergrenze
T-100	Füllstand	%	95	10
	Betriebserfahrung : Füllgrad-Schwankungen selten größer 2-3 %. Daher Max-Wert 95% sollte gegen Überfüllung ausreichen.			
P-101	Strömungsgeschwindigkeit	kg/h	N/A	500
	Max. Strömungsgeschwindigkeit ergibt sich aus der Pumpen-Kapazität. Auch dabei : Keine gefährlichen Bedingungen. Deshalb keine Obergrenze sicherer Bereich. Unterhalb Untergrenze sicherer Bereich kann bei der Pumpe Kavitation auftreten.			
V-101	Druck	bar(g)	12 250°C	0
	Die Obergrenze ergibt sich aus dem Regelwerk. V-101 ist nicht für Vakuum ausgelegt, daher Untergrenze bei 0 barg (1 bar abs, willkürlicher Wert).			
V.101	Temperatur	°C	250	-10
	Obergrenze: Regelwerk; Unterhalb Untergrenze: Spannungsrissbildung			



<http://bin95.com/hazop.pdf>

# Schritt 2: Abweichungen und deren Auslöser

22



Leitwort	Bedeutung
Nein (nicht/kein/keine)	Verneinung der gesamten Sollfunktion oder von einzelnen Aspekten der Sollfunktion
Mehr	quantitative Zunahme
Weniger	quantitative Abnahme
sowohl als auch	qualitative Zunahme
Teilweise	qualitative Abnahme
Umkehrung	entgegengesetzter Ablauf/Zustand
anders als	vollständiger Austausch der gesamten Sollfunktion oder von einzelnen Aspekten der Sollfunktion

**Teilant./Apparat:** Tank 100, Pumpen 101A/B, FRC-101, Pufferbehälter V-101 (nicht für Druck ausgelegt), PSV-101  
**Sollfunktion:** Tank 100 enthält brennbare Flüssigkeit R12 aus Bahnkesselwagen, Pumpen 101 A/B fördern von T-100 nach V-101. FRC steuert Menge, wobei der Sollwert von LRC-101 kommt. P-101A dampfgetrieben, P-101B elektrisch. V-101 dient zum Ausgleich von schwankenden Mengen, Gasatmosphäre über Abluftleitung zur Fackel.

Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung	S/B	Gegenmaßnahme
1	Menge zu viel	Fehlbedienung: Bypass Regelventil geöffnet			
2	Menge zu wenig	Stand in T-100 zu niedrig, Kavitation der Pumpe.			
3	Füllstand zu hoch	in T-100, Pumpenausfall und Rückströmung V-101 in T-100.			<a href="http://www.stb07.com/process-safety-management/hazop.htm">http://www.stb07.com/process-safety-management/hazop.htm</a> <a href="http://bin95.com/hazop.pdf">http://bin95.com/hazop.pdf</a>

# HAZOP: Schritt 2, Abweichungen und deren Auslöser, Bedienungsfehler

23

## HAZOP Annahme Bypass geöffnet → Fehlbedienung

- Gefahrenquelle Fehlbedienung – Fehler des Bedieners oder des Planers?
- Fehlbedienung als Störfallursache – Strategien zur Vermeidung von Fehlbedienung.
- Bedingungen/Voraussetzungen für sicheres Arbeitshandeln, Anforderungen an menschengerechte Alarmierungssysteme.
- Mitarbeitersabotage als unbefugter Eingriff.
- Unzufriedene Mitarbeiter als Sicherheitsrisiko.

