

Quelle: <https://www.arbeitssicherheit.de//document/ac42fd5a-53cc-3f55-88d1-910d0f1e0761>

| Bibliografie | |
|---------------------------|--|
| Titel | Technische Regeln für Betriebssicherheit Gefährdung durch Dampf und Druck Schädigung der drucktragenden Wandung (TRBS 2141 Teil 2) |
| Amtliche Abkürzung | TRBS 2141 Teil 2 |
| Normtyp | Technische Regel |
| Normgeber | Bund |
| Gliederungs-Nr. | [keine Angabe] |

Abschnitt 4 TRBS 2141 Teil 2 - Maßnahmen zur Vermeidung von Gefährdungen [\(1\)](#)

Maßnahmen zur Vermeidung von Gefährdungen durch zeitabhängige Schädigung der drucktragenden Wandung werden nachstehend beispielhaft für den Lebenszyklus einer Druckanlage beschrieben.

Der Lebenszyklus einer Druckanlage umfasst hierbei die Bereitstellung und Benutzung von Arbeitsmitteln und den Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen einschließlich Montage und Installation.

4.1 Bereitstellung

4.1.1 Beschaffung (Bestellspezifikation, Unterlagen des Herstellers und Eingangskontrolle)

Mögliche zeitabhängige Schädigungseinflüsse auf drucktragende Wandungen werden im Rahmen der Planung und Beschaffung der Druckanlagen und deren Komponenten beachtet. Hierbei werden sowohl die bestimmungsgemäße Betriebsweise als auch vernünftigerweise nicht auszuschließende Abweichungen hiervon berücksichtigt. Zur bestimmungsgemäßen Betriebsweise gehören auch Füll-, Entleer-, An- und Abfahrvorgänge. Ebenso fließen mögliche Wechselwirkungen mit der Umgebung oder mit anderen Anlagen bzw. Anlagenteilen in die Betrachtung ein.

Folgende beispielhaft genannte Maßnahmen zur Berücksichtigung schädigender Einwirkungen auf drucktragende Wandungen können sich für die Beschaffung ergeben:

1. Korrosion und andere chemische Einwirkungen
 - Ausreichende Spezifikation der vorgesehenen Medien und Betriebsparameter als Basis für die Werkstoffauswahl durch den Hersteller. Ebenso Mitteilung bekannter Korrosionswirkungen und Beständigkeitseinflüsse an die Hersteller von Geräten unter innerem Überdruck.
 - Vorgabe der zu verwendenden Werkstoffe in einer Bestellspezifikation. Basis für die Werkstoffauswahl können z.B. anerkannte Werkstoff-Beständigkeitstabellen, Werkstoff-Medienzuordnungen aus einschlägigen Betriebserfahrungen oder Laborversuche sein.
 - Vorgabe von spezifischen Korrosionszuschlägen zur Berücksichtigung von gleichmäßigem Korrosionsabtrag über die vorgesehene Betriebsdauer.
 - Spezifikation geeigneter Innenbeschichtungen oder Auskleidungen, wie z.B. Email, Kunststoff Auskleidung, Gummierung, Plattierung.
 - Vorgabe betriebsbewährter Konstruktionsdetails in einer Spezifikation, wie z.B. Schweißnahtausführungen bei metallischen Werkstoffen, Anschlüsse und Übergänge bei Kunststoffauskleidungen oder Gummierungen.

- Spezifikation eines geeigneten Korrosionsschutzes für Anlagenteile, die durch äußere Korrosion beansprucht werden, wie z.B. Farbanstrich oder kathodischer Korrosionsschutz.

2. Erosion

- Ausreichende Spezifikation der vorgesehenen Medien und Betriebsparameter als Basis für die Werkstoffauswahl oder Ableitung weiterer geeigneter Maßnahmen durch den Hersteller. Ebenso Mitteilung bekannter Erosionswirkungen an den Hersteller.
- Vorgabe geeigneter Werkstoffe und konstruktiver Maßnahmen, wie z.B. Krümmungsradien, Umlenkeinbauten, Strömungsquerschnitte in einer Spezifikation.
- Spezifikation von Wanddickenzuschlägen oder Auskleidungen in Bereichen, in denen Erosion auftreten kann.
- Vermeidung von Erosionsbeanspruchung durch Maßnahmen, wie z.B. Festlegung max. Strömungsgeschwindigkeiten bei Gasströmen mit Feststoffanteilen, Verhinderung des Eindringens von abrasiv wirkenden Fremdkörpern.

