

VCI-LEITFADEN ZUR

Risikobasierten Wellendichtungsauswahl

- Anwendung, Bewertung, Strategien

Inhaltsverzeichnis

Risikobasierte Wellendichtungsauswahl.....	1
- Anwendung, Bewertung, Strategien.....	1
0. Vorwort	4
1. Ausführungen und Eigenschaften von ausgewählten Wellendichtungssystemen	4
2. Definition des Wellendichtungs-Sicherheits-Niveaus (WSN).....	5
3. Risikobewertung	5
3.1 Beschreibung der Risikomatrix.....	6
3.2 Benutzung der Matrix.....	8
4. Auswahl der Wellendichtungssysteme	9
Gesetzliche Grundlagen und Verweise	10
Definitionen und Begriffe.....	10
Anhang.....	10

0. Vorwort

Mit steigender Tendenz ist zu erkennen, dass ein Leitfaden für die Dichtungsauswahl an Pumpen für unterschiedliche Förderaufgaben nachgefragt wird. Um die Dichtungsauswahl reproduzierbar gestalten zu können, ist hierzu eine entsprechende systematische Vorgehensweise erarbeitet worden.

Dieser Leitfaden des VCI-Arbeitskreises Pumpen ist als Arbeitsunterlage für Planer und Betreiber von Pumpen mit unterschiedlichen Abdichtungssystemen erstellt worden. Im Rahmen dieses Leitfadens werden die verschiedenen Wellenabdichtungssysteme bzgl. der Sicherheit näher erläutert und bewertet.

Der Leitfaden beschreibt beispielhaft einen allgemeinen Ansatz, wie für eine konkrete Förderaufgabe das zugeordnete Risikolevel ermittelt werden kann und ordnet einem derart ermittelten Risikolevel ein entsprechendes Wellendichtungs-Sicherheits-Niveau (WSN) zu.

Der Leitfaden hat einen empfehlenden Charakter, von dem abgewichen werden kann. Auch bei anderen Vorgehensweisen zur Risikolevelermittlung sollte aber eine vergleichbare Einstufungssystematik zur Ermittlung der Wertigkeit der vorgeschlagenen Wellendichtungssysteme zu Grunde gelegt werden.

1. Ausführungen und Eigenschaften von ausgewählten Wellendichtungssystemen

Zur Förderung von Fluiden werden unterschiedlichste Pumpentechniken mit verschiedensten Wellendichtungskonzepten eingesetzt. Man unterscheidet dabei im Wesentlichen zwischen dynamischen und statischen Dichtsystemen, die das Fluid am Austritt aus der Pumpe hindern sollen. Während statische Dichtsysteme wie z.B. Gehäusedichtungen in der Regel gute Dichteigenschaften haben und als technisch dicht gelten, sind dynamische bzw. rotierende Dichtungen (z.B.: Wellenabdichtungen) meist nur optisch dicht.

In Tabelle 1 werden die gebräuchlichsten Dichtungstypen, die in der Pumpentechnik eingesetzt werden, nach Eigenschaften und Wirkungsweisen der Dichthüllenkombinationen und der sich daraus ergebenden Schutzfunktion gegenüber Leckage beschrieben. Dabei steht das Dichtungskonzept A für die geringste und das Dichtungskonzept E für die höchste Schutzfunktion.

Typisierung der Wellendichtungen	Typ der primären Dichthülle	Typ der zusätzlichen Schutzmaßnahme (hier Dichthülle)	Bemerkungen
A	dynamisch	----	1)
B	statisch	----	2)
C	dynamisch	dynamisch	1) & 3)
D	statisch	dynamisch	2) & 3)
E	statisch	statisch	2) & 4)