Kas20.pdf, Kap. 5.3

# HAZOP: Schritt 2, Abweichungen und deren Auslöser, Bedienungsfehler

24

## TRBS 1151, Anlage 6

### **Gefährdung durch Manipulation von technischen Schutzeinrichtungen – Ermittlung der Manipulationsanreize**

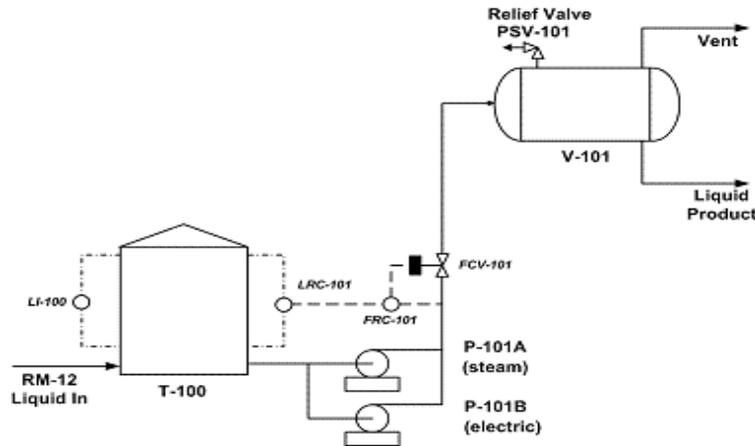
- Manipulation von Schutzeinrichtungen ist nicht zulässig.
- Der Arbeitgeber trägt die Verantwortung für die Aufrechterhaltung aller entsprechend der Gefährdungsbeurteilung vorgesehenen Schutzmaßnahmen.
- Durch die Manipulation von Schutzeinrichtungen wird das Unfallrisiko bei Tätigkeiten mit dem betroffenen Arbeitsmittel wesentlich erhöht.

Quelle: Einfluss menschlicher Faktoren auf Unfälle in der verfahrenstechnischen Industrie, S.98, S.91, S.14  
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3490.pdf>

# HAZOP Schritt 3: wie meldet sich die Abweichung?

## Dokumentation in Spalte: Erkennung

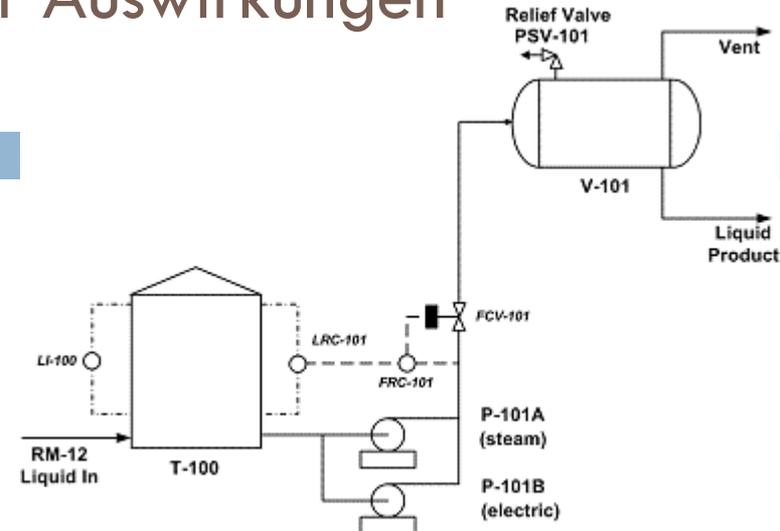
25



<b>Teilant./Apparat:</b>		Tank T-100, Pumpen 101A/B, FRC-101, Pufferbehälter V-101 (nicht für Druck ausgelegt), PSV-101			
<b>Sollfunktion:</b>		Tank 100 enthält brennbare Flüssigkeit R12 aus Bahnkesselwagen, Pumpen 101 A/B fördern von T-100 nach V-101. FRC steuert Menge, wobei der Sollwert von LRC-101 kommt. P-101A dampfgetrieben, P-101B elektrisch. V-101 dient zum Ausgleich von schwankenden Mengen			
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung	S/B	Erkennung
1	Menge zu viel	Fehlbedienung: Bypass Regelventil geöffnet			FRC-101 alarmiert
2	Menge zu wenig	Stand in T-100 zu niedrig, Kavitation der Pumpe.			LI-100 und LRC-101 (steuert die Volumenregelung)
3	Füllstand zu hoch	in T-100, Pumpenausfall und Rückströmung V-101 in T-100.			LRC-101 vorhanden

