

5. Risikominimierung auf Basis einer Sicherheits-Schutz-Konzeption

5.1 Struktur des Sicherheits-Schutz-Systems

Die Ergebnisse der Risikountersuchung bieten eine Orientierung für das erforderliche Maß der Risikominimierung und bestimmen wesentlich die Art der notwendigen Sicherheitsmaßnahmen. Das Ziel ist es, ein weitgehend konstantes geringes Risiko für die gesamte Fernleitungsanlage zu erreichen (vgl. Abb. 5.1).

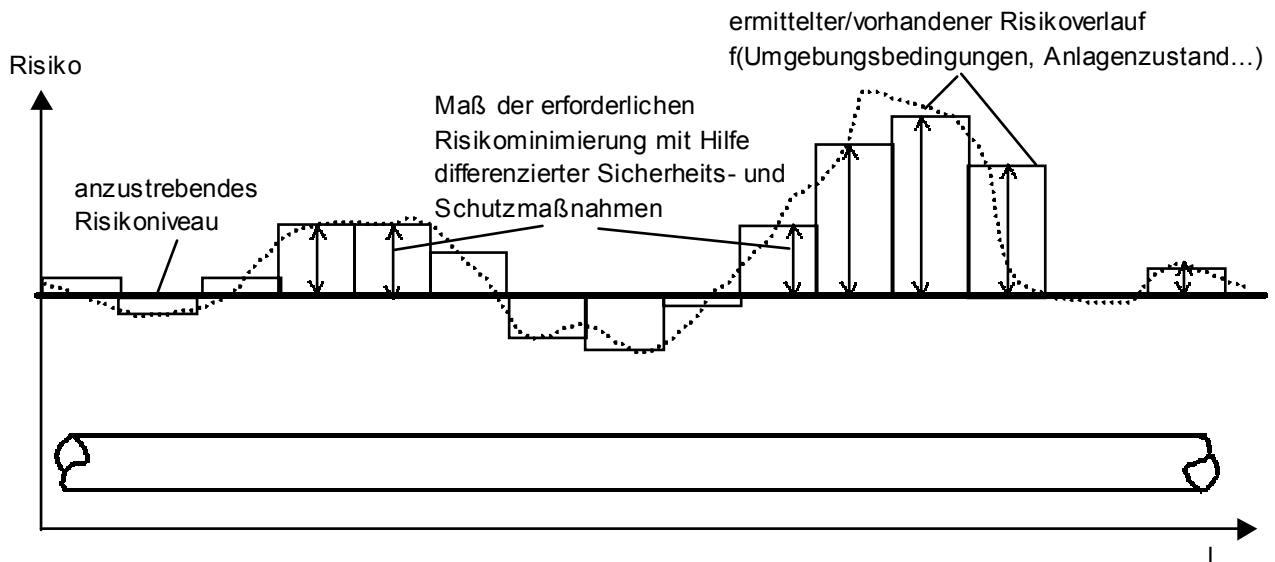


Abbildung 5.1: Schematischer Risikoverlauf für einen Pipelineabschnitt

Obwohl sich grundsätzliche Anforderungen an die Beschaffenheit und den Betrieb von Pipelineanlagen in Form definierter Schutzziele am Technischen Regelwerk orientieren, sind spezifische Festlegungen zur Gewährleistung der technischen Sicherheit erforderlich. Vor allem bei der Gestaltung des Sicherheitssystems und bei der Betriebsführung bestehen erhebliche Freiheitsgrade für den Projekt- bzw. Betriebsingenieur.

Als Grundlage für die Festlegung geeigneter spezifischer Maßnahmen kann ein Sicherheitsflußschema mit der Zuordnung von Sicherheits- und Schutzprinzipien in Form einer Übersichtsanalyse dienen (vgl. Anlage 6).

Ausgangspunkt für die Ableitung der Struktur des Sicherheits-Schutz-Systems ist ein in /20/ vorgestelltes Konzept für Anlagen mit potentiell brennbaren, explosionsfähigen und pathogenen Stoffen, das von einer hierarchischen Struktur mit Sicherheits- und Schutzebenen ausgeht (Abb. 5.2). Die Aufgaben der einzelnen Ebenen bestehen darin, den Aufbau möglicher Gefährdungen und deren räumliche und zeitliche Kopplung innerhalb eines verfahrenstechnischen Systems auszuschließen bzw. im Falle des Gefährdungsereignisses die Schadenswirkung zu begrenzen. Als Folge daraus ergibt sich eine Differenzierung der sicherheitsrelevanten Handlung in Maßnahmen zur Schadensausschließung (Sicherheitskonzeption) sowie zur Begrenzung von Schadensauswirkungen (Schutzkonzeption).

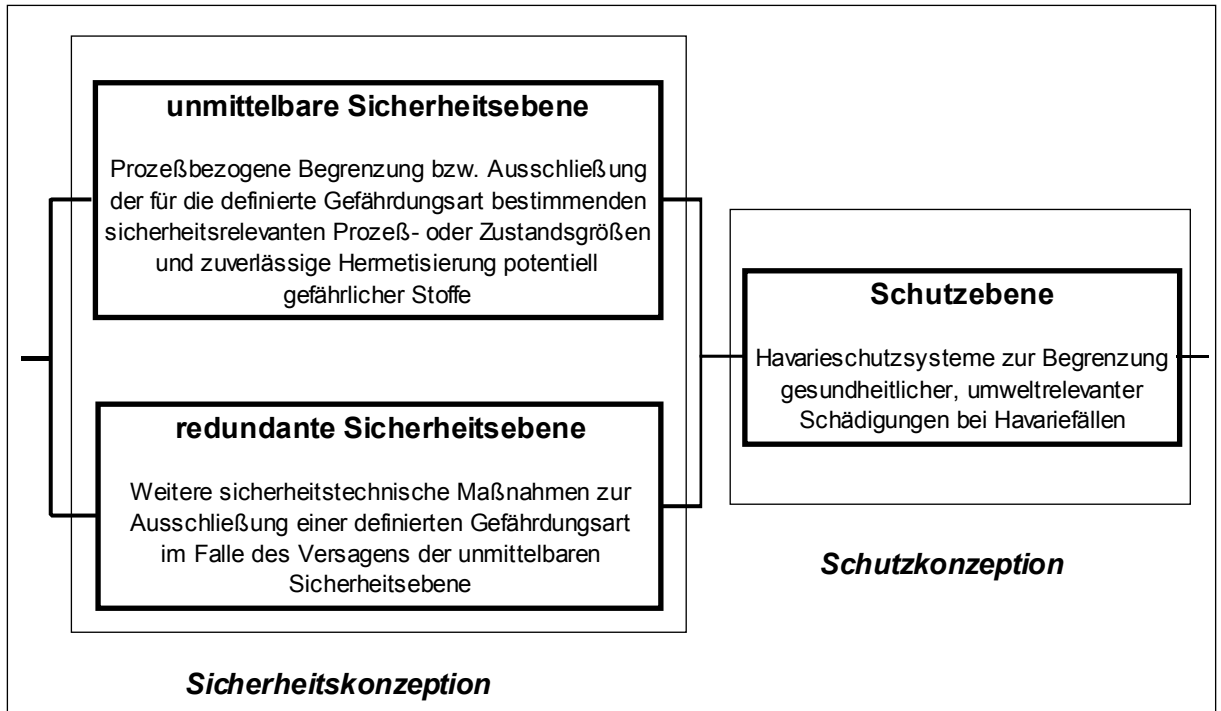


Abbildung 5.2: Allgemeine Struktur eines Sicherheits-Schutz-Systems für verfahrenstechnische Anlagen

Diese Modellvorstellungen sind für die Sicherheits-Schutz-Struktur von Pipelineanlagen grundsätzlich geeignet, insbesondere da im Hinblick auf die Zielstellung der differenzierten Risikominimierung eine Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadensereignisses im Rahmen der Sicherheitskonzeption und eine Reduzierung der Auswirkungen von Stoffaustritten im Rahmen der Schutzkonzeption gegeben sind. Es sind jedoch aufgrund der Anlagen- und Verfahrensspezifik sowie der charakteristischen Gefährdungsbildung Modifikationen erforderlich.

Einzubeziehen in die Entwicklung der Struktur des Sicherheits-Schutz-Systems für Pipelineanlagen ist das Grundmodell der Gefährdungsbildung, bei dem von der komplexen Wirkung differenzierter Einflußfaktoren auf die Hermetisierungselemente der Anlage ausgegangen wird. Den internen und externen Einflüssen steht der Widerstand der Kapselenelemente gegenüber. Dieser Modellansatz der Schutzhermetisierung geht davon aus, daß die transportstoffbeaufschlagten Pipelineelemente die primäre Schutzbarriere gegenüber Stoffaustritten darstellen. Das Verhältnis der Stärke der internen und externen Einwirkungen zum vorhandenen Widerstand der beanspruchten Systemelemente ist damit entscheidend für die Bildung von Emissionskanälen und wird für die weitere sicherheitstechnische Untersuchung als das Hermetisierungspotential definiert.

