Der ProcessNet-Methodenvergleich zur SIL-Klassifizierung unter einer LOPA-Bewertung

Dr. Ronald Oertel, V-E-S-Ingenieurberatung, Merseburg, ro@v-e-s-ingenieurberatung.de

(Vortrag zum RCC-Seminar „HAZOP, LOPA; Funktionale Sicherheit“ am 27./28. 11. 2019 in Dresden)

Folie 1

Im November 2017 gab der ProcessNet-Arbeitsausschuss Risikomanagement ein Ergebnispapier[1] heraus, das einen Methodenvergleich zur SIL-Klassifizierung veröffentlichte.

Ich möchte gern den Methodenvergleich mit dem darin enthaltenen technologischen Beispiel zum Anlass nehmen, mit ihnen die Ergebnisse dieses Vergleiches zu diskutieren und gleichzeitig anhand des Beispiels demonstrieren, welche Möglichkeiten der prozesstechnischen Absicherungen bei der Anwendung der LOPA-Methode möglich sind.

[1] DECHEMA-Ergebnispapier: Methodenvergleich zur SIL-Klassifizierung, November 2017, ISBN: 978-3-89746-203-8

Folie 2

0 Inhaltsverzeichnis

1. ProcessNet: Methodenvergleichsbeispiel SIL-Klassifizierung - 11/2017
2. Methoden Gefahren-/Risikoanalysen
3. Ringvergleich: hoher Druck
4. Ringvergleich: niedrige Temperatur
5. Zusammenfassung der Ergebnisse des Ringvergleiches
6. Layer of Protection Analysis - LOPA
7. Die PAAG- /LOPA-Methode
8. PAAG/LOPA - Verfahren – Beispiel hoher Druck
9. PAAG/LOPA - Verfahren – Beispiel niedrige Temperatur
10. Zusammenfassung

Folie 3

Der Methodenvergleich wurde im November 2017 vom ProcessNet-Arbeitsausschuss Risikomanagement herausgegeben mit dem Ziel herauszuarbeiten:

Sind die vorhandenen Regeln ausreichend, um ein einheitliches Niveau von Sicherheitskonzepten in den Prozessanlagen zu erreichen?

Nach der DIN EN 61511 bzw. nach der VDI/VDE-Richtlinie 2180 wird die Durchführung von Risikoanalysen für die Festlegung der Anforderungen an Einrichtungen der funktionalen Sicherheit gefordert.

Als Methodik wurde durch den Arbeitsausschuss gewählt die Durchführung eines Ringvergleiches auf der Grundlage eines vorgegebenen Modellfalles.

Als Ergebnis war zu erfragen, zu was für einem Sicherheitskonzept kommen die einzelnen Teams, welche die Risikoanalyse durchgeführt haben. Dabei lag der Schwerpunkt auf dem notwendigen SIL-Level der einzusetzenden PLT-Sicherheitseinrichtung.

Folie 4

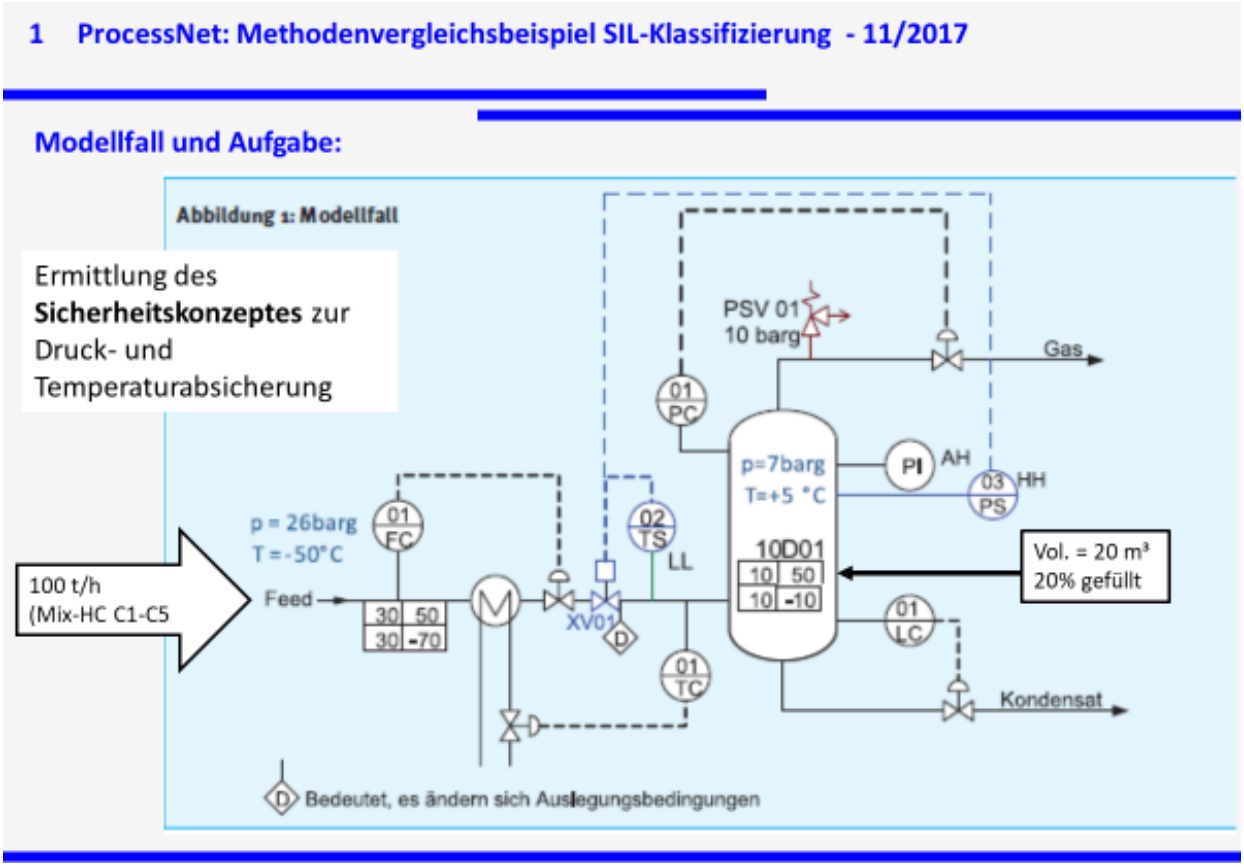
Wie der Tabelle 2 im Methodenvergleich zu entnehmen ist, beteiligten sich an dem Ringvergleich 13 Anlagenbetreiber, im Folgenden Teams genannt, wobei 3 Teams mehrere Methoden zur Risikoanalyse angewendet haben, so dass insgesamt 18 Risikoanalysenvorlagen.

Die anzuwendende Methodik der Risikoanalyse wurde den Teams freigestellt. Es kamen 3 Methoden der Risikoanalyse zur Anwendung:

* Risikograph nach VDI/VDE 2180
* Unternehmensinterne Risikomatrizen
* LOPA (Layer of Protection Analysis)

Sie wurden mit A, B und C bezeichnet, wobei eine Zuordnung der Methoden zu A, B oder C nicht benannt wurde.

Folie 5



Die Folie 5 zeigt das verfahrenstechnische Schema der vorgegebenen Modellanlage.

Ein Stoffstrom von 100 t/h, bestehend aus einem Gemisch von C1- bis C5- Kohlenwasserstoffen, wird dem Wärmetauscher bei -50 °C und 26 barg zur Erwärmung auf ca. 5- 10 °C zugeführt. Der erwärmte Kohlenwasserstofffeed wird über das Regelventil X01 auf den Druck des Verdampfers 10D01 von 7 barg entspannt und gelangt in den 10D01. Hier verdampfen die Kohlenwasserstoffe mit der geringen C-Zahl und gehen als „Gas“ zur nächsten Verarbeitungsunit.

Die nichtverdampften Kohlenwasserstoffe mit der höheren C-Zahl verlassen am Boden des 10D01 als „Kondensat“ ebenfalls zu einer weiteren Verarbeitungsunit.

Über eine Füllstandsregelung LC01 wird ein konstanter Level von 20% gehalten. Über die Druckregelung PC01 erreicht man einen konstanten Druck von 7 barg. Die Temperatur letztendlich wird bei +5 °C mit der Temperaturregelung TC01 konstant gehalten.

Was noch zu bemerken ist, der 20 m³-große Behälter 10D01 ist zugelassen für einen Druckbereich von -1 barg bis 10 barg und für einen Temperaturbereich von -10 °C bis + 50 °C!

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 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

In der vorgegebenen HAZOP- Analyse werden die Fälle:

* höherer Druck im 10D01
* niedrigere Temperatur im 10D01

vorgegeben. Keine Angaben wurden zu Schadensausmaßklasse oder Eintrittshäufigkeit gemacht.

