

Auslöseereignisse

Schutzebenen

Anwendungsbeispiele

Reinhard Preiss | Michael Struckl (Editoren)

# Layer of Protection Analyse (LOPA) zur risikobasierenden Bewertung von Szenarien

Guideline zur Anwendung für prozessbedingte Störungen  
bei der Sicherheitsanalyse von technischen Anlagen

# Impressum

## **Layer of Protection Analyse (LOPA) zur risikobasierenden Bewertung von Szenarien**

Guideline zur Anwendung für prozessbedingte Störungen  
bei der Sicherheitsanalyse von technischen Anlagen

2. Auflage 2017

Dipl.-Ing. Dr. Reinhard Preiss und Dipl.-Ing. Dr. Michael Struckl (Editoren)

Medieninhaber:

TÜV AUSTRIA AKADEMIE GMBH

Leitung: Mag. (FH) Christian Bayer, Rob Bekkers, MSc BSc

1100 Wien, Gutheil-Schoder-Gasse 7a/3. OG

Tel.: +43 (0)1 617 52 50-0

Fax: +43 (0)1 617 52 50-8145

E-Mail: [akademie@tuv.at](mailto:akademie@tuv.at)

[www.tuv-akademie.at](http://www.tuv-akademie.at)

Produktionsleitung: Mag. Judith Martiska

Layout: Markus Rothbauer

Druck: Paul Gerin GmbH & Co. KG

Coverfoto: fotolia.com

© 2017 TÜV AUSTRIA AKADEMIE GMBH

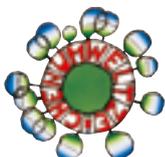
Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, insbesondere die Rechte der Verbreitung, der Vervielfältigung, der Übersetzung, des Nachdrucks und der Wiedergabe bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwertung – dem Verlag vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Medieninhabers reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Trotz sorgfältiger Prüfung sämtlicher Beiträge in diesem Werk sind Fehler nicht auszuschließen.

Die Richtigkeit des Inhalts ist daher ohne Gewähr. Eine Haftung des Herausgebers oder der Autoren ist ausgeschlossen.

Zur leichteren Lesbarkeit wurde die männliche Form gewählt. Selbstverständlich gelten alle Formulierungen für Männer und Frauen in gleicher Weise.



Produziert nach den Richtlinien des Österreichischen Umweltzeichens, UZ 24 Druckerzeugnisse.  
UZ 756 – Paul Gerin GmbH & Co. KG

# Inhalt

1. Einleitung .....	4
2. Umfang und Anwendungsbereich .....	6
3. Akzeptanz- und Toleranzgrenzwerte .....	8
4. Das LOPA-Verfahren im Überblick .....	10
5. Technische Auslöseereignisse .....	13
6. Menschliche Fehler .....	16
7. Enabling Events .....	17
8. Layers of Protection .....	18
9. Conditional Modifier .....	21
10. Anwendungsbeispiele .....	24
Anhang: Auswahldarstellung Risikogrenzwerte .....	60

# 1. EINLEITUNG

Seit etwa 30 Jahren findet in Österreich die technische Risikoanalyse<sup>1</sup> bei industriellen Betriebsanlagen Anwendung. Die dabei gemachten Erfahrungen, Entwicklungen in relevanten Fachbereichen, die sich verändernden gesetzlichen Vorgaben und die zunehmende internationale Vernetzung der Unternehmen lassen eine Überarbeitung der bisher im Bereich der technischen Risikoanalysen angewendeten Methoden gerechtfertigt scheinen. Die so genannte Layer-of-Protection-Analyse (LOPA) stellt ein quantitatives Verfahren zur Bewertung von prozesstechnisch bedingten Einzelszenarien dar, welches vor allem in Unternehmen mit internationaler Ausrichtung in zunehmender Weise zum Einsatz kommt. Ein besonderes Element stellt dabei die in Teilbereichen mögliche Quantifizierung des Risikos und die darauf aufbauende Darstellung der Analyseresultate dar. Zu diesem Zweck war es erforderlich, Festlegungen hinsichtlich der Zulässigkeit bestimmter Risikoniveaus zu treffen. Die Autoren legen Wert auf die Feststellung, dass damit kein Präjudiz für entsprechende Annahmen außerhalb des hier beschriebenen Anwendungsbereiches geschaffen werden soll.