Das Hermetisierungspotential ist folglich der Quotient aus der Belastbarkeit der Pipelineelemente und den auftretenden Belastungen:

$$K_p(t,s) = \frac{BK(t,s)}{BS(t,s)} \quad (5.1)$$

- $K_p(t,s)$ - momentanes lokales Hermetisierungspotential
 $BK(t,s)$ - momentane lokale Belastbarkeit
 $BS(t,s)$ - momentane lokale Belastung

wobei:

$K_p > 1$ Versagensfall nicht zu erwarten

$K_p < 1$ Versagensfall zu erwarten

Daraus ergeben sich prinzipiell zwei Ansatzpunkte für die Gestaltung der Sicherheitskonzeption für Pipelineanlagen:

1. Erhöhung der Belastbarkeit der beanspruchten Pipelineelemente
2. Begrenzung der auf die Pipelineelemente wirkenden Belastungen

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, daß die differenziert einwirkenden Einflüsse das Widerstandsvermögen der belasteten Pipelineelemente verändern können. Der Zusammenhang zwischen Belastung, Belastbarkeit und Hermetisierungspotential ist in der Weise gegeben, daß durch die während der Betriebszeit wirkenden Einflußfaktoren sowohl eine direkte Überbeanspruchung, als auch aufgrund der Gefährdungscharakteristik eine Reduzierung der Belastbarkeit der Systemelemente stattfinden kann (vgl. Abb. 5.3).

Sowohl die Belastung als auch die Belastbarkeit stellen damit betriebszeitabhängige und orts- bzw. bauteilbezogene Größen dar, so daß das Hermetisierungspotential einer Pipelineanlage ebenfalls komponenten- und betriebszeitabhängig ist.

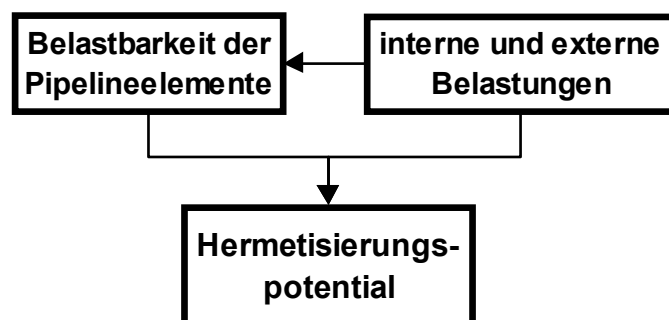
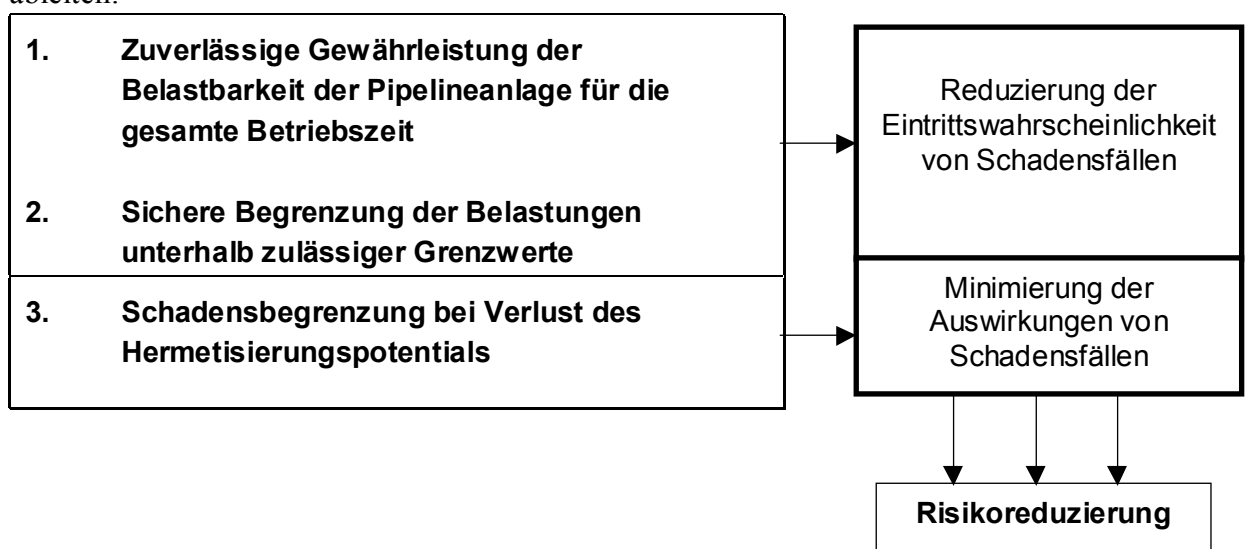


Abbildung 5.3: Zusammenhang zwischen Belastung, Belastbarkeit und Hermetisierungspotential

Daraus folgt das sicherheitstechnische Ziel, das erforderliche Hermetisierungspotential für die gesamte Anlage und für die vorgesehene Betriebszeit zu gewährleisten und damit die Wahrscheinlichkeit von Stoffaustritten zu minimieren.

Da jedoch Stoffaustritte durch das Versagen der Kapsel Elemente nicht auszuschließen sind, muß die sicherheitstechnische Zielstellung um die Minimierung der Schadensauswirkungen durch differenzierte Schutzmaßnahmen (Schutzkonzeption) erweitert werden.

Es lassen sich somit die drei Hauptziele des zu konzipierenden Sicherheits-Schutz-Systems ableiten:



Die Erfüllung des unter 1. genannten Zieles wird durch eine ausreichende Sicherheit der Pipelinerohre realisiert, die im Rahmen der Dimensionierung festgelegt wird und durch geeignete Maßnahmen im Verlauf der Betriebszeit erhalten werden muß. Damit ist gewährleistet, daß die bei der Berechnung berücksichtigten Einflüsse aufgrund ihres definierten Belastungsniveaus tolerierbar sind. Maßgebende Elemente dieser passiven Sicherheit sind somit die Wandstärke der Rohre, das Rohrmaterial sowie dessen Qualität, die Gewährleistung hochwertiger Verbindungselemente (Schweißnähte) und Auswahl geeigneter Komponenten der beanspruchten Leitungsausrüstung.

Belastungen, die nicht definierbar sind oder aufgrund ihrer Stärke nicht durch die passive Sicherheit abgedeckt sind, müssen durch angepaßte Sicherheitsmaßnahmen ausgeschlossen oder auf ein ungefährliches Niveau minimiert werden (sicherheitstechnische Ausschlußmaßnahmen). Dies entspricht dem unter 2. genannten Grundziel. Bei Auftreten dieser Beanspruchungen liegt der nicht bestimmungsgemäße Betrieb vor. Elemente dieser belastungsausschließenden bzw. -begrenzenden Maßnahmen sind z.B. sämtliche Sicherheitseinrichtungen, die unzulässige Beanspruchungen der Pipelineelemente verhindern (Überdrucksicherungen, Einrichtungen zur Verhinderung von Druckstößen usw.) .

Auf Grundlage dieser Betrachtungen ergeben sich die in folgender Abbildung dargestellten Grundprinzipien und Elemente der Sicherheitskonzeption:

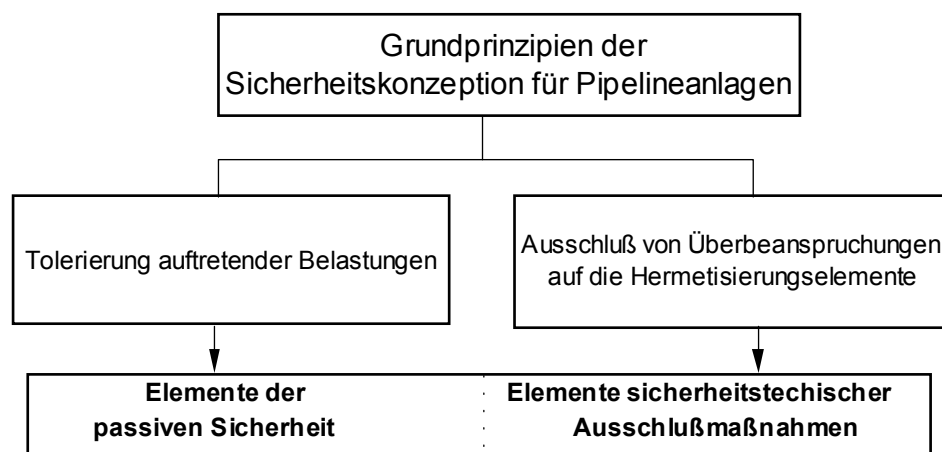


Abbildung 5.4: Grundprinzipien der Sicherheitskonzeption für Pipelineanlagen

Die Hierarchie der Sicherheitskonzeption wird jeweils durch die Präsenz weiterer Sicherheitselemente innerhalb der Sicherheitsebenen bestimmt, die bei Ausfall oder Versagen einzelner Komponenten deren Funktion übernehmen.

Der Verlust des Hermetisierungspotentials der Pipelineelemente durch eine reduzierte passive Sicherheit oder durch Versagen der sicherheitstechnischen Ausschlußmaßnahmen bei gleichzeitigem Auftreten unzulässiger Betriebszustände initiiert einen Stoffaustritt, der die Aktivierung der Schutzebene bedingt. Diese Schutzkonzeption entspricht dem unter 3. formulierten Grundziel und hat die Aufgabe, die Wirkungen von Leckagen zu minimieren. Dabei sind auf Grund der spezifischen Anlagenstruktur zum einen einheitliche Schutzstrategien für betrieblich abgegrenzte Anlagenbereiche (z.B. Stationen) und zum anderen bei Trassenabschnitten, die öffentliches Gelände durchqueren, in Abhängigkeit der unterschiedlichen Umgebungsbedingungen differenzierte Schutzmaßnahmen erforderlich.

Diese sicherheits- und schutztechnischen Ziele unterstreichen, daß sich die Maßnahmen der Sicherheitsebene auf die Erhaltung des Hermetisierungspotentials orientieren, wohingegen die

Schutzmaßnahmen aus den differenzierten Wirkungen möglicher Stoffaustritte aufgrund des Verlustes des Hermetisierungspotentials abgeleitet werden.

