



RICHTLINIE FÜR DIE INSTALLATION VON STATIONÄREN, DURCH E-MOTOR ANGETRIEBENEN KREISELPUMPEN FÜR FLÜSSIGSAUERSTOFF

IGC Document 148/08/D

Ersetzt EIGA 705/06

**GLOBAL
HARMONISIERTES DOKUMENT**

Beruhrt auf CGA G-4.7

EUROPEAN INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION INDUSTRIEGASEVERBAND e. V.

Avenue des Arts 3-5 • B-1210 BRUSSELS
Tel: +32 2 217 70 98 • Fax: +32 2 219 85 14
E-mail: info@eiga.org • Internet: <http://www.eiga.be>

Komödienstr. 48 • D-50667 KÖLN
Tel: +49 221 9125750 • Fax: +49 221 912575 15
E-mail: Kontakt@Industriegaseverband.de
Internet: www.Industriegaseverband.de



RICHTLINIE FÜR DIE INSTALLATION VON STATIONÄREN, DURCH E-MOTOR ANGETRIEBENEN KREISELPUMPEN FÜR FLÜSSIGSAUERSTOFF

Autoren:

Roger Argent	AIR PRODUCTS
Jim Currie	BOC
Per-Erik Isaksson	LINDE
Andrea Mariotti	SOL
Michel Masson	AIR LIQUIDE
Herman Puype	EIGA
Frank Ruhland	MESSER
Inaki Uriarte	PRAXAIR

Haftungsausschlussklauseln

Alle technischen Veröffentlichungen der EIGA oder im Namen der EIGA einschließlich Verfahrensbestimmungen, Sicherheitsvorschriften und aller sonstigen technischen Informationen, die in den Veröffentlichungen enthalten sind, stammen aus Quellen, die als zuverlässig betrachtet werden, und basieren auf technischen Informationen und Erfahrungen, die zum Zeitpunkt ihrer Veröffentlichung von EIGA-Mitgliedern und anderen erhältlich waren.

Zwar empfiehlt die EIGA ihren Mitgliedern die Bezugnahme auf ihre Veröffentlichungen oder deren Verwendung, aber die Bezugnahme auf EIGA-Veröffentlichungen oder deren Verwendung durch EIGA-Mitglieder oder durch Dritte ist rein freiwillig und nicht bindend..

Daher übernehmen die EIGA und ihre Mitglieder keine Garantie für die Ergebnisse, und sie übernehmen keine Haftung oder Verantwortung hinsichtlich der Bezugnahme auf Informationen oder Vorschläge, die in Veröffentlichungen der EIGA enthalten sind, oder deren Verwendung.

Die EIGA hat keinerlei Kontrolle über die Tauglichkeit oder Untauglichkeit, Fehldeutungen, korrekte oder falsche Verwendung von in EIGA-Veröffentlichungen enthaltenen Informationen oder Vorschlägen durch Personen oder Instanzen (einschließlich EIGA-Mitgliedern), und die EIGA schließt ausdrücklich jegliche Haftung in diesem Zusammenhang aus.

EIGA-Veröffentlichungen werden regelmäßig überarbeitet, und den Anwendern wird dringend empfohlen, sich stets die neueste Ausgabe zu beschaffen.



Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Anwendungsbereich und Zweck	1
2.1	Anwendungsbereich.....	1
2.1.1	Gegenwärtige industrielle Praxis.....	1
2.1.2	Ingenieurtechnische Beurteilung.....	1
2.1.3	Muss und soll(te)	2
2.2	Zweck.....	2
3	Definitionen.....	2
3.1	Kaltes Ende.....	2
3.2	Einhausung	2
3.3	Distanzstück.....	2
3.4	Schadensfall.....	2
3.5	Pumpensystem	2
3.6	Spülgas	2
3.7	Qualifiziertes technisches Personal	3
3.8	Warmes Ende.....	3
4	Sicherheitsbetrachtungen.....	3
4.1	Eigenschaften von Sauerstoff	3
4.1.1	Gefahren.....	3
4.1.2	Sauerstoffreinheit	3
4.1.3	Verunreinigung	3
4.2	Gefahren durch Oxidation.....	3
4.2.1	Stabilität.....	3
4.2.2	Brennbarkeit	3
4.2.3	Zündtemperaturen	4
4.2.4	Kleidung.....	4
4.2.5	Boden	4
4.2.6	Schmierstoffe auf Kohlenwasserstoffbasis.....	4
4.3	Kryogene Gefahren.....	4
4.3.1	Sieden.....	4
4.3.2	Kaltverbrennung	4
4.3.3	Eis.....	4
4.4	Verdampfung und Druckgefahren	5
4.4.1	Volumen.....	5
4.4.2	Eingeschlossene Flüssigkeiten	5
4.4.3	Ordnung und Sauberkeit	5
4.4.4	Verteilung.....	5
4.5	Schadensfälle.....	5
4.5.1	Geschichte.....	5
4.5.2	Schadensfälle am kalten Ende	5
4.5.3	Schadensfälle am warmen Ende.....	5
4.5.4	Eisbildung	6
4.5.5	Schmierstoffe.....	6
4.6	Wiederverwendung von gebrauchter Ausrüstung.....	6
5	Bauformen von Pumpen.....	6
5.1	Vorsorge des Betreibers	6
5.1.1	Konstruktion.....	6
5.1.2	Spezielle Konstruktionen und Anwendungen.....	6
5.1.3	Berücksichtigung des Systems.....	6
5.2	Konstruktions-Materialien.....	7
5.2.1	Bronze	7
5.2.2	Zündquellen	7
5.2.3	Kompatible Materialien	7
5.2.4	Ideale Materialeigenschaften.....	7

5.3	Komponenten des kalten Endes	8
5.3.1	Typische Pumpe	8
5.3.2	Akzeptable Materialien	8
5.3.3	Kupferlegierungen	8
5.3.4	Kupfer-Nickel-Legierungen	9
5.3.5	Nickel-Kupfer-Legierungen	9
5.3.6	Rostfreier Stahl	10
5.3.7	Dünne Innenteile	10
5.3.8	Potentielle Reibungsflächen	10
5.4	Mechanische Konstruktion	10
5.4.1	Spielräume	10
5.4.2	Befestigung	10
5.4.3	Wellendichtungen	10
5.4.4	Eisbildung	11
5.5	Pumpenwellen-Lager	11
5.5.1	Lagerarten	11
5.5.2	Kälteschutz	12
5.5.3	Schmierung	12
5.6	Pumpen-Motoren	13
5.6.1	Motor-Typ	13
5.6.2	Direkt oder starr gekuppelt	13
6	Installation	13
6.1	Grundlegende Sicherheitsmaßnahmen für die Anlage	13
6.1.1	Auswahl	13
6.1.2	Kombinationen und zusätzliche Maßnahmen	14
6.1.3	Logische Vorsichtsmaßnahmen	14
6.2	Gefährdungsbereiche	14
6.2.1	Historische Definition	14
6.2.2	Heutige Erfahrungen	14
6.2.3	Neue Definition der Gefährdungsbereiche	15
6.2.4	Betreten eines Gefährdungsbereichs	16
6.2.5	Besondere Situationen	16
6.3	Schutzwände	16
6.3.1	Allgemein	16
6.3.2	Definition	16
6.3.3	Konstruktion	17
6.3.4	Hilfseinrichtungen	17
6.4	Lageplan	17
6.4.1	Umgebung der Pumpe	17
6.4.2	Position der Starttaste	18
6.4.3	Entdeckung einer Dichtungsleckage	18
6.5	Rohrleitungen	18
6.5.1	Saugleitung	18
6.5.2	Thermisches Entspannungsventil	18
6.5.3	Entspannungen und Ablassöffnungen	18
6.5.4	Not-Absperrventil	19
6.5.5	Handabsperrentil	19
6.5.6	Saugfilter	19
6.5.7	Rohrisolierung	19
6.5.8	Rückschlagventil in der Druckleitung	19
6.5.9	Absperrventil in der Druckleitung	19
6.6	Weitere Überlegungen	20
6.6.1	Lagerung der Flüssigkeit	20
6.6.2	Zufahrt und Parken von Fahrzeugen	20
7	Regeleinrichtungen und Instrumentierung	20
7.1	Allgemein	20
7.2	Regeleinrichtungen	20
7.2.1	Regeleinrichtungen, Hardware und Handlung des Bedieners	20
7.2.2	Variable Antriebsgeschwindigkeiten	21
7.2.3	Notaus-Taster	21
7.3	Wartung und Analyse-Geräte	21

8	Betrieb und Wartung.....	22
8.1	Warnzeichen	22
8.1.1	Kennzeichnung des Gefährdungsbereichs	22
8.1.2	Kennzeichnung der Sauerstoffpumpe	22
8.2	Training	22
8.3	Start und Betrieb	22
8.3.1	Schriftliche Instruktionen	22
8.3.2	Kaltstellen der Pumpe	23
8.3.3	Bildung von Eisbrücken	23
8.4	Zustandsprüfung	23
8.4.1	Prüfung der Pumpe	23
8.4.2	Häufigkeit der Zustandsprüfung	24
8.5	Wartung und Reparatur.....	24
8.5.1	Wartungsprogramm.....	24
8.5.2	Reparaturverfahren	24
8.5.3	Teile	24
8.5.4	Qualifikationen des Personals	24
8.5.5	Berichte.....	24
8.6	Filter / Siebe	24
8.6.1	Reinigung von Filtern / Sieben	24
8.6.2	Häufigkeit der Reinigung von Filtern / Sieben.....	24
9	Referenzen	25

1 Einführung

Die European Industrial Gases Association (EIGA) hat den Standard G-4.7 der Compressed Gas Association (CGA) als Teil eines Programms zur Harmonisierung von Industrie-Standards im Original übernommen. Dieser Standard ist als international harmonisierter Standard zur weltweiten Benutzung und Anwendung durch alle Mitglieder von EIGA, CGA, JIGA, AIGA and ANZIGA vorgesehen. Die EIGA-Ausgabe hat den gleichen technischen Inhalt wie die CGA-Ausgabe, jedoch gibt es editorische Änderungen vor allem bei der Formatierung, bei den benutzten Maßeinheiten und bei der Schreibweise. Ferner wurden Hinweise auf US-Vorschriften durch Hinweise auf europäische regionale Vorschriften ersetzt.

Das Pumpen von Flüssigsauerstoff ist, wie viele gängige Verfahren, mit gewissen Gefahren verbunden, die erkannt und beachtet werden müssen. Die Gefahren entstehen durch Flüssigkeit unter Druck, kryogene Temperaturen, Volumen- und Druckzunahme durch Verdampfen und durch die Fähigkeit des Sauerstoffs zur Beschleunigung der Verbrennung. Ein Schadensfall kann (1) zum Durchbrennen des Pumpengehäuses oder angeschlossener Rohrleitungen führen, wobei ein energiereicher Flüssigkeits- oder Gas-Strahl mit geschmolzenem Metall oder Metalloxiden ausströmt oder (2) das explosionsartige Bersten des Motorgehäuses, der Treibriemen-Box oder Getriebe-Box verursachen, wobei Metallsplitter wie ein Schrapnell weggeschleudert werden. Jeder Fall kann für ungeschützte Personen tödlich sein und Einrichtungen in der Nähe beschädigen. Der Gefährdungsbereich kann 30 m oder mehr betragen.

2 Anwendungsbereich und Zweck

2.1 Anwendungsbereich

2.1.1 Gegenwärtige industrielle Praxis

Diese Richtlinie enthält eine Zusammenstellung der gegenwärtigen industriellen Praktiken und beruht auf den gesammelten Kenntnissen, Erfahrungen und Praktiken der größeren Produzenten von Flüssigsauerstoff durch Übereinkunft in CGA und EIGA. Die Richtlinie ist das Referenz-Dokument für die spezielle Konstruktion und Installation von mit Elektromotor angetriebenen Flüssigsauerstoff-Kreiselpumpen und für Betrieb und Wartung dieser Einrichtungen. Andere Pumpentypen, wie Kolbenpumpen oder auf Fahrzeugen installierte Pumpen werden nicht behandelt. Obwohl viele Teile dieser Richtlinie als Grundlage für jene anderen Pumpentypen benutzt werden können, beschreibt die Richtlinie nicht sämtliche speziellen Aspekte der Konstruktion jener Pumpentypen. Außerdem ist nicht beabsichtigt, Kriterien für Konstruktion und Installation aller Arten von Kryopumpen darzustellen, sondern das Augenmerk ist auf die speziellen Aspekte der Sicherheit des Sauerstoffbetriebes gerichtet. Die meisten industriellen Erfahrungen liegen bezüglich Pumpenanlagen für Sauerstoffkonzentrationen von 95 mol-% oder mehr vor. Wenn eine Pumpenanlage für mit Sauerstoff angereicherten Flüssigkeiten zwischen 25 und 95 mol-% Sauerstoff vorgesehen ist, muss die Installation einer sinnvollen ingenieurtechnischen Beurteilung unterzogen werden.

