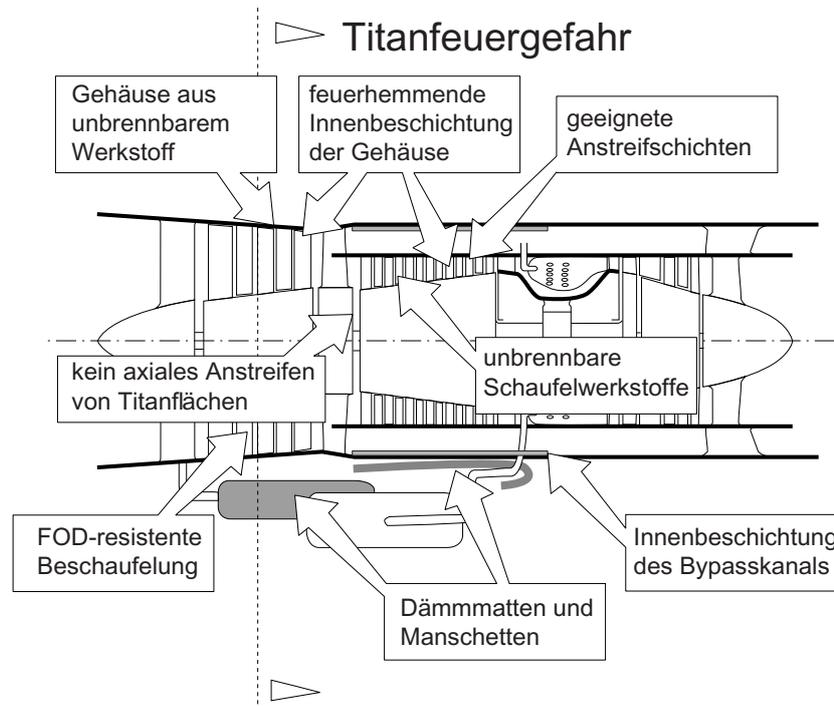


5.10.3 Abhilfen gegen Metallfeuer

5.10.3.1 Konstruktionen gegen Metallfeuer



Dieses Kapitel stützt sich in erster Linie auf Angaben in Unfallverhütungsvorschriften (Lit. 5.10.2-10) und Untersuchungen zu Feuern in Sauerstoff bei Raketen (Kapitel 5.10.1). Die werkstoffbezogenen Schlussfolgerungen (Lit. 5.10.3.-3 und Lit. 5.10.3-4) sind weitgehend dieselben (Bild 5.10.1-4 und Bild 5.10.3.1-1). Ein besonderes Problem sind Titanfeuer in Luft. Im Titelbild sind potenzielle Maßnahmen gegen Titanfeuer bei einem Flugtriebwerk zusammengefasst (Lit. 5.10.3-5). Die Maßnahmen sind nicht nur triebwerksspezifisch. Sie sind auch für den allgemeinen Maschinenbau nutzbar. Man kann mehrere Gruppen erkennen:

- Konstruktive Gestaltung und
- Werkstoffauswahl.
- Überwachung und Sicherheitsvorrichtungen.
- Schutzmaßnahmen im Schadensfall um die Auswirkungen zu minimieren.

In manchen Fällen lassen sich alle Aspekte vorteilhaft kombinieren. Das gilt besonders für den Einsatz von Beschichtungen (Seite 5.10.1-7).