Bevor wir zu den konkreten HAZOP-Fällen kommen, kurz zu den gesetzlichen Vorgaben von Risikoanalyen.

Folie 6

2 Methoden Gefahren-/Risikoanalysen

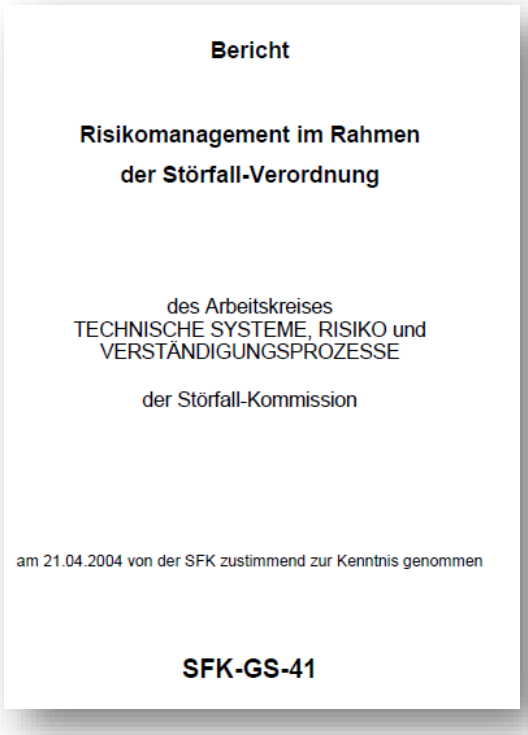
Gesetzlichkeiten und übliche Vorgehensweise:

Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
(**Störfall-Verordnung - 12. BImSchV,** Ausgabe 03/2017)

Ermittlung und Analyse der Risiken von Störfällen und Mittel zur Verhinderung solcher Störfälle (**Gefahren-/Risikoanalyse)**
Methoden dazu sind im Bereich der verfahrenstechnischen Prozessanlagen:

- Störfall-Abwehr-Analysen (Ereignisablaufanalyse) (DIN 25419)
- FMEA (Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (DIN EN 60812)
- Fehlerbaumanalysen (DIN 25424)
- Zürich-Methode
- Reactive Chemicals / Process Hazard Analysis (Dow Chemical)
- HAZOP – Application Guide (IEC 61882)
- **PAAG-Verfahren (Hazop-Analysis)** **(BG RCI)**
- Risikograph (VDI/VDE-RL 2180)
- **LOPA – Layer of Protection Analysis** **(IEC-61511; Dow)**

Risiko- und Gefahrenanalyen sind in der Störfallverordnung, der 12. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz, gefordert. Dort werden die Ermittlung und Analyse der Risiken von Störfällen und Mittel zur Verhinderung solcher Störfälle verlangt. Methoden dazu sind im Bereich der verfahrenstechnischen Prozessanlagen:



In einem Bericht der Störfallkommission gibt es eine Bewertung dieser Verfahren sowie Empfehlungen zur Anwendung.

Obwohl diese Ausarbeitung von 2004 stammt, sind auch heute sehr viele Aussagen und Bewertungen der Störfallkommission immer noch gültig.

Folie 7

2 Methoden Gefahren-/Risikoanalysen

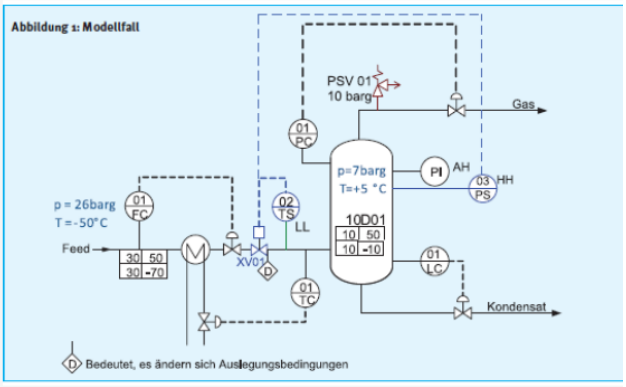
Auswahl der Methode zur Zeit

in Deutschland üblich:

* PAAG-Verfahren (Hazop-Analysis)
* Risikograph (VDI/VDE-RL 2180)

in anglistischen Ländern (USA, GB) üblich:

* LOPA – Layer of Protection Analysis



Durchführung der Gefahren-/Risiko-Analyse

Teamzusammensetzung: Verfahrensgeber/Anlagenbetreiber, Verfahrenstechnik, Instanthaltung, Sicherheitsspezialisten, MSR-Spezialisten, …

Gegenwärtig hat sich in Deutschland herauskristallisiert, dass man in der Regel eine HAZOP, sprich PAAG durchführt. Ergibt sich im bei einem PAAG-Fall ein „Sicherheits-relevanter Zustand“, der mit einem „PLT-Sicherheitssystem“ abzuwenden ist, wird anschließend nach dem Risikograph aus der VDI/VDE-RL-2180 der notwendige Sicherheitslevel SIL bestimmt. Der SIL-Level liegt zwischen 1 und 4, wobei der SIL-4 wegen des überproportionalen Aufwandes möglichst zu vermeiden ist.

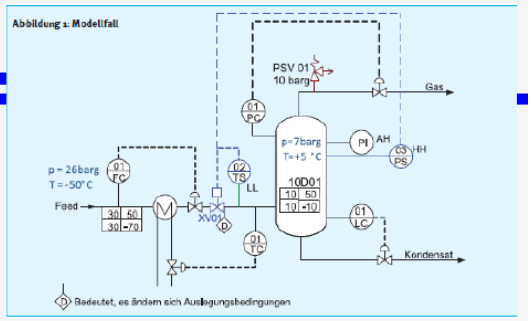
In den anglistischen Ländern, wie USA, GB ist es üblich, eine LOPA, Layer of Protection Analysis durchzuführen. Für PLT-Sicherheitssysteme (SIS) wird hier ebenfalls der SIL-Level ermittelt. Doch dazu später im Vortrag im Detail.

Unabhängig mit welcher Methode die Gefahren-/Risikoanalyse durchgeführt wird, sie erfolgt in der Regel in Teamarbeit. Hier sitzen Verfahrensgeber/Anlagenbetreiber, die Verfahrenstechnik, die Instanthaltung, ev. Anlagenfahrer, MSR-Spezialisten und wenn notwendig, weitere Sicherheitsspezialisten, wie Feuerwehr-, Chemie-, Prozessanalytik-; Umweltspezialisten zusammen. Es folgt daraus immer eine Teamentscheidung zur Prozesssicherheit!

Folie 8

3 Ringvergleich: hoher Druck

Szenario:
Unzulässig hoher Druck im 10D01



PAAG - Analyse:

PAAG-Analyse

Lfd.Nr.	Zustandsgröße	Leitwort	Abweichung	Mögliche Ursachen	Auswirkungen	Erkennbarkeit Gegenmaßnahmen Schutzvorkehrungen	Kommentare
Text der Hazop aus dem Methodenvergleich							
10D01.1	Druck 10D01	mehr	Zu hoher Druck im 10D01	Regler PC01 defekt, schließt Regelventil	Unzulässig hoher Druck im 10D01, Behälterversagen, unkontrollierte Stofffreisetzung; Brand- und Explosionsgefährdung mit möglichen Todesfällen	PI (AH) SIS PS03HH PSV01	Unklar: Wie schnell schließt XV01? Noch Zulauf zum10D01!
10D01.2	Druck 10D01	mehr	Zu hoher Druck im 10D01	Regler FC01 defekt, Ventil öffnet voll	Unzulässig hoher Druck im 10D01, Behälterversagen, unkontrollierte Stofffreisetzung; Brand- und Explosionsgefährdung mit möglichen Todesfällen	PI (AH) SIS PS03HH PSV01	Unklar: Wie was ist der maximal mögliche Feed bei voll geöffneten FV?

Doch zurück zum Methoden- bzw. Ringvergleich.

Das 1. Scenario, was sicherheitstechnisch gelöst werden muss, ist der unzulässig-erhöhte Druck im Verdampfer 10D01. Hier sei kurz die vorgegebene HAZOP/PAAG erläutert:

Es wird als Abweichung „Zu hoher Druck“, also oberhalb der zulässigen Betriebsgrenzen von 10 barg, angenommen.

Als „mögliche Ursachen“ werden angesetzt, einmal -der Regler PC01 ist defekt, er schließt das dazugehörige Regelventil. Als zweiten Fall wird angenommen, der Feed-Regler F01 ist fehlerhaft und öffnet das dazugehörige Regelventil.