2.1.2 Ingenieurtechnische Beurteilung

Einige der beschriebenen praktischen Verfahrensweisen stellen konservative Kompromisse dar und es werden nicht alle Situationen behandelt. Der Konstrukteur wird darauf hingewiesen, dass diese Richtlinie kein Konstruktions-Handbuch ist und dass die Notwendigkeit einer kompetenten ingenieurtechnischen Beurteilung und Interpretation damit nicht entfällt. Die Richtlinie erhebt nicht den Anspruch, alle Sicherheitsprobleme anzusprechen, die mit dem Betrieb von Flüssigsauerstoff-Pumpen verbunden sind. Es gehört zur Verantwortung jedes Anwenders dieser Richtlinie, qualifiziertes technisches Personal zu konsultieren, um angemessene Sicherheits- und Gesundheitsschutzmaßnahmen festzulegen und vor der Benutzung die Anwendbarkeit von einschränkenden Vorschriften zu prüfen.

2.1.3 Muss und soll(te)

Obgleich mit dieser Richtlinie keine zwingend anzuwendende Vorschrift beabsichtigt ist, wird das Wort „shall“ = muss häufig benutzt. Wenn es benutzt wird, bedeutet es die dringende Forderung, das spezielle Verfahren aus Sicherheitsgründen anzuwenden. Die Verwendung des Wortes „should“ = soll(te) bedeutet, dass das betreffende Verfahren üblicherweise angewendet wird, dass aber auch andere sichere Verfahren anwendbar sind.

2.2 Zweck

Der Zweck dieser Richtlinie ist es, qualifiziertes technisches Personal mit zweckmäßigen technischen Informationen zu versorgen, die bei der Konstruktion neuer Pumpenanlagen für Flüssigsauerstoff anzuwenden sind. Insbesondere ist die Richtlinie dem sicheren zuverlässigen Betrieb von Flüssigsauerstoff-Pumpen gewidmet. Referenzen: CGA P-8 und IGC 704/05 *Safe Practices Guide for Air Separation Plants* [1].¹⁾ Diese Publikation ist keine Spezifikation für die Konstruktion von Sauerstoffpumpen.

¹⁾ Referenzen sind mit Nummern in eckigen Klammern bezeichnet. Sie werden, in der Reihenfolge ihrer Erwähnung, in einer Liste im Abschnitt Referenzen zusammengestellt.

3 Definitionen

Für die Zwecke dieser Richtlinie gelten die folgenden Definitionen.

3.1 Kaltes Ende

Teil der Pumpe, durch den die kryogene Flüssigkeit läuft und in dem deren Druck erhöht wird. Wenn die Pumpe in Betrieb ist, erreicht das kalte Ende die Temperatur der gepumpten Flüssigkeit.

3.2 Einhausung

Bauliche Konstruktion oder Einrichtung, die typischerweise isoliert ist und die das kalte Ende enthält oder umhüllt, wie z. B. eine Grube, Pumpen-Box, Rohrleitungs- oder Pumpen-Coldbox.

3.3 Distanzstück

Tragrahmen oder Stütze zwischen dem kalten und dem warmen Ende.

3.4 Schadensfall

Versagen einer Pumpe mit Freisetzung von Energie, wie Feuer, Explosion, Wegschleudern von geschmolzenem Metall oder metallischen Bruchstücken oder irgendeine Kombination dieser Ereignisse.

3.5 Pumpensystem

Pumpe, Antrieb, irgendeine Übersetzung mittels Treibriemen oder Getriebe zur Geschwindigkeits-erhöhung, Rohrleitung vom ersten Absperrventil bis zum stromabwärts gelegenen Absperrventil oder Rückschlagventil, Regeleinrichtungen und Druckentlastungsventile.

3.6 Spülgas

Trockene ölfreie Luft von Umgebungstemperatur, Stickstoff oder Argon, die benutzt werden, um Sauerstoff oder feuchte Luft auszuspülen bzw. deren Zutritt zu verhindern.

3.7 Qualifiziertes technisches Personal

Personen, wie z. B. Ingenieure oder Chemiker, die durch Ausbildung, Training oder Erfahrung wissen, wie physikalische und chemische Prinzipien anzuwenden sind, die beim Pumpen kryogener Flüssigkeiten und bei Reaktionen von Sauerstoff mit anderen Materialien eine Rolle spielen.

3.8 Warmes Ende

Motor, Getriebe-Box, Treibriemen-Box und Lagergehäuse.

Hinweis: Das Lagergehäuse kann separat aufgestellt oder in eine der Komponenten des warmen Endes eingeschlossen sein.

4 Sicherheitsbetrachtungen

4.1 Eigenschaften von Sauerstoff

4.1.1 Gefahren

Der Umgang mit Flüssigsauerstoff bringt wegen der starken Oxidationsfähigkeit, wegen der kryogenen Temperatur der Flüssigkeit und des Dampfes und wegen der Möglichkeit des Druckanstiegs durch Verdampfung und Flüssigkeitsausdehnung Gefahren mit sich.

4.1.2 Sauerstoffreinheit

Die Ausrüstung muss mit einem zulässigen Verfahren für den Sauerstoffbetrieb gereinigt sein. Die Reinigung muss von Personen durchgeführt werden, die für diese Aufgabe qualifiziert sind. Vor der Benutzung muss die gesamte Ausrüstung, die im Normalbetrieb mit Sauerstoff in Kontakt kommt, entfettet werden und, wenn sie eingelagert wird, muss die Ausrüstung vor Verunreinigung und Korrosion geschützt und als für den Sauerstoffbetrieb geeignet gekennzeichnet werden.

Referenz: IGC Doc 33/97, *Cleaning of Equipment for Oxygen Service. Guideline* [2].

4.1.3 Verunreinigung

Das Personal, welches Teile bearbeitet oder handhabt, die mit Sauerstoff in Kontakt kommen können, muss saubere Handschuhe und Kleidung tragen und ausschließlich neue Traggurte und saubere Gerätschaften für die Handhabung benutzen.

4.2 Gefahren durch Oxidation

4.2.1 Stabilität

Obwohl Sauerstoff in gasförmiger oder flüssiger Form stabil und nicht brennbar ist, ist er als Oxidationsmittel klassifiziert.

4.2.2 Brennbarkeit

Materialien, die in Luft brennen, werden viel heftiger und mit höherer Temperatur in Sauerstoff oder in sauerstoffangereicherter Atmosphäre brennen. Referenz: IGC 4/00 *Fire Hazards of Oxygen and Oxygen Enriched Atmospheres* [3]. Einige Brennstoffe, wie Öle auf Kohlenwasserstoffbasis, brennen mit explosionsartiger Heftigkeit in sauerstoffangereicherter Atmosphäre. Es müssen solche Materialien ausgewählt werden, die größeren Widerstand gegen Entzündung und geringere Verbrennungs-geschwindigkeit haben.

4.2.3 Zündtemperaturen

Die Zündtemperaturen sind in sauerstoffangereicherter Atmosphäre niedriger. Einige Materialien, die in Luft nicht brennbar sind, brennen ohne Schwierigkeit und heftig in sauerstoffangereicherter Atmosphäre.

4.2.4 Kleidung

Saugfähiges Material, wie Kleidung, kann mit Sauerstoff gesättigt und ohne Schwierigkeit entzündet werden und schnell verbrennen. Diese Gefahr kann nach der Einwirkung der Sauerstoffquelle einige Zeit fortbestehen. Nach einer Einwirkung von Sauerstoffdämpfen sollten größere Kleidungsstücke ausgezogen werden oder die Person sollte sich in einem offenen Bereich aufhalten und für eine Dauer von 30 Minuten Zündquellen meiden, damit der überschüssige Sauerstoff aus der Kleidung entweichen kann.

4.2.5 Boden

Der Boden im Bereich von Sauerstoffpumpen-Anlagen muss aus anorganischem Material bestehen, das mit Flüssigsauerstoff verträglich ist. Asphalt und andere Materialien auf Kohlenwasserstoffbasis stellen eine Gefahr dar und wenn sie mit Flüssigsauerstoff getränkt sind, werden sie zu Sprengstoff, der durch einen fallenden Gegenstand oder durch beliebige Reibung, wie z. B. durch Reifen gezündet werden kann. Beim Gehen oder beim Rollen von Teilen auf Flächen, auf denen Sauerstoff ausgelaufen ist, kann es zu einer Entzündung kommen.

4.2.6 Schmierstoffe auf Kohlenwasserstoffbasis

Schmierstoffe auf Kohlenwasserstoffbasis stellen bei Anwesenheit von Sauerstoff eine ernste Gefahr dar und sollten nicht benutzt werden, wo sie mit Sauerstoff in Kontakt kommen könnten. Wenn es nötig ist, Schmierstoffe auf Kohlenwasserstoffbasis in einer Sauerstoffpumpen-Anlage zu benutzen, müssen Sicherheitsmaßnahmen, wie z. B. der Anschluss einer Gasspülung an das Lagergehäuse, getroffen werden, um sicherzustellen, dass die Schmierstoffe nicht mit Sauerstoff in Kontakt kommen können (siehe 4.5.5 und 5.5.3).

4.3 Kryogene Gefahren

4.3.1 Sieden

Flüssigsauerstoff siedet bei Atmosphärendruck bei -183 °C

4.3.2 Kaltverbrennung

Kontakt der Haut mit auslaufendem oder versprühtem Flüssigsauerstoff, kaltem Dampf, Ventilen, Kupplungen, Rohrleitungen oder anderen kalten Oberflächen kann schwere Erfrierungen oder Kaltverbrennungen verursachen.

4.3.3 Eis

Feuchtigkeit kondensiert und gefriert an exponierten kalten Oberflächen, wodurch Ventile, Kupplungen und Sicherheitseinrichtungen im offenen oder geschlossenen Zustand einfrieren und der korrekte Betrieb verhindert wird.

WARNUNG: *Eisbildung kann normale Lüftungsöffnungen blockieren, zu höheren Sauerstoffkonzentrationen führen und Strömung in unerwünschte Bereiche ablenken.*

4.4 Verdampfung und Druckgefahren

4.4.1 Volumen

Eine Volumeneinheit Flüssigsauerstoff expandiert bei Umgebungsbedingungen zu 856 Volumeneinheiten Gas. Auch bei beliebigem Druck kann Sauerstoff bei Temperaturen über -119 °C als Flüssigkeit nicht existieren; dieser Wert ist als die kritische Temperatur bekannt.

4.4.2 Eingeschlossene Flüssigkeiten

Flüssigsauerstoff nimmt permanent Wärme durch die Behälterwand auf, was zum Sieden führt. Wenn Flüssigkeit oder kaltes Gas in einem Behälter oder einem Rohrleitungsabschnitt eingeschlossen ist, muss der schnelle Druckanstieg in dem abgesperrten Raum zum Bersten der Einrichtung führen. Um ein derartiges Versagen zu verhindern, müssen in jeder Rohrleitungssektion oder Einrichtung, in der kalter Sauerstoff eingeschlossen werden könnte, thermische Sicherheitsventile installiert werden.

4.4.3 Ordnung und Sauberkeit

Ordnung und Sauberkeit in und um den Bereich einer Pumpenanlage für Flüssigsauerstoff ist ein generelles Erfordernis. Thermische Sicherheitsventile entspannen Gas zur Atmosphäre, so dass immer die Gefahr erhöhter Sauerstoffkonzentrationen besteht. Brennbare Materialien dürfen in diesem Gebiet nicht gelagert werden.

4.4.4 Verteilung

Kalter, gasförmiger Sauerstoff und Flüssigsauerstoff sind beträchtlich schwerer als Luft und sammeln sich in Gruben, Spalten oder anderen Bodenvertiefungen an.

4.5 Schadensfälle

4.5.1 Geschichte

Eine Übersicht über bekannte Schadensfälle mit Flüssigsauerstoff-Pumpen zeigte, dass die Mehrzahl der maßgebenden Ursachen die Konstruktionsmaterialien für das kalte Ende, Leckagen an der Wellendichtung und Schmierstoffe auf Kohlenwasserstoffbasis waren.

4.5.2 Schadensfälle am kalten Ende

Vor den 1980er Jahren gebaute Pumpen waren normalerweise aus Aluminium oder Aluminiumbronze konstruiert. Beide Materialien können in Sauerstoffatmosphäre leicht entzündet werden und unkontrolliert Energie freisetzen. Die Umstellung auf Pumpengehäuse und Laufräder aus Zinnbronze-Material verminderte wesentlich die Häufigkeit von Pumpenschäden, die durch das Konstruktionsmaterial verursacht wurden. Jedoch sollte beachtet werden, dass durch Änderungen des Materials die Entzündungen nicht vollständig beseitigt wurden, da Reibung von Bauteilen auftreten kann oder Fremdpartikel zwischen bewegliche Bauteile gelangen können, was der Konstrukteur der Anlage berücksichtigen sollte.