Bild 5.10.3.1-1 (Lit.5.10.3-2): Ein besonderes Brandrisiko besteht bei Anlagen zum Gewinn von Sauerstoff und dessen Weiterverwendung. Um dies zu minimieren, nutzt man anlagenspezifische Sicherheitsmaßnahmen für:

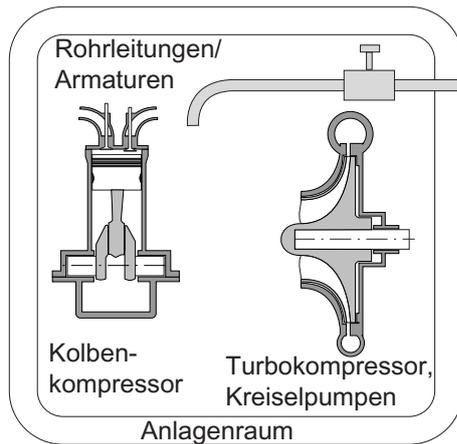
- Rohrleitungen,
- Armaturen,
- Anlagenraum,

- Komponenten zur Gewinnung und Verdichtung (Kolben- und Turbokompressoren)
- Fördermittel für flüssigen Sauerstoff (Pumpen).

Grundsätzlich unterliegen solche Anlagen umfangreichen **Vorschriften die vom Konstrukteur einzuhalten sind.**

An was der Konstrukteur bei sauerstoffführenden Anlagen denken muss.

Schematische Anlagenkomponenten*) mit Hinweisen aus der Unfallverhütung für 'Sauerstoff' - und Luftzerlegungsanlagen



■ Rohrleitungen:

- Keine Verunreinigungen zulässig.
- Nur zugelassene Gleitmittel.
- Nur zugelassene Dichtungsmaterialien
- Nur geeignete Werkstoffe: Kupfer und Legierungen (>55%Cu), Aluminium und Legierungen, austenitische nichtrostende Stähle (Cr+Ni >22%). Keine Tieftemperatursprödigkeit!
- Nicht geeignet:** Rohre aus unlegiertem und niedrig legiertem Stahl bei Drücken >1 bar. Diese Werkstoffe sind <-10°C und >200°C unzulässig.
- Strömungsgeschwindigkeit < Unbedenklichkeitsgrenze: $p < 1-40 \text{ bar}$ $v < 25 \text{ m/s}$,
 $p > 40 \text{ bar}$ $v < 8 \text{ m/s}$.
- Abblasleitungen müssen ins Freie führen.
- Kennzeichnung der Leitungen.

■ Armaturen:

Gehäuse, Komponenten und Dichtungen dürfen im Betrieb nicht ausbrennen. Unlegierter Stahl nur bei $p < 16 \text{ bar}$ zulässig. Bei <-10°C keine kaltverspröhdenden Werkstoffe zulässig.

■ Anlagenraum: Schall und Wärmedämmung darf nicht gefährlich mit Sauerstoff reagieren.

■ Anlagen zur Gewinnung und Verdichtung von Sauerstoff

- Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung
- Nur zugelassene Dichtungswerkstoffe (Kolbenringe, Manschetten, Stopfbuchsen)
- **Wassergekühlte Kolbenverdichter:**
 - Werkstoffe schwer entzündbar und korrosionsbeständig.
 - Schmierwasserversorgung sichern
 - Wasserschläge geeignet ausschließen
 - Rückschlagventil am Auslass
 - Ventile versagenssicher (z.B. kerbfrei), auf Schäden kontrollierbar.
 - Verhindern des Austritts von Bruchstücken der Dichtungen durch Stopfbuchsen.
- Anstreifwärme von Labirinth abführen (z.B. Kupferlegierungen)
- **Turboverdichter:**
 - Brandrisiko möglichst ausschließen. Gegebenenfalls Auswirkung konstruktiv begrenzen.
 - Anstreifwärme von Labirinth sicher abführen.
 - Lagerschäden dürfen nicht zum 'Auslaufen' des Verdichters führen.
 - Temperaturüberwachung mit automatischer Abschaltung, Schließen von Zu- und Ableitung und Öffnen der Abblasung.