Als prozesstechnische Auswirkung wird passieren, der Druck im Verdampfer wird unzulässig ansteigen, den zulässigen Betriebsdruck von 10 barg überschreiten, der Zulaufdruck ist 26 barg. Es ist zu erwarten, dass der Druckbehälter versagt, in der Regel reißt eine der Schweißnähte. Dadurch wird das Kohlenwasserstoffgemisch austreten mit der Folge der Brand- und Explosionsgefährdung in der Behälterumgebung. Da dort sich Personen aufhalten können, sind bei einer Explosionsfolge 1 bis 2 Tode möglich.

Damit ist ein „Sicherheitsrelevanter Zustand“, gegeben und als „Gegenmaßnahme/Schutzvorkehrung“ wird ein „PLT-Sicherheitssystem“ SIS-PS03HH empfohlen. Nach der Druckgeräterichtlinie wird bei Druckbehältern meist eine Druckentlastungseinrichtung gefordert, sprich ein Sicherheitsventil. Das heißt, es wurden für den Ringvergleich mit 2 Varianten vorgegeben:

Variante 1: mit Sicherheitsventil

Variante 2: ohne Sicherheitsventil

Folie 9

3 Ringvergleich: hoher Druck

Szenario:
Unzulässig hoher Druck im 10D01

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

Ergebnis des Ringvergleiches (Methodenvergleich):

Teams	Methode	Anforderungen an P-Absicherung **Variante 1 mit PSV**		Anforderungen an P-Absicherung **Variante 2 ohne PSV**		
		Kein SIL	SIL-1	SIL-2	2 x SIL-2	SIL-3
9	A	6	3	2	(1)	7
3	B	2	1	1		2
6	C	3	3	4		2
18		61%	39%	39%	6%	61%

Wie vorn beschrieben, erfolgte von den 13 Teams unabhängig eine Bewertung nach den 3 Methoden. Im Ergebnis wird die Tabelle 2 im Methodenvergleich angegeben.

Schaut man „oberflächlich“ über die Ergebnisse, liegen bei der Variante 1 „mit SV“ die SIL-Level zwischen „kein SIL“ und SIL-1. Bei Variante 2 liegen die Bewertungen zwischen SIL-2 oder SIL-3.

Schaut man sich die Ergebnisse doch mal genauer an, das heißt bezogen auf die Methode, gibt es doch Unterschiede:

Bei Anwendung der Methode A verlangen 6 Teams keine SIS, 3 neben dem SV noch eine SIS mit SIL-1. Bei Anwendung von C verlangen 3 keine SIS, 3 noch eine SIS mit SIL-1.

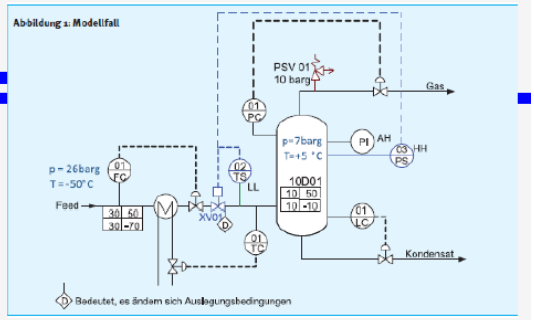
Mit anderen Worten: bei Anwendung der Methode

A kommen 6 von 9 Teams (67%),
B kommen 2 vom 3 Teams (67%),
C kommen 3 von 6 Teams (50%) zu unterschiedlichen Ergebnissen.

Folie 10

4 Ringvergleich: niedrige Temperatur

Szenario:
Unzulässig niedrige Temperatur im 10D01



PAAG - Analyse:

PAAG-Analyse

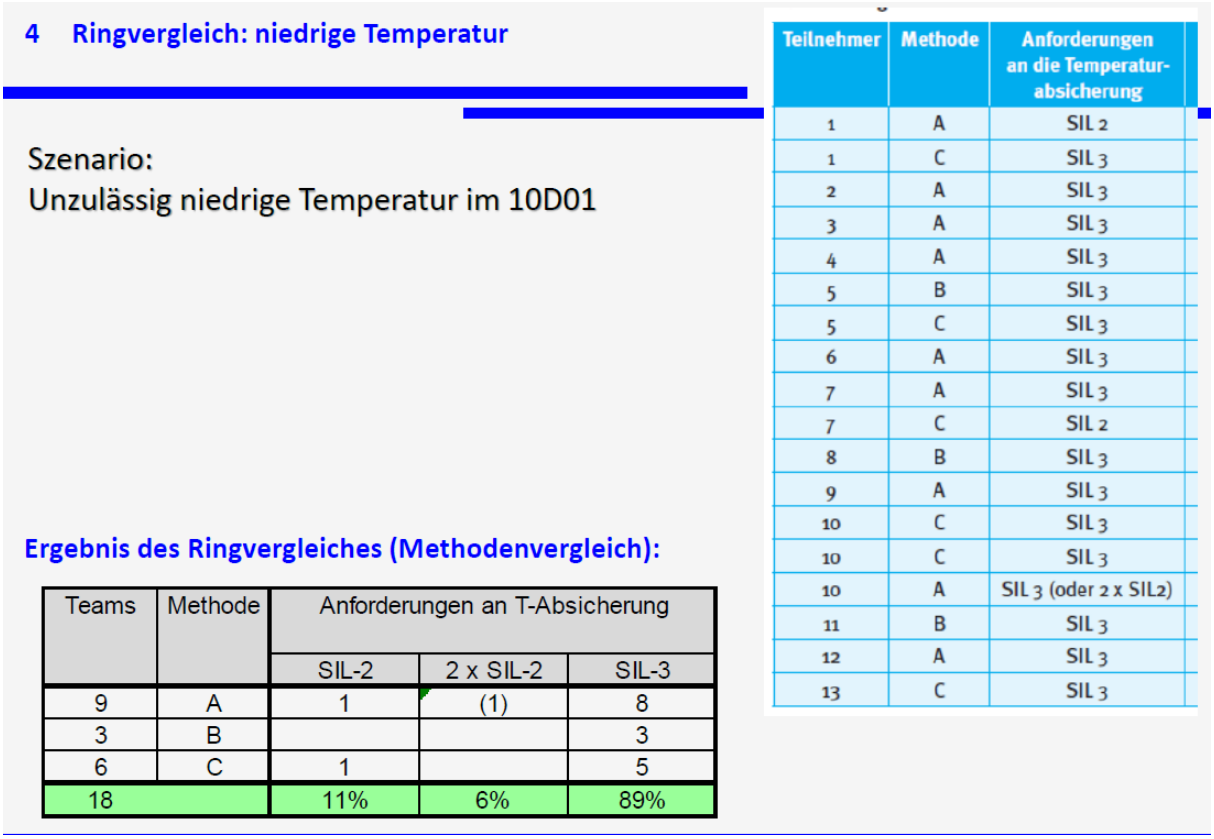
Lfd.Nr.	Zustandsgröße	Leitwort	Abweichung	Mögliche Ursachen	Auswirkungen	Erkennbarkeit Gegenmaßnahmen Schutzvorkehrungen	Kommentare
Text der Hazop aus dem Methodenvergleich							
10D01.3	Temperatur 10D01	weniger	Zu geringe Temperatur im 10D01	Ausfall Wärmeträger	Unzulässig niedrige Temperatur im 10D01, Kaltversprödung, dadurch Behälterversagen, unkontrollierte Stofffreisetzung; Brand- und Explosionsgefährdung mit möglichen Todesfällen	TC01 SIS TS02LL	Unklar: Wie schnell sinkt die Temperatur unter die zulässige Auslegungstemperatur des Behälters?
10D01.4	Temperatur 10D01	weniger	Zu geringe Temperatur im 10D01	Regler TC01 defekt, schließt Regelventil	Unzulässig niedrige Temperatur im 10D01, Kaltversprödung, dadurch Behälterversagen, unkontrollierte Stofffreisetzung; Brand- und Explosionsgefährdung mit möglichen Todesfällen	SIS TS02LL	Unklar: Wie schnell sinkt die Temperatur unter die zulässige Auslegungstemperatur des Behälters?

Zurück zu den HAZOP-Szenarien des Beispiels. Das 2. Scenario ist eine unzulässige Temperatur im Verdampfer. Das kann passieren, wenn der Wärmeträger ausfällt bzw. der Temperaturregler TC01 durch Fehler das Regelventil schließt. Dann wird der Kohlenwasserstofffeed nicht mehr erwärmt und strömt mit einer Temperatur von -50 °C in den Verdampfer 10D01. Dort sinkt die Temperatur unter die zulässige Betriebstemperatur des Verdampfers von -10 °C. Die Folge ist, das Behältermaterial versprödet (Kaltversprödung), versagt und es erfolgt ebenfalls eine Stofffreisetzung mit der Folge der Brand- und Explosionsgefährdung in der Behälterumgebung. Da dort sich Personen aufhalten können, sind bei einer Explosionsfolge 1 bis 2 Tode möglich, analog wie im Druckfall.