4.5.3 Schadensfälle am warmen Ende

Die meisten Schadensfälle in der letzten Zeit sind auf längerfristige oder größere Dichtungsleckagen und das Vorhandensein von Schmierstoffen auf Kohlenwasserstoffbasis im warmen Ende der Pumpe und im Getriebe zurückzuführen. Eine Leckage an der Wellendichtung kann zu hoher Sauerstoffkonzentration im Lagergehäuse der Pumpe und zur Freisetzung von Energie führen. Das Lagergehäuse der Pumpe könnte durch den Motor, die Getriebe-Box, die Treibriemen-Box oder ein separates Lagergehäuse dargestellt sein, wobei letzteres an der Treibriemen-Box angebaut oder im Distanzstück installiert sein kann.

4.5.4 Eisbildung

Eine Ansammlung von Eis, welche stattfindet, wenn feuchte Luft am Distanzstück zwischen kaltem und warmem Ende mit kalten Oberflächen in Kontakt kommt, kann zur Brückenbildung führen, wodurch eine Sauerstoff-Leckage an das warme Ende gelangen und die Sauerstoffkonzentrationen im Bereich des Lagergehäuses erhöhen kann. Dichtungsleckagen und Eisbildung sollten beobachtet und beseitigt werden, um die Möglichkeit von Pumpen-Schadensfällen zu reduzieren.

4.5.5 Schmierstoffe

Die Benutzung von sauerstoffverträglichen Schmierstoffen vermindert die Wahrscheinlichkeit von Pumpen-Schadensfällen; jedoch sind sie den Schmierstoffen auf Kohlenwasserstoffbasis bezüglich der Schmierwirkung unterlegen und sie sind oft hygroskopisch, wodurch es zu Korrosion, schlechterem Betriebsverhalten und geringerer Zuverlässigkeit der Lager kommt. Sauerstoffverträgliche Schmierstoffe müssen für Getriebe-Boxen oder Pumpensysteme, die einen großen Schmierstoffvorrat haben, benutzt werden. Fette auf Kohlenwasserstoffbasis werden, wegen der besseren Zuverlässigkeit, allgemein für Wälzlager benutzt, da deren Schmierstoffbedarf klein ist. In diesem Fall ist die Installation einer Inertgasspülung für das Lagergehäuse der Pumpe die sicherste und kostengünstigste Maßnahme, um eine Sauerstoffanreicherung im Lagergehäuse zu verhindern.

4.6 Wiederverwendung von gebrauchter Ausrüstung

Wer Flüssigsauerstoff-Pumpen installiert, ist für die sichere Installation neuer und gebrauchter Ausrüstungen verantwortlich. Gebrauchte Pumpen müssen untersucht werden, um das Alter, die Betriebsbedingungen, die Konstruktionsmaterialien, die Sauberkeit, den bisherigen Service, die Art der benutzten Schmierstoffe und die Eignung für die vorgesehene Anwendung zu überprüfen. Es sollten Anstrengungen unternommen werden, um gebrauchte Ausrüstungen für die Wiederverwendung in neuen Anlagen oder Einsatzbereichen aufzuwerten, damit Übereinstimmung mit der heutigen Konstruktionspraxis erreicht wird. Der Betreiber sollte, falls nötig, die Hilfe qualifizierten Personals in Anspruch nehmen, um nachzuweisen, dass die gebrauchte Ausrüstung für den Sauerstoffbetrieb akzeptiert werden kann.

5 Bauformen von Pumpen

5.1 Vorsorge des Betreibers

5.1.1 Konstruktion

Diese Richtlinie ist kein Konstruktions-Handbuch und ist deshalb kein Ersatz für kompetente ingenieurtechnische Beurteilung und Interpretation. Dem Betreiber wird empfohlen, spezielle Probleme oder Bedenken mit dem Lieferanten der Pumpe zu diskutieren, der auf diesem speziellen Gebiet mehr Kenntnisse haben sollte.

5.1.2 Spezielle Konstruktionen und Anwendungen

Bei Pumpen, die nicht Gegenstand dieser Richtlinie sind, müssen zweckmäßige technische Konstruktionen und Betriebsverfahren angewendet werden. Spezielle Anwendungen, Konstruktionen oder Gesichtspunkte müssen mit dem Lieferanten der Ausrüstung und mit qualifiziertem technischem Personal diskutiert werden.

5.1.3 Berücksichtigung des Systems

Die Pumpe ist Teil eines Systems und deshalb müssen angemessene Sicherheits-Kriterien für das gesamte Pumpensystem angewendet werden.

5.2 Konstruktions-Materialien

5.2.1 Bronze

Durch die Benutzung von Pumpen, die gänzlich aus Bronze hergestellt sind (Laufgrad, Rückwand und Gehäuse) sind Schadensfälle durch Entzündung und fortdauernde Verbrennung durch starke innere Reibung nahezu eliminiert worden, während Entzündungen mit einem Durchbruch des Feuers gar nicht aufgetreten sind. Aluminiumbronze darf nicht benutzt werden (siehe 5.3.3.1). Obgleich durch die Benutzung von Pumpen, die gänzlich aus Bronze gebaut sind, die Möglichkeit einer Entzündung und fortdauernden Verbrennung minimiert ist, besteht dennoch eine gewisse Unsicherheit; deshalb sind die Konstruktionsmaterialien für jedes Einzelteil sorgfältig auszuwählen. Bewährte technische Erfahrungen bezüglich Materialien, Konstruktions-Praxis, Prüfmethode und Betriebsverfahren müssen angewendet werden.

5.2.2 Zündquellen

Die folgenden Zündquellen können typischerweise zur Entzündung in Flüssigsauerstoff-Pumpen führen:

- Längerer Betrieb der Pumpe ohne ausreichende Flüssigkeit;
- Versagen von Lager, Welle oder Laufgrad, was zu starker Reibung im Inneren führt;
- Aufprall eines Fremdpartikels im Inneren.
- Mechanische Reibung durch starke Vibration, durch eingeschlossene Partikel im Spielraum von drehenden Teilen, durch unpassenden Zusammenbau oder durch übermäßige Beanspruchung der Rohrleitungen an den Pumpenflanschen.

5.2.3 Kompatible Materialien

Zulässige Konstruktionsmaterialien sind in Standards der American Society for Testing and Materials (ASTM), in ASTM Standard Technical Publications und in Informationen des ASTM G-4 Committee [4, 5] angeführt.

Obwohl die ASTM-Publikationen und andere veröffentlichte Quellen nicht speziell für Flüssigsauerstoff-Pumpen gelten, können sie als Richtlinie zur Materialauswahl durch den Konstrukteur benutzt werden. Tests haben gezeigt, dass eine Entzündung mit zunehmenden Drücken und Temperaturen des Sauerstoffs wahrscheinlicher wird. In einer Pumpe ist eine Entzündung wegen der kryogenen Kühlung und der erforderlichen relativ hohen Zündtemperaturen im Allgemeinen weniger wahrscheinlich. Das gilt jedoch nicht für potentielle Reibungsflächen. Für derartige Flächen müssen besondere Materialkombinationen benutzt werden, da hier durch Reibung hohe Temperaturen erzeugt werden können.

Bestimmte Materialien können auf der Grundlage aktueller Betriebserfahrungen mit Sauerstoff-Ausrüstungen akzeptiert werden.

5.2.4 Ideale Materialeigenschaften

Ideale Eigenschaften, um die Möglichkeit einer Entzündung zu minimieren und fortdauerndes Brennen auszuschließen, sind:

- Hohe Zündtemperatur
- Hohe Wärmeleitfähigkeit
- Geringe Verbrennungswärme

Zusätzlich zur Sauerstoffverträglichkeit müssen die Materialien und die Konstruktion geeignet sein für:

- kryogenen Betrieb;
- die vorgesehene Funktion des jeweiligen Teils;
- den Einschluss von flüssigem und gasförmigem Sauerstoff unter Druck;

- mechanische Festigkeit.

5.3 Komponenten des kalten Endes

5.3.1 Typische Pumpe

Eine typische Querschnittszeichnung einer Kreiselpumpe für Sauerstoff mit kalter mechanischer Gleitringdichtung in Bild 1 zeigt die üblichen Komponenten der Pumpe.

5.3.2 Akzeptable Materialien

Eine Zusammenstellung akzeptabler Konstruktionsmaterialien ist in Tabelle 1 enthalten.

5.3.3 Kupferlegierungen

Die am besten geeigneten Materialien für benetzte Komponenten (d. h. Gehäuse, Laufräder, Einlaufteile, Verschleißringe, Diffusoren, Passringe und Rückwände) sind Kupferlegierungen mit mindestens 80 % Kupfer und nur Spuren von Aluminium (maximal 0,1 %). Typische Materialien sind Zinn- und Bleibronzen. In der Vergangenheit sind viele Materialien in Flüssigsauerstoff-Pumpen benutzt worden, aber die Verwendung von Materialien mit relativ hohen Verbrennungswärmen und niedrigen Zündtemperaturen, wie Aluminium und Aluminiumbronze, ist nicht mehr zu akzeptieren.

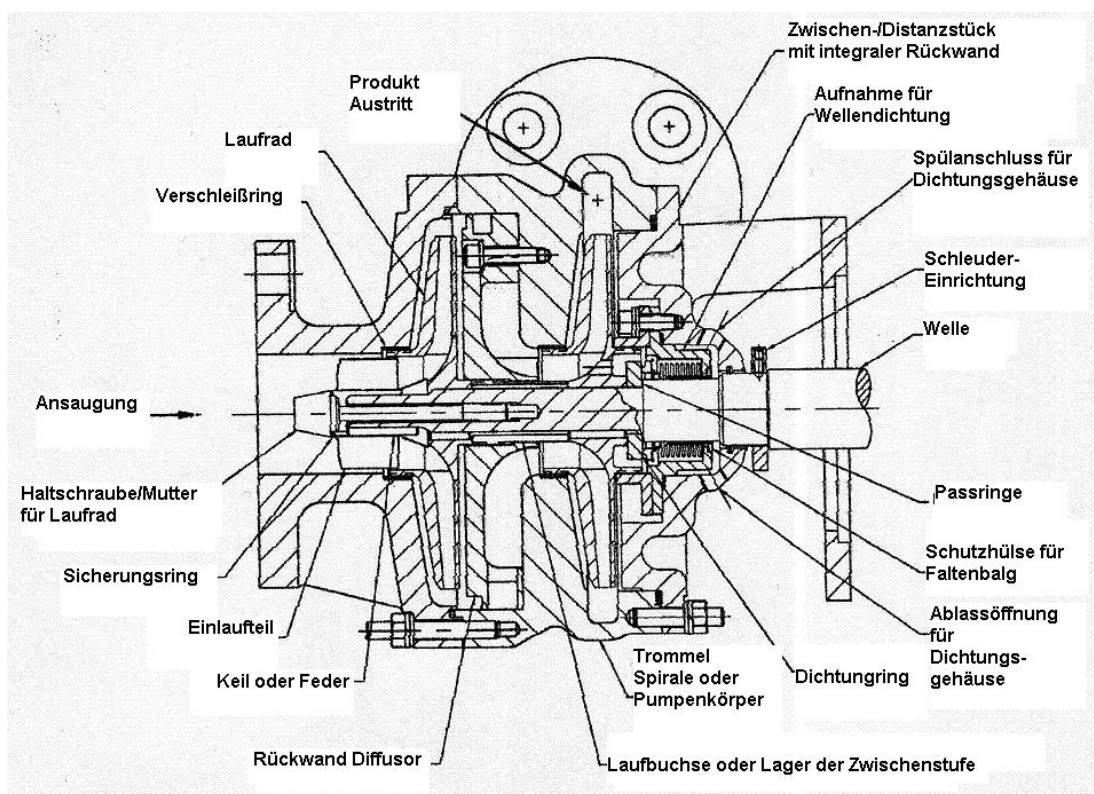


Bild 1: Komponenten einer Kreiselpumpe für Sauerstoff mit kalter mechanischer Gleitringdichtung

5.3.3.1 Aluminiumbronzen

Aluminiumbronzen wurden früher für Kreiselpumpen für Flüssigsauerstoff wegen ihrer außerordentlich hohen Zugfestigkeit benutzt. Gegossene Aluminiumbronzen enthalten üblicherweise 6,0 bis 11,5 % Aluminium und 0,8 – 5,0 % Eisen. Diese Elemente haben eine relativ hohe Verbrennungswärme. Wenn Aluminiumbronze in einer sauerstoffreichen Atmosphäre entzündet

wird, ist es praktisch unmöglich, das Feuer zu löschen; deshalb ist Aluminiumbronze nicht mehr akzeptabel.

5.3.3.2 Bronzeguss-Legierungen

Ursprünglich wurde der Begriff Bronze für Kupferlegierungen benutzt, deren wesentliches oder einziges Legierungselement Zinn war. Allgemein gesagt, Bronzen sind Kupferlegierungen, in denen das wesentliche Legierungselement nicht Zink oder Nickel ist. Um korrekt zu sein, sollte heutzutage dieser Begriff mit einem einschränkenden Adjektiv benutzt werden. Es gibt vier wesentliche Bronzeguss-Legierungen: Zinnbronzen, verbleite und hochverbleite Zinnbronzen, Nickel-Zinn-Bronzen und Aluminiumbronzen.