Tabelle 1 Einstufung der Wellendichtungskonzepte

- 1) Eine dynamisch ausgeführte primäre Dichthülle besteht in der Regel, neben anderen ergänzenden Komponenten aus einer dynamischen d.h. bewegten Wellendichtung. Die Dichtfunktion und Standfestigkeit der Dichtung ist verschleißabhängig und wird von den Einsatzbedingungen wesentlich beeinflusst. Eine dynamische Dichthülle ist meist nur optisch dicht. Ein Versagen der Dichtfunktion und die daraus resultierende Produktfreisetzung (LOPC) sind üblicherweise unmittelbar an der Dichtung durch die zunehmende Leckage erkennbar.
- 2) Eine statisch ausgeführte primäre Dichthülle wird ohne bewegliche Komponenten ausgeführt und unterliegt somit keinem funktionsbedingten mechanischen Verschleiß. Eine statisch ausgeführte Dichthülle ist meist auch technisch dicht. Ein Versagen der Dichtungsfunktion und die darauffolgende Produktfreisetzung (LOPC) entstehen meist nicht durch Verschleiß, sondern durch Beschädigung und deshalb spontan ohne Vorankündigung.
- 3) Eine dynamisch ausgeführte zusätzliche Schutzmaßnahme (1. Sicherheitsbarriere) besteht meist aus einer Kombination verschiedener Komponenten (z.B.: zusätzliches Druckgehäuse mit eigener dynamischer Wellenabdichtung), die beim Versagen der primären Dichthülle ein gezieltes Abführen oder Auffangen der Leckage ermöglicht und somit die Gefahr des Produktaustritts wesentlich reduziert. Auch diese Dichtung unterliegt dem mechanischen Verschleiß.
- 4) Eine statisch ausgeführte zusätzliche Schutzmaßnahme (1. Sicherheitsbarriere) besteht ausschließlich aus statischen Dichtkomponenten. Die statische Dichtung ist verschleißfrei. Die Hauptaufgabe besteht darin, einen zusätzlichen Schutz vor Produktaustritt zu gewährleisten. Weitere Schutzfunktionen können z.B. durch zusätzliche Installationen, Prozessüberwachung mit Prozessleittechnik oder organisatorische Maßnahmen realisiert werden.

2. Definition des Wellendichtungs-Sicherheits-Niveaus (WSN)

Die Sicherheit gegen Produktfreisetzung einer konkret beschriebenen Wellenabdichtungslösung (siehe Anhang 1 und 2) beim Versagen der ersten Dichthülle, spiegelt sich in dem jeweils zugeordneten Wellendichtungs-Sicherheits-Niveau wider. Die folgend beschriebenen Schutzmaßnahmen sind als physikalische Dichthüllen in Kombination mit prozessleittechnischen und/oder organisatorischen Maßnahmen auszuführen.

Qualitative Aussage zur Sicherheit gegen Produktfreisetzung, bei Versagen der ersten Dichthülle	Wellendichtungs-Sicherheits-Niveau (WSN)	Anzahl der Schutzmaßnahmen (Safety Layer)
Keine Sicherheit gegen Produktfreisetzung	0	0
Niedrige Sicherheit gegen Produktfreisetzung	1	1
Mittlere Sicherheit gegen Produktfreisetzung	2	2
Hohe Sicherheit gegen Produktfreisetzung	3	3
Inhärent dichte Konstruktion	4	mindestens 1

3. Risikobewertung

Die primäre Dichthülle einer Flüssigkeitspumpe kann versagen und würde, wenn keine Schutzmaßnahmen vorhanden sind, einen Produktaustritt nach sich ziehen.

Beispiele für primäre Dichthüllen sind:

- Einfachwirkende Gleitringdichtungen
- produktberührte (innere) Gleitringdichtung einer Doppelgleitringdichtung
- Spalttopf einer Magnetkupplungspumpe
- Spaltrohr einer Spaltrohrmotorpumpe

Das Risiko einer unzulässigen Produktfreisetzung (LOC) wird durch eine Risikobewertung mit Hilfe einer Risikomatrix ermittelt. Dabei erfolgt die Einstufung in die Risikomatrix abhängig von

- einer Versagenswahrscheinlichkeit des Wellendichtungssystems bzw. der primären Dichthülle und
- des voraussichtlichen Schadensausmaßes bei einem Schaden.

Falls das Ergebnis ein unzureichendes Schutzniveau und damit ein zu hohes Risiko, definiert durch die Risikoklasse, ergibt, kann durch zusätzliche Schutzmaßnahmen das Risiko abgesenkt werden. Je reduzierte Risikoklasse wird eine zusätzliche Schutzmaßnahme benötigt. Prinzipiell ergibt sich daraus: Je höher das potenzielle Risiko, desto mehr bzw. höherwertige Schutzmaßnahmen sind zum Erreichen eines akzeptablen Risikos erforderlich.