„Objektive“ Sicherheit eines technischen Systems resultiert aus dem Vorhandensein von Schutzeinrichtungen und dem Fehlen von Gefahrenquellen. Durch die Festlegung von Schutzmaßnahmen und Regeln der Technik erfolgt eine nähere Bestimmung eines „Sicherheitsgrades“, aber dadurch auch indirekt eine Beschreibung eines „Grenzrisikos“. Das Grenzrisiko ergibt sich dabei als Kompromiss der Ansicht verschiedener Interessengruppen auf der Grundlage von Erfahrungen und rückblickenden oder vorausschauenden Untersuchungen hinsichtlich positiver und negativer Folgen, Aufwand und Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen. Das Resultat dieses Kompromisses kann in einer deterministischen oder probabilistischen Betrachtung münden.

Die Deterministik beansprucht, dass zukünftige Ereignisse oder Entwicklungen durch Vorbedingungen und Einflussfaktoren eindeutig festzulegen sind; es wird das Vorhandensein von (Natur-) Gesetzen angenommen, die jedwedes System vollständig bestimmen. Im Gegensatz dazu geht die Probabilistik davon aus, dass ein zukünftiger Zustand nur mit einer bestimmten (Eintritts-) Wahrscheinlichkeit vorausgesagt werden kann. Es wird dadurch versucht, das reale Geschehen genauer abzubilden und die daraus resultierenden Schlussfolgerungen zu objektivieren.

Naturwissenschaft und Technik folgten in ihrer Entwicklung ursprünglich einem rein deterministischen Prinzip. Das ist insofern verständlich, als die zur Verfügung stehenden Mittel bei komplexen Sachverhalten eine radikale Vereinfachung erforderlich machten. Die in der Realität als Variable auftretenden Zustände wurden zu fixen Größen umdefiniert und Zufallsparameter (insbesondere sehr seltene Ereignisse) vernachlässigt. Die dadurch bedingten Unsicherheiten wurden (und werden) durch fixe Sicherheitszuschläge berücksichtigt.

---

<sup>1</sup> Unter dem Begriff „Risikoanalyse“ wird innerhalb dieses Guidelines auch die Beurteilung der Tolerierbarkeit des verbleibenden Restrisikos mit eingeschlossen.

In Österreich und Deutschland existiert ein vorwiegend deterministisches System der Sicherheitsbeurteilung, das durch eine Vielzahl von untergesetzlichen Standards (Normen, Richtlinien usw.) gekennzeichnet ist. In diesem System gilt bei Nachweis der Einhaltung der anzuwendenden Normen quasi eine „Sicherheitsvermutung“: Es wird davon ausgegangen, dass der dokumentierte Stand der Technik ausreicht, dem Kriterium der Vermeidung von Gefährdungen zu entsprechen. Nur bei Nichteinhaltung von Normen, Richtlinien usw. tritt eine Beweislastumkehr ein. Anders formuliert: Durch den im Rahmen der Formulierung der Normen, Vorschriften usw. erfolgten Interessenausgleich wurde ein „zu akzeptierendes Risiko“ bestimmt, das bei Einhaltung eben dieser Normen bzw. Vorschriften zwangsläufig nicht überschritten wird.

Das bedeutet aber nicht, dass es kein „Restrisiko“ jenseits des durch die Regeln der Technik definierten Sicherheitsniveaus gäbe. Durch eine systematische Risikoanalyse kann eine Reduzierung dieses Restrisikos erreicht werden, da dabei eine gesamthafte Betrachtung angestellt wird, während die „klassische Sicherheitstechnik“ sektoral ausgerichtet ist. Durch diese Vorgangsweise werden außerdem jene Fälle, für die keine normativen bzw. in Regelwerken angeführten Lösungen verfügbar sind, ebenfalls einer Betrachtung hinsichtlich notwendiger Risikoreduktion unterworfen.