Die funktionsbezogene Anordnung der Sicherheits- und Schutzebenen resultiert somit in folgender Form:

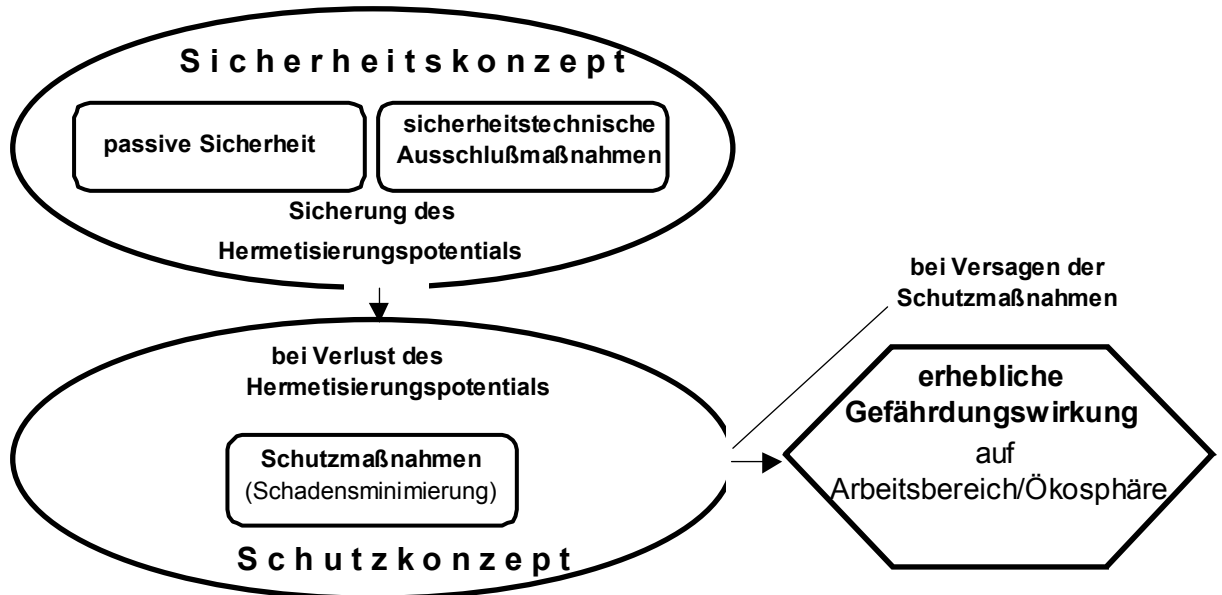


Abbildung 5.5: Funktionsbezogene Struktur des Sicherheits-Schutz-Konzeptes der Pipelineanlage

5.2 Beziehungen zwischen dem Sicherheits- und Schutzkonzept

Der Übergang vom Zustand des bestimmungsgemäßen Betriebes einer Pipeline bis zum gefährdenden Stoffaustritt ist gekennzeichnet durch eine Kette von Ereignissen und Zuständen der einzelnen Hierarchieebenen des Sicherheits- und Schutzsystems, die in unterschiedlicher Weise miteinander logisch verknüpft und voneinander abhängig sind. Die Untersuchung der Relationen zwischen den Wirkungsebenen ermöglicht es, die einzelnen Ereignisse und Systemzustände zu charakterisieren und allgemeingültige Anforderungen an das Sicherheits-Schutz-System abzuleiten.

Dazu werden folgende Kenngrößen betrachtet:

P_{Leck} :	Wahrscheinlichkeit des Zustandes einer Leckage durch Verlust des Hermetisierungspotentials (Ausfallwahrscheinlichkeit der Sicherheitsebene)
P_{Gef} :	Wahrscheinlichkeit des Gefährdungszustandes (Personen- oder erhebliche Umweltgefährdung)
P_{pass} :	Wahrscheinlichkeit des Versagens passiver Sicherheitselemente
P_{Auschl} :	Wahrscheinlichkeit des Versagens der Elemente sicherheitstechnischer Ausschlußmaßnahmen im Forderungsfall
P_{Schutz} :	Wahrscheinlichkeit des Versagens der Schutzebene

1. Zusammenhang zwischen passiver Sicherheit und der Ebene aktiver Sicherheitsmaßnahmen

Ausgehend von der funktionsbezogenen Struktur der Sicherheitskonzeption tritt der Gefährdungszustand (Stoffaustritt) dann ein, wenn entweder das Widerstandsvermögen der passiven Sicherheitselemente nicht mehr ausreichend ist oder die sicherheitstechnischen Ausschlußmaßnahmen im Forderungsfall versagen. Zuverlässigkeitslogisch sind die beiden Sicherheitsebenen als Reihenschaltung miteinander verknüpft. Redundante Sicherheitsmaßnahmen, die bei Versagen der primären Elemente die Funktionen übernehmen, ordnen sich als parallele Elemente in diese Struktur ein und erhöhen die Zuverlässigkeit der einzelnen Sicherheitselemente:

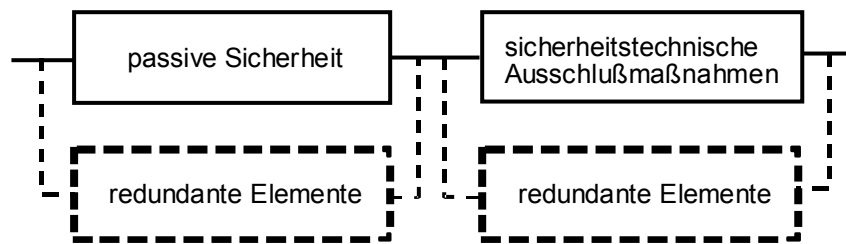


Abbildung 5.6: Struktur des Sicherheitskonzeptes

Die Wahrscheinlichkeit, daß der Zustand der Leckage eintritt, wird demnach durch die Wahrscheinlichkeit des Versagens der passiven Sicherheit und der Ausfallwahrscheinlichkeit sicherheitstechnischer Ausschlußmaßnahmen im Forderungsfall bestimmt.

$$P_{\text{Leck}} = 1 - [(1 - P_{\text{pass.}})(1 - P_{\text{Auschl.}})]$$

Folglich ist P_{Leck} immer mindestens so groß, wie der größere der Werte von $P_{\text{pass.}}$ und $P_{\text{Auschl.}}$.

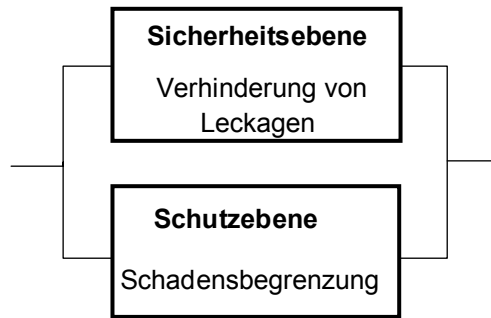
$$P_{\text{Leck}} \geq \text{MAX} (P_{\text{pass.}}, P_{\text{Auschl.}})$$

Als praktische Konsequenz ergibt sich aus diesen Betrachtungen,

- daß sowohl die passive Sicherheit als auch die Maßnahmen zum Ausschluß unzulässiger Belastungen als zuverlässigkeitslogisch gleichwertige Ebenen im Rahmen des Sicherheitskonzeptes zu betrachten sind,
- daß es aus sicherheitstechnischer Sicht nicht sinnvoll ist, nur eine Ebene besonders ausgeprägt zu gestalten, weil damit die Zuverlässigkeit der Sicherheitskonzeptes nicht erhöht wird und daraus folgend
- die Auswahl und die Gestaltung der spezifischen Sicherheitsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Zuverlässigkeit so vorzunehmen ist, daß eine entsprechende „Ausgewogenheit“ innerhalb der Sicherheitskonzeption erreicht wird.

2. Zusammenhang zwischen Sicherheits- und Schutzebene

Ein kritischer Zustand mit Schäden an Umwelt und Personen tritt nur dann ein, wenn die Sicherheitsebene zur Verhinderung einer Leckage **und** die Schutzebene zur Minimierung/Verhinderung von Schäden durch Leckagen versagen. Die Sicherheitsebene und die Schutzebene sind also parallel miteinander verknüpft.



Die Wahrscheinlichkeit, daß der Gefährdungszustand eintritt ($P_{\text{Gef.}}$), wird demnach durch die Wahrscheinlichkeit des Versagens der Sicherheitsebene ($P_{\text{Leck.}}$) und der Schutzebene (P_{Schutz}) bestimmt.

$$P_{\text{Gef.}} = P_{\text{Leck.}} \cong P_{\text{Schutz}}$$

Folglich ist $P_{\text{Gef.}}$ immer kleiner als der kleinere der Werte von $P_{\text{Leck.}}$ und P_{Schutz} .

$$P_{\text{Gef.}} \leq \text{MIN}(P_{\text{Leck.}}, P_{\text{Schutz}})$$

Obwohl es das Ziel sein muß, die Wahrscheinlichkeit von Leckagen durch eine ausgeprägte Sicherheitskonzeption zu minimieren, ergibt sich als praktische Konsequenz aus diesen Betrachtungen,

- daß im begrenzten Maße eine Kompensation von technologisch oder anlagenbedingten Defiziten der Sicherheitsebene durch die Schutzebene erfolgen kann, oder aber
- auf intensive schutztechnische Maßnahmen weitgehend verzichtet werden kann, wenn die Sicherheitsebene die Eintrittswahrscheinlichkeit von Leckagen sehr weit reduziert hat.