5.3.4 Kupfer-Nickel-Legierungen

Kupfer-Nickel-Legierungen sind außerordentlich widerstandsfähig gegen Entzündung / Verbrennung, exzellent gießbar, widerstandsfähig gegen Korrosion und ihre mechanischen Eigenschaften über den Temperaturbereich machen sie für Gehäuse und Laufräder geeignet. Kupfer-Nickel-Legierungen enthalten laut Definition mindestens 67 % Kupfer und als Rest überwiegend Nickel.

Tabelle 1: Akzeptable Konstruktionsmaterialien für Kreiselpumpen für Flüssigsauerstoff (siehe 5.3) (Zur typischen Nomenklatur der Pumpen siehe Bild 1)

Teil	Materialien
Trommeln, Spirale, oder Pumpenkörper Rückwände Laufräder Einlaufteil Diffusoren Verschleißringe	<u>Kupferlegierung, Kupfer-Nickel-Legierung oder Nickel-Kupfer-Legierung</u> ¹⁾
Schutzhülsen Laufbuchsen oder Lager der Zwischenstufe	Teflon® (Polytetrafluorethylen [PTFE]), Kupfer-Legierung, <u>Kupfer-Nickel-Legierung oder Nickel-Kupfer-Legierung</u> .
Laufrad-Schraubenbolzen Befestigungseinrichtungen	Austenitischer rostfreier Stahl, Kupfer-Legierung, <u>Kupfer-Nickel-Legierung oder Nickel-Kupfer-Legierung</u>
Sicherungsringe Passringe Sicherungsdraht	Kupfer-Legierung, <u>Kupfer-Nickel-Legierung oder Nickel-Kupfer-Legierung</u>
Faltenbälge	Austenitischer rostfreier Stahl oder Nickel-Legierungen
Dichtungsring	Rostfreier Stahl, Wolframcarbid oder Keramik
Wellen	Rostfreier Stahl, <u>Nickel-Kupfer-Legierung</u>
Dichtungen	Gefülltes PTFE, metallelastischer rostfreier Stahl mit Graphit-Füller
O-Ringe	PTFE, Buna-N ²⁾ , <u>Viton®</u>
Labyrinth-Dichtungen ³⁾	Silber, Kupfer-Legierung, PTFE oder mit Weißmetall beschichtete <u>Nickel-Kupfer-Legierung</u> oder rostfreier Stahl
Filter/Filtereinsatz ³⁾	Maschensieb vorzugsweise aus <u>Nickel-Kupfer-Legierung</u> oder rostfreiem Stahl ⁴⁾ ; Halterung aus <u>Nickel-Kupfer-Legierung</u> oder rostfreiem Stahl
¹⁾	Monel® ist ein Beispiel einer Kupfer-Nickel-Legierung
²⁾	Wenn vollständig gekapselt und bei einem Druck unter 500 psig (3450 kPa). Siehe ASTM G63 [6].
³⁾	Nicht in Bild 1 dargestellt.
⁴⁾	Siehe 6.5.6.

5.3.5 Nickel-Kupfer-Legierungen

Nickel-Kupfer-Legierungen haben hohe Sauerstoffverträglichkeit und hohe Festigkeit, was sie für Schutzhülsen, Laufbuchsen und Schraubenbolzen geeignet macht. Nickel-Kupfer-Legierungen enthalten laut Definition mindestens 60 % Nickel und als Rest überwiegend Kupfer.

5.3.6 Rostfreier Stahl

Rostfreie Stähle für kryogene Anwendungen sind akzeptabel für Bauteile, bei denen keine Möglichkeit der Reibung rostfreien Stahls gegen rostfreien Stahl besteht. Wenn diese Möglichkeit besteht, muss die Materialpaarung mit 5.3.7 übereinstimmen. Wellen, Befestigungseinrichtungen, Sicherungsringe, Arretierungen, Mitnehmerkeile und Dichtungsringe werden typischerweise aus rostfreiem Stahl gemacht. Es sollte nicht angenommen werden, dass Pumpengehäuse oder Laufräder aus rostfreiem Stahl allgemein akzeptabel sind. Die hohe Verbrennungswärme der rostfreien Stähle macht sie für den Normalgebrauch unerwünscht. Rostfreier Stahl sollte nur für spezielle Konstruktionsfälle, wie z. B. die zweckmäßige Auskleidung eines Gehäuses, verwendet werden

5.3.7 Dünne Innenteile

Dünne Innenteile sollten vermieden werden, da die Entzündungsneigung mit abnehmender Dicke zunimmt.

Rostfreie Stähle und Aluminiumlegierungen sollten für Passringe nicht benutzt werden. Dünne Passringe aus diesen Materialien werden mit größerer Wahrscheinlichkeit entzündet und brennen. Passringe müssen aus Kupferlegierungen, Nickel-Kupfer-Legierungen oder aus nickelbasierten Legierungen hergestellt sein (siehe Tabelle 1).

Sicherungsdrähte und andere Bauteile, die dünner als 0,8 mm sind, werden als Innenteile nicht empfohlen. Wenn sie benutzt werden müssen, muss das Material Kupferlegierung, Nickel-Kupfer-Legierung oder nickelbasierte Legierung sein (siehe Tabelle 1).

5.3.8 Potentielle Reibungsflächen

Silber, Kupferlegierungen, Nickel-Kupfer-Legierungen, PTFE oder Weißmetall müssen bei einer der formschlüssigen Oberflächen benutzt werden, wo Reibung von Metall auf Metall auftreten kann, wie z. B. bei einer Labyrinth-Wellendichtung oder einer Laufbuchse / eines Lagers der Zwischenstufe.

5.4 Mechanische Konstruktion

5.4.1 Spielräume

Spielräume zwischen drehenden und feststehenden Teilen müssen so groß wie praktisch möglich sein. Das maximal mögliche Partikel aus Verunreinigung muss in Betracht gezogen werden.

5.4.2 Befestigung

Alle inneren Befestigungen müssen eine Arretierungseinrichtung haben. Befestigungen am Laufrad müssen eine Arretierung vom Positiv-Typ benutzen, wie z. B. einen Sicherungsring oder einen Sicherungsdraht. Presspassungen gelten nicht als Arretierungen; jedoch können schwere Presspassungen benutzt werden, um Verschleißringe im Pumpengehäuse zu installieren. Der Axial Schub der Pumpenwelle muss durch ihre Lager positiv begrenzt sein.

5.4.3 Wellendichtungen

Für kommerzielle Pumpen liegen Erfahrungen entweder mit einer mechanische Gleitringdichtung oder einer Labyrinth-Dichtung vor. Der Konstrukteur muss berücksichtigen, dass eine Dichtungsleckage zu einer ernsten Gefahr führt, die mit der Größe des Lecks zunimmt. Mechanische Gleitringdichtungen in Kryopumpen können unvorhergesehen versagen und die Leckraten können sich abrupt ändern.

Eine Schleuder- oder Ablenkeinrichtung muss benutzt werden, um ein direktes Auftreffen von Leckflüssigkeit von der Wellendichtung auf das Lager am Antrieb zu verhindern. Dadurch soll schnelles Einfrieren und Versagen des Lagers im Fall eines Lecks an der Wellendichtung verhindert werden.

Das mechanische Dichtungsgehäuse sollte eine Spülöffnung haben. Das Spülen der äußeren Oberfläche der Dichtung mit trockenem Gas kann die Lebensdauer der Dichtung verlängern, indem ein Ansammeln von Feuchtigkeit und Eis an der Dichtungsfläche verhindert wird. Der Hersteller muss die Spülöffnung einbauen und der Betreiber hat die Option, die Versorgung mit Spülgas anzuschließen. Die Erfahrungen des Betreibers zur Zuverlässigkeit der Pumpe unter ähnlichen Betriebsbedingungen sollten maßgebend sein, ob die Spülung angewendet wird.

Das mechanische Dichtungsgehäuse muss ferner eine Entleerungsöffnung haben. Das Entleeren einer Leckage aus und weg von dem Gehäuse vermindert die Gefahr und die Messung der entleerten Abflussmenge kann helfen, den Beginn des Versagens der Dichtung zu entdecken.

Aus Funktions- und Festigkeitsgründen werden für mechanische Dichtungen Faltenbälge benutzt, die typischerweise aus relativ dünnem Metall hergestellt sind. Zwischen der Welle und dem Faltenbalg muss eine Schutzhülse benutzt werden. Dünne Teile unterliegen mit größerer Wahrscheinlichkeit einer Entzündung durch Reibung oder Aufprall von Partikeln. Das Material der Schutzhülse muss Tabelle 1 entsprechen.

Die Konstruktion der mechanischen Dichtung muss die Reibung von Metall auf Metall zwischen dem Dichtungsträger und dem drehenden Dichtungsring bei maximal möglichem Axialschub des Faltenbalgs verhindern.

Labyrinth-Wellendichtungen müssen als Systeme angesehen werden, die für eine spezielle Anwendung konstruiert sind. Die Labyrinth-Wellendichtung benutzt eine kleine kontrollierte Leckage eines Sperrgases um eine Flüssigkeitsleckage zu verhindern. Der Versorgungsdruck des Sperrgases sollte geringfügig höher sein als der Druck des Flüssigsauerstoffs an der Wellendichtung. Üblicherweise wird ein Differenzdruckregler benutzt, um den Versorgungsdruck zu regeln. Das Sperrgas geht in den Flüssigsauerstoffstrom und in die Atmosphäre.

Wenn bei Verwendung einer Labyrinth-Dichtung eine Verunreinigung des Flüssigsauerstoffs verhindert werden muss, wird Sauerstoff als Puffergas benutzt. Wenn die geringe Leckage von Sauerstoffgas zur Atmosphäre nicht akzeptabel ist, kann eine doppelte Gas-Labyrinth-Dichtung benutzt werden. Bei dieser Konstruktion hat die Wellendichtung drei axial angeordnete Öffnungen für das Sperrgas. Am pumpenseitigen Wellenende verhindert Sauerstoff-Sperrgas eine Flüssigkeitsleckage. Am antriebsseitigen Wellenende verhindert ein sauerstoffverträgliches Spülgas die Leckage von Sauerstoff zur Atmosphäre. Die mittlere Öffnung ist der Gemisch-Auslass, der benutzt wird, um den Sauerstoff zu entspannen und das Gasmisch in einen sicheren Bereich abzuleiten.

5.4.4 Eisbildung

Besondere Überlegungen erfordert die Konstruktion, um die Entstehung von Eis an der Pumpe und Brückenbildung zum Antrieb oder zum Lagergehäuse zu verhindern. Die Brückenbildung könnte ermöglichen, dass Sauerstoff von einem Leck an der Wellendichtung direkt in den Antrieb geleitet wird. Eisaufbau und Brückenbildung tritt mit größerer Wahrscheinlichkeit bei kontinuierlich oder extensiv laufenden Pumpen als bei intermittierend betriebenen Pumpen auf. Das kann auch geschehen, wenn eine Pumpe im kalten Stand-by-Zustand gehalten wird.

Ein Isolierschild oder eine thermische Sperre zwischen dem kalten Ende der Pumpe und dem Antrieb kann bei kontinuierlichem Betrieb wirksam sein. Wenn das Distanzstück eingehaust ist, muss es mit Spülgas gespült werden, und die Umhausung muss eine Entlüftung haben, damit durch ein Leck an der Dichtung sich kein Druck aufbauen kann.

5.5 Pumpenwellen-Lager

5.5.1 Lagerarten

Die Industrie hat die meisten Erfahrungen für Lager mit Wälzelementen, die außerhalb des kalten Endes installiert sind. Innere Lager oder Laufbuchsen im Kontakt mit Sauerstoff müssen speziell

konstruiert, für Sauerstoff geprüft und für kryogenen Betrieb geeignet sein, bevor sie mit Flüssigsauerstoff in Betrieb genommen werden.

5.5.2 Kälteschutz

Übermäßige Abkühlung von Lagern, die außerhalb des kalten Endes liegen, kann durch gute Konstruktion und geeignete Betriebsweise vermieden werden. Besondere Aufmerksamkeit muss der Gestaltung der thermischen Sperre zwischen dem kalten und dem warmen Ende (Motor, Getriebe-Box oder Treibriemen-Box) gewidmet werden. Die Pumpe darf nicht länger im kalten Stand-by-Zustand ohne Betrieb gehalten werden, als im Handbuch des Herstellers angegeben ist und vom Käufer akzeptiert wurde. Das Lager, das dem kalten Ende am nächsten ist, sollte eine Heizeinrichtung haben, wenn es während längerer Betriebsphasen oder im kalten Stand-by-Zustand kryogenen Bedingungen ausgesetzt ist.

5.5.3 Schmierung

5.5.3.1 Minimum-Schmierung

Für das Lager, das dem kalten Ende der Pumpe am nächsten ist, muss ein geeigneter Tieftemperatur-Schmierstoff benutzt werden. Der Schmierstoff muss mindestens für den Betrieb bei -40 °C geeignet sein. Dies ist besonders wichtig für mit Fett geschmierte Lager. Sie sind empfindlicher bezüglich Schäden bei Einfrieren des Schmierstoffes durch exzessives und fortgesetztes Kaltstellen der Pumpe. Der Temperaturwert ist etwas willkürlich gewählt und beruht auf der Verfügbarkeit von guten Tieftemperatur-Fetten.