Damit ist ebenfalls ein „Sicherheitsrelevanter Zustand“, gegeben und als „Gegenmaßnahme/Schutzvorkehrung“ wird ein „PLT-Sicherheitssystem“ SIS-TPS02LL empfohlen.

Prozesstechnisch ist hier zu fragen, wie schnell der Zustand der Kaltversprödung eintritt, denn das kann Einfluss auf die notwendigen Schutzmaßnahmen haben.

Folie 11



4 Ringvergleich: niedrige Temperatur

Szenario:
Unzulässig niedrige Temperatur im 10D01

Ergebnis des Ringvergleiches (Methodenvergleich):

Teams	Methode	Anforderungen an T-Absicherung		
		SIL-2	2 x SIL-2	SIL-3
9	A	1	(1)	8
3	B			3
6	C	1		5
18		11%	6%	89%

Teilnehmer	Methode	Anforderungen an die Temperatur-absicherung
1	A	SIL 2
1	C	SIL 3
2	A	SIL 3
3	A	SIL 3
4	A	SIL 3
5	B	SIL 3
5	C	SIL 3
6	A	SIL 3
7	A	SIL 3
7	C	SIL 2
8	B	SIL 3
9	A	SIL 3
10	C	SIL 3
10	C	SIL 3
10	A	SIL 3 (oder 2 x SIL2)
11	B	SIL 3
12	A	SIL 3
13	C	SIL 3

Die nächste Folie zeigt wiederum die Ergebnisse der Risikobewertung dieses Falls durch die 13 Teams mit den 3 unterschiedlichen Methoden zur Risikobewertung.

Hier liegen die SIL-Bewertungen ausnahmslos zwischen SIL-2 und SIL-3. Ein Team würde statt einer SIL-3 PLT-Sicherheitseinrichtung zwei SIS mit dem SIL-2 Level einsetzen.

Schaut man wieder etwas genauer hin, erhalten die Teams mit den unterschiedlichen Methoden auch unterschiedliche SIL-Levels.

Folie 12

5 Zusammenfassung der Ergebnisse des Ringvergleiches

Teams	Methode	Anforderungen an T-Absicherung		
		SIL-2	2 x SIL-2	SIL-3
9	A	1	(1)	8
3	B			3
6	C	1		5
18		11%	6%	89%

Teams	Methode	Anforderungen an P-Absicherung **Variante 1 mit PSV**		Anforderungen an P-Absicherung **Variante 2 ohne PSV**		
		Kein SIL	SIL-1	SIL-2	2 x SIL-2	SIL-3
9	A	6	3	2	(1)	7
3	B	2	1	1		2
6	C	3	3	4		2
18		61%	39%	39%	6%	61%

Fazit:

Es zeigte sich, dass die unterschiedlichen Methoden innerhalb der eigenen Schwankungsbreite zu gleichen Ergebnissen führen. Schlussfolgernd wird keine Notwendigkeit gesehen, eine einheitliche Risiko-Bewertungsmethode zur Festlegung der Anforderungen an Einrichtungen der funktionalen Sicherheit zu entwickeln.

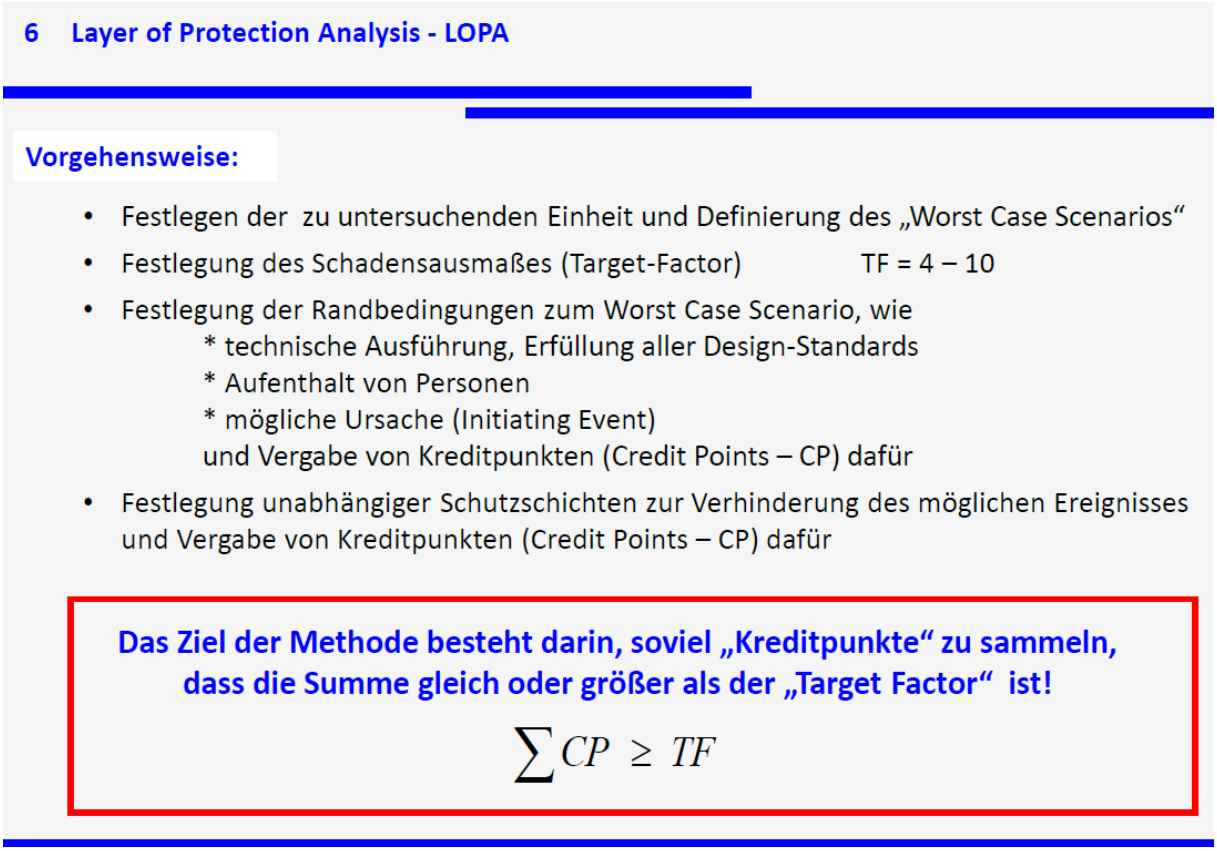
??????

Deshalb kann ich die Schussfolgerung der Autoren des Methodenvergleiches nicht unbedingt in ihrem Fazit teilen, dass die unterschiedlichen Methoden innerhalb der Schwankungsbreite zu gleichen Ergebnissen führen!

Es ist schon ein gewaltiger Unterschied, ob zur Prozesssicherung eines Falles ein PLT-Sicherheitssystem mit SIL-2 oder SIL-3 zu installieren ist, zumal die die Zuverlässigkeit einer SIL-2 SIS eine Zehnerpotenz „Unzuverlässiger“ ist als die SIL-3 SIS.

Hier sind aus meiner Sicht die Schlussfolgerungen des Autorenteams nochmals zu überdenken.

Folie 13



Aber nun zum eigentlichen Thema: Anhand des konkreten technologischen Beispiels möchte ich Ihnen die LOPA-Methodik mit ihren Bewertungsvorzügen darlegen.

Kommen die Bewerter über die HAZOP mit anschließender Risikobewertung nach Risikograph in der Regel zu PLT-Sicherheitssystemen mit hohen SIL-Leveln, wie SIL-3, geht der LOPA-Ansatz methodisch anders heran.