5.3 Maßnahmen zur Gewährleistung der passiven Sicherheit

5.3.1 Allgemeine Betrachtung

Im Rahmen des Sicherheitskonzeptes von Pipelineanlagen nehmen die Elemente zur sicheren Kapselung des Transportstoffes eine besondere Bedeutung ein, weil sie die primäre und damit wichtigste Ebene zur Erfüllung der allgemeinen Zielstellung der Sicherheitskonzeption darstellen. Die passive Sicherheit kann deshalb auch als **Basissicherheit** einer Leitungsanlage bezeichnet werden.

Die Rohre und deren Verbindungen (Schweißnähte) als die eigentlichen Funktionselemente einer Pipeline erfüllen gleichzeitig die Aufgabe der Hermetisierung des Transportstoffes und sind damit wesentlicher Ansatzpunkt für die weitere sicherheitstechnische Untersuchung.

Das Ziel der Maßnahmen zur Gewährleistung der Basissicherheit besteht darin, ein ausreichendes Widerstandsvermögen der Rohre und der Rohrverbindungen gegenüber betrieblich auftretenden Beanspruchungen zu gewährleisten und über die gesamte Betriebszeit zu erhalten. Eine Übersicht über die zu berücksichtigenden Einflüsse und Maßnahmen zur Gewährleistung der Basissicherheit wird in folgender Abbildung gegeben:

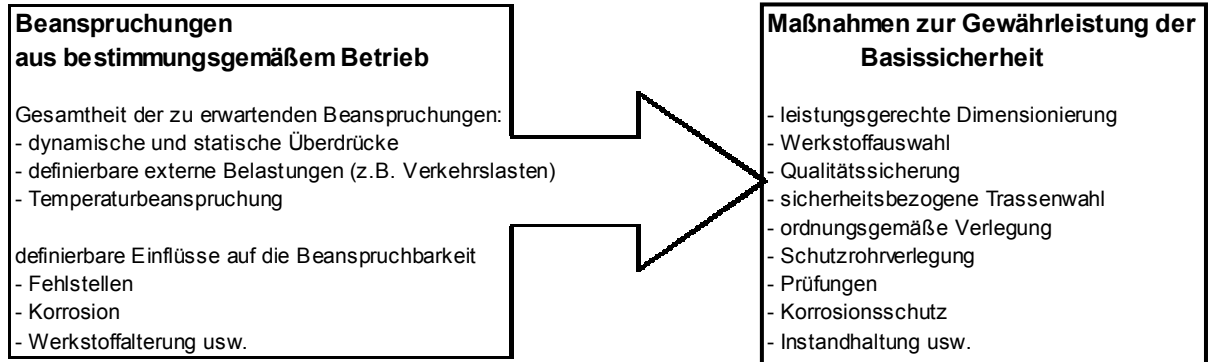


Abbildung 5.7: Einflußgrößen und Maßnahmen zur Gewährleistung der Basissicherheit

Entsprechend der Ergebnisse aus den Untersuchungen zur Gefährdungsbildung werden durch die Maßnahmen zur Gewährleistung der passiven Sicherheit die mechanischen Fehler, sowie interne und externe Korrosion als Versagensursachen abgedeckt.

Ausschlaggebend für das Niveau der Basissicherheit sind die Festigkeitseigenschaften der Rohre, die durch deren Wanddicke und Werkstoffcharakteristik bestimmt sind, sowie der Zustand der Rohre nach längerer Betriebszeit. In Abhängigkeit davon, ob es sich bei der betrachteten Anlage um eine neu zu errichtende oder eine seit längerer Zeit betriebene Pipeline handelt, ergeben sich für die Bewertung der Basissicherheit folgende Schwerpunkte:

<p>Neuanlagen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionierung der Rohre - Qualitätssicherung bei der Herstellung und Verlegung der Rohre - Korrosionsschutz <p>Altanlagen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inspektion der Rohre zur Zustandsfeststellung in Verbindung mit der Lebensdauerabschätzung als Methode zur Bewertung der Zuverlässigkeit der Rohre gegenüber Stoffaustritten. - Instandhaltung - Korrosionsschutz zur Gewährleistung der Basissicherheit.

5.3.2 Aspekte bei Neuanlagen

Es ergeben sich grundsätzlich 3 Ansatzpunkte, um im Rahmen der Dimensionierung Einfluß auf die resultierende Wandstärke und damit ggf. auf das Niveau der Basissicherheit zu nehmen:

1. Werkstoffauswahl, Qualitätssicherung
2. Erhöhung des Sicherheitsfaktors
3. Festlegung des Berechnungsdruckes

Die Werkstoffauswahl sowie die Einhaltung der festgelegten Festigkeitskennwerte im Rahmen der Qualitätssicherung sind substantielle Voraussetzungen für die leistungsgerechte Dimensionierung der Rohre. Das Ziel der Werkstoffauswahl besteht darin, den entsprechend der auftretenden Beanspruchungen geeigneten Werkstoff zu ermitteln. Wesentliche Auswahlkriterien sind die Festigkeitskennwerte (Zugfestigkeit/Streckgrenze, Kerbschlagarbeit, Bruchdehnung u.a.) /85/, die Medien- und Korrosionsbeständigkeit sowie die spezifischen Kosten.

Es ist festzustellen, daß die Verwendung hochfester Stähle tendenziell zunimmt, was neben ökonomischen und betrieblichen Vorteilen (kleinere Wanddicken, höhere Förderdrücke) auch sicherheitstechnische Probleme bedingt (eingeschränkte Schweißbeignung, Rißanfälligkeit, reduzierte Verformbarkeit usw.). Es kann jedoch beim heutigen Entwicklungsstand der Metallurgie, der Rohrherstellung und -verlegung in Verbindung mit der geforderten umfangreichen Qualitätssicherung davon ausgegangen werden, daß dieser Schwerpunkt bei neuen Anlagen technologisch beherrscht wird.

Es gibt einige die Stahlgüte betreffende Faktoren (Kerbschlagarbeit, Verhältnis Streckgrenze zu Bruchfestigkeit usw.), die das Hermetisierungsvermögen der Pipeline beeinflussen, die aber im Rahmen der Risikoermittlung mit dem heutigen Wissensstand in Hinblick auf die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Stoffaustrittes nicht quantifiziert werden können. Dennoch besteht aufgrund der vorhandenen Statistiken und internationalen Erfahrung eine Übereinstimmung in folgenden Punkten:

- Untersuchungen in /45,46/ belegen, daß die Wahrscheinlichkeit einer Leckage (unabhängig vom Rohrdurchmesser) bei zunehmender Wandstärke abnimmt und daß die Schwere des Versagens mit höherem Sicherheitsfaktor ebenfalls abnimmt. Zudem reduziert ein großer Sicherheitsfaktor die Wahrscheinlichkeit für eine ständige Leckvergrößerung.
- Eine Vergrößerung des Sicherheitsfaktors kann also die Sicherheit einer Leitung erhöhen und wird entweder über die Erhöhung der Wandstärke oder über die Verwendung einer besseren Stahlqualität erreicht. Nach internationaler Praxis wird normalerweise eine größere Wandstärke trotz der damit verbundenen Nachteile (Schweissen, Kosten, Gewicht) einer besseren Stahlqualität vorgezogen.
- Generell reduziert eine bessere Stahlqualität den Anteil am Totalversagen, während eine Erhöhung der Wandstärke eine Reduktion der Eintrittswahrscheinlichkeit bewirkt.

Dennoch ist der Einfluß höherer Sicherheitsfaktoren auf die Basissicherheit nicht eindeutig. Durch die Verwendung von Sicherheitsfaktoren sollen die der Festigkeitsbetrachtung anhaftenden Unsicherheiten Berücksichtigung finden. Der wesentliche Nachteil dieser Methode besteht darin, daß die tatsächlich erreichte Sicherheit des Bauteils unbekannt bleibt.

Mit der Verwendung höherer Sicherheitsfaktoren wird häufig die Annahme verbunden, daß die Sicherheit gegenüber einem Rohrversagen im gleichen Maße steigt. Geht man jedoch davon aus, daß sich mit wachsender Betriebsdauer und bei Wechselbeanspruchung die Festigkeitswerte des Werkstoffes reduzieren (Alterung), muß die Basissicherheit äquivalent als eine zeit- und belastungsabhängige Größe betrachtet werden. Durch den Sicherheitsfaktor wird demnach nur die Zeit beeinflusst, bis eine vorgegebene Sicherheit S_v unterschritten und ein Schadensfall wahrscheinlich wird. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Sicherheit gegenüber Wechselbeanspruchung nicht allein durch die Wandstärke, sondern gleichzeitig von der Rohrqualität (Werkstoffeigenschaften, Fehlstellen, Rohrgeometrie) abhängt /87/.