5.5.3.2 Schmieröle

Schmieröle sind wegen ihrer geringeren Viskosität sehr schwierig anzuwenden. Sie fließen entlang der Wellen, durch enge Spalte und Dichtungen. Deshalb dürfen Öle auf Kohlenwasserstoffbasis im Bereich von Sauerstoffpumpen nicht benutzt werden.

5.5.3.3 Sauerstoffverträgliche Schmierstoffe

Besondere Aufmerksamkeit muss bei der Konstruktion darauf gerichtet werden, dass eine mögliche Sauerstoff-Leckage nicht in Kontakt mit Schmierstoffen auf Kohlenwasserstoffbasis kommen kann. Wenn das nicht gewährleistet werden kann, müssen zugelassene sauerstoffverträgliche Schmierstoffe benutzt werden. Sauerstoffverträgliche Schmierstoffe müssen die Kriterien nach ASTM [6] erfüllen. Wenn ein Spülgassystem benutzt wird, um den Kontakt von Sauerstoff mit irgendeinem nicht-sauerstoffverträglichen Schmierstoff zu verhindern, muss dieses System besonders gestaltet und getestet sein, um nachzuweisen, dass die geschmierte Einrichtung ausreichend von dem mit Sauerstoff beaufschlagten Bereich getrennt ist.

5.5.3.4 Korrosionsschutz

Sauerstoffverträgliche Schmierstoffe, verglichen mit Schmierstoffen auf Kohlenwasserstoffbasis, schützen im Grunde genommen nicht gegen Korrosion. Sie haben nur geringe Fähigkeit zur Benetzung und erzeugen keinen Korrosionsschutzfilm. Viele Lagerfehler sind infolge Korrosion, verursacht durch atmosphärische Feuchtigkeit, aufgetreten. Es wird empfohlen, entweder eine Maßnahme des Korrosionsschutzes oder eine Trocknungsspülung anzuwenden. Sauerstoffverträgliche Fette sind für Lager in Kreiselpumpen ungünstiger als Fette auf Kohlenwasserstoffbasis, weil ihre hohe Dichte sie für die Erfordernisse der Schmierung von Lagern in Kreiselpumpen bei hohen Geschwindigkeiten weniger geeignet macht (siehe 4.5.5).

5.5.3.5 Nachschmierende Lager

Permanent geschmierte Lager werden normalerweise bevorzugt, obgleich Anwendungen mit höheren Geschwindigkeiten und größeren Lagern nachschmierbare Lager erfordern können, um eine akzeptable Lebensdauer der Lager zu erreichen. Exzessives oder unpassendes

Nachschmieren kann zu großen Ansammlungen von Fett im Lagergehäuse führen. Beim Nachschmieren muss der herausgedrückte Fettpfropfen beseitigt werden, so dass überschüssiges oder altes Fett entfernt wird, anstatt in das Hauptlagergehäuse gepresst zu werden. Die Wartungshinweise des Herstellers müssen befolgt werden. Das betrifft die Menge an Fett und die Zahl der Betriebsstunden bis zum Nachschmieren. Fettnippel sollten entfernt und mit einem geeigneten Stopfen verschlossen werden, um eine unberechtigte oder unerlaubte Anwendung von Fett zu verhindern. Das Nachschmieren sollte nur durch besonders für diese Aufgabe geschulte Personen erfolgen.

5.6 Pumpen-Motoren

5.6.1 Motor-Typ

Elektromotoren müssen von einem vollständig eingehausten Ventilator gekühlt werden, wobei ein außerhalb montierter Ventilator Kühlluft über die Außenseite des Motors bläst (TEFC type = totally enclosed fan cooled type). Motoren des offenen Typs, d. h. „spritzwassergeschützt“ (ODP = open drip proof), Wetterschutz Eins (WP 1) oder wettergeschützt Zwei (WP 2) dürfen nicht benutzt werden.

5.6.2 Direkt oder starr gekuppelt

Direkt an die Pumpe gekuppelte Motoren müssen eine formschlüssige Axial-Kupplung an der Welle haben. Das Lager am Pumpenende sollte mit einem für Tieftemperatur geeignetem Schmierstoff geschmiert sein, wie in 5.5.3.1 beschrieben.

6 Installation

6.1 Grundlegende Sicherheitsmaßnahmen für die Anlage

6.1.1 Auswahl

Zusätzlich zu der ausschließlichen Anwendung der hier als akzeptabel definierten Pumpenmaterialien muss der Betreiber *mindestens eine der vier folgenden Maßnahmen* als grundlegendes Mittel zur Gewährleistung einer sicheren Installation auswählen und *anwenden*.

6.1.1.1 Spülgas-Systeme

Für Lager und Reservoirs mit Schmierstoffen auf Kohlenwasserstoffbasis ist ein technisches Spülgas-System nahe bei der Pumpe zu benutzen. Bei direkt gekuppelten Pumpen müssen beide Motorlager gespült werden. Bei Pumpen mit Treibriemen-Box müssen die Lager der Treibriemen-Box gespült werden. Die Konstruktion der Treibriemen-Box muss sorgfältig geprüft werden, da ihre Lager außerhalb der Box liegen können. Bei mittels Getriebe-Box angetriebenen Pumpen müssen sowohl die Lager der Getriebe-Box als auch das Gehäuse der Getriebe-Box und das Reservoir gespült werden. Spülgassysteme müssen vollständig unabhängig vom Dichtungssystem sein. Sie müssen ihre eigenen Druckminderer an der Spülgasverteilung haben, um jede Möglichkeit zu verhindern, dass Sauerstoff über das Dichtungssystem zu dem Lagergehäuse gelangt.

6.1.1.2 Schutzwände

Schutzwände oder Schutzschilde sind zu benutzen, um Personal und Ausrüstung bei einem Schadensfall zu schützen (siehe 6.3).

6.1.1.3 Gefährdungsbereiche

Ein Gefährdungsbereich entsprechend 6.2 ist einzurichten und aufrecht zu erhalten und der Zugang ist zu beschränken. Dies ist wahrscheinlich die am wenigsten bevorzugte Maßnahme, weil man auf

einen nicht leicht zu definierenden Abstand und auf die Beschränkung des Zugangs vertraut. Wenn die Maßnahme angewendet wird, muss das eine logisch durchdachte Entscheidung sein, die alle diese Faktoren berücksichtigt.

6.1.1.4 Sauerstoffverträgliche Schmierstoffe

In den unter 6.1.1.1 erwähnten Bereichen sind sauerstoffverträgliche Schmierstoffe statt Schmierstoffe auf Kohlenwasserstoffbasis zu benutzen. Es ist zu beachten, dass es an vollständigen Daten mangelt, welche diese Maßnahme unterstützen. Während diese Maßnahme die Schmierstoffe auf Kohlenwasserstoffbasis beseitigt, welche bei den jüngsten Schadensfällen die Brennstoffquelle waren, bestehen dennoch Bedenken, dass andere Stoffe, wie Materialien des Motors oder das Material des Treibriemens eine Brennstoffquelle darstellen könnten. Derartige Fälle sind nicht bekannt geworden; jedoch wurden keine Studien durchgeführt, um nachzuweisen, dass dies nicht geschehen kann.

6.1.2 Kombinationen und zusätzliche Maßnahmen

Die Benutzung von zulässigem Material am kalten Ende und eine der Maßnahmen nach 6.1.1 gelten als minimal erforderliche grundlegende Maßnahmen. Indem man eine Auswahl zulässt, erkennt man die Tatsache an, dass verschiedene Firmen unterschiedliche Maßnahmen anwenden und sogar in ein und derselben Firma werden für unterschiedliche Situationen verschiedene Maßnahmen angewendet. Andere Vorsichtsmaßnahmen können zu der ausgewählten ersten Maßnahme hinzugefügt werden, soweit es zweckmäßig ist. Im Laufe der Zeit kann mehr als eine der grundlegenden Maßnahmen in einer gegebenen Anlage angewendet werden.

6.1.3 Logische Vorsichtsmaßnahmen

Die Anwendung einer oder mehrerer Sicherheitsmaßnahmen sollte nicht zu der Annahme führen, dass jedes Risiko beseitigt ist. Das bedeutet, dass bei neuen Anlagen irgendwelche einfachen, logischen zusätzlichen Schritte, welche den Spielraum für die Sicherheit vergrößern, genutzt werden sollten. Zum Beispiel sollte man, soweit möglich, eine neue Pumpe an einem Ort installieren, an dem wenig Betrieb herrscht, auch wenn die Pumpe gespülte Lager hat.

6.2 Gefährdungsbereiche

6.2.1 Historische Definition

Bevor man zu zulässigen Materialien am kalten Ende wechselte, gab es zahlreiche Schadensfälle am kalten Ende (siehe 4.5.2). Wenn derartige Schadensfälle eintraten, führten sie gewöhnlich zu Verletzungen von Personen oder Sachschäden in einem oder beiden Bereichen. Der erste Bereich war in der Rotationsebene des Laufrades und der zweite war in dem Gebiet rund um den Einlass der Pumpe. Diese Bereiche, die in Bild 2 gezeigt sind, wurden Gefährdungsbereiche oder –gebiete genannt. Sie wurden definiert entweder bis zu einer Schutzwand, sofern vorhanden, oder bis zu einem vorgeschriebenen Abstand von der Pumpe. Dieser Abstand wurde von verschiedenen Firmen willkürlich und mit veränderlichen Werten festgelegt. Ein Abstand von 4,5 m war ein üblicherweise benutzter Wert. Seit dem Wechsel zu zulässigen Materialien am kalten Ende wurden keine Schadensfälle am kalten Ende berichtet, die zu Verletzungen von Personen oder Schäden an Einrichtungen in diesem Bereich geführt hätten.

6.2.2 Heutige Erfahrungen

Seit dem Wechsel zu kompatiblen Materialien sind Schadensfälle an Komponenten des warmen Endes aufgetreten, wie an Motoren oder Einrichtungen zur Geschwindigkeitserhöhung von Horizontalpumpen. Diese Schadensfälle führten zu möglichen Gefahren für Anlagen oder Personal in einem Bereich hinter oder seitlich vom Motor oder von der Einrichtung zur Geschwindigkeitserhöhung (siehe Bild 2). In der Historie sind keine Schadensfälle am warmen Ende von Vertikal-Pumpen aufgetreten.

6.2.3 Neue Definition der Gefährdungsbereiche

Die neue Definition der Gefährdungsbereiche erfordert einige Hinweise und Erklärungen. Zunächst, für Definitionszwecke, gibt es keinen Gefährdungsbereich, wenn die empfohlenen Materialien benutzt sind und entweder eine Spüleinrichtung (siehe 6.1.1.1) oder sauerstoffverträgliche Schmierstoffe in der Pumpenkonstruktion vorhanden sind und wenn die Maßnahmen nach dem Rest des Abschnitts 6.1 angewendet werden. Wenn Spülung oder sauerstoffverträgliche Schmierstoffe nicht vorgesehen sind, dann betrachtet man einen Gefährdungsbereich während des Betriebes der Pumpe als existent, wie in Bild 2 dargestellt. Die Abstände, bis zu denen der Gefährdungsbereich von der Pumpe sich erstreckt, müssen durch qualifiziertes technisches Personal, welches das System konstruiert, festgelegt werden. Der Abstand kann nicht leicht definiert werden und er ist unterschiedlich bei verschiedenen Firmen und Anlagen. Einige Firmen haben 4,5 m benutzt und andere 9,0 m. Einige Firmen benutzen Verfahren der Gefährdungsbeurteilung, um die Maße des Gefährdungsbereichs festzulegen. Es sollte beachtet werden, dass einige dieser Abstände in einer Zeit festgelegt wurden, als Schadensfälle am kalten Ende die größte Sorge waren. Am warmen Ende sind Schadensfälle aufgetreten, wobei Motorteile über mehr als 30 m wegflogen oder hätten wegfliegen können. Aus diesem Grund und wegen der begrenzten Menge an Daten wird auf die Vorsichtsmaßnahme nach 6.1.3.3 dringend hingewiesen. Wenn eine Schutzwand benutzt wird, gilt diese als Grenze des Gefährdungsbereichs (siehe 6.3). Es sollte beachtet werden, dass der Begriff des Gefährdungsbereichs weiter oben definiert ist. Auch wenn kein Gefährdungsbereich festgelegt wird, sollte angenommen werden, dass eine Gefährdung bestehen kann.