Nachfolgend werden Systematik und Durchführung einer Risikobewertung erläutert.

3.1 Beschreibung der Risikomatrix

Risiko wird als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Ausmaß eines Ereignisses definiert. Die Benutzung der Risikomatrix ergibt für ein gegebenes Szenario eine Risikoklasse (a bis f) in Abhängigkeit von der Eintrittswahrscheinlichkeit des Auslösers (P0 bis P4) und des Schadensausmaßes (S1 bis S4). Die Einstufung des Schadensausmaßes (Auswirkung auf die Sicherheit, Gesundheit und Umwelt) wird zum Beispiel in einem Sicherheitsgespräch festgelegt.

Wahrscheinlichkeit

P0: Ist schon mehrmals geschehen (einmal pro Jahr oder öfter)

P1: Ist schon einmal geschehen (etwa einmal in 10 Jahren)

P2: Fast geschehen, beinahe Schaden (etwa einmal in 100 Jahren)

P3: Noch nie geschehen, aber denkbar (etwa einmal in 1.000 Jahren)

P4: Vernünftigerweise auszuschließen (seltener als einmal in 10.000 Jahren)

Folgende Versagenswahrscheinlichkeiten werden für Pumpenabdichtungen vorgeschlagen: (Ausfall der primären Dichthülle LOPC)

P0: Dynamische Abdichtungen, wie z.B. Packung oder einfachwirkende Gleitringdichtung

P1: Dynamische/statische Abdichtungen, wie z.B. doppelwirkende Gleitringdichtung oder Spalttopf

P2: Statische Abdichtungen, wie z.B. Spaltrohr

P3 & P4: Nur mit zusätzlichen Schutzmaßnahmen zu erreichen (siehe Kapitel 2. Definitionen)

Schadensausmaß: (Personen- und Umweltschäden)

S1: Potential für einen oder mehrere Todesfälle/irreparable Umweltschäden

S2: Potential für einen oder mehrere Schwerverletzte/schwere Umweltschäden

S3: Potential für einen oder mehrere Verletzte mit Ausfalltagen/Umweltschäden

S4: Potential für leichte Verletzungen oder Belästigungen

Die Beschreibung der Risikoklassen findet sich in folgender Tabelle wieder:

Risiko-klasse	Risikoniveau
a	Extremes, völlig unakzeptables Risiko
b	Sehr großes, unakzeptables Risiko
c	Großes, unakzeptables Risiko
d	Mittleres, akzeptables Risiko, das weiter reduziert werden sollte
e	Kleines, akzeptables Risiko, das weiter reduziert werden könnte
f	Sehr kleines, akzeptables Risiko

Aus den vorgenannten Versagenswahrscheinlichkeiten und Schadensausmaßen ergibt sich nachfolgende Matrix der Risikoklassen für die Wellendichtungsauswahl:

Risikomatrix		Schadensausmaß			
		S1	S2	S3	S4
Versagenswahrscheinlichkeit	P0	a	b	d	e
	P1	b	b	e	e
	P2	b	c	e	f
	P3	c	d	f	f
	P4	e	f	f	f

3.2 Benutzung der Matrix

Im Folgenden werden die bei der Anwendung des Leitfadens üblichen Schritte aufgeführt und Hinweise zur Ausführung der Schritte gegeben.

Schritt 1: Identifizierung von möglichen Gefahrenquellen (Gefahrenpotenzial)

In diesem Schritt wird das Gefahrenpotenzial der zu fördernden Stoffe bei einem LOPC ermittelt. In der Regel erfolgt dies auf Basis der Stoffdaten/Stoffeigenschaften (siehe Sicherheitsdatenblatt) in Vorbereitung auf das Sicherheitsgespräch. Das Ergebnis ist die Einstufung des Schadensausmaßes (S1 bis S4).

Schritt 2: Festlegung des Wellendichtungssystems (Versagenswahrscheinlichkeit)

Abhängig vom vorgesehenen Wellendichtungssystem ergeben sich unterschiedliche Eintrittswahrscheinlichkeiten eines LOPC (P0 bis P2).