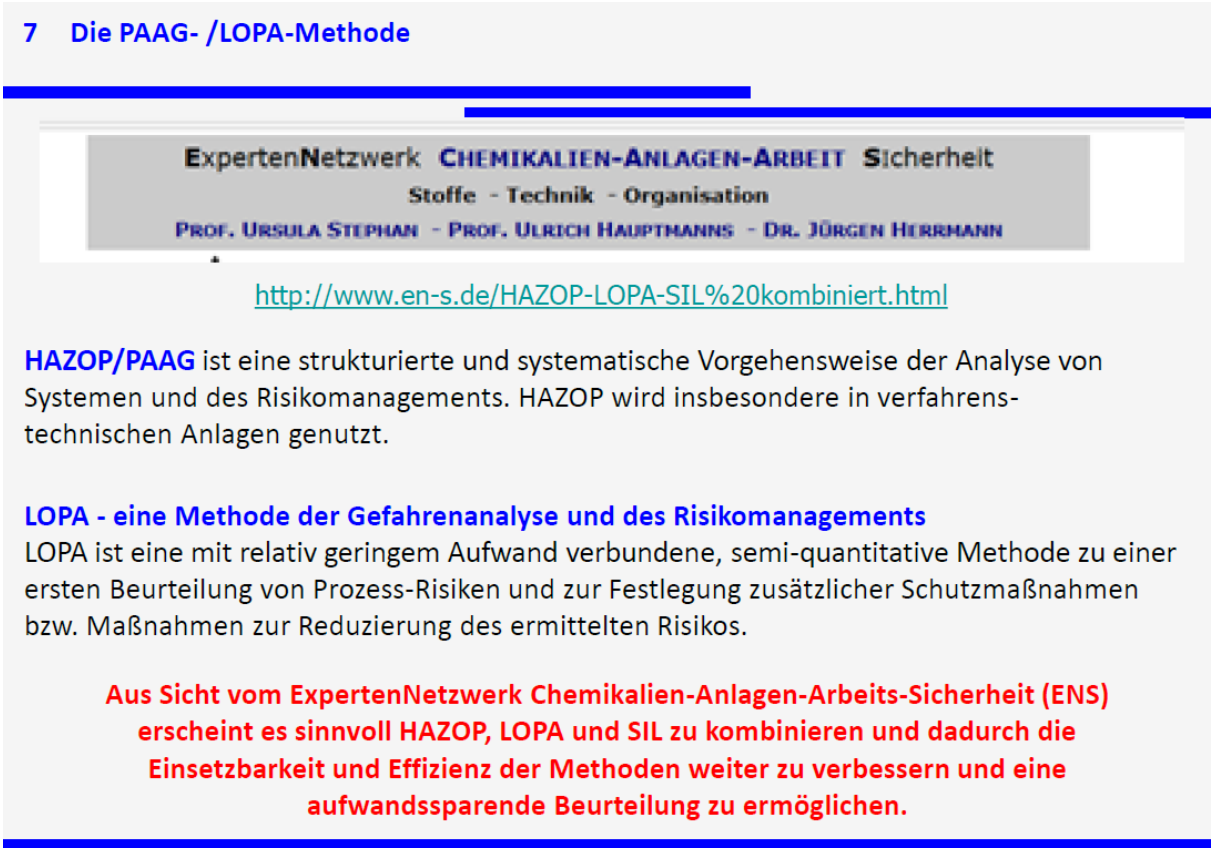
Auf der Basis des zu erwartenden Schadensausmaß wird dafür ein Target-Faktor vergeben. Dieser liegt erfahrungsgemäß zwischen 4 und 10, wobei 10 für das größte Schadensausmaß vergeben wird.

Im nächsten Schritt werden die Randbedingungen für den Fall definiert, wie technische Ausführung, Aufenthalt von Personen, die zu Schaden kommen können und die Vorgabe des Initiating Events, was das Ereignis ausgelöst hat. Für diese konkreten Randbedingungen werden entsprechende „Credit-Points“ vergeben.

Anschließend sind „unabhängig-wirkende Schutzmaßnahmen zu vergeben, die ebenfalls Kreditpunkte erhalten. Die Anzahl der Kredits hängt dabei von der „Zuverlässigkeit“ der jeweiligen Schutzmaßnahme ab und ist in Tabellen festgelegt. PLT-Sicherheitseinrichtungen SIS erhalten so viel Kreditpunkte entsprechend des SIL-Levels. Eine SIS mit SIL-2 erhält 2 Kreditpunkte!

Das Ziel der LOPA besteht nun darin, so viel Kredits „durch unabhängige Schutzmaßnahmen“ zu sammeln, dass die Summe der Kredits gleich oder größer dem Target-Faktor ist.

Folie 14



Kombiniert man nun die LOPA mit dem PAAG-/HAZOP-Verfahren, erhält man eine effiziente Kombi-Methode zur Risiko-/Gefährdungsanalyse, die eine aufwandsparende Möglichkeit der Durchführung bietet und gleichzeitig für die PLT-Sicherheitseinrichtungen den SIL-Level bestimmt. Dadurch erarbeitet man sich für die zu bewertende Technologie ein in sich stimmiges Sicherheitskonzept, was den Ansprüchen genügt, das verbleibende Restrisiko unter das vorgegebene Grenzrisiko zu bringen.

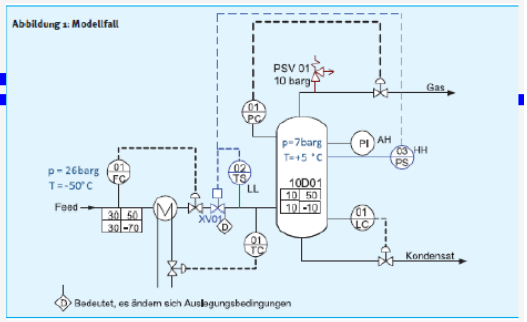
Empfohlen wird diese Vorgehensweise in den letzten Jahren unter anderem von der BG RCI und dem hier zitierten Expertennetzwerk Chemikalien-Anlagen-Arbeitssicherheit.

http://www.en-s.de/HAZOP-LOPA-SIL%20kombiniert.html

Folie 15

8 PAAG/LOPA - Verfahren – Beispiel hoher Druck

Szenario:
Unzulässig hoher Druck im 10D01



PAAG-Analyse

Lfd.Nr.	Zustandsgröße	Leitwort	Abweichung	Mögliche Ursachen	Auswirkungen	Erkennbarkeit Gegenmaßnahmen Schutzvorkehrungen	Kommentare
Eigene PAAG-LOPA							
10D01.1	Druck 10D01	mehr	Zu hoher Druck im 10D01	Regler PC01 defekt, schließt Regelventil	Unzulässig hoher Druck im 10D01, dadurch Behälterversagen, dadurch Austritt von Mix HC C1-C5 (mindestens 4 t, Hazard-Cat- C -> TF = 7); dadurch Brand- und Explosionsgefährdung mit möglichen Todesfällen (1-2) (TF = 6)	PI (AH) SIS PS03HH PSV01	Unklar: Wie schnell schließt XV01? Noch Zulauf zum10D01!
10D01.2	Druck 10D01	mehr	Zu hoher Druck im 10D01	Regler FC01 defekt, Ventil öffnet voll	Unzulässig hoher Druck im 10D01, dadurch Behälterversagen, dadurch Austritt von Mix HC C1-C5 (mindestens 4 t, Hazard-Cat- C -> TF = 7); dadurch Brand- und Explosionsgefährdung mit möglichen Todesfällen (1-2) (TF = 6)	PI (AH) SIS PS03HH PSV01	Unklar: Wie schnell schließt XV01? Noch Zulauf zum10D01!

Aber lassen sie uns mit dieser PAAG-LOPA-Methode beide Fälle des Beispiels durchgehen:

Der 1. Case war der unzulässig hohe Druck im 10D01. Hier ist noch einmal die PAAG-Tabelle dargestellt. Allerdings wurden hier die Auswirkungen des unzulässig hohen Druckes noch mit dem LOPA-Target-Faktor für die Auswirkungen präzisiert.

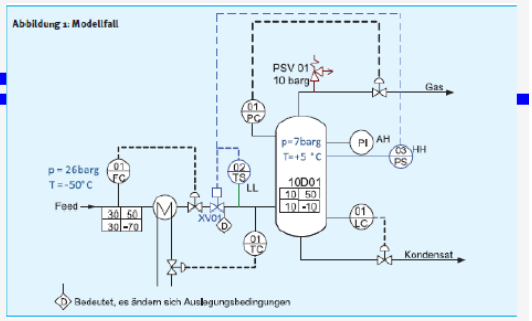
Für den möglichen Austritt der 4 t Kohlenwasserstoffe werden nach den LOPA-Regeln die Kohlenwasserstoffe in der HAZARD-Kategorie „C“ eingestuft und nach der Mengen-Tabelle ungewollter Chemikalienfreisetzung erhält man den TF = 7.

Legt man die mögliche Explosion mit 1-2 Tode zu Grunde, würde sich der TF = 6 ergeben. Erfahrungsgemäß nimmt man bei unterschiedlichen Bewertungen den höchsten TF.