# HAZOP-Schritt 4: Abschätzen der Auswirkungen

26



<b>Teilant./Apparat:</b>		Tank T-100, Pumpen 101A/B, FRC-101, Pufferbehälter V-101 (nicht für Druck ausgelegt), PSV-101			
<b>Sollfunktion:</b>		Tank 100 enthält brennbare Flüssigkeit R12 aus Bahnkesselwagen, Pumpen 101 A/B fördern von T-100 nach V-101. FRC steuert Menge, wobei der Sollwert von LRC-101 kommt. P-101A dampfgetrieben, P-101B elektrisch. V-101 dient zum Ausgleich von schwankenden Mengen.			
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung	S/B	Erkennung
1	Menge zu viel	Fehlbedienung: Bypass Regelventil geöffnet	Überfüllung V-101, Flüssigkeit über Gaspendelleitung zu anderen Behältern, PSV öffnet zur Fackel		FRC-101 alarmiert
2	Menge zu wenig	Stand in T-100 zu niedrig, Kavitation der Pumpe.	Zündung von angesaugtem Gas-Luftgemisch, Rückschlag nach T-100		LI-100 und LRC-101 (steuert die Volumenregelung)
3	Füllstand zu hoch in T-100	Pumpenausfall und Rückströmung V-101 in T-100.	Überfüllung T-100, Austritt brennbarer Flüssigkeit, gefährliche explosionsfähige Atmosphäre, Zündung		LRC-101 vorhanden

# Abweichung: Stand zu hoch, Wechselwirkung von Flüssigkeiten und Gasen

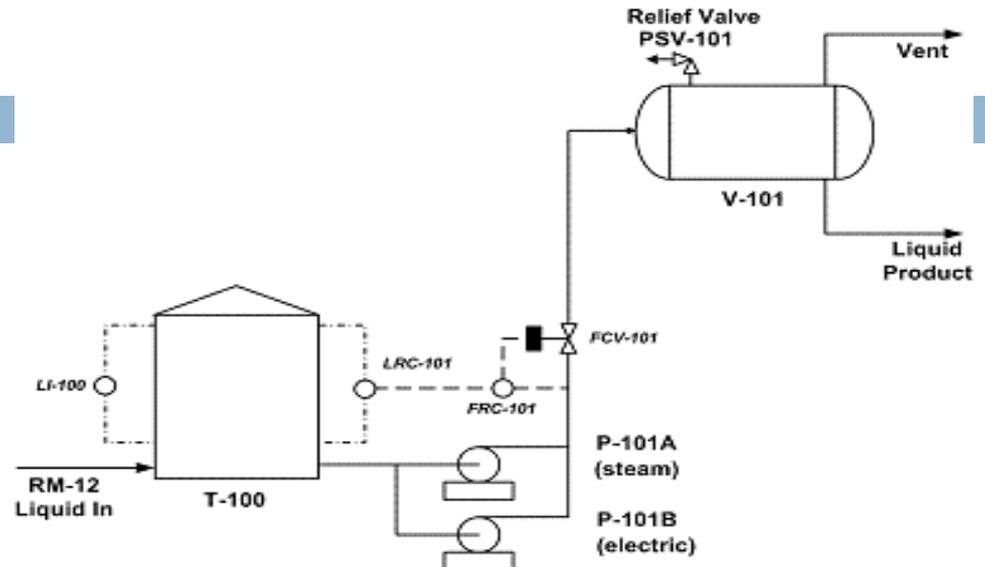
27

## vernetzte Anlagen (Abluft, Abwasser)

- Entlüftungen, Druckentlastungen und Entleerungen verknüpfen oft viele Apparate, manchmal *verschiedene Anlagen, durch ein gemeinsames Netzwerk* von Rohrleitungen. Die einzelnen Apparate können bei deutlich unterschiedlichen Drucken arbeiten, einige Apparate werden vielleicht in Betrieb genommen, während andere möglicherweise heruntergefahren werden und einige der Medien sind möglicherweise inkompatibel.
- Schnittstellenmanagement zwischen P & IDs
- Analyse der flüssigen Inkompatibilitäten
- Analyse des Potenzials für gleichzeitige Releases (insbesondere Abluft- und Entspannungs-Systeme)
- Bewertung des Potenzials für dynamische, statische oder andere induzierte Drosselung.