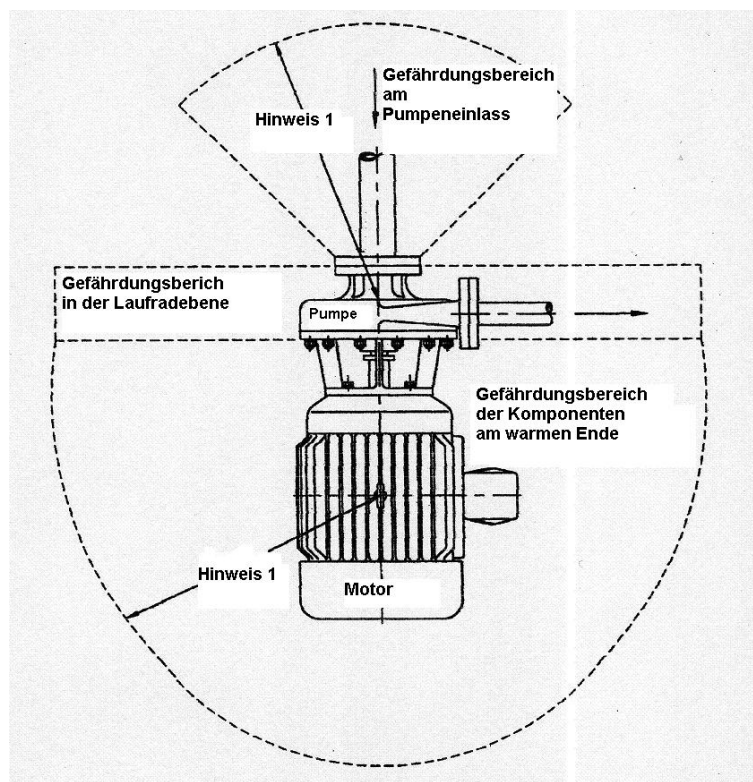


Bild 2: Gefährdungsbereiche um Flüssigsauerstoff-Pumpen

Hinweise

- 1 Der Radius des Gefährdungsbereichs muss mindestens 4,5 m betragen. Ein größerer Radius kann angewendet werden, abhängig von den Erfahrungen und den Konstruktions-Grundsätzen des Betreibers.
- 2 Wenn eine Schutzwand vorhanden ist, endet der Gefährdungsbereich an der Schutzwand
- 3 In dieser Zeichnung sind nicht alle möglichen Anordnungen und Aufstellungen von Pumpen dargestellt. Mit der Zeichnung werden Gefährdungsbereiche dargestellt.

6.2.4 Betreten eines Gefährdungsbereichs

Niemandem darf der Zutritt in einen Gefährdungsbereich erlaubt sein, während die Pumpe in Betrieb ist und zu diesem Zweck müssen Warnschilder angebracht werden. Sogar bei einer Installation, bei der kein Gefährdungsbereich festgelegt wird, sollte durch Vorbeugungsmaßnahmen bei der Installation und beim Betrieb die Zeit, die das Personal notwendigerweise nahe an der laufenden Pumpe verbringen muss, minimiert werden. Um auch die Möglichkeit von Folgeschäden zu reduzieren, dürfen andere Einrichtungen nicht nahe an der Pumpe aufgestellt sein.

6.2.5 Besondere Situationen

Die definierte Anwendung eines Gefährdungsbereichs, die Benutzung einer Schutzwand oder beides stellen die gegenwärtig übliche Praxis dar, wenn alle andere Punkte einer guten sicheren Praxis entsprechen, so wie sie in dieser Richtlinie definiert ist. Ferner muss eine gute technische Beurteilung erfolgen, um jede Anlage daraufhin zu bewerten, ob besondere Situationen existieren, die eine Erweiterung oder Veränderung der Gefährdungsbereiche, die Anwendung von Schutzwänden in nicht als Gefährdungsbereich definierten Zonen oder andere zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen erfordern. Einige (nicht alle) mögliche Situationen, bei denen spezielle Vorsichtsmaßnahmen nötig sein könnten, sind:

- Neue, nicht erprobte Pumpenkonstruktionen, Anwendungen oder Anlagen;
- Förderströme, Drücke oder Geschwindigkeit höher als normal;
- Irgendeine Abweichung von der sicheren, in dieser Richtlinie definierten Praxis der Sauerstoffpumpe. Das gilt besonders für die Benutzung irgendwelcher anderen Materialien;
- Pumpen mit Reservoirs für Schmierstoffe auf Kohlenwasserstoffbasis in enger Nähe zu dem mit Sauerstoff beaufschlagten Teil der Pumpe, wenn kein erprobter Puffer oder Trennsysteme benutzt werden. Das könnte zum Beispiel für Pumpen zutreffen, die über eine Getriebe-Box mit eingebauten Reservoirs angetrieben werden.
- Der normalerweise härtere Betrieb einer Pumpe beim fortgesetzten Kaltstellen oder bei kontinuierlichem Betrieb oder wenn eine Pumpe zu bestimmten Zeiten während ihrer Lebensdauer in kontinuierlichem Betrieb laufen könnte – es sei denn, sie hat sich nach Betriebserfahrungen bewährt –.
- Bereiche, in denen Wartungsarbeiten oder andere Aktivitäten ausgeführt werden, welche die Anwesenheit von Personal in unmittelbarer Nähe einer Pumpenanlage – Rohrleitung/Komponenten/Ventile – erforderlich machen, die in Betrieb ist oder in Betrieb gesetzt werden kann und wenn bei Betriebsvorgängen, wie dem Start einer Pumpe, zusätzliche Gefahren entstehen können.

6.3 Schutzwände

6.3.1 Allgemein

Wenn die nach 6.1.1 erforderliche Entscheidung getroffen wurde, eine Schutzwand zu benutzen, sind die folgenden Richtlinien anzuwenden:

6.3.2 Definition

Eine Schutzwand oder ein Schutzschild ist eine Einrichtung, die Personen oder Ausrüstungen physischen Schutz gegen Feuer und Schrapnells gewährt, die aus einem Schadensfall am kalten Ende oder warmen Ende eines Pumpensystems resultieren könnten. Ihr Hauptzweck ist, den Abstand zur Pumpe, in dem eine Person oder eine Ausrüstung bei einem Schadensfall sicher geschützt ist, zu verkleinern. Die Schutzwand verkleinert die Abmessungen des Gefährdungsbereiches und bietet Schutz während des Starts und des Betriebes. An Standorten, an denen keine Schutzwände zum Schutz von Betriebs- oder Wartungspersonal oder Einrichtungen erforderlich sind, besteht ein Gefährdungsbereich, der die Forderungen nach 6.2.3 und Bild 2 erfüllen muss.

6.3.3 Konstruktion

Eine Schutzwand kann aus armiertem oder diesem gleichwertigem Beton, einer Platte aus niedrig-inkoholtem Stahl oder anderem geeigneten Material bestehen. Sie muss als Bauwerk konstruiert sein, um den Kräften zu widerstehen, die aus einer Druckentspannung, möglicher Flammeneinwirkung und aufprallenden Teilen oder Trümmern entstehen. Die Schutzwand sollte so dimensioniert sein, dass sie Personal schützt, das mit dem Betrieb der Pumpe oder mit Wartungsarbeiten an benachbarten Anlagen beschäftigt ist oder Personen schützt, die in einem Bereich arbeiten oder diesen passieren, welcher der Gefährdungsbereich der Pumpe sein könnte. Die Schutzwand darf nicht zu dicht an den Pumpen installiert sein und nicht so, dass die Luftzirkulation um die Pumpe behindert ist oder dass austretender Sauerstoff sich ansammeln kann. Die Konstruktion der Schutzwand muss auch eine Inspektion der stillstehenden Pumpe einschließlich Dreh-Test und Wartung ermöglichen. Wenn das kalte Ende in einer Grube oder Coldbox angeordnet ist, kann die Einhausung als Schutzwand für das kalte Ende angesehen werden, jedoch muss die Installation des warmen Endes überprüft werden (siehe 6.1.1).

6.3.4 Hilfseinrichtungen

Handventile, die während des Betriebes der Pumpe zu öffnen oder zu schließen sind, müssen außerhalb der Schutzwand oder so installiert sein, dass die Ventilspindel durch die Schutzwand nach außen geführt ist, so dass die Gefährdung des Personals während des Pumpenbetriebes minimiert ist. Alle Geräte, die eine Bedienung oder Beobachtung während des Betriebes der Pumpe erfordern, müssen so angeordnet sein, dass der Bediener bei diesen Aktivitäten durch die Schutzwand geschützt ist. Das gilt – nicht ausschließlich – für Kaltfahrventil, Start/Stop-Tasten, Druckmesser, Druckschalter und Auslassventil.

6.4 Lageplan

6.4.1 Umgebung der Pumpe

Das Gelände um die Pumpe muss sorgfältig gestaltet sein, um die Sicherheit des Sauerstoffbetriebes zu unterstützen. Zugangsmöglichkeit für das Entfernen oder die Wartung von kryogenen Pumpen muss gewährleistet sein.

Gute Lüftung ist in unmittelbarer Nähe erforderlich, um eine Sauerstoffansammlung zu verdünnen und eine Ansammlung in tiefliegenden oder ruhigen Bereichen nahe der Pumpe zu verhindern, wenn eine Leckage entsteht. Wenn ein kaltes Ende in einer Umhausung installiert ist, d. h. Coldbox oder Grube, und wenn es innerhalb der Umhausung geflanschte oder geschraubte Verbindungen gibt, sollte der Betreiber eine Überwachung bezüglich austretenden Sauerstoffs in Erwägung ziehen.

Es sollte kein brennbares Material in einem Bereich von 4,5 m um jede Sauerstoffpumpe gelagert oder verwendet sein, ausgenommen Schmierstoffe für die Antriebseinheit der Pumpe. Ein Bereich mit 4,5 m Radius um die Pumpe muss ständig von Abfall freigehalten werden. Es sollten keine Gräben, Gruben oder Einrichtungen zur Entwässerung innerhalb von 4,5 m um eine Pumpe vorhanden sein, ausgenommen Rinnen, durch die aus einem Lagertank auslaufende Flüssigkeit in sichere Bereiche abgeführt wird. Elektrokabel sollten innerhalb eines Radius von 4,5 m (einschließlich des Bereichs oberhalb einer Sauerstoffpumpe) nicht vorhanden sein, ausgenommen Kabel für die Instrumentierung oder den Motor der Pumpe.

Bei der konstruktiven Gestaltung und Anordnung sonstiger Rohrleitungen der Anlage muss ein möglicher Aufprall bei einem Schadensfall berücksichtigt werden. Sowohl Feuer als auch Schrapnells müssen als mögliche Folgen eines Schadensfalls beachtet werden. Bei einem Schadensfall an einer Pumpe muss die konstruktive Gestaltung ein Durchlöchern oder Bersten von Rohrleitungen verhindern, die mit Hochdrucksystemen oder Systemen mit großem Speichereinhalten (Gas oder Flüssigkeit) verbunden sind. Das muss gewährleistet sein, indem solche Rohrleitungen (ausgenommen Einlass- und Auslassleitung der Pumpe) in sicherem Abstand von der Pumpe installiert sind, sofern sie nicht durch gute hydraulische Konstruktion oder auf andere Weise durch Schutzwände oder Schilde geschützt sind. Rohrleitungen in unmittelbarer Nähe müssen auch vor

den Wirkungen eines Kontakts mit kryogener Flüssigkeit geschützt sein, indem für tiefe Temperaturen geeignetes Material oder angemessene Abschirmung angewendet wird.

Wo Sauerstoff auslaufen kann, muss der Boden aus anorganischem Material bestehen, das mit Flüssigsauerstoff verträglich ist. Asphalt und Stoffe auf Teerbasis können bei Sättigung mit Sauerstoff explosiv sein. Wenn Beton als Fundament für irgendeine kryogene Pumpenanlage benutzt wird, sollte darauf geachtet werden, dass ein Auslaufen oder Auftreffen von kalter Flüssigkeit oder kalten Gasen verhindert ist, da dies den Beton zerstören würde. In diesem Bereich sollte sauerstoffverträgliches Material für Ausdehnungsfugen und Abdichtungen verwendet werden.

Der Konstrukteur sollte der konstruktiven Gestaltung und der Anordnung der Umhausung der Pumpe (tragende Konstruktionen) Aufmerksamkeit widmen, so dass die bauliche Ganzheit nicht gefährdet ist, wenn kryogene Flüssigkeit aus der Pumpe oder aus Komponenten des Pumpensystems ausläuft.

6.4.2 Position der Starttaste

Es gibt einige Hinweise, dass die Gefahr während des Starts größer ist. Deshalb sollte die örtliche Starttaste, sofern vorhanden, mindestens 4,5 m von der Pumpe entfernt sein und nicht in einem Bereich direkt hinter dem Motor oder direkt quer zur Umhausung angebracht sein. Wenn diese Bedingung nicht erfüllt werden kann, sollte eine Schutzwand vorhanden sein, hinter der das Personal stehen kann, wenn die Starttaste betätigt wird.

6.4.3 Entdeckung einer Dichtungsleckage

Wenn man sich auf eine visuelle Inspektion zur Leckkontrolle verlässt, muss durch die Art der Aufstellung sichergestellt sein, dass solche Beobachtungen sicher durchgeführt und Korrekturmaßnahmen ohne Gefährdung des Personals oder angrenzender Ausrüstung vorgenommen werden können. Wenn die Pumpe weit entfernt oder unzugänglich für visuelle Inspektion ist oder automatisch betrieben wird, sollte ein Detektor vorgesehen werden (siehe 7.2.1.2).