Eine "Mindestüberlebenswahrscheinlichkeit" der Rohre kann durch Verwendung höherer Sicherheitsfaktoren folglich nicht garantiert werden, so daß von der Größe des Sicherheitsfaktors nicht direkt auf die Sicherheit von Pipelineanlagen gegenüber

Schadensereignissen zu schließen ist, insbesondere, wenn man weitergehend zufällige schadensverursachende Ereignisse (z.B. Einwirkungen Dritter) in die Betrachtung einbezieht. Es ist jedoch grundsätzlich davon auszugehen, daß die durch die Verwendung größerer Sicherheitsfaktoren verursachte Überdimensionierung einen erhöhten Grad an Störungsfreiheit während der Betriebszeit gewährleisten kann, dennoch stehen diesem Vorzug neben dem unvermeidbar hohen investiven Aufwand weitere Nachteile gegenüber /86/:

Tabelle 5.1: Vor- und Nachteile großer Wanddicken	
Vorteile großer Wanddicken	Nachteile großer Wanddicken
<ul style="list-style-type: none"> - Widerstandsvermögen gegenüber äußeren und inneren Einwirkungen steigt bis auf einen optimalen Wert an - Verzicht auf bzw. geringere Anforderungen an spezifische Sicherheitssysteme, da bestimmte Belastungsmomente durch eine erhöhte Wandstärke tolerierbar geworden sind - Tendenzielle Verringerung der Ausfallwahrscheinlichkeit bzw. Erhöhung der Lebensdauer der Rohre 	<ul style="list-style-type: none"> - Stark erhöhte Investitionskosten - Sämtliche innendruckbelastete Ausrüstungsteile sind in derselben Druckstufe auszulegen - Steifigkeit der Rohrleitung nimmt zu, so daß sich z.B bei geringen Lageänderungen der Leitung hohe Spannungen im Rohr ergeben können, die wiederum den Schädigungsprozeß beschleunigen - Aufwendigere Schweißverfahren mit höherem lokalem Wärmeeintrag

Es ist zu schlußfolgern, daß die Verwendung erhöhter Sicherheitsfaktoren im Rahmen der Dimensionierung kritisch zu bewerten ist, insbesondere, da der Zusammenhang zwischen Sicherheitsfaktor und tatsächlicher Sicherheit gegenüber einem Rohrversagen nicht eindeutig gegeben ist. Folglich ist es aus sicherheitstechnischer Sicht nicht erforderlich, bei der Dimensionierung der Pipelinerohre höhere Sicherheitsfaktoren als die im Regelwerk vorgeschriebenen zu verwenden.

Mit der **Festlegung des Berechnungsdruckes** im Rahmen der Dimensionierung legt man gleichzeitig das im Rahmen der Basissicherheit berücksichtigte betriebliche Belastungsniveau fest. Davon ausgehend, daß die interne Beanspruchung der Pipeline maßgeblich durch den mit Pumpen erzeugten Förderdruck sowie das geologische Trassenprofil bestimmt wird und daß die dynamischen Belastungen gegenüber den statischen Belastungen im allgemeinen kritischer anzusehen sind, kann grundsätzlich von drei Fällen für die Festlegung des Auslegungsdruckes ausgegangen werden:

Fall 1: Auslegungsdruck \geq der für die Gewährleistung der Transportaufgabe notwendige Mindestdruck (abhängig vom hydraulischen Profil der Pipeline und vom geforderten Durchsatz)

➤ Maximaler Pumpendruck entsprechend der Pumpenkennlinie ist höher als der Auslegungsdruck.

⇒ Sicherheitsmaßnahmen zur Vermeidung unzulässiger statischer und dynamischer interner Überbeanspruchungen sind notwendig

Vorteile:

- hohe Druck- und Druckwechselbeanspruchungen der Anlage werden durch zuverlässige Sicherheitsmaßnahmen vermieden,
- relativ geringer investiver Aufwand durch geringere Wanddicken,

- Nutzung von für den Förderbetrieb erforderliche Betriebseinrichtungen für die Realisierung der Sicherheitsfunktionen möglich.

- Nachteile:
- zuverlässige Sicherheitstechnik einschließlich regelmäßiger Funktionsprüfungen notwendig,
 - durch geringe Wandstärke verringertes Widerstandsvermögen gegenüber weiteren möglicherweise auftretenden Störeinflüssen

Fall 2: Auslegungsdruck \geq maximaler Druck der Pumpe (bei Null-Förderstrom)

- Der zulässige statische Betriebsdruck kann durch die Förderpumpe nicht überschritten werden.
- ⇒ nur Sicherheitsmaßnahmen zur Vermeidung unzulässiger dynamischer Beanspruchungen (Druckstöße) notwendig

- Vorteile:
- bei Verwendung größerer Wanddicken höhere Sicherheit gegenüber weiteren möglicherweise auftretenden Störeinflüssen,
 - durch geeignete Festlegung der Betriebsbedingungen und Auswahl der Pumpen kann Wanddicke dennoch gering bleiben.

- Nachteile:
- trotzdem zuverlässige Sicherheitstechnik einschließlich regelmäßiger Funktionsprüfungen notwendig.

Fall 3: Auslegungsdruck \geq maximaler Druck aufgrund dynamischer Betriebszustände (Druckstöße, Festlegung i.d.R. auf Grundlage von Simulationsberechnungen)

- Zulässiger Betriebsdruck durch statische oder dynamische Beanspruchung kann nicht überschritten werden.
- ⇒ keine diesbezüglichen Sicherheitseinrichtungen erforderlich.

- Vorteile:
- keine technischen Maßnahmen zum Ausschluß statischer oder dynamischer Beanspruchung mit erhöhten Zuverlässigkeitsanforderungen notwendig,
 - durch Verwendung großer Wanddicken hohe Sicherheit gegenüber weiteren möglicherweise auftretenden Störeinflüssen.

- Nachteile:
- genaue Gefährdungsanalyse und Simulationsrechnung unter Berücksichtigung aller relevanten Nebenbedingungen notwendig,
 - große Wanddicken und hoher investiver Aufwand,
 - Die Rohrleitung unterliegt während der Betriebszeit möglicherweise erheblichen Druckwechselbeanspruchungen.

In Abbildung 5.8 werden diese drei Fälle schematisch dargestellt. Mit steigendem Berechnungsdruck nimmt die Notwendigkeit der erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen ab, wobei an den jeweiligen Grenzwerten „Qualitätssprünge“ in der Sicherheitskonzeption aufgrund des Verzichts von Sicherheitseinrichtungen vorliegen. Mit der geeigneten

Festlegung des Berechnungsdruckes erreicht man möglicherweise einen sicherheitstechnischen und ökonomischen Vorteil, wenn damit die Notwendigkeit sicherheitstechnischer Ausschlußmaßnahmen nicht mehr begründet ist.

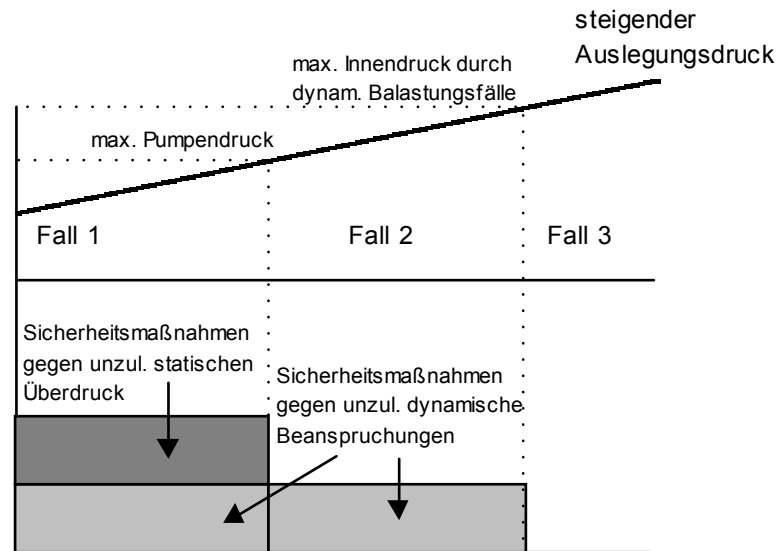


Abbildung 5.8: Einfluß des Auslegungsdruckes auf die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen gegen unzulässige Überdrücke

Einschränkend ist jedoch zu beachten, daß die zulässige Betriebsdauer einer Pipeline unter Berücksichtigung der Auslegungskenngrößen wesentlich von der Anzahl und den Amplituden der während des Betriebs auftretenden Lastwechsel abhängt /82/. In der Regel werden deshalb Pipelinesysteme grundsätzlich so betrieben, daß dynamische Druckbeanspruchungen weitestgehend minimiert werden, was vorwiegend durch sicherheitstechnische Maßnahmen realisiert wird. Es ist somit davon auszugehen, daß die technischen Maßnahmen zur Vermeidung unzulässiger dynamischer Beanspruchungen aus sicherheitstechnischer und ökonomischer Sicht notwendig sind.

Der Berechnungsdruck sollte folglich nur bis zu dem Maße höher angesetzt werden, bis damit aktive Sicherheitsmaßnahmen gegenüber statischen Überbeanspruchungen substituiert werden können.

5.3.3 Prüfung und Lebensdauerabschätzung

Während bei Neuanlagen das Niveau der Basissicherheit im Rahmen der Dimensionierung festgelegt werden kann, ist es bei seit längerer Zeit betriebenen Pipelines erforderlich, das sich ändernde Widerstandsvermögen der Rohre zu ermitteln, um daraus entweder eine Befristung der Betriebszeit abzuleiten oder das zulässige Beanspruchungsniveau neu festzulegen. Damit wird dem formulierten sicherheitstechnischen Ziel, die Belastbarkeit der Pipelineelemente über die vorgesehene Betriebszeit zu gewährleisten, Rechnung getragen.

Im Gegensatz zur Rohrauslegung, die weitestgehend auf deterministischen und physikalisch begründeten Modellen basiert, kann die Ermittlung einer maximalen Betriebszeit oder eines maximalen Belastungsniveaus nur mit Hilfe stochastischer Methoden erfolgen.

Grundlage für eine Berechnung der Lebensdauer von Pipelinerohren ist die genaue Kenntnis über das bisherige Beanspruchungskollektiv bzw. über den aktuellen Zustand der Rohre. Deshalb muß die Lebensdauerabschätzung grundsätzlich im engen Zusammenhang mit den Prüfungen der Pipeline gesehen werden, da mit der Inspektion der Rohre die erforderlichen Daten für eine Lebensdauerabschätzung gewonnen werden (Abbildung 5.9).