# HAZOP: Schritt 5, Häufigkeiten für jede Abweichung, Risikomatrix

28



	Abweichung	Ursache	Auswirkung + Häufigkeit	Erkennung
1	Mengenstrom zu groß von T 100 > V101	Fehlbedienung: Bypass Regelventil geöffnet.	Überfüllung V-101, Flüssigkeit über Gaspendelung zu anderen Behältern, PSV öffnet zur Fackel. Häufigkeit C/Finanz.Schaden 2 - blau	FRC-101 alarmiert
2	Mengenstrom zu klein von T 100 > V101	Stand T-100 zu niedrig, Kavitation der Pumpe P-101B.	Zündung von angesaugtem Gas-Luftgemisch, Rückschlag nach T-100. Häufigkeit D/Personenschaden 4 – rot	LI-100 und LRC-101 (steuert die Volumenregelung)
3	Stand zu hoch T-100,	Pumpenausfall P-101, Rückströmen von V-101.	Überfüllung T-100, Austritt brennbarer Flüssigkeit, gefährliche explosions-fähige Atmosphäre, Zündung. Häufigkeit B/Personenschaden 4 - gelb	LRC-101 vorhanden

# Risk Assessment Matrix

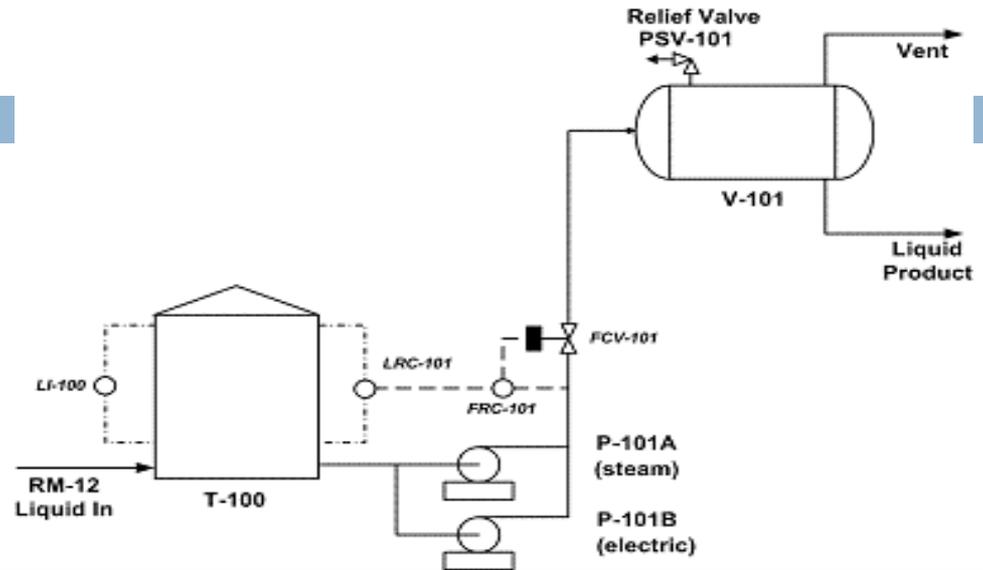
Grundmatrix Shell 2001

CONSEQUENCE					INCREASING LIKELIHOOD				
SEVERITY	People	Assets	Environment	Reputation	A	B	C	D	E
					Never heard of in ... industry	Heard of in ... industry	Incident has occurred in our Company	Happens several times per year in our Company	Happens several times per year in a location
0	No health effect/injury	No damage	No effect	No impact	<i>Continuous Improvement</i>				
1	Slight health effect/injury	Slight damage	Slight effect	Slight impact					
2	Minor health effect/injury	Minor damage	Minor effect	Limited impact	<i>Demonstrate ALARP</i>				
3	Major health effect/injury	Localised damage	Localised effect	Considerable impact					
4	PTD* or 1 to 3 fatalities	Major damage	Major effect	National impact	<i>Intolerable Risk</i>				
5	Multiple fatalities	Extensive damage	Massive effect	International impact					