3. Kavitation

- Auswahl von Pumpen, Rohrleitungsteilen, Armaturen, so dass unter Berücksichtigung der Aufstellungs- und Betriebsbedingungen (speziell Zulauf- oder Ansaughöhen, Vordrücke, hydrostatische Höhenunterschiede, Druckverluste, Dampfdruck der Medien bei den höchsten Betriebstemperaturen, gelöste Gase etc.) an allen Punkten der Druck des Fördermediums den Dampfdruck nicht erreicht oder unterschreitet.
- Spezifikation der maximal zulässigen Haltedruckhöhe (NPSH) von Pumpen bei deren Austausch bzw. Neubeschaffung zur Vermeidung von Kavitation bei allen Betriebsbedingungen.
- Spezifikation maximal zulässiger Druckverluste beim Ersatz oder der Neubeschaffung von Rohrleitungsarmaturen, wenn durch die erhöhten Druckverluste die Gefahr besteht, dass an bestimmten Punkten der Rohrleitung der Druck des Fördermediums den Dampfdruck erreichen oder unterschreiten kann.
- Soweit sicherheitstechnisch erforderlich (z.B. bei verflüssigten Gasen zur Vermeidung der Dampfbildung), Vorsehen von Einrichtungen, die die Einhaltung von Mindestbetriebsdrücken sicherstellen.

4. Zeitstandsbeanspruchung

- Ausreichende Spezifikation der vorgesehenen Betriebsparameter, aus denen sich Zeitstandseinflüsse ergeben, wie z. B. Temperatur, Druck, An- und Abfahrvorgänge, Zusatzlasten, als Basis für Werkstoffauswahl, Konstruktion und Berechnung durch den Hersteller.
- Spezifikation von Maßnahmen, die zur Umsetzung eines Inspektionkonzeptes zur Bewertung der Zeitstandsbeanspruchung bei wiederkehrenden Prüfungen dienen, wie z.B.
 - a) Nullzustandsprüfungen/Messungen zur Dokumentation des Ausgangszustandes nach der Herstellung, wie z.B. Wanddicken, Unrundheiten, Aufdachungen, Oberflächengefüge,
 - b) Spezifikation von Messstellen/Messmöglichkeiten zur Registrierung der für die Bewertung der Zeitstandsbeanspruchung maßgeblichen Prozessparameter. Zielführend hierbei ist ein Messstellenplan mit Festlegung der Messstellen und -aufgaben. Ggf. kann es erforderlich sein, Temperaturen an der Innen- und der Außenseite von druckbeaufschlagten Wandungen zu erfassen.

1. 5. Ermüdung

- Ausreichende Spezifikation der vorgesehenen Betriebsparameter, aus denen sich die Ermüdungseinflüsse ergeben, wie z.B. zyklische Druckbeanspruchung, zyklische äußere Lasten, Temperaturwechsel, als Basis für Konstruktion und Berechnung durch den Hersteller.
- Spezifikation von Maßnahmen, die zur Umsetzung eines Inspektionskonzeptes zur Bewertung der Ermüdung bei wiederkehrenden Prüfungen dienen, wie z.B.
 - a) prüfgerechte Gestaltung, wie Beschleifen von Schweißnähten zur Durchführung von Ultraschall-Prüfungen auf Anrisse oder Oberflächenrissprüfungen,
 - b) Nullzustandsprüfungen/Messungen zur Dokumentation des Ausgangszustandes nach der Herstellung und als Bezugsgrößen bei wiederkehrenden Prüfungen, wie z.B. Unrundheiten, Aufdachungen, Ultraschallprüfung von Schweißnähten.

2. 6. Versprödung

- Ausreichende Spezifikation der vorgesehenen Medien und Betriebsparameter, die zu einer Versprödung führen können, wie z.B. Einsatz bei tiefen Temperaturen, Druckwasserstoff, als Basis für Werkstoffauswahl, Konstruktion und Auslegung durch den Hersteller.
- Spezifikation von betriebsbegleitenden Werkstoffproben, die aus denselben Chargen wie die Bleche der drucktragenden Wandungen hergestellt werden (Chargen mit der höchsten Versprödungsneigung verwenden).

4.1.2 Aufstellung unter Berücksichtigung des Umfeldes

Druckanlagen bzw. deren Teile müssen so aufgestellt werden, dass keine Belastungen auftreten, die hinsichtlich eines zeitabhängigen Schädigungseinflusses bei der Auslegung nicht berücksichtigt wurden.