6.5 Rohrleitungen

6.5.1 Saugleitung

Alle Rohrleitungen sollten so an die Pumpe angeschlossen werden, dass die vom Hersteller empfohlenen Flanschbelastungen bei Betrieb unter kryogenen Bedingungen oder Umgebungstemperatur nicht überschritten werden. Die Saugleitung sollte so kurz und gerade wie möglich, mit einer minimalen Anzahl an Krümmungen und konstruktiv so gestaltet sein, dass die erforderliche positive Netto-Saughöhe NPSH („net positive suction head“) bei niedrigem Flüssigkeitsniveau und bei großer und geringer Fördermenge gewährleistet ist.

6.5.2 Thermisches Entspannungsventil

Jedes Teil des Systems, in dem Flüssigkeit durch Ventile eingeschlossen werden kann, muss mit einer geeigneten Entspannungseinrichtung versehen sein, die so montiert ist, dass der Ventilkörper unter normalen Betriebsbedingungen nicht einfriert.

6.5.3 Entspannungen und Ablassöffnungen

Rohrleitungen müssen so installiert sein, dass irgendwelche Flüssigkeiten oder Gase, die beim Kaltstellen, aus Sicherheitsventilen oder aus einer Dichtung entspannt oder abgelassen werden, sicher von dem Betriebsgelände abgeleitet werden und zwar derart, dass das Gas oder die Flüssigkeit nicht auf Personen oder Ausrüstungen trifft oder hohe Sauerstoffkonzentrationen verursacht.

6.5.4 Not-Absperrventil

Ein ausfallsicheres, kraftbetätigtes Not-Absperrventil muss in der Saugleitung von Sauerstoffpumpen, die an einen großen Sauerstofftank angeschlossen sind, installiert sein [7]. Wenn ein Problem während des Betriebes der Pumpe auftritt, sollte das Ventil automatisch schließen oder vom Bediener geschlossen werden. Der Betreiber muss bestimmen, für welches Volumen das Ventil zu benutzen ist, wobei zu beachten ist, dass das Ausströmen von großen Sauerstoffmengen und daraus resultierende Gefahren verhindert werden sollen.

Unter Umständen kann man für mehrere Pumpen mit einer gemeinsamen Saugleitung auf ein gemeinsames Absperrventil in der Saugleitung vertrauen. Beispiele dafür sind (a) wenn bei Ausfall einer Pumpe eine Abschaltung für beide Pumpen akzeptabel ist oder (b) wenn Pumpen parallel installiert sind und jeweils nur eine Einheit in Betrieb ist.

Wenn das Not-Absperrventil nicht zum Lagertank gehört, muss es zwischen dem Sauerstofftank und dem Saugfilter und dem Krümmer, der dem Pumpeneinlass am nächsten ist, angeordnet sein. Wenn das Ventil so nahe an der Pumpe installiert ist, dass es durch Feuer oder fliegende Schrapnells als Folge eines Schadensfalles am kalten Ende oder warmen Ende funktionsunfähig werden könnte, muss es durch eine Schutzwand geschützt werden.

6.5.5 Handabsperrentil

Es sollte ein Handabsperrentil für Lagertanks zwischen dem Tank und irgendeinem kraftbetätigtem Not-Absperrventil vorhanden sein, so dass das Not-Absperrventil für Wartungszwecke demontiert werden kann [7]. Handabsperrentile auf der Saugseite, Druckseite und im Kreislauf sollten benutzt werden, um eine Pumpe nötigenfalls vom Rohrleitungssystem abzusperren.

6.5.6 Saugfilter

Ein demontierbarer Filtereinsatz oder Filter muss immer benutzt werden, um den Eintritt von Partikeln in die Pumpe zu verhindern. Im Idealfall würde es nur den Durchgang eines Partikels erlauben, das kleiner als der kleinste konstruktive Spalt zwischen größeren drehenden und stationären Teilen der Pumpe ist. Labyrinth-Wellendichtungen, innere Lager sowie Dichtungsspalte zwischen Laufrad und Gehäuse und zwischen Einlaufteil und Gehäuse können wegen der geringen Abmessungen dieser Spalte bei bestimmten Pumpenkonstruktionen von dieser Forderung ausgenommen werden. Jedoch muss die Maschengröße als sorgfältiger Kompromiss zwischen Druckverlust und Filtrationsforderungen gewählt werden. Die üblicherweise benutzten Filtergrößen variieren beträchtlich (10 bis 100 Maschen). Der Filter muss robust konstruiert sein, wobei das feinmaschige Filtermaterial angemessen befestigt sein muss. Der Filter muss aus geeignetem Material hergestellt sein. Der Maschendraht sollte aus Nickel-Kupfer-Legierung bestehen, aber rostfreier Stahl kann auch akzeptiert werden. Wenn rostfreier Stahl benutzt wird, muss durch eine Gefährdungsbeurteilung nachgewiesen werden, dass die möglichen Zündquellen unter den aktuellen Bedingungen der Pumpe den rostfreien Stahl nicht entzünden können. Die Stützplatten sind typischerweise aus rostfreiem Stahl oder Nickel-Kupfer-Legierung.

6.5.7 Rohrisolierung

Die thermische Isolierung der Rohrleitungen muss für den Sauerstoffbetrieb verträglich sein.

6.5.8 Rückschlagventil in der Druckleitung

Ein Rückschlagventil muss in der Druckleitung der Pumpe *stromabwärts vom ersten Krümmer* installiert sein. Durch die Art der Installation ist sicherzustellen, dass das Rückschlagventil nicht durch Feuer oder fliegende Schrapnells als Folge eines Schadensfalles am kalten Ende oder warmen Ende funktionsunfähig werden kann.

6.5.9 Absperrventil in der Druckleitung

Ein handbetätigtes oder automatisches Ventil sollte stromabwärts von dem Rückschlagventil installiert sein.

6.6 Weitere Überlegungen

6.6.1 Lagerung der Flüssigkeit

Die normalen Forderungen zur Sicherheit bei der Lagerung der Flüssigkeit, die nicht Gegenstand dieser Richtlinie sind, müssen in Übereinstimmung mit den relevanten Standards und anderen EIGA Dokumenten beachtet werden. Einige dieser Standards sind im Abschnitt Referenzen genannt.

6.6.2 Zufahrt und Parken von Fahrzeugen

Das Fahren von Fahrzeugen im 4,5 m-Bereich um laufende Sauerstoffpumpen oder innerhalb der Gefährdungsbereiche sollte, wenn möglich, vermieden werden; Parken in diesem Bereich muss verboten sein, ausgenommen Trailer, die gefüllt werden. Die 4,5m-Grenze ergibt sich nur aus der üblichen Praxis.

7 Regeleinrichtungen und Instrumentierung

7.1 Allgemein

Die Betriebsregelung von Pumpen für Flüssigsauerstoff sollte in Übereinstimmung mit der guten Konstruktionspraxis eingerichtet werden, die für alle kryogenen Kreiselpumpen angewendet wird. Im Detail variieren die Regeleinrichtungen der Pumpen für Flüssigsauerstoff, weil das System beaufsichtigt oder nicht beaufsichtigt sein kann und die Startfolge der Pumpe manuell oder automatisch gesteuert werden kann. Alle Pumpen-Regeleinrichtungen, einschließlich einer Start/Stop-Einrichtung, sollten so angeordnet sein, dass das Personal den Gefährdungsbereich, wie er in 6.2.3 definiert ist, zum Betreiben der Pumpe nicht betreten muss. Regeleinrichtungen, die nicht außerhalb eines Gefährdungsbereiches angeordnet werden können und die kritische Regelfunktionen darstellen, sollten gegen eine Energiefreisetzung vom kalten Ende oder warmen Ende der Pumpe abgeschirmt werden. Jedes Pumpensystem für Flüssigsauerstoff muss eine Möglichkeit zum Absperrren der Saugleitung haben, wie in 6.5.4 und 6.5.5 beschrieben.

7.2 Regeleinrichtungen

7.2.1 Regeleinrichtungen, Hardware und Handlung des Bedieners

Zusätzlich zu den normalen kryotechnischen Regeleinrichtungen sind die folgenden Regeleinrichtungen, Hardware oder Handlungen des Bedieners vorgesehen, die zum Abschalten der Pumpe angewendet werden, um Schäden und gefährliche Zustände zu minimieren.

7.2.1.1 Hoher Lieferdruck der Pumpe

Eine Anzeige des Lieferdruckes muss vorhanden sein. Eine Einrichtung zur Begrenzung des von der Pumpe erzeugten Lieferdruckes sollte vorhanden sein, wenn das Pumpensystem einen Lieferdruck erzeugen kann, der größer als der maximal zulässige Arbeitsdruck MAWP (**m**aximaum **a**llowable **w**orking **p**ressure) des Systems ist. Diese Einrichtung muss zusätzlich zu dem Sicherheitsventil installiert sein, das auf die Regelgröße MAWP des Systems eingestellt ist. Ein Hochdruck-Absperrventil oder ein Regelventil im Bypass sind Beispiele für derartige Einrichtungen.

7.2.1.2 Dichtungsleck der Pumpe

Eine Einrichtung zur Entdeckung eines Dichtungslecks muss vorhanden sein. Verschiedene Verfahren, einschließlich der visuellen Inspektion, sind verfügbar. Pumpen, die während des Betriebes beaufsichtigt werden, sollten bei jedem Pumpenstart, ohne den Gefährdungsbereich zu betreten, visuell überwacht werden, außerdem in regelmäßigen Intervallen, abhängig von den Erfahrungen aus der Wartung. Nicht beaufsichtigte Pumpen und solche, die nicht ohne Betreten des Gefährdungsbereiches inspiziert werden können, sollten eine thermische oder gleichwertige

Einrichtung haben, die ein Dichtungsleck automatisch feststellt, Alarm gibt und die Pumpe abschaltet und absperrt.

7.2.1.3 Entdeckung von Produktmangel

Der Betrieb einer Pumpe unter den Bedingungen des Produktmangels kann zum vorzeitigen Versagen von Dichtungen und sogar zu katastrophalen Ereignissen führen. Eine Einrichtung, die Produktmangel entdeckt und die Pumpe in diesem Fall abschaltet, muss vorhanden sein. Bei beaufsichtigten Pumpen kann das der Bediener tun. Das System schützt die Pumpe vor anormalen Betriebszuständen, wie Kavitation, Betrieb der Pumpe ohne Flüssigkeit oder Bruch einer stromabwärts liegenden Rohrleitung und gewährleistet, dass die Pumpe innerhalb der festgelegten Grenzwerte betrieben wird. Üblicherweise angewandte Maßnahmen beruhen auf der Überwachung des Lieferdruckes, des Differenzdruckes, der Fördermenge oder geringer Stromaufnahme des Motors. Abgriffe des Saugdrucks sollten stromabwärts von jedem Ventil oder Filtereinsatz und stromaufwärts von der Pumpe vorgesehen werden. Abgriffe des Lieferdrucks müssen stromabwärts vom Pumpenauslass und vor jedem Absperrventil oder Rückschlagventil vorgesehen werden. Möglicherweise muss ein Verfahren entwickelt werden, um das System zur Entdeckung von Produktmangel temporär beim Start der Pumpe zu überbrücken. Die Einstellwerte für Druck, Fördermenge oder niedrigen Motorstrom müssen auf den Kennwerten der Leistungskurve der Pumpe beruhen und vom Konstrukteur des Systems festgelegt werden

7.2.1.4 Entdeckung von hoher Fördermenge

Eine Einrichtung zur Feststellung von hoher Fördermenge der Pumpe sollte im System vorgesehen sein. Pumpen können durch Kräfte, für welche die Konstruktion nicht ausgelegt ist, beschädigt werden, wenn sie mit Fördermengen arbeiten, die das vorgesehene Maß überschreiten. Die für eine Kreiselpumpe erforderliche NPSH nimmt mit der Fördermenge zu. Bei übermäßiger Fördermenge könnte die verfügbare NPSH nicht ausreichend sein, um schwere Kavitation zu verhindern. Es kann auch nötig sein, abhängig von der hydraulischen Konstruktion des Systems, eine Einrichtung zur Begrenzung der Fördermenge der Pumpe zu installieren, wie z. B. ein Regelventil oder eine Düsenplatte. Die in 7.2.1.3 beschriebenen Regeleinrichtungen können in ein System einbezogen werden, das diesen Schutz gewährleistet.

7.2.2 Variable Antriebsgeschwindigkeiten

Praktiken der guten Konstruktion sollten durch den Konstrukteur bei solchen Pumpen beachtet werden, die mit variabler Antriebsfrequenz betrieben werden, so dass die Pumpe und die mit ihr verbundenen Systemkomponenten bei zu hoher Geschwindigkeit angemessen geschützt sind. Regeleinrichtungen wie in 7.2.1.1 beschrieben, sowie ein richtig bemessenes Druckentlastungsventil müssen vorhanden sein.