Hinweis zu Schritt 1 und Schritt 2:

Bei der Bestimmung dieser Größen wird die Wirkung von bestehenden oder vorgeschlagenen Gegenmaßnahmen (z.B. Sekundärabdichtungen, PLT-Schutzeinrichtungen, etc.) nicht angerechnet. Es werden nur die Wirksamkeit der „normalen“ Pumpenkomponenten oder Pumpenteilsysteme, sowie geplante Maßnahmen zur inhärenten Sicherheit berücksichtigt. Dies ist notwendig, um „Rohdaten“ zum Risiko zu erhalten.

Schritt 3: Bestimmung der Risikoklasse

Die Versagenswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß werden, wie in Schritt 1 und 2 beschrieben, geschätzt. Der Schnittpunkt der Werte für Versagenswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß in der Risikomatrix ergibt die Risikoklasse ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen.

Schritt 4: Bestimmung der risikomindernden Maßnahmen

Falls die Einstufung eine zu hohe, inakzeptable Risikoklasse ergibt, kann das Risiko durch zusätzliche Schutzmaßnahmen weiter abgesenkt werden. Jede weitere Schutzmaßnahme (Safety Layer) reduziert stufenweise die Risikoklasse in vertikaler Richtung innerhalb des bestimmten Schadensausmaßes (S1 bis S4). Die Differenz zwischen der Ausgangsrisikoklasse und der gewünschten/erforderlichen Risikoklasse ergibt die Anzahl der zusätzlichen Schutzmaßnahmen.

Beispiele:

Bei einer Einstufung in P2/S1 (Risikoklasse b) werden zwei zusätzliche Schutzmaßnahmen benötigt, um zu einer Einstufung in P4/S1 (Risikoklasse e) zu gelangen.

Bei einer Einstufung in P0/S2 (Risikoklasse b) werden vier zusätzliche Schutzmaßnahmen benötigt, um zu einer Einstufung in P4/S2 (Risikoklasse f) zu gelangen.

Alternativ kann hier ein Wellendichtungssystem mit einer geringeren Versagenswahrscheinlichkeit eingesetzt werden.

Risikomatrix		Schadensausmaß			
		S1	S2	S3	S4
Versagenswahrscheinlichkeit	P0	a	b	d	e
	P1	b	b	e	e
	P2	b	c	e	f
	P3	c	d	f	f
	P4	e	f	f	f

Wenn das Risiko als Risikoklasse f eingestuft wurde, sind keine weiteren Schutzmaßnahmen zur Risikominderung notwendig bzw. ökonomisch sinnvoll.

4. Auswahl der Wellendichtungssysteme

Im Anhang 1 kann der Anwender übliche Wellendichtungssysteme mit jeweils zugeordneten Versagenswahrscheinlichkeiten selektieren. Die Anzahl der geforderten Schutzmaßnahmen zur Reduzierung der Risikoklasse ergibt die möglichen Wellendichtungssysteme gleicher Wertigkeit (gleichen WSN).

Anschließend ist die Daueremission (TA Luft) zu beurteilen, wodurch gegebenenfalls einige Wellendichtungslösungen gleichen Risikopotenzials ausscheiden können.

Zuletzt werden die verbliebenen Wellendichtungssysteme auf prozesstechnische Einschränkungen hin überprüft (Feststoffe, Viskosität etc.) und mit den Präferenzen des Betreibers abgeglichen.

Gesetzliche Grundlagen und Verweise

TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
API 682	Pumps shaft sealing systems for centrifugal and rotary pumps

