

# VGB-Positionspapier

## Maßnahmen zur Minimierung von Verschmutzungseintrag in sicherheitstechnisch wichtigen und verfügbarkeitsrelevanten Komponenten

### Notwendigkeit zur EVU-übergreifenden Festlegung von Anforderungen an die Oberflächensauberkeit

Erstellt von Dr. M. Stanislawski, E.ON Kernkraft GmbH, in Zusammenarbeit mit dem VGB Arbeitskreis „Komponentenintegrität“

03.05.2018



## Übersicht der Revisionen

Rev.-Nr.	Rev.-Datum	Bearbeiter	Änderungen
0	13.08.2013	Dr. M Stanislawski	Erstausgabe
1	27.04.2018	M. Selektor, Preußenelektra GmbH	Abschnitt 4.6 „Dichtungen“
2	03.05.2018	M. Selektor, Preußenelektra GmbH	Seite 19, 25 QP-Datenbank

# 1. Einleitung

Schäden aufgrund von Oberflächenverschmutzungen gehören zu den häufigsten Schadensursachen an Komponenten in kerntechnischen Anlagen. Sie verursachen hohe Kosten für Austausch- und Instandhaltungsmaßnahmen und können zu Produktionsausfällen durch ungeplante Stillstände bzw. Revisionsverlängerungen führen.

Besonders im Focus stehen dabei Materialien, die in mediumberührten Bereichen zum Einsatz kommen. Das sind vor allem Großkomponenten, Rohrleitungen, Armaturen und Flanschverbindungen, aber auch für diese Komponenten eingesetzte Dichtungen, Mauerdurchführungen, Werkzeuge, Betriebsstoffe, Montagehilfsmittel, Korrosionsschutzmittel und Verpackungen.

Aufgrund von Schäden an Komponenten aus austenitischen CrNi-Stählen und Nickellegierungen wurden in den deutschen Kernkraftwerken bereits zahlreiche Maßnahmen zur Minimierung von Verschmutzungseinträgen ergriffen. Insbesondere wird darauf geachtet, dass Dichtungen, Hilfs- und Betriebsstoffe und Montagehilfsmittel hinreichend niedrige, zulässige Schadstoffgehalte aufweisen, wobei der Schwerpunkt auf Chloride, andere Halogenide und Sulfaten liegt.

Besondere Bedeutung kommt in dem Zusammenhang der Wareneingangsprüfung von Neu- und Ersatzteilen in der Anlage zu. Eine Nachprüfung der Oberflächensauberkeit, insbesondere von Ersatzteilen, ist dabei jedoch nur in begrenztem Umfang möglich. Ein besonderer Fokus liegt hierbei auf der Sauberkeit von Innenoberflächen der eingesetzten Komponenten (z.B. Rohrleitungen, Kleinleitungen, Armaturen).

Daraus ist abzuleiten, dass eine ausreichend saubere innere und äußere Oberfläche von Komponenten bereits beim Hersteller erzeugt und über die gesamte Lieferkette erhalten werden muss. Um dies sicher zu gewährleisten, sind klare Vorgaben an alle Prozessbeteiligten, beginnend beim Hersteller, erforderlich.

## 2. Schadensfälle und bisherige Maßnahmen

Aufgrund von Schadensfällen mit übergreifender Bedeutung, verursacht durch Chloride, wurden seit 1998 die folgenden GRS-Weiterleitungsnachrichten formuliert:

- WLN 1998/01: Korrosionsangriff auf den Außenoberflächen von sicherheitsrelevanten austenitischen Rohrleitungen
  - Schwerpunkt: Chloridhaltige Hilfsmittel und –stoffe (insbes. Klebebänder)
- WLN 2001/04: Rissbefunde am Austrittsstutzen einer Nachkühl-Saugarmatur (Erstabspernung) und dem anschließenden Rohrleitungsteilstück im Kernkraftwerk Stade
  - Schwerpunkt: Aufkonzentration von Chloriden (Chloridquelle nicht genau bestimmbar) in Kondensationsbereichen von Armaturen und Rohrleitungen
- WLN 2005/14: Rissanzeigen an Komponenten des Notspeisesystems im Kernkraftwerk Grafenrheinfeld und weitere Schäden in anderen Anlagen infolge chloridinduzierter transkristalliner Spannungsrisskorrosion
  - Schwerpunkt: Aufkonzentration von Chloriden (Chloridquelle vermutlich aus der Herstellung/Instandhaltung, aber nicht mehr genau bestimmbar) in Bereichen mit Kondensationsbedingungen oder stagnierenden Medien
- WLN 2008/03: Risse in austenitischen Armaturengehäusen infolge chloridinduzierter transkristalliner Spannungsrisskorrosion im Kernkraftwerk Krümmel
  - Schwerpunkt: Armaturen mit Asbestdichtungen mit hohem Chloridgehalt
- WLN 2009/02: Leckagen infolge transkristalliner Spannungsrisskorrosion an den Außenoberflächen der Zuleitungen zu den Steuerstabantrieben im Kernkraftwerk Cofrentes (Spanien)
  - Schwerpunkt: Verschmutzungen auf Außenoberflächen (halogenidhaltige Stäube)

Zusätzlich zu den in GRS-WLN beschriebenen Schäden gibt es eine relevante Anzahl von Schäden, die auf chloridinduzierte Spannungsrisskorrosion zurückzuführen sind und in Form von meldepflichtigen Ereignissen (ME's) behandelt wurden. Der überwiegende Teil dieser ME's beziehen sich auf Schäden in nicht sicherheitstechnisch wichtigen Kleinleitungen (z.B. Leckageabsaugleitungen).

Alle deutschen Anlagen haben mit umfassenden Programmen auf die aufgetretenen Schäden reagiert. Erkenntnisse hinsichtlich Eintrittspfaden und potenziell betroffenen Bereichen wurden hierbei berücksichtigt. Zur Minimierung von Chlorideinträgen werden potenzielle Chloridquellen identifiziert. Durch administrative Maßnahmen sowie ggf. durch wiederkehrende Betriebsbegehungen wird sichergestellt, dass nur vom Kraftwerk freigegebene Hilfs- und Betriebsstoffe mit hinreichend geringen, zulässigen Schadstoffgehalten eingesetzt werden. Darüber hinaus werden Instandhaltungsarbeiten bei Bedarf hinsichtlich Vermeidung von Verschmutzungseinträgen optimiert. Bei Bedarf können weiterhin ergänzende zerstörungsfreie Prüfungen zur Vermeidung eines systematischen Versagens durchgeführt werden.

Zu Grenzwerten von Schadstoffen in Betriebs- und Hilfsstoffen gibt es Festlegungen in Regelwerken (Kerntechnisches Regelwerk, DIN).

### 3. Schlussfolgerungen und weiteres Vorgehen

Auf Grund der aktuellen Situation werden immer weniger Komponenten und Betriebs- und Hilfsstoffe in Nuklearqualität hergestellt. Stattdessen werden diese immer häufiger in konventioneller Qualität gefertigt und anschließend mittels verschiedener Maßnahmen aufgewertet.

#### Darauf ist durch die Betreiber geeignet zu reagieren:

##### a) Anlagenbezogene Maßnahmen:

- Erstellung von Reinigungs-/Arbeitsvorschriften (Reinigung, Endoskopie, Probenahme),
- Verschärfung von Abnahme- und Wareneingangsprüfungen,
- Gespräch mit Lieferanten zwecks Sensibilisierung zur Minimierung von Verschmutzungseinträgen,
- Auditierung von Unterlieferanten.

##### b) Empfohlene betreibergemeinsame Maßnahmen

#### 1. Textliche Spezifikationsvorgaben zur Festlegung bzw. Präzisierung der technischen Spezifikationen der KKW.

In einer Reihe von technischen Spezifikationen sind keine oder nur unzureichende Regelungen zur Oberflächensauberkeit zu finden. Angaben oder Verweise zu Grenzwerten, Prüf- und Reinigungsverfahren sind häufig nicht enthalten. Ebenso fehlen meistens Hinweise auf fachgerechte Konservierung, Verpackung, Lagerung und Transport.

Eine Harmonisierung der sich in Überarbeitung befindlichen technischen Spezifikationen hinsichtlich Oberflächensauberkeit ist anzustreben, z.B. durch Verweis auf dieselben Spezifikationen oder durch Wahl ähnlicher Formulierungen. Dieses Vorgehen erleichtert eine Durchsetzung der Forderungen gegenüber den Herstellern und die Qualitätskontrollen. Zum Beispiel wird in der KS D 1042/50 bzw. KS D 2041/50 auf die übergreifenden Spezifikationen AVS D 8.1/50 und AVS D 36.1/50 (Herstellerwerk) bzw. AVS D 8.3/50 und AVS D 36.2/50 (Baustelle/Anlage) verwiesen. Diese enthalten detaillierte Angaben zu allgemeingültigen Grenzwerten und standardisierte Prüf- und Reinigungsverfahren. Gegebenenfalls sollten diese aktualisiert werden. Ein Verweis auf die DIN 25493 und DIN 25410 ist ebenfalls möglich. Hinsichtlich Regelung von Konservierung, Verpackung, Lagerung und Transport gibt es derzeit keine übergreifende Spezifikation. Es bietet sich hierzu eine Überarbeitung und Aktualisierung der alten Spezifikation AVS D 10.1A/000 von 1978 an. Für Druck- und Funktionsprüfungen sowie Innenkonservierung existieren die AVS D 36.1/50 und D 36.2/50.

## 2. Vorgaben bzgl. der Sauberkeit

Sauberkeitsvorgaben, z.B. in Form eines allgemeingültigen Reinigungsplans, sind bei Bedarf in den technischen Bestellunterlagen zu tätigen. Hierzu können entsprechende Vorgaben aus den einschlägigen Regelwerken (AVS D) herangezogen werden.

Es wird empfohlen, einen einheitlichen und betreiberübergreifenden Reinigungsplan zu entwickeln. Dieser kann dann in den jeweiligen zugehörigen technischen Unterlagen konkretisiert werden.