Die dabei eingesetzten Methoden sind zwar „systematisch“ in dem Sinn, dass sie einem vorher festgelegten Schema folgen, sie sind allerdings primär immer noch qualitativ-deterministisch. Dies bedeutet, dass die Aussage nach wie vor auf ein Sachverständigenurteil (oder eine Summe solcher) aufgebaut ist. Unter Anwendung eines systematischen Untersuchungsrahmens kombiniert dabei ein Sachverständiger (oder eine Sachverständigengruppe) den Sachverhalt mit seinen persönlichen Fachkenntnissen und Erfahrungen sowie fallbezogenen Annahmen. Das daraus resultierende Urteil enthält daher subjektive Werturteile und Unsicherheiten; Schlussfolgerungen sind, da auf groben unbestimmten Begriffen aufgebaut („... hohe Wahrscheinlichkeit ...“, „... hinreichend sicher ...“ usw.), angreifbar.

Die spezielle Bedeutung quantitativer bzw. probabilistischer Analysemethoden liegt darin, bei großen Gefahrenpotenzialen als vertiefende Erkenntnisquelle zu wirken und derart Defizite bei der vorangehenden deterministischen Betrachtung bzw. Maßnahmenbemessung zu identifizieren. Ferner sind die Ergebnisse, da nicht als unbestimmtes qualitatives Urteil formuliert, eindeutig umrissen und somit besser argumentierbar.

## 2. UMFANG UND ANWENDUNGSBEREICH

Der Anwendungsbereich des dargestellten LOPA-Verfahrens wird wie folgt definiert:

Die 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<sup>2</sup>, 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. Daher wurden derartige Grenzwerte für Konsequenzen (Schadensausmaß) hinsichtlich Personenschaden [Tote, Verletzte, dauerhafte Schädigungen von Personen, intern („Workforce“) und extern („Public“) in Bezug auf den Betriebsbereich einer Industrieanlage] und Umweltschaden diskutiert und der diesbezügliche Konsens aus technischer Sicht innerhalb der Arbeitsgruppe zusammengefasst. 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.

---

<sup>2</sup> EN 61511-3: Funktionale Sicherheit – Sicherheitstechnische Systeme für die Prozessindustrie, Teil 3: Anleitung für die Bestimmung der erforderlichen Sicherheits-Integritätslevel; 07/2005.

Die Layer-of-Protection-Analyse wurde in einer gleichnamigen CCPS-Publikation<sup>3</sup> erstmals detailliert beschrieben bzw. fand in EN 61511-3, Anhang F, und EN 61508-5<sup>4</sup>, Anhang F, Erwähnung. Die praktische Umsetzung dieser Methodik ist nicht einheitlich festgelegt.

In der vorliegenden Guideline wird eine mögliche praxisnahe Umsetzung der Layer-of-Protection-Analyse dargelegt, es werden die einzelnen dafür erforderlichen Parameter im Detail beschrieben und – soweit sinnvoll möglich – standardisiert, um konsistente Ergebnisse sicherzustellen.

Die Anwendung der derart kalibrierten Methodik wird anhand von 8 Anwendungsbeispielen dargestellt und – soweit sinnvoll – den Ergebnissen der Anwendung von Risikographen gegenübergestellt.