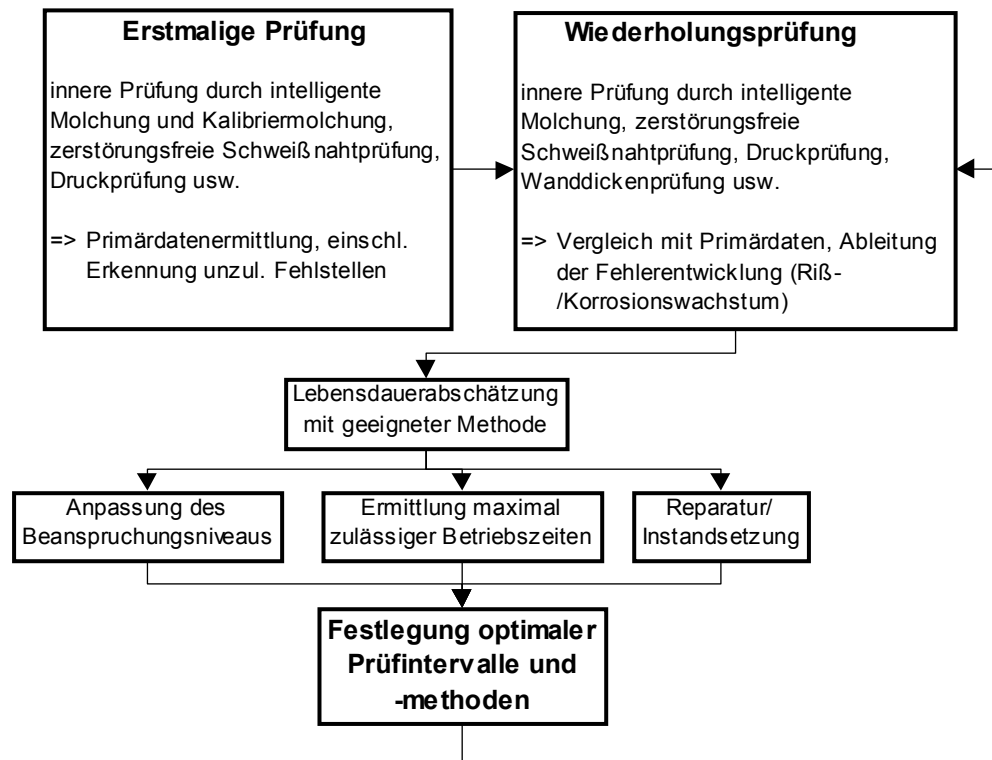


Abbildung 5.9: Zusammenhang zwischen Prüfung und Lebensdauerabschätzung von Pipelinerohren

In Anlehnung an die probabilistische Vorgehensweise bei der Lebensdauerberechnung kann für Fernleitungsrohre eine Überlebenswahrscheinlichkeit (jedoch nur in Abhängigkeit der betrieblichen Belastungen) definiert werden, die jedoch stark von den Randbedingungen wie Wanddicke, Festigkeitsmerkmale des Werkstoffes, Rohrqualität usw. abhängig ist. In /87/ wird die Ausfallwahrscheinlichkeit für ein nach DIN 2413 berechnetes Rohr mit einer Nennwanddicke von 7,9 mm, einer zulässigen Betriebsspannung von 221 N/mm^2 und wechselnder Beanspruchung mit $R_L = 2 \cdot 10^{-4}$ bezogen auf 8800 Lastwechsel angegeben. Aufgrund der zeitlich wirkenden Schädigungseinflüsse muß mit einer zunehmenden Versagenswahrscheinlichkeit einer Leitung während des Betriebes gerechnet werden. Die Änderungsgeschwindigkeit der Versagenswahrscheinlichkeit ist, wie der diesbezügliche Ursprungswert, leitungsspezifisch. Daraus ergibt sich ein Zusammenhang zwischen dem Zustand der Rohre, der Inspektionsstrategie sowie der Versagenswahrscheinlichkeit der Rohre. Nach Inbetriebnahme der Rohrleitungsanlage ist erfahrungsgemäß mit Frühausfällen aufgrund nicht erkannter Fertigungs-, Schweiß- oder Verlegefehler zu rechnen. Während dieser Betriebsphase ist im Rahmen des Probetriebes eine intensivierete Überwachung der Anlage erforderlich. Die Versagenswahrscheinlichkeit nimmt in Abhängigkeit der Beanspruchungsintensität aufgrund der stattfindenden Alterungsprozesse zu. Die erforderlichen Prüfintervalle orientieren sich im wesentlichen an der Fehlstellenentwicklung und am Gesamtbelastungskollektiv (Schwellbeanspruchung) und sind mit zunehmender Betriebszeit zu verkürzen, da das Auftreten kritischer Fehlstellen (Risse usw.) wahrscheinlicher wird.

Weitere Einflußgrößen für die Festlegung der Prüfintervalle sind leitungsspezifische Aspekte, insbesondere das jeweilige Risikopotential, Ausgangsgüte der Leitung und Niveau der sicherheitstechnischen Absicherung /156-158/.

5.4 Sicherheitstechnische Maßnahmen zum Ausschluß unzulässiger Beanspruchungen

Im Rahmen der Sicherheits-Schutz-Struktur von Pipelineanlagen sind die Maßnahmen zum Ausschluß unzulässiger Beanspruchungen wesentlicher Bestandteil der Sicherheitskonzeption. Unzulässige Beanspruchungen resultieren aus nicht bestimmungsgemäßen Betriebszuständen und sind hinsichtlich ihres Beanspruchungsniveaus in der Regel nicht definierbar bzw. können im Rahmen der Dimensionierung nicht berücksichtigt werden.

Bei Rohrfernleitungen können unzulässige Beanspruchungen vor allem durch störungsbedingte dynamisch und statische Überdrücke (Druckstöße), durch Einwirkungen Dritter oder durch Erdbewegungen hervorgerufen werden /111,136,138/. Wesentliches Merkmal dieser Einflußfaktoren ist, daß bei deren Einwirken auf die Pipelineelemente mit einem unmittelbaren Verlust des Hermetisierungspotentials gerechnet werden muß. Das Ziel der Sicherheitsmaßnahmen besteht darin, die unzulässigen Beanspruchungen durch geeignete Maßnahmen auszuschließen bzw. auf ein ungefährliches Maß zu reduzieren.

Folgende Abbildung faßt die zu berücksichtigenden Einflüsse und die erforderlichen sicherheitstechnischen Ausschlußmaßnahmen zusammen:

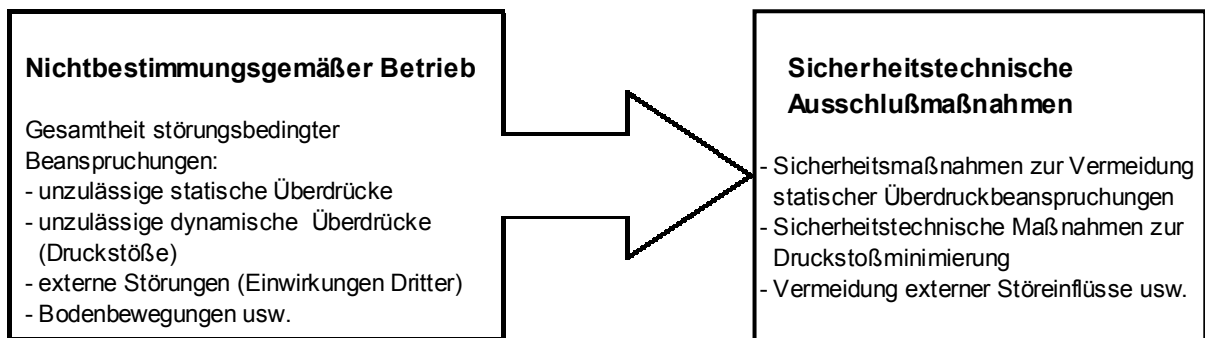


Abbildung 5.10: Einflußgrößen und Maßnahmen zum Ausschluß unzulässiger Beanspruchungen

Entsprechend der Ergebnisse aus den Untersuchungen zur Gefährdungsbildung werden durch die sicherheitstechnischen Ausschlußmaßnahmen die betrieblichen Fehler, externe Einwirkungen und Bodenbewegungen als Versagensursachen abgedeckt.

Während die Absicherung gegen unzulässige statische Druckbeanspruchungen und Druckstöße durch dynamische Sicherheitssysteme realisiert wird, kann die Wahrscheinlichkeit externer Überbeanspruchungen durch folgende Maßnahmen reduziert werden:

- sicherheitsbezogene Trassenführung
- Erhöhung der Verlegetiefe
- Festlegung eines Schutzstreifens
- Kennzeichnung
- Trassenkontrollen
- Schutzrohrverlegung
- Dehnungskompensatoren in Gebieten mit erhöhter Gefährdung durch Bodenbewegungen

Die **sicherheitsbezogene Wahl des Trassenverlaufes** ist die wirksamste Möglichkeiten, das Risiko im Hinblick sowohl auf die Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadensereignisses als auch auf die Minimierung der Auswirkungen maßgebend zu

verkleinern. Die Leitungsführung sollte so erfolgen, daß die Gefährdungen für die Umgebung und die von der Umgebung ausgehenden Einflüsse für die Pipeline minimiert werden. Dieser Grundsatz führt z.B. zu den Festlegungen, daß besonders schutzbedürftige Gebiete (Wasserschutzgebiete, Nähe von Bebauungen usw.) sowie Gebiete, in denen die Pipeline besonderen Einflüssen ausgesetzt sein kann (Bergbaugebiete) möglichst umgangen werden. Aus ökonomischen und prozeßtechnischen Gründen ist der aus schutztechnischer Sicht optimale Trassenverlauf i.d.R. nicht möglich, so daß der tatsächliche Trassenverlauf oftmals nur durch einen Optimierungsprozeß ermittelt werden kann.