Folie 16

8 PAAG/LOPA - Verfahren – Beispiel hoher Druck

Szenario:
Unzulässig hoher Druck im 10D01



Lfd. Nr.	LOPA-Analyse: Randbedingunen								
	Worst Case Scenario/ Abweichung PAAG Abweichung	Auswirkung/ Schadensausmaß PAAG Auswirkung	LOPA TF 4 - 10 TF	Mögliche Ursache/ Initiating Event PAAG Ursache	CP	Aufenthaltsdauer Personen	CP	Ordentl. Ausführung Equipment	CP	noch offene Credits CP
10D01.1	Zu hoher Druck im 10D01	Unzulässig hoher Druck im 10D01, dadurch Behälterversagen, dadurch Austritt von Mix HC C1-C5 (mindestens 4 t, Hazard-Cat- C -> TF = 7); dadurch Brand- und Explosionsgefährdung mit möglichen Todesfällen (1-2) (TF = 6)	7	Regler PC01 defekt, schließt Regelventil	1	1 - 2 Personen sind öfters in der Nähe	0	Alle zutreffenden Standards und Richtlinien eingehalten	2	4
10D01.2	Zu hoher Druck im 10D01	Unzulässig hoher Druck im 10D01, dadurch Behälterversagen, dadurch Austritt von Mix HC C1-C5 (mindestens 4 t, Hazard-Cat- C -> TF = 7); dadurch Brand- und Explosionsgefährdung mit möglichen Todesfällen (1-2) (TF = 6)	7	Regler FC01 defekt, Ventil öffnet voll	1	1 - 2 Personen sind öfters in der Nähe	0	Alle zutreffenden Standards und Richtlinien eingehalten	2	4

Der erste Teil der LOPA – Analysentabelle stellt noch einmal den Case mit seinen Randbedingungen dar.

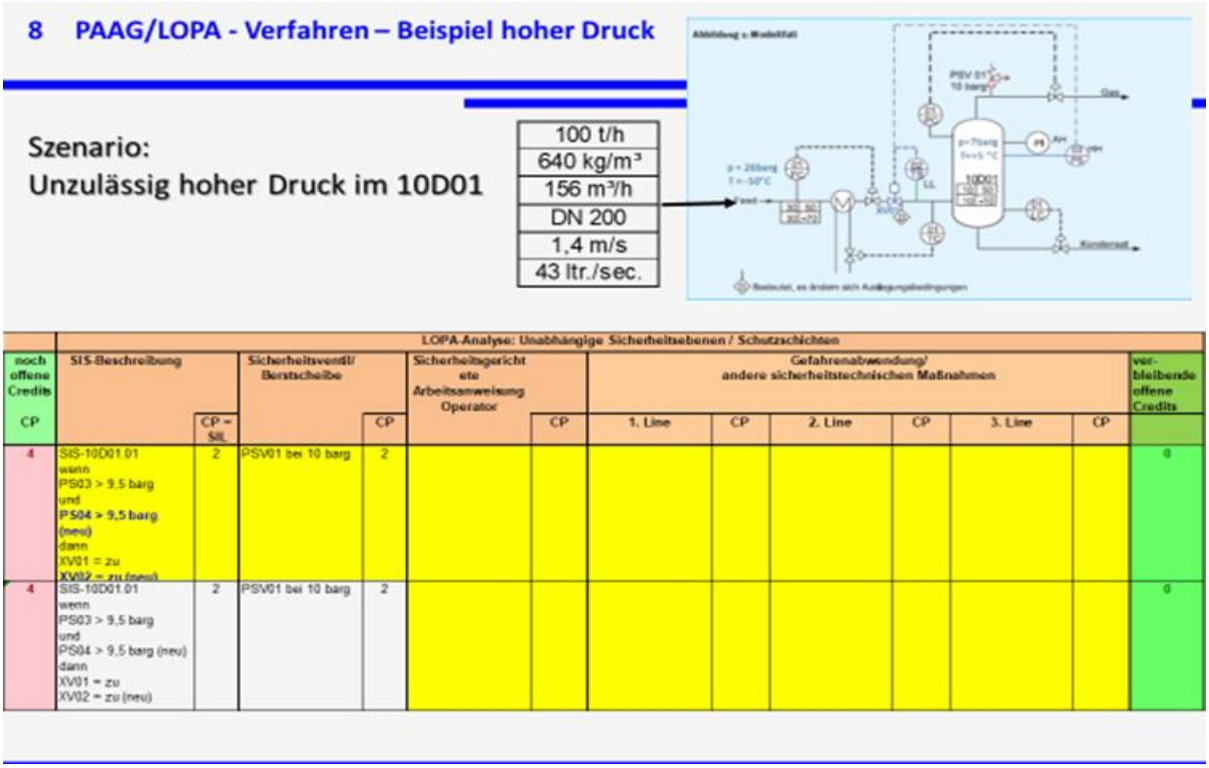
Der Worst Case ist identisch mit der „PAAG-Abweichung“, die Auswirkung/das Schadensausmaß mit der „PAAG-Auswirkung“ und das Initiating Event entspricht der „PAAG-Ursache“.

Neu ist, dass die drei Kategorien mit Werten belegt werden.

Hinzu kommt die Einschätzung, ob Personen in der Nähe des Schadens sich befinden und wie technologisch die Anlage zu bewerten ist. Das wird entsprechend den LOPA-Regeln ebenfalls mit Kredits bewertet. Auf die Einzelheiten der Kreditbewertung kann hier im Vortrag nicht eingegangen werden und wird vorausgesetzt.

In unserem konkreten Fall haben wir bei einem TF von 7 drei Kredits durch die Randbedingungen erzielt. Damit liegt noch ein Sicherheitsabweichung von 4 Kredits vor.

Folie 17



Im zweiten Teil der LOPA-Analysentabelle geht es um die notwendigen unabhängigen Schutzmaßnahmen, die zu ergreifen sind, um das Sicherheits-Gap von 4 abzubauen.

Hier bietet sich der Einsatz eines Sicherheitsventils an, was mit 2 Kredits bewertet wird und der Einsatz einer PLT-Sicherheitseinrichtung in SIL-2 Qualität = 2 Kredits.

Damit verbleiben keine offenen Kredits.

Der Einsatz der SIS, die man schon bei 9,5 barg schalten lässt, hat den Vorteil, dass in der Regel das Sicherheitsventil selbst als Schutzschicht nicht aktiviert wird. Das spart Instandhaltungskosten. Beachtet werden muss hierbei, dass die SIS nicht zu langsam schaltet, sonst steigt im Behälter der Druck doch über 10 barg und das SV öffnet. Hier sind Schließzeiten und Verarbeitungszeiten zu beachten, Hinweis auf die Prozessdaten. Gleichzeitig sind prozesstechnische Kenntnisse über den möglichen Druck-Zeit-Verlauf notwendig!

Ergebnis des Ringvergleiches (Methodenvergleich)

Teams	Methode	Anforderungen an P-Absicherung **Variante 1 mit PSV**	
		Kein SIL	SIL-1
9	A	6	3
3	B	2	1
6	C	3	3
18		61%	39%

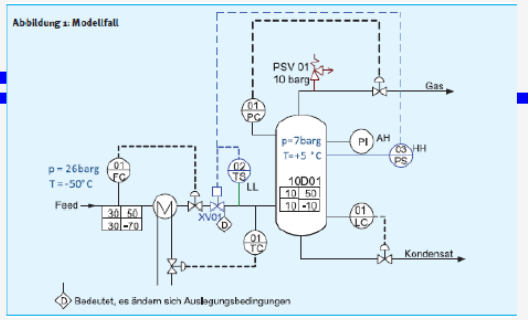
Vergleicht man das mit den Ergebnissen des Methodenvergleiches, stellt man fest, dass die LOPA hier bedeutend „strengere Maßstäbe“ an die Zuverlässigkeit der Schutzeinrichtungen anlegt.

Eine SIS in SIL-2 bedeutet, dass ein 2. Drucksensor und ein weiteres Blockventil in der Zuleitung zu installieren ist (2-kanalige Ausführung).

Folie 18

9 PAAG/LOPA - Verfahren – Beispiel niedrige Temperatur

Szenario:
Unzulässig niedrige Temperatur im 10D01



PAAG-Analyse

Lfd.Nr.	Zustandsgröße	Leitwort	Abweichung	Mögliche Ursachen	Auswirkungen	Erkennbarkeit Gegenmaßnahmen Schutzvorkehrungen	Kommentare
10D01.3	Temperatur 10D01	weniger	Zu geringe Temperatur im 10D01	Regler TC01 defekt, schließt Regelventil	Unzulässig niedrige Temperatur im 10D01, Kaltversprödung, dadurch Behälterversagen, dadurch Austritt von Mix HC C1-C5 (mindestens 4 t, Hazard-Cat- C -> TF = 7); dadurch Brand- und Explosionsgefahrdung mit möglichen Todesfallen (1-2) (TF = 6)	SIS TS02LL	Unklar: Wie schnell sinkt die Temperatur unter die zulässige Auslegungstempera tur des Behälters?
10D01.4	Temperatur 10D01	weniger	Zu geringe Temperatur im 10D01	Ausfall Wärmeträger wird separat in der WT-Unit abgesichert, deshalb CP=2	Unzulässig niedrige Temperatur im 10D01, Kaltversprödung, dadurch Behälterversagen, dadurch Austritt von Mix HC C1-C5 (mindestens 4 t, Hazard-Cat- C -> TF = 7); dadurch Brand- und Explosionsgefahrdung mit möglichen Todesfallen (1-2) (TF = 6)	TC01 SIS TS02LL	Unklar: Wie schnell sinkt die Temperatur unter die zulässige Auslegungstempera tur des Behälters?