## 3: Textbaustein als verbindlicher Vertragsbestandteil für den technischen Einkauf

Es wird empfohlen, betreiberintern Standardformulierungen hinsichtlich Sauberkeitsanforderungen für die Bestellung von Komponenten und Halbzeugen zu entwickeln. Diese können z.B. vom technischen Einkauf in Bestellungen in Form eines Textbausteins beigefügt werden. Auf diese Weise werden die Sauberkeitsanforderungen zu einem verbindlichen Vertragsbestandteil.

*Eine Beispielformulierung könnte lauten: „Die Oberflächensauberkeit gelieferter Bauteile oder Halbzeuge muss den Anforderungen der AVS D 8.1/50 (nichtrostende Stähle und Stahlguss sowie Nickelbasislegierungen) bzw. der AVS D 8.2/50 (un-/niedriglegierte Stähle, Stahlguss, Gusseisen und Mischverbindungen) genügen. Bei Bauteilen, die vom Auftragnehmer direkt eingebaut werden, gelten die Anforderungen der AVS D 8.3/50 (Oberflächensauberkeit, Reinigung und deren Prüfung auf der Baustelle/Anlage). Es gilt die Sauberkeitsklasse 1. Bei nichtrostenden Stählen ist die Einhaltung des maximalen Chloridgehwertes vom Hersteller/Lieferanten durch einen Wischtest entsprechend AVS D 8.1/50 nachzuweisen. Die Teile müssen für den Transport einzeln in transparente, luftdichte und verschweißte Folie aus chloridfreiem PE oder PP verpackt werden. Rohrleitungen müssen zusätzlich mit Endkappen verschlossen werden. Bei un-/niedriglegierten Stählen, Stahlguss, Gusseisen und Mischverbindungen sind mögliche erforderliche Konservierungsmaßnahmen mit dem Auftraggeber abzustimmen.“*

# Anhang: Empfohlene Anforderungen an Oberflächensauberkeit von Komponenten sowie Verunreinigungen von Verpackungs-, Hilfs-, Betriebs-, Reinigungs- und Prüfstoffen

## Übersicht

1	Bestellung .....	8
1.1	Bestellanforderungen.....	8
1.2	Abnahmeprüfung .....	9
1.3	Konservierung.....	10
1.4	Verpackung und Kennzeichnung .....	12
1.5	Verpackungsabnahme.....	13
1.6	Transport .....	13
2	Wareneingangskontrolle .....	14
3	Lagerung.....	15
3.1	Lagerungsbedingungen .....	15
3.2	Schutzdauer von Konservierungen und deren Überprüfung .....	16
3.3	Warenentnahme .....	16
4	Verarbeitung .....	17
4.1	Anlageninterner Transport und Zwischenlagerung am Arbeitsplatz.....	17
4.2	Verarbeitungsort .....	17
4.3	Werkzeuge.....	18
4.4	Schleif- und Strahlmittel .....	18
4.5	Hilfsstoffe .....	19
4.6	Dichtungen.....	20
4.7	Handschuhe und Arbeitskleidung .....	23
4.8	Montage.....	24
4.9	Aufkleber und Beschriftungen .....	25
5	Reinigung.....	27
5.1	End- und Nachreinigung .....	27
5.2	Grobreinigung .....	27
5.3	Beizen.....	28
5.4	Passivieren von austenitischen CrNi-Stählen und Nickelbasislegierungen .....	29
5.5	Entfetten .....	30
5.6	Spülen.....	31
5.7	Trocknen.....	32
6	Inbetriebnahme und Betrieb.....	33
6.1	Prüfmittel.....	33
6.2	Wärmedämmung .....	34
6.3	Außenluft, Gase und Aerosole.....	34
6.4	Chlorhaltige Kunststoffe und Elastomere (PVC, Neopren®, Camapren®, Saranex™, ...) .....	35
6.5	Brandschutz- und Brandbekämpfungsmittel .....	35
6.6	Kondensatorleckagen .....	36
7	Sauberkeitsprüfungen .....	36
7.1	Sichtprüfung.....	36
7.2	Ferritindikator-Test (Ferroxyl-Test) .....	38
7.3	Wasserbehandlung.....	40
7.4	Wischtest .....	40
7.5	Bortest .....	42
7.6	Prüfung auf Beizschäden.....	44
7.7	Wassersprühprüfung.....	45
7.8	Wasserablaufprobe.....	45
7.9	Kratzprobe .....	45
7.10	Auslaugversuch .....	46
8	Zugrundeliegende Normen und Arbeitsvorschriften.....	48

# 1 Bestellung

## 1.1 Bestellanforderungen

Vor der Bestellung von Komponenten und v.a. von Hilfsstoffen sollte sichergestellt werden, dass sie selbst keine Verschmutzungsquellen für andere Komponenten darstellen können. Beispiele sind PVC-Folien im Kontrollbereich, chlorgebleichte Baumwollhandschuhe oder Dichtungen aus PTFE im Strahlungsbereich. In solchen Fällen sollte zusammen mit den technischen Abteilungen der Einsatz von alternativen Hilfsstoffen oder Komponentenmaterialien geprüft werden.

Bestellanforderungen enthalten in vielen Fällen indirekte Angaben zu Oberflächensauberkeiten und Kontrollen, in Konvoi-Spezifikationen z.B. durch Verweis auf die AVS D 8.1/50 oder ihre Schwesterspezifikationen AVS D 8.2/50 und AVS D 8.3/50.

Die Sauberkeitsanforderungen gelten prinzipiell für mediumberührte Oberflächen. An andere Oberflächen, die aufgrund ihrer Konstruktion eine Ansammlung von Feuchtigkeit und Schmutz ermöglichen, korrosiven Einflüssen von außen ausgesetzt sind oder in Bereichen eingebaut werden oder wo besonders hohe Sicherheitsanforderungen herrschen, sollten ebenfalls Anforderungen gestellt werden. Der Einfachheit halber und zur Sicherung der Gewährleistung bei Schadensfällen sollten in dem Bestelltext keine expliziten Einschränkungen bei der Nachweisgüte der Oberflächen gemacht werden.

Prüflose sollten ebenfalls nicht in der Bestellung vorgegeben werden.

Nicht enthalten in den meisten Spezifikationen sind Anforderungen zu Verpackung und Transport (z.B. Verweis auf die AVD D 10.1A/000).

Es sollte in der Bestellung sichergestellt werden, dass die Sauberkeitsanforderungen auch für Händler und Subkontraktoren gelten.

Bei Fertigungs- und Montagearbeiten sollten für die Arbeitsbereiche Sauberkeitsstufen nach DIN 25410 vorgegeben werden. In der Regel sollte die Sauberkeitsstufe 1 oder 2 gewählt werden.

Zur Einhaltung der Anforderungen an die Sauberkeitsstufe müssen vom Auftragnehmer entsprechende Anweisungen (z. B. Baustellenordnung, Arbeitsanweisungen) erstellt werden. Diese sollten vor Beginn der Arbeiten vorliegen und mindestens folgende Punkte umfassen:



- Einrichtung von Lager- und Montagebereichen.
- Art und Umfang von Handhabungs- und Montagehilfsmitteln, der Arbeitskleidung und der sanitären Einrichtungen für das Personal in Lager- und Montagebereichen.
- Art und Umfang sowie Zeitpunkt der Kontrollen der Sauberkeitsbereiche einschließlich der notwendigen Prüfungen.
- Zuständigkeit für die Kontrollen.
- Berücksichtigung spezieller Anforderungen bei Handhabung, Lagerung, Montage und Prüfung sowie rechtzeitige Unterrichtung des Personals über die festgelegten Sauberkeitsanforderungen, insbesondere bei Änderungen (z. B. bei Montagefortschritt).

## 1.2 Abnahmeprüfung

Die Abnahmeprüfung besteht aus einer allgemeinen Sichtprüfung (s. Abschnitt 7.1). Bei Komponenten aus austenitischen CrNi-Stählen und Nickelbasislegierungen erfolgt zusätzlich eine Prüfung auf Ferritkontamination durch einen Ferritindikator-test (Ferroxytest) oder eine Wasserbehandlung (s. Abschnitte 7.2 und 7.3) sowie ein Wischtest (s. Abschnitt 7.4).

Der Wischtest dient zum Nachweis von Chlorid-, Fluorid- oder Schwefelkontaminationen. Alternativ besteht auch die Möglichkeit eine Wasserlagerung anstelle des Wischtests durchzuführen. Dabei wird eine Komponente über einen Zeitraum von mind. 2 Stunden mit Wasser befüllt bzw. in ein wasserbefülltes Gefäß gelegt und das Wasser anschließend chemisch analysiert. Untersuchungen haben allerdings ergeben, dass die Ergebnisse der Chloridgehalte aus der Wasserlagerungsprüfung im Vergleich zum Wischtest teilweise deutlich geringer ausfallen können. Aus diesem Grund erscheint die Wasserlagerung allein als nicht ausreichend zum quantitativen Nachweis von Oberflächenverschmutzungen durch Chloride.

Bei Komponenten, die geschweißt werden sollen und bei denen die Möglichkeit einer Kontamination mit Borsäure besteht, ist ein Bortest im Schweißnahtbereich durchzuführen (s. Abschnitt 7.5).

Bei Verdacht auf Beizschäden sollte eine visuelle Prüfung mit optischer Vergrößerung durchgeführt werden (s. Abschnitt 7.6, entsprechend AVS D 8.1/50 bzw. AVS D 8.2/50).

Bei Verdacht auf Fett- und Ölrückstände muss an den betroffenen Oberflächenbereichen eine Wassersprühprüfung oder Wasserablaufprobe durchgeführt werden. Die Wassersprühprüfung (s. Abschnitt 7.7) eignet sich vor allem für die Prüfung örtlich begrenzter Oberflächenbereiche, während die Wasserablaufprobe für die Prüfung von großen Oberflächenbereichen geeignet ist (s. Abschnitt 7.8).

Bei un- und niedriglegierten Stählen sollte beim Vorhandensein von Korrosionsprodukten auf der Oberfläche eine Kratzprobe durchgeführt werden (s. Abschnitt 7.9).