Die unterirdische Verlegung der Rohrleitung bietet im begrenzten Maße Schutz vor äußeren Einwirkungen, erhöht aber wiederum die Gefahr der unbeabsichtigten Beschädigung, da das Vorhandensein bzw. die genaue Lage der Pipeline Dritten in der Regel nicht bekannt ist. Die **Höhe der Erddeckung** wird teilweise durch verbindliche Regelungen vorgeschrieben und beträgt in Abhängigkeit des Risikos externer Einwirkungen 60-100 cm, vereinzelt bis 160 cm. Der Zusammenhang zwischen der Verlegetiefe und der Häufigkeit externer Störungen ist in folgender Tabelle dargestellt /46/:

Tabelle 5.2: Häufigkeit externer Störungen in Abhängigkeit der Verlegetiefe	
Verlegetiefe [cm]	Häufigkeit externer Störungen [1/(1000 km Jahre)]
0 – 80	1,03
80 – 100	0,25
> 100	0,21
unbekannt	0,31

Es ist zu erkennen, daß mit größerer Verlegetiefe die Häufigkeit externer Störungen grundsätzlich abnimmt. Die Abnahme der Häufigkeit ist jedoch vom Bereich 0-80 cm auf 80-100 cm am ausgeprägtesten. Größere Verlegetiefen führen in der Regel zu keinem weiteren Sicherheitsgewinn, jedoch steigen die ökonomischen Aufwendungen dadurch enorm. Eine Erhöhung der Erddeckung über die im Regelwerk vorgeschriebene Höhe hinaus als Maßnahmen zur Risikoreduzierung sollte demnach differenziert nur bei besonders gefährdeten Trassenabschnitten (unmittelbare Nähe zu Siedlungen/Bebauungen, nutzungsintensive Gebiete) erfolgen.

Die **Festlegung eines Schutzstreifens** im Bereich der verlegten Pipeline soll einerseits die Durchführung notwendiger Instandhaltungsmaßnahmen ermöglichen und andererseits verhindern, daß unzulässige Einwirkungen (Errichten betriebsfremder Bauwerke) die Sicherheit der Leitung beeinträchtigen. Die Wirksamkeit dieser Maßnahme gegenüber Einwirkungen Dritter ist jedoch beschränkt und ist durch eine intensive Kontrolle durch das Betriebspersonal zu ergänzen.

Mit Hilfe von **Markierungssäulen** entlang der Trassen wird der Pipelinekorridor gekennzeichnet bzw. auf das Vorhandensein der Pipeline hingewiesen und vor Baumaßnahmen in der Nähe der Trasse gewarnt.

Eine Verlegung eines reißfesten Warnbandes in der 0-Uhr-Position des Rohres soll bei Erdaushubarbeiten auf das Vorhandensein der Pipeline hinweisen.

Auswertungen von Schadensereignissen haben ergeben, daß diese Maßnahmen nicht ausreichend waren, um Beschädigungen durch Dritte zu vermeiden, da oftmals die Kennzeichnungen ignoriert wurden.

Befliegungen, Befahrungen oder **Begehungen** des Trassenkorridors in festgelegten Zeitabständen sind primär darauf ausgerichtet, Veränderungen an der Rohrleitungstrasse oder geplante Baumaßnahmen in der Nähe der Pipeline rechtzeitig zu erkennen und mit den Bauausführenden geeignete Sicherheitsvorkehrungen abzustimmen. Des Weiteren soll die unbefugte Nutzung des Schutzstreifens rechtzeitig erkannt und vermieden werden. Die Frequenz der Trassenkontrollen ist ausschlaggebend für die Wirksamkeit dieser Maßnahme wobei wiederum ökonomische Randbedingungen zu beachten sind. Aus diesem Grund ist anzustreben, die Intensität der Kontrollen trassenspezifisch in Abhängigkeit der jeweiligen Bedingungen festzulegen.

Die Anordnung einer zweiten äußeren Schutzhülle (**Schutzrohr**) bietet ein hohes Maß an Widerstandsvermögen gegenüber äußeren Belastungen, ist aber aus Kostengründen nur örtlich begrenzt und in besonders gefährdeten Bereichen (Kreuzungsbereiche) anzuwenden.

5.5 Maßnahmen zur Schadensbegrenzung

5.5.1 Struktur des Schutzsystems

Primär orientiert sich die Spezifik der Schutzmaßnahmen an den jeweiligen Bedingungen um den Trassenabschnitt (Umweltsensibilität, Querungen von Gewässern und Verkehrswegen, Nähe zu Siedlungen) sowie an den Wirkungen bei einer Stoffemission, die vorrangig von der Charakteristik des Transportstoffes abhängig sind. Dabei sind folgende Stoffeigenschaften ausschlaggebend:

- Toxizität,
- Umweltgefährdung (vor allem Wassergefährdung),
- Brennbarkeit,
- physikalische Eigenschaften (Dichte, Dampfdruck, Aggregatzustand).

Weiterhin ist die Schutzstrategie differenziert für die verschiedenen Leitungskomponenten zu betrachten. Das wesentlichste Kriterium ist dabei die Möglichkeit der betrieblichen Anlagenüberwachung und damit verbunden die Abgrenzbarkeit gegenüber öffentlichen Zugriffen. Die Schutzkonzepte unterscheiden sich dabei für die Stationen und die Pipelineabschnitte, die öffentlich zugängliche Gebiete durchqueren:

Tabelle 5.3: Differenzierte Schutzstrategien bei Stoffemissionen	
Anlagenkomponente	Schutzstrategie bei Stoffemission
Stationen (Pumpstationen, Absperrstationen, Übergabestationen usw.)	-> betriebliche Überwachung gegeben transportstoffabhängige Schutzkonzeption: hierarchische Brand- und Explosionsschutzkonzeption Schutzziele: vorwiegend Arbeitnehmer und Umwelt
durch öffentlich zugängliches Gebiet verlegte Rohrabschnitte	-> eingeschränkte betriebliche Überwachung transportstoff- und trassenwegabhängige Schutzkonzeption Schutzziele: vorwiegend Umwelt und Dritte

Die Struktur des Schutzsystems für Rohrabschnitte ist in folgender Abbildung dargestellt:

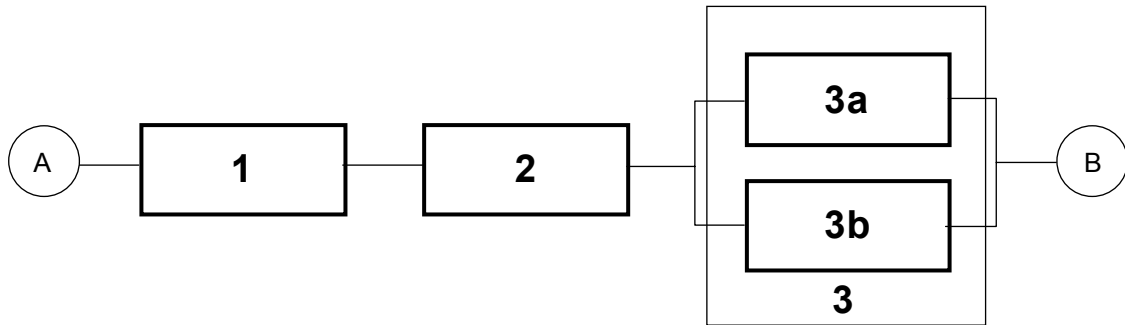


Abbildung 5.11: Struktur des Schutzsystems für Rohrabschnitte

1 - Leckerkennung -> Feststellung des Leckagefalles

2 – Leckortung -> Feststellung des Leckageortes

Bemerkung: Im Falle der Einwirkungen Dritter wird häufig vom Verursacher das Leck erkannt und gemeldet, was gleichzeitig eine Leckerkennung und -ortung darstellt.

3 - Schadensminimierung durch 3a - effektive Ausflußbegrenzung
3b - gezielte Maßnahmen der Gefahrenabwehr

Zustand A: Leckagefall durch lokalen Verlust des Hermetisierungspotentials

Zustand B: kritischer Zustand mit potentieller Gefährdung für Personen und Umwelt (Eintritt bei Versagen der Sicherheitselemente 1-3)

Die Struktur des Schutzsystems widerspiegelt die prinzipiellen logischen Verknüpfungen der Schutzelemente: Ausgangspunkt ist ein Leckagefall durch Verlust des Hermetisierungspotentials. Eine erfolgreiche Schadensminimierung kann nur stattfinden, wenn der Leckagefall erkannt wurde und der Schadensort bekannt ist. Ausflußbegrenzung und Maßnahmen der Gefahrenabwehr können im Rahmen des Schutzsystems als Element der Schadensminimierung zusammengefaßt werden. Grundsätzlich können kritische Schäden an Personen und Umwelt mit einer dieser Maßnahmen vermieden werden, sofern diese ausreichend effektiv sind. Dies ist jedoch nur mit erhöhten technischen, organisatorischen und investiven Aufwendungen zu erreichen, so daß in der Regel eine Kombination beider sich ergänzender Schutzelemente Anwendung findet.

Die effektive Schadensbegrenzung ist von der Funktionalität der einzelnen Komponenten des Schutzsystems abhängig und ist bei Versagen eines der in Reihe geschalteten Elemente nicht mehr gewährleistet. Es besteht somit die Möglichkeit, die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines kritischen Zustandes durch die sicherheitstechnische Gestaltung des Schutzsystems wesentlich zu beeinflussen.