\* Permanent Total Disability

# HAZOP: Schritt 6, Gegenmaßnahmen festlegen, ohne SIL Anforderung

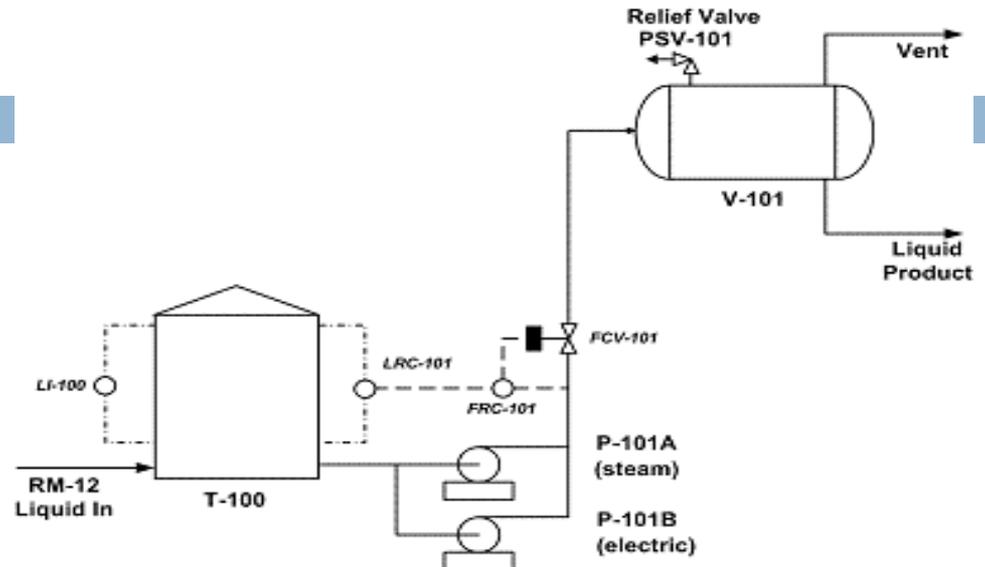
30



	Abweichung	Ursache	Auswirkung + Häufigkeit	Gegenmaßnahme
1	Mengenstrom zu groß von T 100 > V101	Fehlbedienung: Bypass Regelventil geöffnet.	Überfüllung V-101, Flüssigkeit über Gaspendingelung zu anderen Behältern, PSV öffnet zur Fackel. Häufigkeit C/Finanz.Schaden 2 - blau	Füllstandüberwachung LIS an V-101 mit Schnellschlussventil hinter FCV-101, PSV-101 für 2-Phasenströmung auslegen.
2	Mengenstrom zu klein von T 100 > V101	Stand T-100 zu niedrig, Kavitation der Pumpe P-101B.	Zündung von angesaugtem Gas-Luftgemisch, Rückschlag nach T-100. Häufigkeit D/Personenschaden 4 – rot	Pumpenabschaltung bei Niveauunterschreitung LIC-101, Trockenlaufschutz für P-101 A/B.
3	Stand zu hoch T-100,	Pumpenausfall P-101, Rückströmen von V-101.	Überfüllung T-100, Austritt brennbarer Flüssigkeit, gefährliche explosionsfähige Atmosphäre, Zündung. Häufigkeit B/Personenschaden 4 - gelb	Überfüllsicherung LSA+, Pumpenüberwachung mit automatischem Umschalten auf P 101B , Rückschlagklappe FCV 101.