Kreiselpumpen (für flüssigen Sauerstoff):

- Ausbrennen sicher vermeiden
- Werkstoff: Bei $p < 55 \text{ bar}$ Laufrad und Gehäuse aus Bronze. Bei einer Umfangsgeschwindigkeit $u < 40 \text{ m/s}$ Gehäuse und Laufrad aus austenitischem CrNi-Stahl oder Aluminiumlegierungen. Beide auch in Kombination mit Bronze.
- Dichtungen können auch aus Polytetrafluorethylen oder Polychlortrifluorethylen bestehen.
- Saugleitungen benötigen Fremdkörperschutz (Siebe, Filter).

*) Betroffene Anlagen dienen zum Gewinnen, Verdichten, Vergasen, Fortleiten, Lagern von Sauerstoff oder dessen Gemischen mit > 21 % Sauerstoffanteil, d.h. auch Luft.

Bild 5.10.3.1-1

5.10.3.2 Löschen von Metallfeuern



Das Löschen von Metallfeuern ist ein besonderes Problem. Eine Ursache sind die extrem hohen Temperaturen (nicht selten über 3000°C) der exothermen Reaktion. Diese kann ungeeignetes **Löschmittel thermisch aufspalten und dabei explosive Gasmische freisetzen**. Typisch ist die Spaltung von Wasser. Dabei wird Wasserstoff frei, der mit dem Sauerstoff **Knallgas** bildet. So besteht zusätzliche **Explosionsgefahr**. Ein Metallbrand kann also primär von der Reaktion mit Luftsauerstoff oder von Knallgas aus einer chemische Reaktion (z.B. Natrium) ausgelöst werden. Auch können ungeeignete **Löschmittel**, insbesondere Gase wie **Stickstoff oder CO_2** ebenfalls extrem exotherm mit einer Metallschmelze reagieren (z.B. bei Titan) und so das Feuer intensivieren. Tritt eine thermische Spaltung ein die Sauerstoff freisetzt, wird der Brand unterstützt. Besonders schwer sind **Zirkoniumbrände** wegen der extremen Temperaturen zu löschen.

Wasserhaltige **Löschmittel** sind also **ungeeignet**, dazu gehören auch Schäume. Das gilt auch für Gase wie Stickstoff oder CO_2 . Halone sind zumindest fragwürdig.

Das Löschen erfolgt entsprechend der **Brandklasse D** (Lit. 5.10.3-1).

Geeignet sind sog. '**Metallbrandpulver**'. Es handelt sich gewöhnlich um Salze wie Natriumchlorid (= Kochsalz) und Kaliumchlorid. Sie schmelzen bei ca. 800°C und bilden eine für Luft undurchlässige Schicht. Damit wird der **Brand erstickt**. Auf ähnliche Weise wirkt **trockener (!) Sand**. Zum Aufbringen des Löschpulvers gibt es geeignete tragbare Feuerlöscher die mit einer Pulverbrause arbeiten und so ein Anfachen durch einen Luftstrom vermeiden.

Kapitel 5.10.3

- 5.10.3-1** „Brandschutz Wissen - Brandklasse D“, www.brandschutzwissen.info/metalle, Stand 21.10.2007.
- 5.10.3-2** „Unfallverhütungsvorschrift - Sauerstoff - mit Durchführungsanweisungen“, Gesetzliche Unfallversicherung, GUV-V B7 (früher GUV 9.8), 1977, Seite 1-52.
- 5.10.3-3** E.L.White, J.J. Ward, „Ignition of Metals in Oxygen“, Defense Metals Information Center, Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio 4301, DMIC Report 22N, February 1, 1968, Update 1976.
- 5.10.3-4** V.G.Andersen, M.H.Funkhauser, „Titanium Coating Ignition Test“, Aero Propulsion Laboratory, Bericht APWAL-TR-81-2126, 1981, Seite 1-39.
- 5.10.3-5** Axel Rossmann, „Die Sicherheit von Turbo-Flugtriebwerken Band 2“, www.turboconsult.de, ISBN 3-00-008429-0, 2001, Kapitel 9.1.3.