---

<sup>3</sup> *Layer of Protection Analysis; Center for Chemical Process Safety (CCPS), AIChE, 2001.*

<sup>4</sup> *EN 61508-5: Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer / elektronischer / programmierbarer elektronischer Systeme – Teil 5: Beispiele zur Ermittlung der Stufe der Sicherheitsintegrität; 05/2010.*

### 3. AKZEPTANZ- UND TOLERANZGRENZWERTE

Die sich ergebende „Sicherheitsvermutung“ bei Einhaltung von Normen und Standards ist eine historisch gewachsene Herangehensweise an sicherheitstechnische Problemstellungen, deren Sinnhaftigkeit nicht in Frage gestellt wird. Jedoch ergibt sich in vielen Fällen, für welche keine Normen und Standards mit ausreichend beschriebenen Anforderungen an die Ausführung der Technischen Sicherheit vorliegen, der Bedarf einer fallspezifischen risikobasierenden Bewertung. Ein allgemein akzeptierter quantitativer Maßstab für die Zulässigkeit eines Risikos bzw. einer Versagenswahrscheinlichkeit einer technischen Komponente existiert in Österreich (noch) nicht. Allerdings werden zunehmend EU-gemeinschaftsrechtliche Bestimmungen geschaffen, die nicht nur das „Risiko“ oder die „Risikoermittlung“ allgemein zum Gegenstand haben, sondern darüber hinaus auch zahlenmäßige Festlegungen von Sicherheitszielen fordern oder solche vorgeben; exemplarisch seien hier genannt:

- ✓ die „Eisenbahnsicherheits-Richtlinie“ 2004/49<sup>5</sup>
- ✓ die Europäische Norm über Hochdruckrohrleitungen EN 16708<sup>6</sup>
- ✓ die „RAPEX-Leitlinien“ der EU<sup>7</sup>
- ✓ die Europäische Norm über Blitzschutz EN 62305<sup>8</sup>

Im Zuge der Sitzungen der Arbeitsgruppe wurde eine Vielzahl von international bekannten Akzeptanz- und Toleranzgrenzwerten<sup>9</sup> diskutiert, um eine Grundlage für einen Konsens derartiger Werte zur Anwendung beim LOPA-Verfahren zu erarbeiten.

Die folgend dargestellte Abbildung zeigt den erzielten Konsens, wobei an dieser Stelle nochmals explizit auf den Anwendungsbereich (siehe Kapitel 2) hingewiesen sei.

Die Existenz des „gelben Bereichs“ bei Bestandsanlagen für nicht katastrophale Szenarien wird durch die Bestimmungen der Gewerbeordnung (§ 71a in Verbindung mit Anlage 6) untermauert. Damit folgt, dass das Restrisiko von Szenarien bei Bestandsanlagen im gelben Bereich unter folgenden Bedingungen als tolerabel angesehen werden kann:

- ✓ Das Szenario ist in vollem Umfang bekannt und verstanden.
- ✓ Die Maßnahmen, die bei der Ermittlung des Restrisikos berücksichtigt wurden, entsprechen dem Stand der Technik nach der Definition von § 71a GewO in Verbindung mit deren Anlage 6 (womit u. A. auf Verhältnismäßigkeit, Möglichkeit zur technisch sinnvollen Umsetzung weiterer/moderner Maßnahmen oder das Alter einer Anlage Bezug genommen wird).
- ✓ Es ist eine regelmäßig wiederkehrende Evaluierung und Bewertung des Szenarios vorzunehmen, um neue Erkenntnisse aus dem praktischen Betrieb der betreffenden und vergleichbarer Anlagen und des technischen Fortschritts entsprechend zu berücksichtigen.

---

<sup>5</sup> Richtlinie 2004/49/EG v. 29.4.2004 über Eisenbahnsicherheit

<sup>6</sup> EN ISO 16708:2006 „Rohrleitungstransportsystem-Zuverlässigkeitsanalysen“

<sup>7</sup> Entscheidung der Kommission v. 16.12.2009 über Leitlinien zum Informationsaustausch „RAPEX“ gemäß Richtlinie 2001/95/EG

<sup>8</sup> ÖVE/ÖNORM EN 62305 Teil 1-4 betreffend Blitzschutz (die Anforderungen an die Wahrscheinlichkeit des Blitzeinfangs ist abhängig von der Schutzwürdigkeit des betroffenen Objekts)