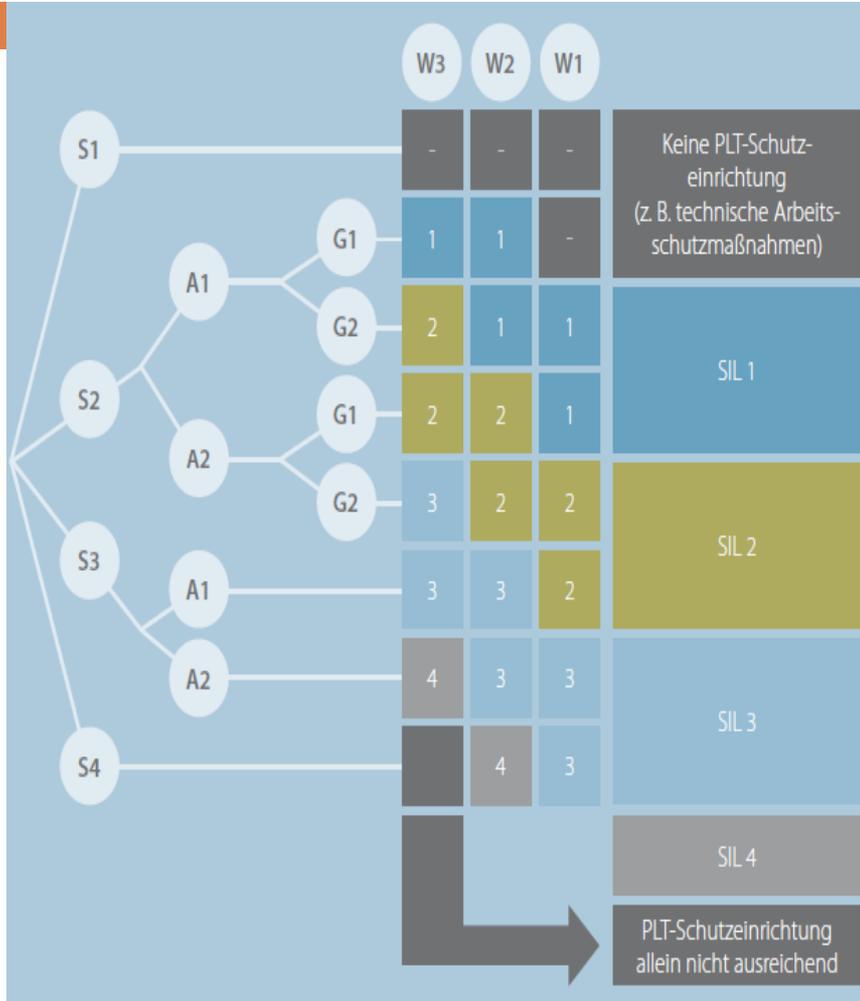
# HAZOP: Schritt 5, Häufigkeiten für jede Abweichung, Risikograph

31



	Abweichung	Ursache	Auswirkung + Häufigkeit	Erkennung
1	Mengenstrom zu groß von T 100 > V101	Fehlbedienung: Bypass Regelventil geöffnet.	Überfüllung V-101, Flüssigkeit über Gaspendelung zu anderen Behältern, PSV öffnet zur Fackel. <b>Häufigkeit W2/kein Personenschaden</b>	FRC-101 alarmiert
2	Mengenstrom zu klein von T 100 > V101	Stand T-100 zu niedrig, Kavitation der Pumpe P-101B.	Zündung von angesaugtem Gas-Luftgemisch, Rückschlag nach T-100. <b>Risikograph S2, A2, G1, W2 – SIL2</b>	LI-100 und LRC-101 (steuert die Volumenregelung)
3	Stand zu hoch T-100,	Pumpenausfall P-101, Rückströmen von V-101.	Überfüllung T-100, Austritt brennbarer Flüssigkeit, gefährliche explosionsfähige Atmosphäre, Zündung. <b>Risikograph S2, A2, G1, W1 – SIL1</b>	LRC-101 vorhanden

# Risikograph nach VDI VDE 2180/ EN 61511-3 2004



## Schadensausmaß (S)

- S1: leichte Verletzung einer Person die z. B. nicht unter Störfall V fallen
  - S2: schwere, irreversible Verletzung einer oder mehrerer Personen, Tod einer Person
  - S3: Tod mehrerer Personen
  - S4: katastrophale Auswirkungen, viele Tote
- oder vorübergehende größere schädliche Umwelteinflüsse, z. B. nach Störfall V

## Aufenthalt im Gefahrenbereich (A)

- A1: selten bis häufig
- A2: häufig bis andauernd

## Gefahrenabwendung (G)

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

- Betrieb der Anlage ständig/nicht ständig überwacht
- Ereignis entwickelt sich schnell/nicht schnell
- Gefahrenerkennung: einfach, sofort; mit/ohne techn. Mittel
- Vermeidung: z.B. Fluchtweg möglich/nicht möglich/ggf. möglich
- Erfahrungen mit gleichem/ähnlichem Verfahren?