7.2.3 Notaus-Taster

Ein oder mehrere Notaus-Taster müssen an einer oder mehreren Stellen installiert sein, an denen das Betriebs- und Wartungspersonal normalerweise vorbei kommt, wenn es die Pumpenanlage bei einem Notfall verlässt. Die Notaus-Taster müssen klar gekennzeichnet und das System, zu dem sie gehören, muss identifiziert sein. Durch den Notaus-Taster müssen die Pumpe angehalten und alle automatischen Absperrventile sofort aktiviert werden.

7.3 Wartung und Analyse-Geräte

Betreiber sollten zusätzliche Instrumentierung in Erwägung ziehen, um die Notwendigkeit von Wartungsarbeiten festzustellen, die Pumpen-Leistungskurve zu analysieren oder für spezielle Anwendungsfälle der Pumpe. Die üblicherweise installierte Instrumentierung umfasst:

- Anzeige des Pumpen-Saugdruckes;
- Differenzdruck am Filter auf der Pumpen-Saugseite;
- Betriebsstundenzähler der Pumpe
- Rundumleuchte zur Anzeige, dass die Pumpe läuft; und

- Schwingungssensoren zur Entdeckung von anormalem Pumpenlauf.

8 Betrieb und Wartung

8.1 Warnzeichen

8.1.1 Kennzeichnung des Gefährdungsbereichs

Wenn die Festlegung eines Gefährdungsbereichs die grundlegende Sicherheitsmaßnahme einer Anlage ist (siehe 6.1 und 6.2), müssen an deutlich sichtbaren Stellen Warnzeichen angebracht werden, welche das gesamte Personal informieren: WÄHREND DES BETRIEBES DER FLÜSSIGSAUERSTOFF-PUMPE IST DER ZUTRITT IN DIE BEZEICHNETEN GEFÄHRDUNGSBEREICHE VERBOTEN. Der Zutritt des Bedieners zu einer laufenden Pumpe sollte auf Bereiche außerhalb des gekennzeichneten Gefährdungsbereichs beschränkt sein.

8.1.2 Kennzeichnung der Sauerstoffpumpe

Ein Warnzeichen sollte nahe bei der Pumpe angebracht werden, um das gesamte Personal zu informieren, dass die Pumpe eine SAUERSTOFFPUMPE ist.

8.2 Training

Alle Bediener der Pumpe und das Wartungspersonal müssen angemessenes Training erhalten über: Grundlagen der Pumpe (hydraulisch und mechanisch), spezifische Verfahren der Inbetriebnahme, des Betriebes und der Wartung, Feststellung von Unregelmäßigkeiten (Dichtungsleckage, Kavitation, ungewöhnliche Lager- oder Antriebsgeräusche), Sauerstoffreinheit und Sicherheitsforderungen im Umgang mit kryogenem Flüssigsauerstoff.

8.3 Start und Betrieb

8.3.1 Schriftliche Instruktionen

Schriftliche Instruktionen, die Inbetriebnahme, Betrieb, Abschaltung und Notfall-Verfahren beschreiben, müssen für jede Flüssigsauerstoff-Pumpe entwickelt und in den Handbüchern der Anlage bereit gehalten werden. Eine Kopie dieser Instruktionen muss mit dem Pumpen-Bediener überprüft und ihm zur Verfügung gestellt werden. Instruktionen müssen regelmäßig überprüft und, wenn nötig, revidiert werden und Änderungen müssen mit den betroffenen Bedienern diskutiert werden. Instruktionen müssen mindestens zu folgenden Punkten passende Angaben enthalten:

- Erforderliche Maßnahmen für das richtige Kaltstellen, ohne dass Schmierstoffe in den Lagern von Pumpe und Motor einfrieren.
- Einzuhaltende Vorsichtsmaßnahmen, um zur Vermeidung von Kavitation die Flüssigkeit am Pumpeneinlass angemessen zu unterkühlen, wie z. B. minimal erforderlicher Stand oder Druck im Flüssigkeitstank.
- Richtige Stellung aller Ventile im Rohrleitungssystem für jede Betriebssituation (Kaltstellen, Start, Betrieb, Abschalten etc).
- Anzuwendende Maßnahme, um das freie Drehen der Pumpenwelle (unter warmen und kalten Bedingungen) zu testen und die Häufigkeit dieser Prüfung. Jeder Test des freien Drehens darf nur durchgeführt werden, nachdem der Pumpenmotor zuverlässig abgeschaltet, elektronisch verriegelt und entsprechend gekennzeichnet ist. Typische Verfahren zum Testen des freien Drehens sind das Durchdrehen der Pumpenwelle von Hand, Entfernen des Lagerschildes des Pumpenmotors und Durchdrehen des Motorlüfters oder der Motorwelle, wobei man einen Mutternschlüssel an der Fläche der Pumpenwelle ansetzt, sowie Öffnen der Treibriemen-Box und vorsichtige Krafteinwirkung auf den Treibriemen. Es wird empfohlen, das freie Drehen der Welle nach einer Wartung oder nach längerem Stillstand zu testen.

- Prüfung der Drehrichtung der Pumpe an jeder Einheit, an der ein Phasenwechsel der Motorwicklung stattgefunden haben könnte. Phasenwechsel können bei jeder Motor/Pumpen-Wartung entstehen, wenn elektrische Leiter am Motor oder am Motor-Schaltzentrum abgeklemmt werden müssen.
- Zulässige Grenzwerte des Betriebsprozesses zur Vermeidung von Pumpenschäden. Zum Beispiel zulässige Bereiche der Fördermenge oder des Lieferdruckes zur Vermeidung von Kavitation sowie maximale Geschwindigkeit bei Antrieben mit veränderlicher Geschwindigkeit.
- Liste der normalen Betriebsparameter der Pumpe, wie Fördermenge, Menge des Dichtungs-Spülgases, Lieferdruck und Motorlast (Ampere).
- Maßnahmen zur Feststellung von Produktmangel während des Starts und des Normalbetriebes und Vorgehensweise zum Anhalten der Pumpe, bevor es zu Schäden kommt.
- Anzuwendende Vorsichtsmaßnahmen zum Anhalten der Pumpe bei anormalen Bedingungen, wie z. B. bei Dichtungsleckagen oder ungewöhnlichen Geräuschen.

8.3.2 Kaltstellen der Pumpe

Beim fortgesetzten oder verlängerten Kaltstellen der Pumpe sollte folgendes beachtet werden:

- Ein Mittel zur Verhinderung des Einfrierens des Schmierstoffes für die Pumpenlager sollte angewendet werden. Vorschläge, wie durch die Konstruktion der Pumpe das Einfrieren des Lager-Schmierstoffes verhindert werden kann, sind in 5.5.2 und 5.5.3 angegeben.
- Bei einigen Pumpensystemen besteht beim fortgesetzten Kaltstellen die Möglichkeit, dass sich gefährliche gelöste Kohlenwasserstoffe an Tiefpunkten des Systems anreichern. Eine Pumpe sollte regelmäßig ausgespült werden oder es sollte ein routinemäßiges Probenahme / Analysen-Programm eingeführt werden, um irgendwelche Kohlenwasserstoffe an Tiefpunkten des Systems zu entdecken. Jedes festgestellte Ansteigen der Kohlenwasserstoff-Konzentration erfordert ein Entleeren des Systems.

8.3.3 Bildung von Eisbrücken

Um bei einer Dichtungsleckage ein Überströmen von Sauerstoff zum warmen Ende zu verhindern, ist eine Pumpe zu bevorzugen, deren Konstruktion die Bildung einer Eisbrücke vom kalten Ende über das Distanzstück zum warmen Ende verhindert. Wenn jedoch die Pumpe eine bedeutende Eisbildung entwickelt, müssen andere Maßnahmen angewendet werden, um die Größe der Eispackung zu reduzieren. Beispiele sind das Stillsetzen und Abtauen der Pumpe unter Benutzung von heißem Gas oder Dampf zum Abschmelzen des Eises oder das Abschlagen des Eises mit einem Bronzhammer. Beim Entfernen des Eises muss darauf geachtet werden, dass kein Überdruck oder Schaden an der Pumpe entsteht.

8.4 Zustandsprüfung

8.4.1 Prüfung der Pumpe

Die mechanische und hydraulische Funktionsfähigkeit der Pumpe muss regelmäßig überprüft werden. Es wird empfohlen, dass die Beobachtungen oder mindestens Einzelheiten von Anormalitäten berichtet werden, damit weitere Maßnahmen ergriffen werden können. Mindestens muss folgendes geprüft werden:

- Analyse der Betriebsdaten;
- Durchdrehen der Pumpenwelle von Hand, um den Zustand der Lager und die mechanische Reibung zu beurteilen;
- Ölstand / Nachfüllen von Schmierstoff, soweit nötig;
- Dichtungsleckagen.

8.4.2 Häufigkeit der Zustandsprüfung

Die Häufigkeit dieser Prüfungen hängt vom Umfang der Nutzung, von den Empfehlungen des Herstellers und von den aktuellen Betriebserfahrungen ab.

8.5 Wartung und Reparatur

8.5.1 Wartungsprogramm

Ein Wartungsprogramm unter Einbeziehung der Empfehlungen des Pumpenherstellers und der Erfahrungen des Betreibers muss aufgestellt werden.

8.5.2 Reparaturverfahren

Bei jeder Pumpenreparatur müssen schriftliche Reparaturanweisungen befolgt werden, die vom Hersteller, dem Betreiber oder von beiden gemeinsam aufgestellt sind.

8.5.3 Teile

Es müssen Teile benutzt werden, die für den Sauerstoffbetrieb zugelassen, sachgemäß inspiziert und gereinigt sind. Vgl. IGC 33/97 [2].

8.5.4 Qualifikationen des Personals

Alle Wartungsarbeiten müssen von Personen ausgeführt werden, die für Reparaturen von Sauerstoffpumpen und für Reinigungsverfahren im Sauerstoffbetrieb qualifiziert sind.

8.5.5 Berichte

Ein detaillierter chronologischer Bericht aller Wartungen und Reparaturen der Pumpe ist zu erstellen. Diese Berichte sind nützlich für die Feststellung und Diagnose chronischer Probleme.

8.6 Filter / Siebe

8.6.1 Reinigung von Filtern / Sieben

Filter / Siebe am Pumpeneinlass müssen regelmäßig inspiziert und gereinigt werden.

8.6.2 Häufigkeit der Reinigung von Filtern / Sieben

Die Häufigkeit der Reinigung hängt ab vom Umfang der Verunreinigung in der Saugleitung. Reinigung ist besonders wichtig nach Änderungen oder Reparaturen am System. Folgendes sollte bei der Festlegung der Reinigungszyklen berücksichtigt werden.

- Nach der Kommissionierung oder nach Änderungen / Reparaturen des Pumpensystems sollte der Pumpenfilter / das Sieb nach ungefähr 100 Betriebsstunden inspiziert und gereinigt werden;
- Die Zeit zwischen den Inspektionen kann verlängert werden, abhängig von einer Verbesserung des Reinheitsniveaus des Systems oder von der Anzeige der Druckdifferenz oder von beiden Faktoren; und
- Der Austausch einer Pumpe oder deren Demontage zwecks Wartung / Reparatur bietet eine günstige Gelegenheit zur Inspektion. Filter / Siebe sollten, unabhängig vom Zeitpunkt der letzten Reinigung, bei jedem Austausch einer Pumpe inspiziert werden.

9 Referenzen

Soweit nicht anders angegeben, muss die jüngste Auflage benutzt werden.

[1] CGA P-8 and IGC 704/05, *Safe Practices Guide for Air Separation Plants*, Compressed Gas Association, Inc., 4221 Walney Rd., 5th Floor, Chantilly, VA 20151. www.cganet.com

[2] IGC Doc 33/97, *Cleaning of Equipment for Oxygen Service. Guideline*, European Industrial Gases Association, Avenue des Arts 3 – 5, B-1210 Brussels. www.eiga.org

[3] IGC 4/00 *Fire Hazards of Oxygen and Oxygen Enriched Atmospheres*, European Industrial Gases Association, Avenue des Arts 3 – 5, B-1210 Brussels. www.eiga.org
(Deutsche Fassung: *Brandgefahren durch Sauerstoff und sauerstoffangereicherte Atmosphären.*)

[4] ASTM G94, *Standard Guide for Evaluating Metals for Oxygen Service*, ASTM International, 100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428. www.astm.org

[5] ASTM D2512, *Standard Test Method for Compatibility of Materials with Liquid Oxygen (Impact Sensitivity Threshold and Pass-Fail Techniques)*, ASTM International, 100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428. www.astm.org

[6] ASTM G63, *Standard Guide for Evaluating Nonmetallic Materials for Oxygen Service*, ASTM International, 100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19423. www.astm.org

[7] IGC 127/04, *Bulk Liquid oxygen, Nitrogen and Argon Storage Systems at Production Sites*, European Industrial Gases Association, Avenue des Arts 3 – 5, B-1210 Brussels. www.eiga.org