<sup>9</sup> Siehe exemplarische Darstellung in Anhang 1

Risikomatrix zur Anwendung des LOPA Verfahrens für Einzelszenarien der Prozesstechnik			
Häufigkeit			
10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-3</sup> [1/yr]			
10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-4</sup> [1/yr]			
10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>-5</sup> [1/yr]			
10 <sup>-5</sup> - 10 <sup>-6</sup> [1/yr]			
10 <sup>-6</sup> - 10 <sup>-7</sup> [1/yr]			
	C1	C2	C3
Konsequenz Personenschaden	Verletzung mit > 24 Std. Krankenhaus und/oder reversible Beeinträchtigung/ Verletzung	Irreversible Verletzungen (long term health effects) oder Todesfall innerhalb bzw. reversible Verletzungen außerhalb des Betriebsgeländes	Irreversible Verletzungen oder Todesfall außerhalb oder mehrere Todesfälle innerhalb des Betriebsgeländes
Konsequenz Umweltschaden	Weitreichende Folgen möglich, lokale Intervention inner- oder außerbetrieblicher Stelle erforderlich UND reversibler Schaden	Weitreichende Folgen möglich, überregionale Intervention (z. B. Verständigung der Landeswarnzentrale) erforderlich UND reversibler Schaden	Irreversible Umweltschäden möglich, überregionale oder nationale Intervention erforderlich

Legende:

- ROT** Nicht tolerierbar
- GRÜN** Akzeptabel
- GELB** tolerierbar in Einzelfällen (siehe oben); nur anwendbar für Bestandsbetriebsanlagen, sonst nicht tolerierbar (rot)
- Blaue Linie** „Zielwert“

## 4. DAS LOPA-VERFAHREN IM ÜBERBLICK

LOPA ist eine vereinfachte quantitative Methode zur Durchführung einer Risikoabschätzung und Risikobeurteilung. LOPA ist vom Konzept her als ein Werkzeug vorgesehen, das auf eine vorhergehende qualitative Analyse, wie z. B. HAZOP, aufbaut. Für die aus der HAZOP identifizierten Szenarien mit möglichem beträchtlichem Schadensausmaß wird pro maßgebendes unerwünschtes Ereignis die Ereigniskette mit der größten Auswirkung betrachtet (als „Worst Case-Pfad“ eines „Event Trees“) und bewertet.

Ein LOPA-Szenario basiert auf einem auslösenden Ereignis („**Initiating Event**“) mit einer bestimmten Eintrittshäufigkeit und einem sich daraus ergebenden Einzelszenario. In einem Szenario werden voneinander unabhängige Schutzbarrieren („Independent Layers of Protection – IPLs“) zur Verhinderung unerwünschter Auswirkungen dargestellt. Diesen werden Werte für die Wahrscheinlichkeit ihres Versagens bei Anforderung („Probability of Failure on Demand – PFD“) zugewiesen. Weitere Einflussgrößen stellen die so genannten „**Conditional Modifier**“ dar – dabei handelt es sich um (durch Wahrscheinlichkeiten ausgedrückte) Einflussgrößen, welche die Schwere eines Szenarios beeinflussen (z. B. die Wahrscheinlichkeit der Zündung von freigesetztem brennbarem Gas). Schließlich wird die Eintrittshäufigkeit eines Szenarios als Produkt der Häufigkeit für das auslösende Ereignis mit der als Versagenswahrscheinlichkeit angegebenen Zuverlässigkeit der voneinander unabhängigen Schutzbarrieren und den Wahrscheinlichkeiten der Conditional Modifier ermittelt.

Fallweise kann noch ein so genanntes „**Enabling Event**“ berücksichtigt werden. Darunter versteht man eine Betriebsweise oder einen Zustand, welcher das Auftreten des Szenarios mit der entsprechenden Konsequenz erst ermöglicht bzw. zur Ausbildung eines Szenarios beim Vorliegen eines auslösenden Ereignisses notwendig ist. Dieser Zustand/diese Betriebsweise stellt jedoch selbst keinen Fehler oder eine Schutzbarriere dar.