Es müssen Nachweise bezüglich Reinigungsmaßnahmen und Sauberkeitsprüfungen an metallischen Komponenten vorhanden sein, die bei der Abnahme geprüft werden sollten. Die Nachweise müssen von den Ausführenden der Maßnahmen/Prüfungen geführt werden.

### 1.3 Konservierung

Im endgereinigten Zustand dürfen die Oberflächen metallischer Komponenten nur mit geeigneten Handschuhen angefasst und gehandhabt werden (s. Abschnitt 4.6). Das gilt auch für ferritische Werkstoffe, da diese an Stellen mit Fingerabdrücken deutlich schneller korrodieren.

Metallische Komponenten aus un- und niedriglegierten Stählen sowie Mischkomponenten mit ferritischen Außenoberflächen müssen vor dem Verpacken konserviert werden. Komponenten aus austenitischen CrNi-Stählen oder Nickelbasislegierungen, verzinkte und olivchromatierte Komponenten sowie Komponenten, die einbetoniert werden, benötigen keine besonderen Korrosionsschutzmaßnahmen.

Die zu konservierenden Oberflächen müssen frei sein von Schmutz, Staub und aggressiven Oberflächenkontaminationen, wie z. B. Rostansatz, Zunderschichten, Walzhäuten, Anlauffarben oder Mitteln aus der mechanischen Bearbeitung (z.B. Bohröle). Näheres hierzu ist z.B. in der AVS D 8.1/50 oder AVS D 8.2/50 geregelt.

Größere metallische Komponenten können mit Hilfe von Filmbildnern wie Grundierungen konserviert werden. Geeignete Grundierungen sind z.B. nach AVS D 6.2/50 solche auf Alkyd- oder Epoxidharzbasis mit mindestens 20 Gew.-% Zinkphosphat (ggf. auch Zinksilikate). Die Harze sperren den Zutritt von Feuchtigkeit, Sauerstoff und sonstigen aggressiven Stoffen auf die metallische Oberfläche. Die Zinkbestandteile schützen die Metalloberfläche zusätzlich auf elektrochemischem Weg.

Unpigmentierte Klarlacke können für temporären oder permanenten Oberflächenschutz gegen Flugrost verwendet werden. Ihre Gesamt-Gehalte an Chlor und Fluor dürfen nach DIN 25493 jeweils **100 mg/kg** nicht überschreiten. Die Gesamt-Gehalte an Schwefel, Kobalt, Kupfer, Blei, Zink und Bor müssen jeweils unterhalb **200 mg/kg** liegen. Klarlacke mit schwermetallhaltigen Zusätzen (Sikkative) dürfen nicht verwendet werden. Ferner dürfen die Klarlacke bei thermischem Abbau keine sauren Zersetzungsprodukte bilden und müssen bei Kontakt mit Wärmedämmstoffen mit diesen verträglich sein. Bei den Gesamt-Gehalten handelt es sich jeweils um die Summe der löslichen und unlöslichen Anteile eines Stoffs.

Konservierungsmittel auf Mineralölbasis (Öl-Hartwachs-Anstriche) sind ebenfalls geeignet. Sie werden durch Anstreichen, Tauchen oder Sprühen auf die metallischen Oberflächen aufgetragen. Das Konservierungsmittel muss dabei in ausreichender Schichtdicke, entsprechend den

Verarbeitungsrichtlinien des Konservierungsmittelherstellers aufgetragen werden. Nach DIN 25493 dürfen die Konservierungsmittel maximal **500 mg/kg** Gesamt-Chlor, **500 mg/kg** Gesamt-Fluor und **1000 mg/kg** Gesamt-Schwefel enthalten.

Die Anwendung von abziehbaren Korrosionsschutzmitteln ist ebenfalls möglich. Die Mittel müssen einen ausreichenden Korrosionsschutz bieten und sich nach dem Gebrauch wieder restlos entfernen lassen. Ihr maximaler Gesamt-Anteil an Chlor und Fluor darf nach DIN 25493 den Wert **200 mg/kg** nicht überschreiten. Der Gesamt-Schwefelgehalt muss  $\leq$  **200 mg/kg** sein.

Kleinere metallische Komponenten wie hochwertige Ersatzteile von Maschinen können mittels Dampfphaseninhibitoren, Korrosionsschutzpapieren oder Kontaktinhibitoren temporär konserviert werden.

Bei den Dampfphaseninhibitoren (VCI-Inhibitoren) handelt es sich um organische Stoffe, die sehr langsam verdampfen. Die VCI-Moleküle lagern sich auf blanken Metalloberflächen als unsichtbare, monomolekulare Filme an und unterbrechen aufgrund ihrer Polarität elektrochemische Korrosionsreaktionen. Die Voraussetzung für die Wirksamkeit dieser Dampfphaseninhibitoren sind geschlossene Gasvolumina um die Komponente herum. Dafür eignet sich das Einschweißen in PE-Beutel. Die VCI-Inhibitoren können in Form von Beuteln (z.B. "Cortec Corpak 1-mul") innerhalb einer Verpackung eingebracht werden. Ein Beutel reicht in der Regel pro 25-Liter-Verpackungsvolumen. Bei der Verwendung von mehreren VCI-Beuteln sollten diese innerhalb der Verpackung möglichst gleichmäßig verteilt werden. Nach AVS D 10.1A/000 sollte der Abstand 30 cm nicht überschreiten. Falls erforderlich, sind die Beutel mit Klebeband zu fixieren. Eine Überdosierung von VCI-Inhibitoren ist unschädlich.

Korrosionsschutzpapiere (VCI-Papier, VPI-Papier) wirken ähnlich wie VCI-Inhibitoren. Die Komponenten werden in die Korrosionsschutzpapiere eingeschlagen. Imprägnierte Korrosionsschutzpapiere wirken dabei nach beiden Seiten, beschichtete Papiere nur nach einer Seite. Die mit dem Wirkstoff beschichtete Seite muss auf die zu schützende Metalloberfläche gewendet sein. Die zu schützende Komponente muss möglichst eng und vollständig mit Korrosionsschutzpapier umhüllt werden. Dies gilt besonders für Grauguss (große zu schützende Oberfläche). Die Menge des verwendeten Korrosionsschutzpapiers muss mindestens einem Volleinschlag des Teiles entsprechen. Mit Korrosionsschutzpapier geschützte Teile sollten bei längeren Konservierungszeiträumen (Richtwert > 6 Monate nach AVS D 10.1A/000) eine wasserdampfdichte Umhüllung erhalten. Ein zusätzlicher Korrosionsschutz durch Einölen bzw. Einfetten ist nicht erforderlich. Korrosionsschutzpapiere dürfen nicht zusammen mit Trockenmitteln verwendet werden. Kontaktinhibitoren (z.B. "Cortec Vpci 329") werden in Form eines filmbildenden, öligen Konzentrats auf die Oberflächen aufgetragen und schützen diese auf elektrochemischer Basis.

Für den Schutz der Außenflächen von auf der Baustelle zu isolierenden Komponenten wie Druckbehälter, Dampferzeuger, Hauptkühlmittelleitung usw., die auch nach Inbetriebnahme einer UT-Prüfung unterzogen werden sollen, sollte nach AVS D 10.1A/000 eine anorganische Beschichtung auf Basis von Titansilikat mit einer maximalen Schichtdicke von 40 µm verwendet werden.

Gegebenenfalls können bestimmte Komponenten auch ohne Beschichtung belassen werden. Dies ist im Einzelfall zu klären.

Bei großen, mit Deckeln oder Blindflanschen abschließbaren Komponenten wie Behältern, kann die Innenoberfläche auch durch eine Trockenkonservierung mit Inertgas z.B. gemäß AVS 36.1/50 geschützt werden.

Prinzipiell müssen bei der Konservierung bereits vom Hersteller durchgeführte Korrosionsschutzmaßnahmen wie Farbanstriche berücksichtigt werden.

Weitere Angaben zur Konservierung sind z.B. in AVS D 10.1A/000 enthalten.

#### **1.4 Verpackung und Kennzeichnung**

Es empfiehlt sich, die metallischen Komponenten in einer durchsichtigen PE-Folie von ca. 200 µm Stärke luftdicht einzuschweißen. Scharfkantige Ecken sollten mit Schaumstoff abgepolstert werden. Die Folie muss von außen gegen mechanische Beschädigungen geschützt werden. Vor dem endgültigen Verschweißen bzw. Heißversiegeln der Hülle muss die Luft aus der Hülle mit einem maximalen Unterdruck von  $6 \pm 1$  mbar abgesaugt werden. Die Schweiß- bzw. Heißsiegelnähte sowie eventuelle Durchführungen durch die Umhüllung (Bolzendurchführung, etc.) müssen wasserdampfdicht ausgeführt werden. Die Folienfläche sollte prinzipiell so bemessen sein, dass nach dem erstmaligen Öffnen, zwei weitere Verschweiß- bzw. Heißsiegelungsvorgänge möglich sind.

Rohrleitungen müssen zusätzlich mit gesicherten Endkappen verschlossen werden.

Komponenten aus austenitischem CrNi-Stahl, wie z.B. Rohre, dürfen nur mit Kordeln oder Kabelbindern aus Nylon oder austenitischem Stahlband, auf keinen Fall mit Eisen- oder Kupferdraht gebündelt werden. Dasselbe gilt bei der Befestigung von Zetteln o.ä.

Gewindeteile (Schrauben, Gewindespindeln usw.) können zusätzlich in Schutzstrümpfen verpackt werden.

Bei Komponenten aus un- und niedriglegierten Stählen sowie Mischkomponenten mit ferritischen Außenoberflächen muss vor dem Verpacken der Zustand der Konservierung kontrolliert werden. Auf der Verpackung muss das Konservierungsdatum angegeben werden.

Polstermittel auf Basis von Naturstoffen wie Holzwolle, Filz oder ähnliche dürfen nicht verwendet werden.