Definitionen und Begriffe

- **WSN** – Wellendichtungs-Sicherheits-Niveau (WSN)
- **LOC** – Loss of Containment = unzulässige Produktfreisetzung
- **LOPC** – Loss of Primary Containment = Versagen der primären Dichthülle
- **PLT** – Prozessleittechnik = Als Prozessleittechnik bezeichnet man Mittel und Verfahren, die dem Steuern, Regeln und Sichern verfahrenstechnischer Anlagen dienen
- **EMSR** – Elektrisches Messen, Steuern und Regeln = In diesem Fachgebiet werden die sich oft überschneidenden Gebiete der Messtechnik, der Steuerungstechnik und der Regelungstechnik in ihrer Verbindung betrachtet. Das Fachgebiet wird oft auch als MSR- oder EMSR-Technik bezeichnet.
- **Optisch dicht** = Begriff aus der TA-Luft, beschreibt Dichtungen ohne Tropfleckage jedoch mit gasförmigen Emissionen.
- **Technisch dicht** = Begriff aus der TA-Luft, beschreibt Dichtungen, die weder Tropfleckage noch gasförmige Emissionen aufweisen.
- **Primäre Dichthülle** = Primary Containment (erste produktseitige Barriere), z. B.:
 - einfachwirkende Gleitringdichtung
 - produktberührte (innere) Gleitringdichtung einer Doppelgleitringdichtung
 - Spalttopf einer Magnetkupplungspumpe
 - Spaltrohr einer Spaltrohrmotorpumpe
- Schutzmaßnahmen = Safety Layer sind zusätzliche Maßnahmen, die verhindern, dass bei Versagen der primären Dichthülle eine Produktfreisetzung erfolgt. Schutzmaßnahmen bedingen, dass
 - ein Versagen der primären Dichthülle erkannt wird, und nach dem Ansprechen der Schutzeinrichtung das System in einen sicheren Zustand gebracht wird. Meist besteht der sichere Zustand in der Sekundärabdichtung und einem Still-setzen der Pumpe.
 - sekundäre Abdichtungen können atmosphärensseitige (äußere) Gleitringdichtung einer Doppelgleitringdichtung, die Sekundärabdichtung bei einer Magnetkupplungspumpe oder das Motorgehäuse einer Spaltrohrmotorpumpe sein.

Anhang

Anhang 1 Bewertung und Klassifizierung

Anhang 2 Typische Aufbaudarstellungen von Wellenabdichtungen

Rechtliche Hinweise

Dieser Leitfaden entbindet in keinem Fall von der Verpflichtung zur Beachtung der gesetzlichen Vorschriften. Der Leitfaden wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Dennoch übernehmen die Verfasser und der Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) keine Haftung für die Richtigkeit der Angaben, Hinweise, Ratschläge sowie für eventuelle Druckfehler. Aus etwaigen Folgen können deswegen keine Ansprüche weder gegen die Verfasser noch gegen den Verband der Chemischen Industrie e.V. geltend gemacht werden.

Das Urheberrecht dieses Leitfadens liegt beim VCI. Die vollständige und auszugsweise Verbreitung des Textes ist nur gestattet, wenn Titel und Urheber genannt werden.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Thilo Höchst

Abteilung Wissenschaft, Technik und Umwelt
Bereichsleiter Umweltschutz, Anlagensicherheit, Verkehr
T +49 (69) 2556-1507 | E hoechst@vci.de

Verband der Chemischen Industrie e.V. – VCI

Mainzer Landstraße 55
60329 Frankfurt

www.vci.de | www.ihre-chemie.de | www.chemiehoch3.de

[LinkedIn](#) | [Twitter](#) | [YouTube](#) | [Facebook](#)

- Registernummer des EU-Transparenzregisters: 15423437054-40
- Der VCI ist in der „öffentlichen Liste über die Registrierung von Verbänden und deren Vertretern“ des Deutschen Bundestags registriert.

Der VCI vertritt die wirtschaftspolitischen Interessen von über 1.700 deutschen Chemie- und Pharmaunternehmen sowie deutschen Tochterunternehmen ausländischer Konzerne gegenüber Politik, Behörden, anderen Bereichen der Wirtschaft, der Wissenschaft und den Medien. 2020 setzte die Branche knapp 190 Milliarden Euro um und beschäftigte rund 464.400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.



Responsible Care – ein Beitrag zur
Nachhaltigkeitsinitiative Chemie³

CHEMIE³
DIE NACHHALTIGKEITSINITIATIVE
DER DEUTSCHEN CHEMIE

Getragen von:
Wirtschaftsverband VCI,
Gewerkschaft IG BCE und
Arbeitgeberverband BAVC