Zweck von LOPA ist die Abschätzung, ob die vorhandenen Schutzbarrieren in einem Szenario ausreichend sind und dementsprechend das Risiko toleriert bzw. akzeptiert werden kann. Ist das ermittelte Risiko über einem als tolerierbar/akzeptierbar angesehenem Wert, müssen weitere voneinander unabhängige Schutzbarrieren vorgesehen werden. Der Vergleich mit einem Risikokriterium wird üblicherweise mit einer Matrix-Methode durchgeführt, aus der die Notwendigkeit erforderlicher Risikoreduzierungsmaßnahmen abgelesen werden kann, oder die einen vorgegebenen maximal tolerablen Risikowert pro Szenario, z. B. für Arbeitnehmer oder Personen außerhalb des Betriebsgeländes, festlegen.

Festzuhalten ist, dass die Abschätzung der Schwere der Auswirkungen eines Szenarios entsprechend der Kalibrierung der Risikomatrix (C1, C2, C3 – siehe Kapitel 3) normalerweise durch „Expert Judgement“ erfolgt, d. h. keine detaillierten Auswirkungsbetrachtungen (wie Modellierungen mittels spezieller Software) durchgeführt werden. Dies erscheint im Kontext des Verfahrens, das die Risiken zwar quantitativ – dies jedoch nur im Sinne Ihrer Größenordnung – erfasst und bewertet werden, als angemessen und ausreichend.

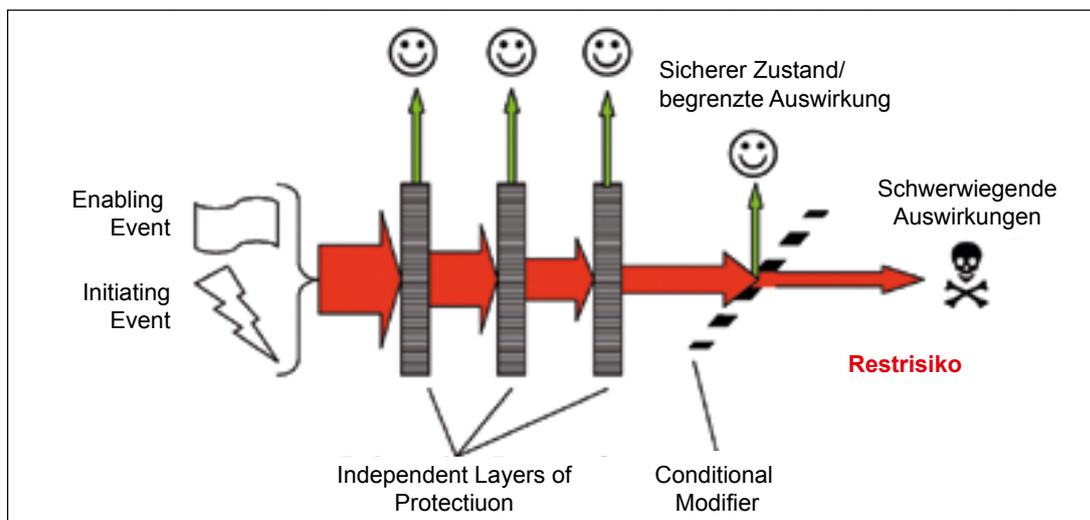
Die Regeln für die Einbeziehung einer Intervention des Bedienungspersonals im Verlauf der Entstehung einer gefährlichen Situation sind bei Durchführung von Sicherheitsanalysen historisch gesehen uneinheitlich; ursprünglich wurde empfohlen, dass dies als Barriere nicht einbezogen werden sollte. Bei der Anwendung der LOPA wird diese Vorgabe aufgrund ihrer Realitätsferne heute nicht mehr eingehalten, d. h. Interventionen des Bedienungspersonals können innerhalb angegebener Größenordnungen als Schutzbarrieren berücksichtigt werden, sofern gewisse Randbedingungen erfüllt sind.