Ergänzend zur [TRBS 2141 Teil 1](#) sind Maßnahmen hierzu z.B.:

- Dämpfungsmaßnahmen, wenn aus dem Umgebungsbereich der Anlagenteile Schwingungen/Vibrationen einwirken, z.B. unerwartetes Auftreten von Rohrleitungsschwingungen infolge Druckpulsation durch einen Verdichter,
- Realisierung ausreichender Zulaufhöhen bzw. ausreichend hoher Vordrücke in Förderleitungen, damit an allen Punkten der Rohrleitungen der Druck des Fördermediums den Dampfdruck bei Betriebstemperatur nicht erreicht oder unterschreitet,
- Gewährleistung der Zugänglichkeit für die zur Umsetzung von Inspektionskonzepten erforderlichen Prüfungen,
- Möglichkeit zur Überprüfung des Einschaltzustandes der Fremdstromanlage bei der Verwendung einer kathodischen Korrosionsschutzanlage.

4.1.3 Montage, Installation, Ausrüstung

Bei Montage, Installation und Ausrüstung können ergänzend zur [TRBS 2141 Teil 1](#) die nachfolgenden Maßnahmen erforderlich sein:

4.1.3.1 Bei Abweichung von den Planungsunterlagen wird überprüft, ob daraus eine Beeinflussung zeitabhängiger Schädigungen resultiert bzw. noch nicht berücksichtigte zeitabhängige Schädigungen dadurch entstehen können. Falls erforderlich, werden entsprechende Maßnahmen ermittelt. Ggf. muss die sicherheitstechnische Bewertung aktualisiert werden. Beispiele hierzu sind:

- Bei einer erforderlichen Änderung der Rohrleitungsführung einer im Zeitstandsbereich betriebenen Rohrleitung wird rechnerisch geprüft, ob bei der Rohrleitung selbst und im Bereich des Anschlusses der Rohrleitung an Druckgeräte die zulässigen Spannungen noch eingehalten sind.
- Bei geänderter Pumpenaufstellung und Rohrleitungsführung wird geprüft, ob an allen Punkten der Rohrleitungen der

Druck des Fördermediums den Dampfdruck bei Betriebstemperatur nicht erreicht oder unterschreitet.

4.1.3.2 Durch folgende, beispielhaft genannte Maßnahmen, können schädigende Einflüsse aus unsachgemäßer Montage vermieden werden:

- Außenkorrosionsschutzmaßnahmen an Anlagenteilen werden spezifikationsgerecht ausgeführt,
- Anlagenkomponenten aus unterschiedlichen metallischen Werkstoffen werden z.B. galvanisch entkoppelt, wenn ansonsten wegen einer galvanischen Elementbildung Korrosion zu befürchten ist,
- die Montage wird so ausgeführt, dass keine bei der Auslegung nicht berücksichtigten Beanspruchungen entstehen, wie z.B. Vorspannungen von Rohrleitungen, Zusatzkräfte an Stutzenanschlüssen,
- Materialien werden ordnungsgemäß gelagert und verarbeitet, wie z. B. Trennung von austenitischen und ferritischen Materialien, Trennung von Werkzeugen zur Bearbeitung der betreffenden Materialien,
- Vermeidung des Kontaktes austenitischer Werkstoffe mit Zink und Kupfer wegen der Gefahr des Lotbruches bei späterem Glühen, Warmbiegen oder Schweißen.

4.2 Benutzung

4.2.1 Erprobung sowie An- und Abfahren

Ergänzend zur [TRBS2141 Teil 1](#) können die nachfolgend aufgeführten Maßnahmen erforderlich sein:

- die bei Spül-, Probe- und Prüfvorgängen verwendeten Medien werden so ausgewählt, dass durch diese keine zeitabhängigen Schädigungen bewirkt werden, wie z. B. Spannungsrisskorrosion bei austenitischen Stählen durch chloridhaltiges Spülwasser,
- Aufheizvorgänge werden überwacht, um eine Beanspruchung drucktragender Wandungen über die vorgesehenen Werte hinaus zu vermeiden,
- Anlagenteile, die einem Zähigkeitsabfall über die Betriebsdauer unterliegen, werden beim Anfahren erst mit Druck beaufschlagt, wenn sich die Werkstofftemperatur im Bereich der Kerbschlagzähigkeitshochlage befindet.