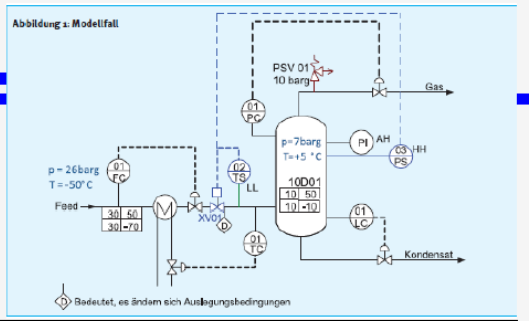
Der zweite Case des Beispiels ist bedeutend interessanter. Warum?

Auch hier wieder zuerst die reine PAAG-Tabelle. Auch hier sind die Auswirkungen ergänzt worden mit der Schadensbewertung in Form des Target Faktors, der sich hier analog dem Druckschadensausmaß zu 7 ergibt. Allerdings ist hier das Schadensausmaß durch die Kaltversprödung des Behälters durch die niedrige Temperatur gegeben. Der Behälter selbst ist nur für eine zulässige Betriebstemperatur von – 10 °C ausgelegt!

Folie 19

9 PAAG/LOPA - Verfahren – Beispiel niedrige Temperatur

Szenario:
Unzulässig niedrige Temperatur im 10D01



Lfd. Nr.	LOPA-Analyse: Randbedingunen								
	Worst Case Scenario/ Abweichung	Auswirkung/ Schadensausmaß	LOPA TF 4 - 10	Mögliche Ursache/ Initiating Event		Aufenthaltsdauer Personen		Ordentl. Ausführung Equipment		noch offene Credits
			TF		CP		CP		CP	CP
10D01.3	Zu geringe Temperatur im 10D01	Unzulässig niedrige Temperatur im 10D01, Kaltversprödung, dadurch Behälterversagen, dadurch Austritt von Mix HC C1-C5 (mindestens 4 t, Hazard-Cat- C -> TF = 7); dadurch Brand- und Explosionsgefährdung mit möglichen Todesfällen (1-2) (TF = 6)	7	Regler TC01 defekt, schließt Regelventil	1	1 - 2 Personen sind öfters in der Nähe	0	Alle zutreffenden Standards und Richtlinien eingehalten	2	4
10D01.4	Zu geringe Temperatur im 10D01	Unzulässig niedrige Temperatur im 10D01, Kaltversprödung, dadurch Behälterversagen, dadurch Austritt von Mix HC C1-C5 (mindestens 4 t, Hazard-Cat- C -> TF = 7); dadurch Brand- und Explosionsgefährdung mit möglichen Todesfällen (1-2) (TF = 6)	7	Ausfall Wärmeträger wird separat in der WT-Unit abgesichert, deshalb CP=2	2	1 - 2 Personen sind öfters in der Nähe	0	Alle zutreffenden Standards und Richtlinien eingehalten	2	3

Schauen wir uns den Teil 1 der dazugehörigen LOPA-Analysentabelle an. Der Unterschied der beiden Fälle liegt im Initiating Event, bei Case 1 ist der Temperaturregler defekt, er schließt fehlerhaft das Regelventil im Wärmeträgerzustrom. Eingeschätzt wird vom Team, das das Ausfallverhalten des Reglers „normal“ ist, deshalb gibt es nur einen CP.

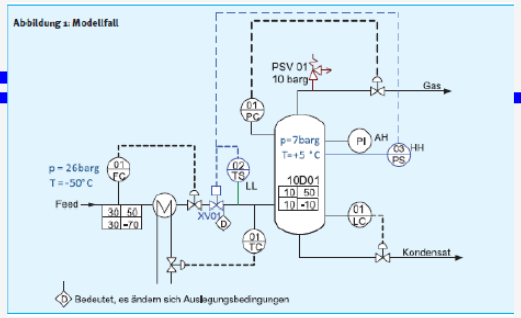
Im 2. Case wird der Ausfall des Wärmeträgers unterstellt. Hier wurden aber schon einige Vorkehrungen in der Wärmeträgerunit technologisch vorgenommen, dass davon ausgegangen werden kann, die Unit fällt in sehr seltenen Fällen aus. In diesem Fall kann man 2 CP vergeben.

Der Unterschied ist damit zwischen beiden Cases, dass einmal 4 und einmal 3 offene Kredits noch zu untersetzen sind.

Folie 20

9 PAAG/LOPA - Verfahren – Beispiel niedrige Temperatur

Szenario:
Unzulässig niedrige Temperatur im 10D01



noch offene Credits	SIS-Beschreibung		Sicherheitsventil/ Berstscheibe		Sicherheitsgerichtete Arbeitsanweisung Operator		Gefahrenabwendung/ andere sicherheitstechnischen Maßnahmen						ver-bleibende offene Credits
CP		CP = SIL		CP		CP	1. Line	CP	2. Line	CP	3. Line	CP	
4	SIS-10D01.02 wenn TS02 < - 5 °C TS03 < - 5 °C (neu) TS04 < - 5 °C (neu) dann XV01 = zu XV02 = zu (neu, durch P-SIS!) XV03 = zu (neu)	3											1
3	SIS-10D01.02 wenn TS02 < - 5 °C TS03 < - 5 °C (neu) TS04 < - 5 °C (neu) dann XV01 = zu XV02 = zu (neu, durch P-SIS!) XV03 = zu (neu)	3											0

Geht man nun formal vor und setzt als Schutz eine PLT-Sicherheitseinrichtung an, müsste im 1. Case eine SIL-4 und im 2. Fall eine SIL-3 vorgesehen werden bzw. im 1. Fall besteht noch eine Sicherheitslücke von 1, das heißt, wir haben mit unserer konzipierten Schutzmaßnahme noch nicht das Grenzrisiko erreicht!

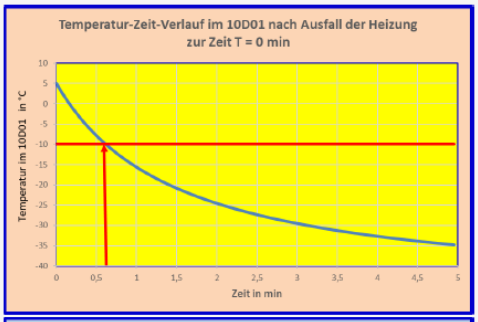
Eine Anwendung einer SIS mit SIL-4 wird selbst in der VDI-RL 2180 nicht empfohlen.

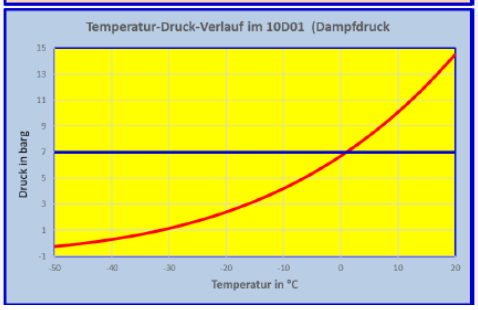
Das kann also nicht das Sicherheitskonzept für diesen Case sein.

Folie 21

9 PAAG/LOPA - Verfahren –
Beispiel niedrige Temperatur

Szenario:
Unzulässig niedrige Temperatur im 10D01





Hier wäre noch zu diskutieren:

1. Einsatz eines Behälters für -50 °C ?
   Ist der Behälter teurer als eine SIS in SIL-3?
2. Wie schnell versprödet der Stahl und wann ist zu erwarten, dass ein Produktaustritt erfolgt ?
   Bei – 50°C ist dann auch der Dampfdruck bedeutend geringer, ca. 0 barg!
   Hat ein Anlagenfahrer ca. 20 Minuten Zeit, das Ereignis zu verhindern?
3. Einsatz einer zuverlässigeren Temperaturregelung, dadurch CP = 2!
4. Druckauswertung,
   da bei T↓ auch P↓ im 10D01!