Folien und Planen dürfen nach DIN 25493 maximal die folgenden Gehalte an wasserauslaugbaren Verunreinigungen aufweisen:

Chlorid	<b>≤ 200 mg/kg</b>
Fluorid	<b>≤ 200 mg/kg</b>
Sulfat	<b>≤ 200 mg/kg</b>

Der Einsatz von Folien und Planen ist auf Oberflächen mit Temperaturen < 40 °C beschränkt. Im Brandfall können Folien und Planen aufgrund ihrer Polymerzusammensetzung oder enthaltener Flammschutzmittel flüchtige Chlor-, Fluor oder Schwefelverbindungen freisetzen. Diese können zu erheblichen Verschmutzungen der Anlage, wie zum Beispiel in Ringhals-2, führen (s. Abschnitt 6.4).

Die maximalen Gesamt-Gehalte an Chlor, Fluor und Schwefel für Verpackungsmaterialien betragen nach DIN 25493:

Summe Chlor + Fluor	<b>≤ 1000 mg/kg</b>
Schwefel	<b>≤ 1000 mg/kg</b>

Weitere Angaben zur Verpackung sind z.B. in der AVS D 10.1A/000 enthalten.

### **1.5 Verpackungsabnahme**

Nach dem Verpacken müssen der ordnungsgemäße Zustand der Verpackung sowie die Identifikation und Markierungen der Komponente (z. B. Übereinstimmung mit technischen Unterlagen) überprüft werden.

Weitere Angaben zur Verpackungsabnahme sind z.B. in der AVS D 10.1A/000 geregelt.

### **1.6 Transport**

Der Transport muss so durchgeführt werden, dass es dabei zu keiner Beschädigung einer Komponente, eines Hilfsstoffs oder deren Verpackung kommen kann. Die Komponente bzw. der Hilfsstoff müssen vor Temperatur, Sonneneinstrahlung, Atmosphäre, Transportzeit und ggf. Staub- oder Schmutzexposition geschützt werden. Eine Beschädigung der Schutzverpackung muss dem Besteller mitgeteilt werden.

## 2 Wareneingangskontrolle

Der Wareneingangskontrolle kommt eine entscheidende Bedeutung zu, um Verunreinigungen von Komponenten festzustellen und eine Verschleppung dieser Verunreinigungen in die kerntechnische Anlage zu verhindern.

Im Rahmen der Wareneingangskontrolle muss geprüft werden, ob die metallische Komponente ordnungsgemäß verpackt und ggf. konserviert worden ist und ggf. die erforderlichen Sauberkeitsnachweise vorhanden sind.

Bei Hilfsstoffen muss geprüft werden, ob die angegebenen chemischen Werte (Chlorid, Fluorid, Sulfat) den Spezifikationsanforderungen entsprechen.

Bei metallischen Komponenten muss die Oberfläche vollständig visuell geprüft werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass keine erkennbaren Schäden an der Verpackung vorhanden sind. Diese könnten sein:

- beschädigte Container, Kisten und sonstige Verpackungen,
- Anzeigen von Feuchtigkeits-, Hitze- oder Lagesensoren,
- Nässe, Eisbildung, Korrosion, Ölflecken, Verschmutzungen, Salzablagerungen,
- gebrochene, lose oder beschädigte Befestigungseinrichtungen, beschädigte Stellen an Befestigungspunkten,
- Schimmelbildung, Fäulnis,
- lockere Flanschsrauben oder abgelöste Klebebänder,
- verbranntes oder versengtes Verpackungsmaterial, sonstige Anzeichen hoher Temperatureinwirkung.

Komponenten mit unbeschädigter Verpackung und eindeutiger Markierung sollten nur zum Zweck von Stichprobenprüfungen ausgepackt werden.

Die Stichprobenprüfung umfasst eine vollständige visuelle Begutachtung der metallischen Oberflächen. Bei unzugänglichen Stellen sollten entsprechende Hilfsmittel wie Endoskope oder Spiegel verwendet werden. Dabei sollte v.a. auf Verfärbungen, Ablagerungen, Fremdkörper, Zunderschichten und Anlauffarben geachtet werden.

Bei austenitischen CrNi-Stählen und Nickelbasislegierungen empfiehlt es sich, zusätzlich einen Wischtest zum Nachweis von Chloridverunreinigungen durchzuführen, bei einer Lieferung z.B. mindestens einen Wischtest pro Teil, bei Bündel- oder Schüttware mindestens eine Sauberkeitsprüfung pro Schmelze.

Bei Komponenten aus un- und niedriglegierten Stählen und Mischkomponenten mit ferritischen Außenoberflächen sollten die Vollständigkeit und Wirksamkeit der Konservierungsmaßnahmen überprüft werden (Applikation von Konservierungsschichten oder Korrosionsschutzpapieren, Anzahl von VCI-Beuteln, Schutzgasfüllungen, Feuchteindikatoren).

Bei Komponenten mit beschädigter Verpackung sollten ebenfalls Stichprobenprüfungen durchgeführt werden.

Komponenten ohne Verpackung sollten vollständig geprüft werden.

Sofern keine Beanstandungen vorliegen, müssen die geprüften metallischen Komponenten vor der Einlagerung wieder fachgerecht verpackt und ggf. konserviert werden (s. Abschnitt 1.4).

Im Falle von Beanstandungen ist die Lieferung zu reklamieren und die betroffenen Komponenten oder Hilfsstoffe sind bis zur Klärung des weiteren Vorgehens zu sperren.

Bei Dichtungen, O-Ringen oder Packungen wird empfohlen, den Anteil an auslaugbaren Chloriden und Schwefelverbindungen stichprobenartig zu überprüfen und mit den Herstellerangaben zu vergleichen. Die Auslaugprozedur sollte dabei mit der des Herstellers vergleichbar sein (s. Abschnitt 7.10). Sinnvoll ist z.B. ein Prüflös von 5 % der Dichtungen pro Hersteller. Bei großen Abweichungen von den Sollwerten sollte der Analyseumfang vergrößert werden. Liegen die Verunreinigungswerte oberhalb der laut Werkstoffprüfblatt zulässigen Werte, sollte die komplette Lieferung beim Hersteller bzw. Lieferanten reklamiert werden (s. Abschnitt 4.6).

## **3 Lagerung**

### **3.1 Lagerungsbedingungen**

Komponenten und Hilfsstoffe müssen so gelagert werden, dass die Erhaltung der geforderten Sauberkeit für die Dauer der Lagerung sichergestellt ist.

Der Lagerraum sollte staubarm und mäßig gelüftet sein. Ein leichter Überdruck von 1 mbar wäre wünschenswert, ist bei einer ordnungsgemäßen Verpackung der Komponenten und Hilfsstoffe aber nicht zwingend erforderlich. Die Temperatur sollte bei 15 - 24 °C liegen. Die relative Luftfeuchtigkeit sollte auf  $\leq 50$  % begrenzt werden, damit keine Kondensationsbedingungen auftreten können.

Es sollten nur verpackte Komponenten und Hilfsstoffe eingelagert werden. Die Verpackungen müssen trocken und frei von Lösemitteln und sonstigen Verunreinigungen sein.

Das Einlagerungsdatum sollte auf der Verpackung angegeben werden. Im Zweifelsfall wird es mit dem Konservierungsdatum gleichgesetzt.

Eine Außenlagerung darf nur auf geeigneten Unterlagen (z. B. Bohlen, Paletten) in abgegrenzten und gekennzeichneten Bereichen erfolgen. Die verpackten Komponenten müssen dabei auf Paletten oder Rosten stehen, so dass die Luftzirkulation auch unter den Lagerstücken ermöglicht wird. Bei einer Abdeckung mit Planen sollte darauf geachtet werden, dass die Luftzirkulation nicht behindert wird und sich keine Wassersäcke bilden können.

Die Einhaltung der Lagerungsbedingungen sollte routinemäßig, in festzulegenden Zeitabständen (z.B. wöchentlich) und in einem festgelegten Umfang kontrolliert werden. Dazu gehören v.a. die Kontrolle der Verpackungen und der Feuchtigkeitsindikatoren.

Weitere Anforderungen an die Lagerhaltung sind z.B. in der AVS D 10.1A/000 geregelt.

### **3.2 Schutzdauer von Konservierungen und deren Überprüfung**

Die fachgerechte Konservierung (z. B. geöffnete und defekte Verpackungen, Menge und Abstand der VCI-Beutel) und die Schutzwirkung der VCI-Inhibitoren sollte jährlich stichprobenartig überprüft werden.

Bei Grundierungen, Öl-Hartwachs-Anstriche und Kontaktinhibitoren (öliges Konzentrat) ist nach DIN 25493 in der Regel eine Langzeitschutzwirkung von mindestens 2,5 Jahren bei Innenlagerung vorhanden.

Die Schutzwirkung der VCI-Inhibitoren und der Korrosionsschutzpapiere ist im Wesentlichen von der Dichtheit der PE-Folie abhängig. Bei absoluter Dichtheit kann man von einer ausreichenden Schutzwirkung von ca. 10 Jahren ausgehen. Bei undichten Verpackungen (z. B. beschädigte Folie) ist maximal ein einjähriger Schutz vorhanden.

Nach Ablauf der Schutzdauer muss eine Nachkonservierung durchgeführt werden. Das neue Konservierungsdatum muss auf der Verpackung angegeben werden.

### **3.3 Warenentnahme**

Die Entnahme von metallischen Komponenten aus dem Lager muss unter sauberen Bedingungen erfolgen. Dabei muss ein direkter Kontakt von austenitischen CrNi-Stählen mit un- und niedriglegierten Stählen vermieden werden. Die Komponenten sollten nicht direkt auf dem Boden abgelegt werden.



Bei der Entnahme von Rohren oder Halbzeugen aus austenitischen CrNi-Stählen sollte folgendes beachtet werden:

- Durchführung von Trennarbeiten in dafür vorgesehenen Bereichen, abseits von Bearbeitungsbereichen für un- und niedriglegierte Stähle.
- Verwendung von Werkzeugen, die ausschließlich für die Bearbeitung von austenitischen CrNi-Stählen vorgesehen sind.
- Kontrolle des entnommenen und des wieder zurück gelagerten Materials auf Sauberkeit und ggf. Reinigung mit Aceton oder Isopropanol, etwa zur Beseitigung von Kühlschmierstoffen oder Schneidölen im Falle einer mechanischen Bearbeitung.
- Verschließen der Rohrenden von zurückgelagerten Rohren mit Stopfen oder PE-Kappen.
- Wiederverpacken der zurück gelagerten Rohre oder Halbzeuge in PE-Folie.