4.2.2 Betrieb, Gebrauch sowie Instandsetzung und Wartung

4.2.2.1 Verfolgung der Betriebsparameter

Die während des Betriebes einer Druckanlage vorhandenen Betriebsparameter sind die wesentlichen Einflussgrößen für den Verlauf zeitabhängiger Schädigungen. Zur Verfolgung und Beurteilung des Schädigungszustandes kann es deshalb erforderlich sein, die Betriebsparameter über den Betriebszeitraum zu verfolgen.

Maßnahmen hierzu sind zum Beispiel:

- Bei zyklisch beanspruchten Anlagenkomponenten werden die Lastwechsel (Anzahl, Amplituden) verfolgt, um einen Vergleich zwischen Auslegungsdaten und akkumulierten Betriebsdaten herstellen zu können.
- Die Einhaltung der Spezifikation für Roh-, Einsatz-, Zwischen- und Endprodukte bzw. von Betriebsstoffen oder Heiz- und Kühlmedien wird verfolgt, um sicher zu stellen, dass die korrosionstechnischen Rahmenbedingungen eingehalten sind. Hierzu können Analyseergebnisse aus Probenahmen oder auch einer Online-Analytik dienen.
- Bei Dampfkesseln wird die Schlamm- oder Salzanreicherung verfolgt, um rechtzeitig Maßnahmen wie Abschlämmen, Absalzen in die Wege leiten zu können.
- Bei einer Änderung der Betriebsparameter, z.B. infolge einer Anlagenänderung oder Prozessoptimierung, wird überprüft, ob dadurch zeitabhängige Schädigungsmechanismen beeinflusst werden oder neue Schädigungsmechanismen hinzukommen, wie z. B.
 - a) Änderung der Korrosionsbedingungen beim Wechsel von Roh-, Einsatz- und Hilfsstoffen oder Temperaturen,

- b) Änderung der Bedingungen hinsichtlich Ermüdung durch Erhöhung von Lastwechselzyklen/-amplituden,
- c) Änderung im Zeitstandverhalten infolge Druck- bzw. Temperaturerhöhung,
- d) Auftreten von Kavitation infolge von z. B. Erhöhung von Betriebstemperaturen, Ersatz von Armaturen durch solche mit höheren Druckverlusten, Absenken von Druckniveaus oder mit erhöhtem Dampfdruck verbundener Änderung des Betriebsmediums,
- e) Erosion aufgrund höherer Strömungsgeschwindigkeiten.

4.2.2.2 Instandhaltungsmaßnahmen

Die Wirksamkeit schädigungsverhindernder Maßnahmen wird über regelmäßige Instandhaltungsmaßnahmen sichergestellt. Beispiele hierzu sind:

- Ausmauerungen in Druckanlagen zum Schutz der drucktragenden Wandung gegen chemische bzw. thermische Einwirkungen werden überwacht, schadhafte Stellen werden in Stand gesetzt.
- Innen-/Außenbeschichtungen werden regelmäßig überprüft, schadhafte Stellen werden in Stand gesetzt.
- Kathodische Korrosionsschutzanlagen werden regelmäßig überprüft.
- Ablagerungen werden über regelmäßige Reinigungsmaßnahmen beseitigt.
- Korrosionsschutzanstriche werden nach Arbeiten an Anlagenkomponenten wieder spezifikationsgerecht ausgeführt.

4.2.2.3 Ermittlung und Beurteilung des aktuellen Schädigungszustandes

Zur Gewährleistung der Sicherheit für Beschäftigte und Dritte kann es erforderlich sein, den Schädigungsfortschritt zu verfolgen, um Prüffristen anzupassen oder Instandsetzungsmaßnahmen bzw. den Austausch von Anlagenteilen zu veranlassen.

Maßnahmen hierzu sind z. B. bei:

1. Gleichförmiger Korrosion

- Prüfintervalle zur Ermittlung der Ist-Wanddicke über zerstörungsfreie Prüfungen festlegen.
- Vergleich der Ist-Wanddicke mit der Soll-Wanddicke für die bestimmungsgemäße Betriebsweise.
- Überprüfung der Prüfintervalle, wenn die Ist-Wanddicke noch größer als die Soll-Wanddicke ist, z.B. durch Annahme eines linearen Korrosionsfortschritts.
- Austausch bei Erreichen bzw. Unterschreiten der Sollwanddicke.