Für die LOPA-Analyse ist die exakte Bestimmung der „Unabhängigkeit“ der Schutzbarrieren wesentlich, d. h. diese müssen unabhängig vom Auslöseereignis und unabhängig von anderen Barrieren wirksam sein, außerdem muss ihre Wirksamkeit im weitesten Sinne überprüfbar (auditierbar) sein.

LOPA benötigt numerische (quantitative) Werte für:

- ✓ die Wahrscheinlichkeit der Auslöseereignisse  
(Initiating Event, ggf. kombiniert mit Enabling Event),
- ✓ die Zuverlässigkeit bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit der Schutzbarrieren  
(Independent Layers of Protection),
- ✓ weitere Einflussfaktoren (Conditional Modifier)
- ✓ das akzeptable Restrisiko

Das Ergebnis ist ein Orientierungswert innerhalb einer Zehnerpotenz des Risikos („order of magnitude“) und sollte nicht als einziges Beurteilungskriterium verstanden werden.



Schema der LOPA-Analyse

Die Darstellung des Risikos erfolgt durch die beiden Parameter Häufigkeit (Fälle pro Zeiteinheit, d. h. Fälle pro Jahr) und Schwere des Schadens (C1, C2, C3) – siehe Risikomatrix in Kapitel 3. Die in die LOPA eingehenden Größen sind normalerweise als Häufigkeit (Auslöseereignisse) bzw. als Wahrscheinlichkeiten (Ausfallwahrscheinlichkeit einer Barriere bei Anforderung – PFD/Probability of Failure on Demand bzw. als Eintrittswahrscheinlichkeit von Conditional Modifiers) ausgedrückt, sodass das Ergebnis der Multiplikation, welches die Häufigkeit des unerwünschten Szenarios darstellt, wieder in der Einheit vorliegt, welche zur Risikobewertung herangezogen wird.

In Bezug auf die Beurteilung der Wirksamkeit von Schutzbarrieren ist die Unterscheidung zwischen den unabhängigen Schutzbarrieren (IPLs) und anderen Maßnahmen (Nicht-IPLs) von Bedeutung. Es können in der Praxis auch Maßnahmen vorgesehen sein, die ebenfalls für die Freisetzungsvermeidung oder die Begrenzung von Auswirkungen wirksam sind, die aber wegen fehlender Unabhängigkeit oder fehlender Daten nicht numerisch im Sinne der LOPA berücksichtigt werden können; diese Maßnahmen gehen nicht in die LOPA-Analyse ein<sup>10</sup>. Unabhängige Schutzbarrieren (IPLs) müssen für die LOPA-Analyse in ihrer Zuverlässigkeit quantifizierbar sein.

Schutzbarrieren werden im Zuge der LOPA numerische Werte für die Zuverlässigkeit (ausgedrückt als Versagenswahrscheinlichkeit) zugeordnet. Sie werden in der Regel als PFD (Probability of Failure on Demand)-Werte angegeben. Sie errechnen sich aus der Häufigkeit des Versagens innerhalb einer diskreten Zeitspanne und der Anzahl der anzunehmenden Anforderungen der Funktion während dieser Zeitspanne.

Für die LOPA-Analyse ist es erforderlich, kalibrierte und in Fachkreisen anerkannte numerische Werte für Auslöseereignisse, Versagenswahrscheinlichkeiten von Schutzbarrieren und Wahrscheinlichkeiten von Conditional Modifiers zu verwenden. Ohne Standardisierung der anzuwendenden numerischen Werte wären die Ergebnisse verschiedener LOPA-Analysen stark voneinander abweichend und höchst subjektiv, das Ziel eines möglichst einheitlichen Sicherheitsniveaus bei Anwendung des Verfahrens wäre nicht gegeben. Daher erfolgt in den folgenden Kapiteln eine Aufzählung von **Standardwerten bzw. Mindestwerten**, basierend auf Analyse der entsprechenden einschlägigen Literaturdaten. Werte für nicht angegebene Fälle sind für den jeweiligen Anwendungsfall konservativ abzuschätzen.

---

<sup>10</sup> „All IPLs are safeguards but not all safeguards are IPLs“