## 4 Verarbeitung

### 4.1 Anlageninterner Transport und Zwischenlagerung am Arbeitsplatz

Beim anlageninternen Transport muss der Schutz der Oberflächen vor Kontamination gewährleistet werden. Dies kann beispielsweise durch den Transport der Komponente zum Verarbeitungsort in der Originalverpackung oder durch Verwendung von speziellen Transportbehältnissen geschehen.

Wiederverwendbare Transportbehältnisse müssen vor ihrer ersten Benutzung einem Wischtest unterzogen werden. Nach Benutzung müssen sie regelmäßig gereinigt werden. Sie sind vor allem für kleinere Komponenten wie Dichtungen, Schrauben, Bolzen o.a. sinnvoll, die in Kontrollbereiche eingeschleust werden.

Die Zwischenlagerung am Arbeitsplatz sollte in den Transportverpackungen erfolgen.

### 4.2 Verarbeitungsort

Die Verarbeitung von austenitischen CrNi-Stählen sollte so erfolgen, dass eine Kontamination der Oberflächen mit ferritischem Material verhindert wird. Geeignete Schutzvorkehrungen sind z.B.:

- Aufstellen von Trennwänden.
- Abdecken mittels PE-Folie.
- Verschluss von Öffnungen an Komponenten mit Deckeln, Flanschen, Kappen oder Folie.
- Absaugung bei spanabhebenden Arbeiten.

Eine Zwischenlagerung sollte abseits des Verarbeitungsortes erfolgen.

Der Verarbeitungsort sollte regelmäßig gereinigt und hinsichtlich Sauberkeit kontrolliert werden.

Es müssen geeignete, kontaminierungsarme Arbeitskleidungen und Schutzausrüstungen (z.B. Handschuhe) verwendet werden.

Das Personal muss ausreichend über die festgelegten Sauberkeitsanforderungen, insbesondere bei Änderungen (z. B. bei Montagefortschritt) informiert werden.

### **4.3 Werkzeuge**

Für die Bearbeitung von austenitischen CrNi-Stählen dürfen nur Werkzeuge eingesetzt werden, welche nicht mit un- oder niedriglegierten Stählen in Kontakt gekommen sind. Das schließt auch auf die Aufbewahrung der Werkzeuge mit ein.

Bürsten zum Entfernen der Passivschicht auf austenitischen Stählen müssen aus CrNi-Stahl oder Kunststoff bestehen. Bürsten aus un- oder niedriglegiertem Stahl dürfen nicht verwendet werden.

### **4.4 Schleif- und Strahlmittel**

Schleifmittel können in flüssiger oder pastöser Form (z.B. Läppöl, Schleifpaste) oder fest gebunden auf einem Trägermaterial (z.B. Schleifscheiben, Schleifpapier) eingesetzt werden.

Schleifmittel in flüssiger oder pastöser Form dürfen nach DIN 25493 maximal die folgenden Gesamtgehalte an Verunreinigungen aufweisen:

Gesamt-Chlor	<b>≤ 200 mg/kg</b>
Gesamt-Fluor	<b>≤ 200 mg/kg</b>
Gesamt-Schwefel	<b>≤ 500 mg/kg</b>

Bei Schleifmittel auf festem Trägermaterial gelten nach DIN 25493 die Grenzwerte:

Gesamt-Chlor	<b>≤ 300 mg/kg</b>
Gesamt-Fluor	<b>≤ 500 mg/kg</b>
Gesamt-Schwefel	<b>≤ 2000 mg/kg</b>

Als Schleifmittel sollte möglichst Korund verwendet werden. Bei Schleifmitteln, die fluoridhaltige Verbindungen wie Kryolith enthalten, darf der Gesamt-Chlorgehalt maximal **500 mg/kg** betragen.

Aus Korrosionsgründen sollte bei austenitischen CrNi-Stählen die Schleifkörnung **< 150** und bei martensitischen Stählen **< 300** gewählt werden.

Metallische Trägermaterialien wie Bronze o.a. sind nicht zulässig. Manche Schleifscheiben enthalten chlorhaltige Bindemittel oder Zusatzstoffe, welche in Einzelfällen bereits Ursache für ein späteres Versagen von Komponenten aufgrund von Spannungsrisskorrosion gewesen sind. Es sollten deshalb nur Schleifscheiben verwendet werden, die von der Anlage freigegeben worden oder z.B. in der VGB QP-Datenbank aufgelistet sind. Sie sollten möglichst chlorid-, schwefel- und kupferarm sein.

Die Ausbreitung von Schleifstäuben oder Schleif- und Strahlmitteln muss so gut wie möglich begrenzt werden. Dies gilt speziell bei der Bearbeitung von unlegierten Stählen an Orten, an denen sich in unmittelbarer Nachbarschaft Komponenten aus CrNi-Stählen befinden. Praktisch kann das durch die Verwendung von PE-Folien und Absaugungen erreicht werden.

Gebrauchte Schleifscheiben müssen ordnungsgemäß entsorgt werden. Es sind Fälle aufgetreten, in denen Reste von Schleifscheiben in Wasserkreisläufen aufgetaucht sind und Schäden an Komponenten verursacht haben.

Strahlmittel sollten möglichst chlorid-, schwefel- und kupferarm sein.

Beim Strahlen von austenitischen CrNi-Stählen und Nickelbasislegierungen sollte der Eisengehalt im Strahlgut auf **< 0,1 Gew. %** beschränkt werden.

Nach dem Schleifen oder Strahlen muss die Oberfläche gereinigt werden (s. Abschnitt 5.2).

#### **4.5 Hilfsstoffe**

Hilfsstoffe werden bei Herstellung, Montage, Betrieb oder Prüfung von Komponenten zusätzlich und meistens nur vorübergehend eingesetzt werden. Darunter fallen z.B. Kühlschmiermittel (Schneidöle, Bohröle, Bearbeitungsöle), Gleitmittel, Schleif- und Strahlmittel, Prüfmittel (Farbeindringmittel, Entwickler, Koppelmedium, Magnetpulver-Suspension,...), Reinigungsmittel, Klebstoffe, Farben usw.

Hilfsstoffe sollten möglichst keine oder nur geringe kritische Bestandteile oder Verunreinigungen enthalten. Vor allem Kühlschmiermittel und Einschleifmittel enthalten teilweise hohe Konzentrationen an Schwefel- oder Chlorverbindungen. Es sollten deshalb nur Hilfsstoffe verwendet werden, die von der Anlage zugelassen bzw. in der VGB QP-Datenbank freigegeben sind.

Hilfsstoffe, die für den Einsatz im Kontrollbereich einschließlich Kontakt mit dem Wasser-Dampf-Kreislauf-System und den primärmediumführenden Systemen zugelassen sind, sollten entsprechend gekennzeichnet werden. Genauso sollten die Hilfsstoffe gekennzeichnet werden, die unzulässig hohe

Gehalte an schädigenden Stoffen aufweisen. Dazu können z.B. verschiedenfarbige Aufkleber verwendet werden.

Die verwendeten Hilfsstoffe sollten regelmäßig chemisch analysiert werden. Bewährt hat sich zum Beispiel, von der ersten Charge oder Anlieferung im Kalenderjahr eine Stichprobe zu nehmen. Bei Hilfsstoffen, für die in der QP-Datenbank Analysenwerte hinterlegt sind, können diese mit den Ergebnissen abgeglichen werden. Bei anderen empfiehlt sich eine Stichprobe von 5 % der Gebinde.

Falls die Anwendung von Hilfsstoffen mit hohen Gehalten an Chloriden, Fluoriden, Sulfaten o.a. unumgänglich ist, muss deren Menge auf das geringst mögliche Maß reduziert werden und nach der Bearbeitung wieder restlos entfernt werden. Zur Überprüfung empfiehlt sich ein Wischtest.

Als Montagegleitmittel werden Graphitschmierstoffe empfohlen. Auf keinen Fall darf Molykote D 21 verwendet werden. Die empfohlenen maximalen Gehalte an Verunreinigungen nach DIN 25493 sind:

Summe Chlor + Fluor	<b>≤ 200 mg/kg</b>
Gesamtschwefel	<b>≤ 200 mg/kg</b>

Klebstoffe dürfen als Quelle für Verunreinigungen ebenfalls nicht unterschätzt werden. Als Beispiel dienen die Schadensereignisse ME 04/2007 und 03/2011 aus KWB-B (VGB 07-033 und VGB 11-012), die auf die Freisetzung von Chloriden aus Klebstoffen zurückzuführen sind. Bei Routineuntersuchungen in Anlagen sind teilweise sehr hohe Schwefelgehalte auf Dichtflächen von Flanschen festgestellt worden, die vermutlich auf die Verwendung von Klebstoffen zur Fixierung der Dichtungen zurückzuführen sind. Nach Empfehlung der DIN 25493 sollten sie die folgenden Gesamtgehalte an Verunreinigungen nicht überschreiten:

Chlor	<b>≤ 100 mg/kg</b>
Fluor	<b>≤ 100 mg/kg</b>
Schwefel	<b>≤ 200 mg/kg</b>

Klebstoffe zum Fixieren von Dichtungen o.a. sollten möglichst sparsam und dünn aufgetragen werden.

#### **4.6 Dichtungen**

Zu den Dichtungen werden auch O-Ringe und Packungen gezählt. Im Folgenden werden diese allgemein als Dichtungen bezeichnet.

Es können schädigende Stoffe wie Chloride und Sulfate aus Dichtungen ausgewaschen werden. Besonders hohe Chloridgehalte weisen Dichtungen mit Asbestfasern auf. Untersuchungen in KKG haben gezeigt, dass alte Asbestdichtungen praktisch keine Chloride mehr freisetzen und damit besser

abschneiden als neue chloridarme Dichtungen. Ein Austauschen von alten Asbestdichtungen aus Gründen der Chloridvermeidung sollte deshalb kritisch hinterfragt werden.