2. Erosion/Kavitation

- Prüfintervalle zur Ermittlung der Ist-Wanddicke an den durch Erosion beanspruchten Bereichen über zerstörungsfreie Prüfungen festlegen.
- Vergleich der Ist-Wanddicke mit der Soll-Wanddicke für die bestimmungsgemäße Betriebsweise.
- Überprüfung der Prüfintervalle, wenn die Ist-Wanddicke noch größer als die Soll-Wanddicke ist, z.B. durch Annahme eines linearen Schädigungsfortschritts.
- Austausch bei Erreichen bzw. Unterschreitung der Soll-Wanddicke.

3. Zeitstandsbeanspruchung

- Prüfzeitpunkte zur Ermittlung des aktuellen Schädigungszustandes festlegen,
- Ermittlung des Schädigungszustandes, z. B. über Oberflächen-Gefügeabdrückeuntersuchungen, Oberflächenrissprüfungen, Ultraschall-Volumenprüfungen,
- Austausch von Bauteilen beim Erreichen definierter Grenzwerte, z.B. Erreichen der Auslegungslbensdauer bzw. eines maximalen Erschöpfungsgrades. Definierte Grenzwerte, z. B. bei bestehenden Dampfkesselanlagen, deren Bauteile im Zeitstandbereich beansprucht werden, sind gemäß des der Auslegung zugrundegelegten Regelwerks zu bewerten. Solche definierte Grenzwerte können sein:
 - a) Feststellung von wesentlichen Rissen, die auf Schädigung durch Zeitstand- oder Wechselbeanspruchung des Bauteils schließen lassen,
 - b) Erreichen der rechnerischen Erschöpfung von 100 Prozent, es sei denn, dass durch besondere Prüfungen oder besondere betriebliche Maßnahmen der Nachweis des gefahrlosen Weiterbetriebes erbracht wird,
 - c) Erreichen einer bleibenden Dehnung von zwei Prozent an Messstellen, von denen Ergebnisse seit der Inbetriebnahme vorliegen, oder Erreichen einer bleibenden Dehnung von einem Prozent an Messstellen, die nachträglich - spätestens bei Erreichen der rechnerischen Gesamterschöpfung von 60 Prozent - eingerichtet worden sind.

Bei im Zeitstandbereich betriebenen Bauteilen von Druckanlagen der Verfahrenstechnik kann analog verfahren werden.

4. Ermüdung

- Prüfzeitpunkte zur Ermittlung des aktuellen Schädigungszustandes festlegen, z.B. unter Berücksichtigung der nach Auslegungsregelwerk empfohlenen Prüfintervalle,
- Ermittlung des Schädigungszustandes, z. B. über Oberflächenrissprüfungen oder Ultraschallprüfungen auf Anrisse,
- Austausch oder ggf. Instandsetzung von Anlagenkomponenten mit Anrissen,
- Weiterbetrieb von Anlagenkomponenten ohne Anrisse im Rahmen des Auslegungsregelwerkes,
- ggf. Nachweis ausreichender Sicherheit auf Basis bruchmechanischer Bewertungen mit Festlegung von Prüfzeitpunkten aufgrund von Risswachstumsbetrachtungen
- erforderlichenfalls Berücksichtigung des Medieneinflusses auf die Anrisslastspielzahl und die Risswachstumsgeschwindigkeit.

Die in dieser TRBS genannten Maßnahmen zur Vermeidung von Gefährdungen infolge Schädigung der drucktragenden Wandung können erforderlichenfalls Bestandteile von Konzepten zur Zustandsüberwachung unter Einbindung von z.B. Monitoringsystemen sein.

4.2.3 Maßnahmen bei Betriebsstörungen

Ergeben sich während des Betriebes einer Druckanlage Schädigungen an der drucktragenden Wandung, z.B. durch

- nicht spezifikationsgemäße Medien,
- unvorhergesehene Reaktionsabläufe,
- unerwartete instationäre Betriebszustände,

so sind die erforderlichen Gegenmaßnahmen zu ergreifen.

Diese Gegenmaßnahmen beinhalten z.B.:

- Aufklärung, in welchem Umfang sich die Störung auf die drucktragende Wandung ausgewirkt hat,
- ggf. Instandsetzung, Austausch von geschädigten Anlagenteilen,
- ggf. Korrektur der Prüfintervalle auf Basis des zu erwartenden Schädigungsfortschritts.

Fußnoten

[\(1\) Red. Anm.:](#) Außer Kraft am 23. Mai 2019 durch die Bek. vom 14. März 2019 (GMBI S. 270)