5.5.2 Aspekte der Ausflußbegrenzung

Nachdem ein Stoffaustritt durch das Leckerkennungs- und Leckortungssystem detektiert wurde, besteht im Rahmen des Schutzkonzeptes die Aufgabe darin, die Menge des austretenden Stoffes so gering wie möglich zu halten. Dies wird durch die Unterbrechung des

Förderstromes (Abschalten der Förderpumpen) und durch das Schließen der Trassenschieber erreicht. Dazu sind bei Pipelineanlagen in festgelegten Abständen Absperrarmaturen installiert, die das maximal austretende Volumen begrenzen sollen. Dies entspricht schutztechnisch dem Prinzip der Verkleinerung des stofflichen Gefährdungspotentials. In Abbildung 5.12 ist beispielhaft das zwischen zwei Absperrarmaturen eingeschlossene und damit das theoretisch maximal austretende Volumen in Abhängigkeit der Anzahl der vorgesehenen Armaturen am Beispiel einer 300 km langen Fernleitung für verschiedene Nennweiten dargestellt. Dabei ist zu erkennen, daß es insbesondere bei Fernleitungen mit großen Nennweiten nur mit erheblichem Aufwand möglich ist, die maximale Austrittsmenge auf einen akzeptablen Wert zu begrenzen. Selbst wenn bei einer DN 300- Pipeline nach jedem Trassenkilometer eine Absperrarmatur installiert werden würde, beträgt das maximal mögliche Austrittsvolumen immer noch etwa 71 m^3 .

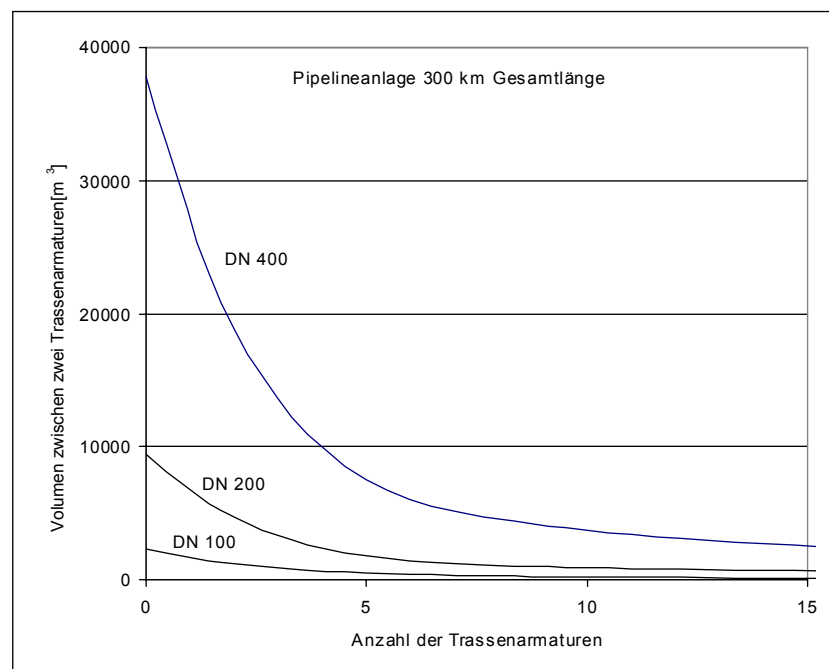


Abbildung 5.12: Reduzierung des maximal möglichen Austrittsvolumens in Abhängigkeit der Anzahl der Trassenabsperrrmaturen für unterschiedliche Nennweiten

Daraus ist zu schlußfolgern, daß eine Unterteilung der Pipeline in *gleichgroße* absperrbare Abschnitte aus ökonomischen und sicherheitstechnischen Aspekten keine geeignete Methode für eine wirkungsvolle Ausflußbegrenzung darstellt.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die erforderliche Verkleinerung des effektiven Gefahrstoffpotentials durch Anordnung der Absperrschieber neben den Gefährlichkeitsmerkmalen des Transportstoffes auch wesentlich vom Schutzbedarf des Trassenabschnittes abhängt, stellt die Methode der **trassendifferenzierten Reduzierung des Austrittsvolumens** durch spezifische Anordnung der Armaturen die geeignetere Maßnahme dar, in definierten Bereichen eine effektive Ausflußbegrenzung und gezielte Risikominimierung vorzunehmen. Die Entscheidung, für welche Pipelineabschnitte eine Verkürzung der Armaturenabstände erforderlich ist, muß im Ergebnis der Risikountersuchung und unter Berücksichtigung der für den Pipelineabschnitt spezifischen Sicherheits- und Schutzmaßnahmen erfolgen. So ist beispielsweise in besonders schutzbedürftigen Gebieten (Flußkreuzungen, bebaute Gebiete) der Abstand zwischen zwei Absperrschiebern wesentlich zu verkleinern, während in weniger gefährdeten Regionen der Abstand vergrößert werden kann.

5.6 Schlußfolgerungen

Das Ziel, ein weitestgehend konstantes Risikoniveau über den gesamten Trassenverlauf zu erhalten ist nur durch die Kombination der verschiedenen sicherheits- und schutztechnischen Maßnahmen zu erreichen. Die Auswahl und die Festlegung der erforderlichen Wirksamkeit der Maßnahmen ist in Abhängigkeit der ermittelten Ergebnisse der Risikountersuchungen vorzunehmen. Da jedoch festgestellt wurde, daß mit den in der Praxis angewandten Sicherheitsstrategien nicht immer optimal die erforderliche Risikominimierung erreicht werden kann, ist es insbesondere für die Festlegung der erforderlichen Wirksamkeit der risikominimierenden Maßnahmen erforderlich, die Auswahl und die Anordnung der Sicherheitsmaßnahmen auf Grundlage eines hierarchischen Sicherheits-Schutz-Konzeptes vorzunehmen.

Entsprechend der Struktur des Sicherheits-Schutz-Konzeptes erfolgt die Risikominimierung durch Erhöhung und Gewährleistung der passiven Sicherheit (Basissicherheit), durch Ausschluß unzulässiger Beanspruchungen in Verbindung mit schutztechnischen Maßnahmen. Aus den Untersuchungen zu den Relationen zwischen den einzelnen Hierarchieebenen können allgemeingültige Grundsätze abgeleitet werden:

- Primär sollte ein hohes Niveau der Basissicherheit angestrebt werden, da es nicht oder nur schwer möglich ist, diesbezügliche Defizite durch sicherheitstechnische oder intensivierete schutztechnische Maßnahmen zu kompensieren. Bei der Festlegung des Niveaus der Basissicherheit sind jedoch neben den ökonomischen Randbedingungen auch sicherheitstechnische Einschränkungen zu berücksichtigen (Einsatz hochfester Stähle bzw. großer Wanddicken), so daß insgesamt eine optimierende Betrachtungen notwendig sein wird.
- Durch gezielte Festlegung der Basissicherheit (insbes. durch die Wahl des Auslegungsdruckes) besteht die Möglichkeit, eine Substitution sicherheitstechnischer Ausschlußmaßnahmen zu erreichen. Dies ist jedoch nur sinnvoll, wenn damit Sicherheitsmaßnahmen gegen statische Überdrücke ersetzt werden.
- Die Basissicherheit und die Wirksamkeit sicherheitstechnischer Ausschlußmaßnahmen muß für die gesamte Betriebszeit durch Maßnahmen der regelmäßigen Zustandsfeststellung, Instandhaltung und Funktionsprüfungen sowie ggf. durch Anpassung der Betriebsweise erhalten werden.
- Trotz einer hohen Zuverlässigkeit und Wirksamkeit der Sicherheitsebene kann auf Grund der Charakteristik relevanter Einflußgrößen die erforderliche Risikominimierung nur durch ergänzende schutztechnische Maßnahmen erreicht werden. Diese sind hinsichtlich ihres Erfordernisses und ihrer notwendigen Wirksamkeit ausgeprägt trassenabschnittsbezogen, da die spezifischen Umgebungsbedingungen dabei einen wesentlichen Einfluß besitzen.
- Die notwendige Wirksamkeit schutztechnischer Maßnahmen orientiert sich weiterhin wesentlich am Niveau der Sicherheitsebene zur Vermeidung von Stoffaustritten aus dem Pipelinesystem. Eine Erweiterung der Schutzebene ist für solche Pipelineabschnitte relevant, bei denen die Wahrscheinlichkeit für Schadensfälle durch technische Maßnahmen nicht weiter reduziert werden kann und die Auswirkungen der Stoffaustritte nicht toleriert werden können (z.B. hohes Schutzbedürfnis der Umgebung).

- Entscheidend für die Auswahl bzw. Anwendungsmöglichkeit der Sicherheits- und Schutzmaßnahmen ist, in welcher Lebensphase sich das Pipelinesystem befindet. Es bestehen die größten Chancen einer effektiven Risikominimierung in der Planungs- und Entwurfsphase, da hier vor allem das Niveau der Basissicherheit im Rahmen der Dimensionierung festgelegt wird sowie bei der zuverlässigkeitsbezogenen Gestaltung dynamischer Sicherheitssysteme und durch die Wahl des Trassenverlaufes das Risiko für die Umwelt und Bevölkerung von vornherein vermieden oder stark reduziert werden kann.

In der Betriebsphase ist eine gezielte Risikoreduzierung weitaus schwieriger möglich und beschränkt sich im wesentlichen auf Maßnahmen zur Erhaltung der Basissicherheit durch eine angepasste Inspektions- und Instandhaltungsstrategie, sowie der abschnittsdifferenzierten Erweiterung sicherheits- und schutztechnischer Maßnahmen. Des weiteren besteht in der Betriebsphase die Möglichkeit, die Betriebsbedingungen und damit das Belastungsniveau an das sich ändernde Niveau der Basissicherheit anzupassen.