Halogenhaltige Polymere enthalten korrosionsauslösende Schadstoffe in chemisch gebundener Form, die erst bei der Zersetzung des polymeren Materials (z. B. aufgrund der Einwirkung erhöhter Temperaturen oder Strahlendosen) freigesetzt werden. Die Schadstoffe können nur im Fall der Zersetzung des polymeren Materials korrosiv wirksam werden. In der chemisch gebundenen (nicht wasserlöslichen) Form können diese Schadstoffe keine Korrosion auslösen.

Polymere Werkstoffe unterscheiden sich in ihren Materialeigenschaften wie Strahlenresistenz, Chemikalienbeständigkeit und Schadstofffreisetzung. Dichtungen aus polymeren organischen Werkstoffen sollten nur in dem vom Dichtungs- sowie Komponentenhersteller spezifizierten Temperaturbereich und bis zur spezifizierten maximalen Strahlendosis verwendet werden. Nach DIN 25493 dürfen fluorhaltige Polymere wie PTFE und PVDF, maximalen Strahlendosen von 100 Gy ausgesetzt werden. Halogenfreie Polymere wie NBR, EPDM u.a. dürfen bis 10.000 Gy und PEEK bis 100.000 Gy eingesetzt werden.

Perfluorierter Fluorelastomer (FFKM) darf bis zu einer maximal zulässigen Strahlendosis von 10.000 Gy eingesetzt werden. Für FKM (Fluorkautschuk) liegen derzeit keine gesicherten Erkenntnisse zur Freisetzung von Fluorid durch den Einfluss von ionisierender Strahlung vor. Aufgrund der Analogie im chemischen Aufbau, der langjährigen Betriebserfahrung in Kernkraftwerken und des geringeren Gehaltes an Fluor im Vergleich zum FFKM (Perfluorkautschuk), ist davon auszugehen, dass von FKM bei einer Strahlendosis von bis zu 10.000 Gy kein höheres Gefährdungspotential hinsichtlich der Freisetzung von korrosionsauslösenden Schadstoffen als von FFKM ausgeht.

Dichtungen aus Kupfer und kupferhaltigen Metallen bzw. Aluminium dürfen in Wasser-/Dampfkreisläufen nicht verwendet werden. Der Einsatz von silberhaltigen Dichtungen im Einflussbereich von Neutronenstrahlung muss so weit als möglich vermieden und dem Strahlenschutz gemeldet werden.

Es wird empfohlen Packungen vor dem Einsatz zum Abdichten von Wellen oder Spindeln in Deionat auszulaugen, bis sie einen Gehalt von  $\leq 0,05 \text{ mg/kg}$  an wasserauslaugbarem Chlorid aufweisen.

Neue Dichtungen, O-Ringe und Packungen sollten in möglichst kleinen Losgrößen bestellt werden. Dadurch werden bei der Ausgabe Hautkontakte und andere Verschmutzungsmöglichkeiten reduziert.

Es wird empfohlen den Anteil an auslaugbaren Chloriden und Schwefelverbindungen von Dichtungen/O-Ringen stichprobenartig zu überprüfen und mit den Herstellerangaben zu vergleichen. Die Auslaugprozedur sollte dabei mit der des Herstellers vergleichbar sein (s. Abschnitt 7.10). Sinnvoll ist z.B. die Überprüfung von 5 % der Dichtungen, O-Ringe und Packungen pro Hersteller. Bei großen Abweichungen von den Sollwerten sollte der Analyseumfang vergrößert werden. Liegen die

Verunreinigungswerte oberhalb der laut Werkstoffprüfblatt zulässigen Werte (s. Tabelle 1), sollte die komplette Lieferung beim Hersteller bzw. Lieferanten reklamiert werden.

Dichtungen/O-Ringe dürfen nur mit neuen, chloridarmen Handschuhen angefasst werden. Auf den Boden gefallene Dichtungen müssen nach Rücksprache mit der Fachabteilung gereinigt oder verworfen werden.

Der Transport der Dichtungen zum Einbauort sollte, soweit möglich, in der vom Lager ausgegebenen Verpackung erfolgen. Bei Einsatz im Kontrollbereich wird empfohlen die Dichtungen/O-Ringe zum Weitertransport in wiederverwendbare, chloridfreie Behältnisse umzupacken. Das dient dem sauberen Transport und der Abfallminimierung.

Hilfsstoffe zum Fixieren von Dichtungen beim Einbau müssen vom Auftraggeber freigegeben sein.

Die Überprüfung der wasserauslaugbaren Gehalte an Chloriden, Fluoriden und Sulfaten erfolgt über den Auslaugversuch (s. Abschnitt 4.10).

Bei Dichtungen vom Typ GR (Graphit), FA (Fasern) und TF (PTFE) (einschließlich Dichtungsbänder) muss der Anteil an wasserauslaugbarem Chlorid und Sulfat bestimmt werden.

Bei Dichtungen vom Typ GR muss zusätzlich der Gesamtanteil an Chlor und an Fluor bestimmt werden z.B. gemäß DIN 28090-2.

Tolerierbare Gehalte an Chloriden, Fluoriden und Sulfaten in Dichtungen nach DIN 25493 und KS D2021/50 rev. D, Anh. D sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1: Tolerierbare Gehalte von Chloriden, Fluoriden und Sulfaten in Materialien von Dichtungen, O-Ringen und Packungen nach DIN 25493 und KS D2021/50 rev. D, Anh. D.

	wasser- auslaugbare Chloride [mg/kg]	wasser- auslaugbare Sulfate [mg/kg]	Gesamtgehalte
PTFE	≤ 20	≤ 500	-
Graphit oder graphitimprägnierte Dichtungen	≤ 20	≤ 500	Summe Chlor + Fluor ≤ 100 mg/kg
Gummi-Asbest- Dichtungen (IT)	≤ 300	≤ 500	Summe Chlor ≤ 300 mg/kg; Summe Fluor ≤ 300 mg/kg
organische Fasern	≤ 300	≤ 500	Summe Chlor ≤ 300 mg/kg; Summe Fluor ≤ 300 mg/kg
silikonimprägnierte Garne	≤ 50	-	-
NBR	≤ 100	-	Summe Chlorid + Fluorid ≤ 100 mg/kg (<20 °C), ≤ 20 mg/kg (≤160 °C)
FKM	≤ 100	-	Summe Chlorid + Fluorid ≤ 100 mg/kg (<20 °C), ≤ 20 mg/kg (≤160 °C)
FFKM	≤ 100	-	Summe Chlorid + Fluorid ≤ 100 mg/kg (<20 °C), ≤ 20 mg/kg (≤160 °C)
EPDM	≤ 100	-	Summe Chlorid + Fluorid ≤ 100 mg/kg (<20 °C), ≤ 20 mg/kg (≤160 °C)
PEEK	≤ 20	-	Summe Chlorid + Fluorid ≤ 100 mg/kg (<20 °C), ≤ 20 mg/kg (≤160 °C)
Metall	-	-	-

#### 4.7 Handschuhe und Arbeitskleidung

Körperschweiß enthält neben Wasser etwa 2 ‰ (2000 ppm) Chlorid und geringe Mengen an Aminosäuren, die teilweise schwefelhaltig sind. Komponenten sollten deshalb nicht mit Schweiß in Berührung kommen. Durch geeignete Handschuhe kann das weitgehend vermieden werden.

Bei der Auswahl von Handschuhen muss Sorge getragen werden, dass nur Handschuhtypen verwendet werden, die selbst eine möglichst geringe Verunreinigung der Komponenten zur Folge

haben. Baumwollhandschuhe sind häufig chlorgebleicht und setzen teilweise große Mengen an löslichen Chloriden frei. Ähnlich hohe Chloridfreisetzungen wurden an einer Reihe von Gummihandschuhen aus Latex oder Chloropren festgestellt. Als geeignet haben sich Nitril-Handschuhe oder Reinraum-Baumwollhandschuhe erwiesen. Zur Erleichterung der Mitarbeiterschulungen bezüglich dieses Themas wird empfohlen in den verschiedenen Anlagen möglichst einheitliche Handschuhe zu verwenden. Handschuhe aus PVC- und Chloropren (Camapren®, Neopren®) sollten schon allein wegen Kontaminationsgefahr im Brandfall nicht auf den Anlagen verwendet werden (s. Abschnitt 6.4).

Die Farbe der Arbeitskleidung sollte möglichst hell gewählt werden, damit Verschmutzungen leichter erkannt werden können. Verschmutzte Arbeitskleidung sollte durch saubere getauscht werden.

Saranex™-Anzüge bestehen aus chlorhaltigem Polyvinylidenchlorid (PVDC). Im Brandfall stellen sie eine Quelle für Chloridkontaminationen dar. Aus diesem Grund sollten sie nicht im Kontrollbereich gelagert und nach dem Gebrauch umgehend entsorgt werden. Nach Möglichkeit sollten sie überhaupt nicht auf der Anlage verwendet werden. Eine Alternative könnten beispielsweise TYVEK®-Anzüge aus PE, PP und anderen chlorfreien Polymeren darstellen.

Taucheranzüge bestehen aus chlorhaltigem Neopren®. Zur Vermeidung von Chloreinträgen im Brandfall sollten sie sich nur bei unmittelbarem Bedarf im Kontrollbereich befinden (s. Ringhals-Brand Abschnitt 6.4).

#### **4.8 Montage**

Zum Schutz von inneren Oberflächen vor Verunreinigungen sollten Flansche, Stutzen und Öffnungen von Behältern, Rohrleitungen und anderen Komponenten mit Stopfen, Kappen, Folien oder Deckeln verschlossen werden. Die Stopfen und Kappen sollten nicht aus PVC bestehen und zu keiner Schädigung der Komponenten führen.

Abschirmungen aus Blei dürfen nicht mit vorbereiteten Schweißkanten in Kontakt kommt. Andernfalls besteht die Gefahr von flüssigmetallinduzierter Rissbildung.