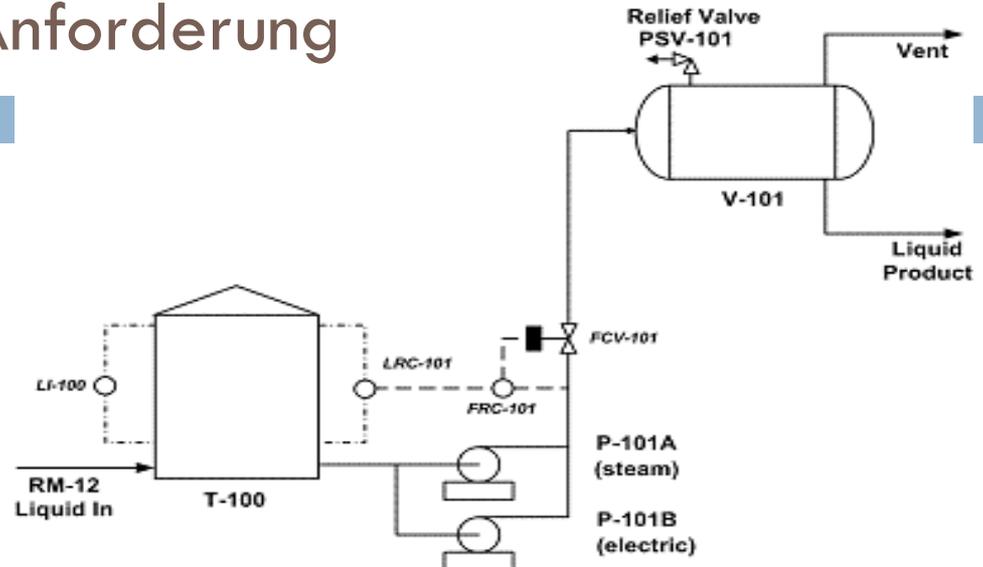
## Eintrittswahrscheinlichkeit (W)

**ohne SIS (E/E/PES oder andere Technologie) jedoch unter Berücksichtigung der sonstigen Einrichtungen zur Risikominderung**

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

# HAZOP: Schritt 6, Gegenmaßnahmen festlegen, Schutzmaßnahmen, SIL Anforderung

33



	Abweichung	Ursache	Auswirkung	Gegenmaßnahme
1	Mengenstrom zu groß von T 100 > V101	Fehlbedienung: Bypass Regelventil geöffnet.	Überfüllung V-101, Flüssigkeit über Gaspendelung zu anderen Behältern, PSV öffnet zur Fackel. <b>Häufigkeit W2/kein Personenschaden</b>	Füllstandüberwachung LIS an V-101 mit Schnellschlussventil hinter FCV-101, PSV-101 für 2-Phasenströmung auslegen.
2	Mengenstrom zu klein von T 100 > V101	Stand T-100 zu niedrig, Kavitation der Pumpe P-101B	Zündung von angesaugtem Gas-Luftgemisch, Rückschlag nach T-100. <b>Risikograph S2, A2, G1, W2 – SIL2</b>	Pumpenabschaltung bei Niveauunterschreitung LIC-101, Trockenlaufschutz für P-101 A/B <b>(SIL 2)</b> .
3	Stand zu hoch T-100,	Pumpenausfall P-101A, Rückströmen von V-101	Überfüllung T-100, Austritt brennbarer Flüssigkeit, gefährliche explosionsfähige Atmosphäre, Zündung. <b>Risikograph S2, A2, G1, W1 – SIL1</b>	Überfüllsicherung LSA+, Pumpenüberwachung mit automatischem Umschalten auf P 101B <b>(SIL 1)</b> , Rückschlagklappe FCV 101 <b>(SIL 1)</b> .

# Zusammenfassung

## wir wissen nun:

- die Prinzipien einer HAZOP-Studie aus Sicht des Betreibers von Prozessen anzuwenden (Planen, Betreiben, Instandhaltung, Prüfungen; Sicherheitsmanagement),
- die im Unternehmen eines Betreibers gültige Risikomatrix mit den Toleranzkriterien für das Restrisiko zur Ermittlung der HAZOP-Szenarien mit besonderer Gefährdung anzuwenden,
- für HAZOP-Szenarien mit besonderer Gefährdung die Eintrittshäufigkeiten der auslösenden Ursachen ermitteln,
- für die HAZOP-Szenarien mit besonderer Gefährdung die SIL-Anforderung für die Schutzmaßnahmen über die Risikomatrix und/oder Risikographen nach VDI VDE 2180 oder ISO 61511-3 zu ermitteln,
- Schutzeinrichtungen gemäß SIL-Anforderung, dem Stand der Technik und dem Regelwerk festzulegen.

# Ende des ersten Teils