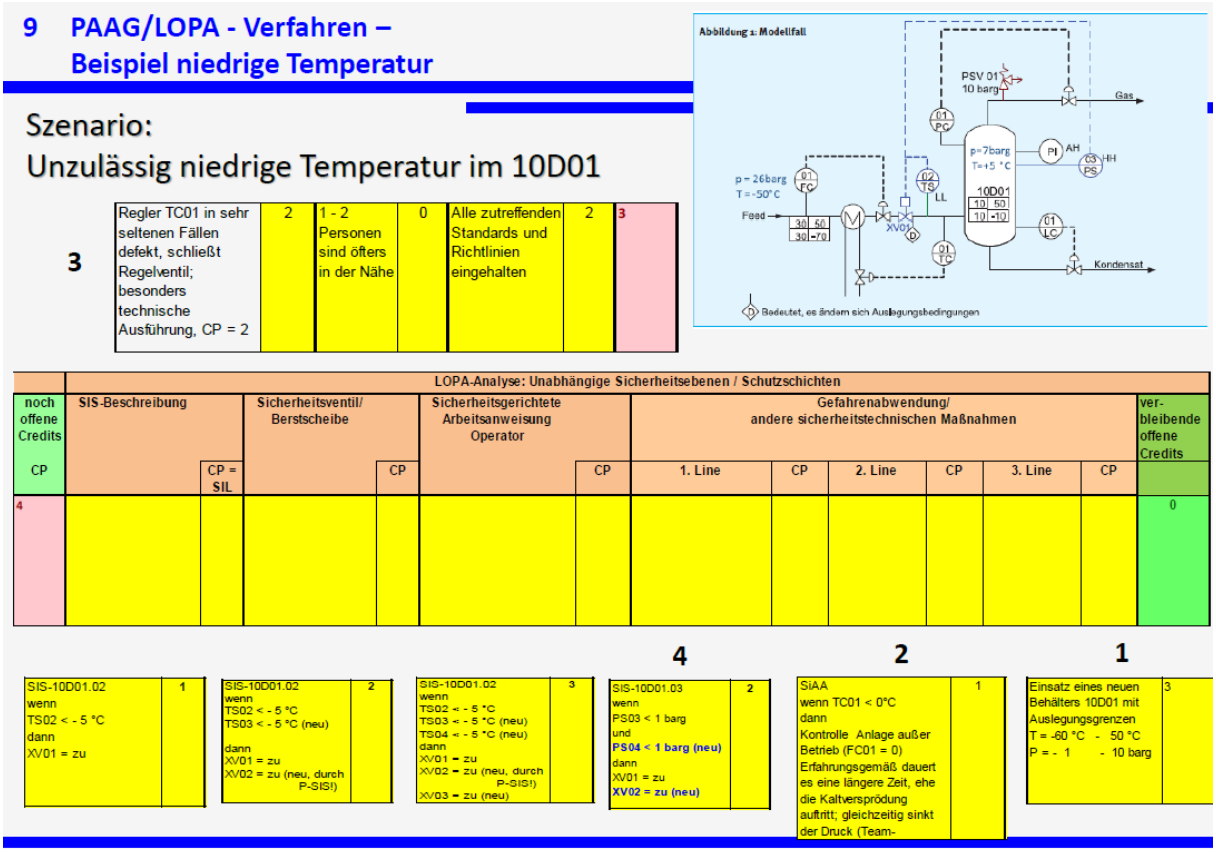
Schaut man sich den Prozess genauer an gibt es zwei wichtige, zu beachtende Prozesserkenntnisse, Diagramm 1 der Temperatur-Zeit-Verlauf im 10D01 nach Ausfall der Heizung: Die untere Betriebstemperatur von -10 °C wird schon nach 35 – 40 Sekunden erreicht!

Diagramm 2 verdeutlicht den (Dampf-)Druck-Temperatur-Verlauf des Kohlenwasserstoffgemisches. Sinkt die Temperatur, geht auch der Druck zurück und bei ca. -40 °C sind im Behälter praktisch Normaldruck.

Da wären mit den Fachleuten noch zu diskutieren die angeführten 4 Vorschläge.

Aus diesen verfahrenstechnisch-technologischen Bewertung ergeben sich dann ganz andere Sichtweisen auf die Prozesssicherung des Behälters bei Heizungsausfall.

Folie 22



Bezieht man diese Erkenntnisse in die LOPA-Methodik mit ein, ergeben sich ganz andere Schutzmöglichkeiten als die PLT-Temperatur-Sicherheitssystem in SIL-2 oder SIL-3.

Bei der Möglichkeit, einen neuen Behälter mit anderen Betriebsgrenzen einzusetzen, die den Störfall einschließt, bringen nach LOPA-Regeln 3 CP. Mit einem zusätzlichen PLT-Temperatur-Sicherheitssystem in SIL-1 erreichen wir die notwendigen 4 CP.

Besteht die Möglichkeit, den Operator zur Abwendung des Schadensfalles mit einzusetzen, ergeben sich andere Möglichkeiten zur prozesstechnischen Absicherung.

Auch wäre zu diskutieren, die Temperaturregelung technisch zuverlässiger auszuführen, bringt Vorteile im Sicherheitskonzept.

Den Druck auch mit heranzuziehen, bietet eine völlig andere Variante der Temperaturabsicherung, zumal hier die Sensorik und die Stelltechnik schon durch das konzipierte PLT-Druck-Sicherheitssystem vorhanden ist.

Auch ist iterativ durch die konkreten Prozesskenntnisse zu fragen, ob er angenommen Target Faktor mit 7 zu hoch angesetzt wurde (konservative Betrachtung), ob

wirklich bei Atmosphärendruck und -50 °C im Behälter praktisch sofort alle 4 t Kohlenwasserstoffe entweichen.

Was ich Ihnen an Hand dieses Falles aufzeigen möchte, ist die Möglichkeit der technologischen Vielfalt, die das LOPA-Verfahren ermöglicht, die prozesstechnische Sicherheit durch unabhängige Schutzschichten zu realisieren.

Aus der Erfahrung kenne ich, dass oft nur nach dem Risikographen bewertet wird und man so nur zu PLT-Sicherheitssystemen kommt, die einen hohen SIL-Level besitzen. Und eine SIS in SIL-3 technisch sauber zu installieren, ist schon sehr kostenintensiv, auch in der späteren Prüfung und Unterhaltung!

Die Temperatur-SIS in SIL-3 technisch auszuführen bei einer so kurzen Reaktionszeit von weniger als 30 Sek. ist schon eine Herausforderung!

Folie 23

10 Zusammenfassung

- Aus dem ProcessNet-Methodenvergleich ergeben sich doch unterschiedliche Sicherheitslevels zur Absicherung der vorgegebenen Anlage, die in der Anwendung unterschiedlicher „Sicherheitsmaßstäbe“ in den Methoden begründet ist (Bestehen unterschiedlicher Restrisiken).
- Die Anwendung PAAG-Verfahren mit anschließender Bewertung nach Risikograph der VDI-RL 2180 führt praktisch nur zur prozesstechnischen Absicherung mittels PLT-Sicherheitseinrichtungen mit hohem SIL-Level.
- Für eine umfassende Gefährdungsanalyse wird zur Zeit eine kombinierte PAAG-LOPA-Methode empfohlen.
- Die Anwendung der PAAG-LOPA-Methode auf das vorgegebene Prozessbeispiel des ProcessNet-Methodenvergleiches zeigt auf, dass zur klaren sicherheitstechnischen Bewertung eine Reihe verfahrenstechnischer Daten und Bedingungen notwendig sind. Fehlen sie, kommt es zu einer konservativen, härteren Bewertung der Szenarien.
- Die Anwendung der PAAG-LOPA-Methode zeigt bei der Analyse und Bewertung mehrere mögliche und praktikable unabhängige Schutzebenen zur Erreichung des Restrisikos auf als andere Methoden

Ich wollte in meinem Vortrag den vor zwei Jahren herausgegebenen Methodenvergleich mit seinem technologischen Beispiel zum Anlass nehmen, mit Ihnen einige Aspekte der sicherheitstechnischen Bewertung zu diskutieren.

Die im Methodenvergleich erzielten Unterschiede in den SIL-Leveln von einer Einheit 1 zeigen letztendlich unterschiedliche Restrisiken der verschiedenen angewendeten Methoden auf.

Mit der angewendeten Risikobewertung nach dem kombinierten PAAG-LOPA-Verfahren bin ich aus meiner Erfahrung der Meinung, dass die PAAG-LOPA einen etwas höheren Aufwand gegenüber anderen Methoden benötigt. Andererseits ergeben sich hier bedeutend mehr Ansätze und Lösungen für die notwendigen Schutzsysteme, bei Auswahl und Anwendung eines PLT-Sicherheitssystems erhält man gleichzeitig den notwendigen SIL-Level.

Die Anwendung der PAAG-LOPA-Methode auf das vorgegebene Prozessbeispiel des ProcessNet-Methodenvergleiches zeigt auf, dass zur klaren sicherheitstechnischen Bewertung eine Reihe verfahrenstechnischer Daten und Bedingungen fehlen. Dadurch kommt es zu einer konservativen, härteren Bewertung der Szenarien.