Unverpackte Komponenten dürfen nicht auf dem Boden abgelegt werden, sofern dieser nicht mit einer sauberen Plane abgedeckt oder entsprechend gereinigt worden ist.

Der Arbeitsbereich sollte vor Tätigkeitsbeginn mit einem sauberen, mit Lösungsmittel befeuchteten Lappen gereinigt werden.

Korrosionsschutzmittel müssen vor dem Einbau der Komponente entfernt werden. Bei Korrosionsschutzmitteln auf Mineralölbasis kann das durch Abwaschen mit Dieseldieselkraftstoff, mit Kaltreinigern oder mit Hochdruckreinigern erfolgen.



Aufgemalte Markierungen, Klebestreifen u.a. müssen vor dem Schweißen bzw. vor der Inbetriebnahme entfernt werden.

Metalloberflächen sollten nur mit geeigneten, sauberen Handschuhen angefasst werden. Können z.B. aus Gründen der Arbeitssicherheit keine geeigneten chloridarmen Handschuhe getragen werden, sollten die angefassten Oberflächen anschließend gereinigt werden.

Anschlagmittel sollten nicht mit mediumberührten Metalloberflächen in Berührung kommen.

Es dürfen nur Hilfsstoffe verwendet werden, die von der Anlage zugelassen sind. Das gilt speziell bei austenitischen CrNi-Stählen. Auflistungen befinden sich in anlagenspezifischen Anweisungen oder in der VGB QP-Datenbank.

Beim Aufbringen von Hilfsstoffen dürfen nur neuwertige und saubere Pinsel oder ähnliches verwendet werden. Dadurch soll eine Verschleppung von Kontaminationen und Schadstoffen verhindert werden. Die Pinsel dürfen nicht für verschiedene Hilfsstoffe verwendet werden, um Querkontaminationen zu vermeiden.

Bei Schweißarbeiten oder Wärmebehandlungen muss darauf geachtet werden, dass es nicht zu einer Verunreinigung von Oberflächen durch schmelzende Kunststoffe oder Metalle (Blei), verbrennendes Öl, oder verkohlendes Holz kommen kann.

Enden bzw. Reststummel von Schweißelektroden müssen sorgfältig eingesammelt und entsorgt werden.

Vor dem Schweißen von Komponenten, die mit boriiertem Deionat in Berührung gekommen sind, muss ein Bortest durchgeführt werden.

#### **4.9 Aufkleber und Beschriftungen**

Schädigungen an Oberflächen können entstehen durch Verwendung von:

- Aufklebern und Klebemitteln auf Basis chlorid- oder schwefelhaltiger Materialien wie z.B. PVC,
- schwefel-, blei-, zink-, quecksilber-, kupfer-, chlor- oder fluorhaltigen Markierungsmitteln,
- Elektroschreibern mit ungeeigneten Nadeln, Vibrographen und Ätzverfahren wie Säureätzung und elektrochemische Ätzung.

Aufkleber, Klebebänder, Markierungsmittel und –verfahren müssen von der Anlage zugelassen sein. Geeignete Beispiele sind in der VGB QP-Datenbank aufgelistet.

Markierungsmittel wie Filzschreiber, Stempel oder Kreiden sollten nach DIN 25493 maximal die folgenden Gesamtgehalte an Verunreinigungen aufweisen:

Chlor	<b>≤ 500 mg/kg</b>
Fluor	<b>≤ 500 mg/kg</b>
Schwefel	<b>≤ 5000 mg/kg</b>

Aufkleber und Klebebänder sollten nach DIN 25493 maximal die folgenden Massenanteile an Chlor, Fluor und Schwefel enthalten:

Summe Chlor + Fluor	<b>≤ 1000 mg/kg</b>
Gesamtschwefel	<b>≤ 1000 mg/kg</b>

Aufkleber und Markierungsmittel mit unzulässig hohen Verunreinigungsgehalten sollten nachträglich entfernt und durch geeignetere ersetzt werden. Klebebänder dürfen nur temporär eingesetzt werden und müssen anschließend rückstandslos entfernt werden.

Beim Entfernen von Aufklebern und Klebebändern müssen Klebereste vollständig entfernt werden. Die Klebestellen müssen anschließend mit einem geeigneten organischen Lösungsmittel (z.B. Aceton, Isopropanol) gereinigt werden.

Bei Ätzverfahren zu Markierungszwecken sollte der Elektrolyt maximal **200 mg/kg** Chlorid und Fluorid in Summe aufweisen. Er muss nach der Ätzung restlos mit Deionat abgespült werden.

Für permanente Markierungen sollte möglichst nicht die Bauteiloberfläche genutzt werden.

# 5 Reinigung

## 5.1 End- und Nachreinigung

Nach der Herstellung oder dem Einbau einer metallischen Komponente ist eine Endreinigung erforderlich. Diese besteht in der Regel aus den Schritten Grobreinigung, Entfettung, Spülung und Trocknung, in der angegebenen Reihenfolge.

Eine Nachreinigung ist bei Sauberkeitsmängeln an endgereinigten Komponenten erforderlich. Sie entspricht im Wesentlichen einer Endreinigung, kann aber auch nur partiell ausgeführt werden. Der Erfolg einer Nachreinigung wird durch Wiederholung der Prüfungen nach dem Verfahren, mit dem eine Verunreinigung festgestellt worden war, überprüft. Mindestens müssen eine Sichtprüfung und bei austenitischen CrNi-Stählen und Nickelbasislegierungen ein Wischtest durchgeführt werden.

Der Erfolg der Endreinigung wird durch eine visuelle Prüfung und bei austenitischen CrNi-Stählen und Nickelbasislegierungen zusätzlich durch einen Wischtest überprüft.

Verwendete Reinigungsmittel müssen von der Anlage zugelassen sein. Eine Übersicht über geprüfte Reinigungsmittel befindet sich in der QP-Datenbank.

Für eine End- oder Nachreinigung sollte ein Reinigungs- und Konservierungsplan erstellt werden, in dem Reinigungsmittel, Temperaturen, Einwirkzeiten, Zuständigkeiten, Prüfschritte und Annahmekriterien definiert sind.

## 5.2 Grobreinigung

Reste von Schleif- und Strahlmitteln, Metallspäne, Stäube, Anlauffarben, Formierpapier, Verpackungen, Folien, Klebestreifen, verlorene Werkzeuge, Kleidung, Handschuhe, Ohrstöpsel, Schleifscheiben u.a. können im Betrieb zu schweren Schäden durch Korrosion, Abrasion oder Schlag führen. Darüber hinaus können sie Anlagenteile verstopfen oder blockieren. Rückstände von der Bearbeitung vor Ort an den Komponenten müssen deshalb sorgfältig entfernt werden.

Bei der Grobreinigung werden anhaftende Staub-, Schmutz und Metallpartikel entfernt. Dies kann mit Hilfe eines trockenen Lappens, eines Staubsaugers oder ölfreier Druckluft durchgeführt werden. Fest anhaftende Ablagerungen oder Verunreinigungen sollten mechanisch durch Strahlen, Schleifen oder Bürsten entfernt werden.

Eine Grobreinigung kann auch durch Ausblasen mit Druckluft oder Dampf erfolgen. Druckluft aus der Leitung ist in der Regel ölhaltig und sollte nur nach Zwischenschaltung eines geeigneten

Rückhaltefilters verwendet werden. Die relative Gasfeuchte sollte **40 %** (bei 20 °C) nicht überschreiten.

Fester anhaftende Verunreinigungen können durch Bürsten entfernt werden. Es dürfen nur Stahldrahtbürsten verwendet werden. Bei austenitischen CrNi-Stählen müssen die Borsten aus austenitischem CrNi-Stahl sein und die Bürsten dürfen ausschließlich für Oberflächen aus austenitischem CrNi-Stahl oder Nickelbasislegierungen eingesetzt werden. Andernfalls besteht die Gefahr von Ferritkontamination und Korrosion.

Besonders fest anhaftende Verschmutzungen können auch durch Strahlen oder Schleifen beseitigt werden. Die Strahl- und Schleifmittel sollten möglichst chlorid-, schwefel- und kupferarm sein. Eine Auflistung von prinzipiell geeigneten Reinigungsmitteln befindet sich in der QP-Datenbank.

Strahl- und Schleifmittel, die für die Reinigung verwendet werden, dürfen vorher nur bei nichtrostenden Stählen eingesetzt worden sein.

Beim Strahlen sind der Druck und die Korngröße des Strahlmittels so zu wählen, dass eine möglichst geringe Rautiefe entsteht. Spezifizierte Rautiefen dürfen bei mechanischen Behandlungen nicht überschritten werden.

Beim Strahlen von austenitischen CrNi-Stählen und Nickelbasislegierungen sollte der Eisengehalt im Strahlgut auf **max. 0,1 Gew. %** beschränkt werden.

Bei austenitischen CrNi-Stählen sollte die Körnung beim Schleifen **< 150** und bei martensitischen Stählen **< 300** gewählt werden zur Vermeidung von Korrosion. Die feinste Körnung sollte 1000 nicht unterschreiten, um ein zu starkes Aufdrücken bei der Schleifarbeit und somit Einbringung von Spannungen zu vermeiden.

Der Erfolg der Grobreinigung sollte vor den nachfolgenden Reinigungsschritten mittels visueller Prüfung kontrolliert werden.

Weitere Angaben zum Bürsten, Stählen und Schleifen sind z.B. in der AVS D 8.1/50 bzw. AVS D 8.2/50 oder AVS D 8.3/50 aufgeführt.

### **5.3 Beizen**

Beizbehandlungen dienen zur Entfernung von Oxidschichten. Sie dürfen nur in Ausnahmefällen mit Einverständnis der zuständigen technischen Abteilung durchgeführt werden.

Komponenten aus Gusseisen oder solche mit Schweißplattierungen, Mischverbindungen, Aufpanzerungen, Verschleiß- und Korrosionsschutzschichten dürfen auf keinen Fall gebeizt werden.

Komponenten aus un- und niedriglegierten Stählen der Sauberkeitsklasse 1 nach AVS D 8.2/50 dürfen nicht gebeizt werden. Ihre Oberflächen sollten nur mechanisch bearbeitet werden.

Vor dem Beizen müssen die Oberflächen entfettet werden.

Beizlösungen auf Salzsäurebasis dürfen nicht verwendet werden.

Bei austenitischen CrNi-Stählen und Nickelbasislegierungen sind nur Beizmittel auf Basis Salpetersäure/Flusssäure zulässig. Beimengungen von Salzsäure bzw. Schwefelsäure sind nicht zulässig. Die Beizung kann durch Beizlösungen oder Beizpasten erfolgen.

Der Chlorid- und Sulfidgehalt der Beizlösung darf **50 mg/kg Chlorid** und **5 mg/kg Sulfid** nicht überschreiten. Der Eisengehalt der Beizlösung darf nach DIN 25493 einen Wert von **8 g/l** nicht überschreiten.

Nach dem Beizen müssen die Reste des Beizmittels gründlich mit viel Deionat entfernt werden (s. Abschnitt 5.6). Anschließend muss die Oberfläche passiviert werden (s. Abschnitt 5.3). Nähere Angaben zum Beizen von austenitischen CrNi-Stählen und Nickelbasislegierungen finden sich in der DIN 25493 und AVS D 8.1/50.

Bei un- und niedriglegierten Stählen muss den Beizlösungen ein Sparbeizzusatz (Inhibitor) mit mindestens **95 %** Hemmwirkung zugesetzt sein. Die Beizlösungen können aus Schwefelsäure oder einem Gemisch aus Citronensäure und Ammoniumhydrogenfluorid bestehen. Nach der Beizung müssen die Oberflächen einer Neutralisierungs- und Passivierungsbehandlung unterzogen werden. Nähere Angaben zum Beizen von un- und niedriglegierten Stählen finden sich z.B. in der AVS D 8.2/50.

#### **5.4 Passivieren von austenitischen CrNi-Stählen und Nickelbasislegierungen**

Die Passivierung dient zur Erzeugung eines hohen Oberflächenpotentials sowie zur Entfernung metallisch vorliegender Ferritverunreinigungen bei austenitischen CrNi-Stählen und Nickelbasislegierungen. Ferritische Verunreinigungen, die bereits in oxidischer Form vorliegen, können dadurch nicht entfernt werden.

Eine Passivierungsbehandlung darf nur nach Rücksprache und Freigabe durch die zuständige Fachabteilung erfolgen.

Die Passivierungslösung besteht aus einer wässrigen Lösung mit 15 - 30 Gew.-% Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>). Eine solche kann beispielsweise aus Deionat und 65-%iger HNO<sub>3</sub> im Verhältnis 10:3 angesetzt werden.

Vor der Passivierungsbehandlung sollte die Oberfläche gereinigt und entfettet werden.

Die Oberflächen der Komponente sollten etwa 30 min. der Passivierungslösung ausgesetzt werden. Das kann durch Tauchen, Besprühen oder Berieseln erfolgen. Bei Verfärbung der Lösung muss das Bad gewechselt werden. Die Temperatur der Lösung sollte bei 15 - 30 °C liegen.

Nach dem Passivieren müssen die Oberflächen gründlich mit Deionat gespült werden (s. Abschnitt 5.6).

Weitere Angaben zum Passivieren befinden sich z.B. in der AVS D 8.1/50.

## 5.5 Entfetten

Das Entfetten dient zur Entfernung organischer Verunreinigungen, wie z. B. Fette, Schmiermittel (Bohr- und Schneideöle), von metallischen Oberflächen. Eine Vorbehandlung der Oberfläche, abgesehen von einer Grobreinigung, ist nicht erforderlich.

Für das Entfetten können organische Lösungsmittel wie Aceton, Isopropanol, Ethanol, Benzin oder Naphta benutzt werden. Nach DIN 25493 dürfen in diesen Mitteln maximal **20 mg/kg** Gesamt-Chlor, **20 mg/kg** Gesamt-Fluorid und **20 mg/kg** Gesamt-Schwefel enthalten sein. Der Abdampfrückstand darf maximal 250 mg/kg betragen. Sinnvoll ist die Anwendung von organischen Lösungsmitteln v.a. bei Kleinkomponenten im Ultraschallbad und zur örtlichen Nachreinigung von Großkomponenten.

Alternativ können wässrige Reinigungslösungen zum Entfetten verwendet werden. Dabei kann es sich z.B. um eine Lösung von alkalischen Polyphosphaten in Deionat handeln. Die Reinigungsmittel müssen von der Anlage freigegeben sein. Eine Auflistung von geeigneten Reinigungsmitteln befindet sich in der QP-Datenbank bzw. in anlagenspezifischen Dokumenten. Die fertige Reinigungslösung darf gemäß DIN 25493 einen Gesamt-Chloridgehalt von **100 mg/kg**, Gesamt-Fluoridgehalt von **100 mg/kg** und Gesamt-Schwefelgehalt von **200 mg/kg** nicht überschreiten und der pH-Wert sollte > 7,5 sein. Diese Art des Entfettens ist besonders für stark verschmutzte Oberflächen, Großkomponenten oder montierte Komponenten geeignet.

Das Entfetten kann durch Tauchen, Abwaschen oder Besprühen der Komponentenoberfläche in dem Lösungsmittel oder der Reinigungslösung erfolgen. Zur Verbesserung des Reinigungseffektes kann mechanisch durch Bürsten nachgeholfen werden. Die dabei verwendeten Bürsten sollten Naturborsten haben.

Kleinteile können in einem Ultraschallbad mit Deionat und anschließend Aceton oder Isopropanol gereinigt werden. Wässrige Reinigungslösungen können auch in Dampfstrahlern zur Reinigung größerer Flächen eingesetzt werden.

Nach dem Entfetten müssen die Oberflächen mit Deionat gespült anschließend getrocknet werden (s. Abschnitte 5.6 und 5.7).

Der Erfolg des Entfettens kann mit Hilfe der Wassersprühprüfung oder Wasserablaufprobe kontrolliert werden (s. Abschnitte 7.7 und 7.8).

Weitere Angaben zum Entfetten sind z.B. in der AVS D 8.1/50 bzw. AVS D 8.2/50 oder AVS D 8.3/50 gegeben.

## 5.6 Spülen

Das Spülen dient zur restlosen Entfernung von Verschmutzungen und Reinigungsrückständen. Die Komponentenoberflächen sollten dazu entfettet sein.

Als Spülmittel darf nur Deionat verwendet werden, das eine elektrische Leitfähigkeit von **10 µS/cm** (bei 25 °C) nicht überschreitet. Die Chlorid- und Sulfatgehalte müssen **≤ 0,5 mg/kg** (0,5 ppm) sein.

Bei un- und niedriglegierten Stählen darf Deionat nur zusammen mit Korrosionsinhibitoren verwendet werden. Geeignet sind nach AVS D 8.2/50:

- Ammoniakzugabe (pH-Wert ≥ 9,5)
- ≥ 3000 mg/kg Wasserstoffperoxid
- ≥ 150 mg/kg Hydrazin

Vor der Anwendung von Inhibitoren sollte eine Rücksprache mit der zuständigen Fachabteilung erfolgen. Die Verwendung von ammoniakalischem Wasser kann beispielsweise im Zusammenhang mit Systemkomponenten aus Messing oder anderen Kupferlegierungen problematisch sein.

Das Spülen sollte durch Tauchen oder Berieseln mit 20 – 25 °C warmem Deionat durchgeführt werden.

Beim Spülen sollte die elektrische Leitfähigkeit des Deionats überwacht werden. Bei Spülungen mit hydrazin- oder ammoniakhaltigem Wasser muss die elektrische Leitfähigkeitsänderung hinter einem stark sauren Kationenaustauscher gemessen werden.

Der Endspülvorgang im Rahmen der Reinigung kann dann als abgeschlossen betrachtet werden, wenn die elektrische Leitfähigkeit des abfließenden Deionats gleich der des zufließenden ist. Akzeptiert wird in der AVS D8.1/50 und AVS D8.2/50 auch eine relative Leitfähigkeitserhöhung im Deionat von maximal 3 µS/cm (zulässige Abweichung 2 µS/cm). Die Gehalte an Chlorid, Sulfat und ungelösten Feststoffen (> 0,45 µm) dürfen im abfließenden Deionat **0,5 mg/kg** (0,5 ppm) nicht überschreiten.

Komponenten, die im Betrieb mit Fluss-, Brauch- oder Kühlturmwasser beaufschlagt werden, können auch mit dem Betriebsmedium gespült werden. Dabei muss solange gespült werden, bis die Konzentration der ungelösten Feststoffe am Spülwasseraustritt gleich der am Spülwassereintritt ist.

Nach dem Spülen müssen die Oberflächen getrocknet werden (s. Abschnitt 5.7).

Weitere Angaben zum Spülen sind z.B. in der AVS D 8.1/50 bzw. AVS D 8.2/50 oder AVS D 8.3/50 gegeben.

## **5.7 Trocknen**

Das Trocknen dient zur Verhinderung von Korrosion nach einer Wasserbeaufschlagung, z.B. durch Spülen.

Das Trocknen erfolgt durch erwärmte oder vorgetrocknete, ölfreie Luft im Umluftverfahren oder Kreislaufverfahren.

Während der Trocknung sollte die Luftfeuchtigkeit gemessen werden. Das Trocknen kann als abgeschlossen betrachtet werden, wenn alle Wasserreste entfernt sind und die relative Feuchte maximal noch **60 %** bei 20°C beträgt.

Kleine Komponenten können auch im Trockenschrank bei 110 °C getrocknet werden.



## 6 Inbetriebnahme und Betrieb

### 6.1 Prüfmittel

Prüf- und Prüfhilfsmittel, sowie Prüfmedien für Druck- und Dichtheitsprüfungen, dürfen zu keiner Schädigung der Oberflächen der Komponente führen.

Die Prüfmittel für die Farbeindringprüfung müssen aufeinander abgestimmt sein und die Anforderungen der DIN 54152-2 erfüllen. Die verwendeten Prüf- und Prüfhilfsmittel müssen von der Anlage zugelassen sein. Sie sollten in den Spezifikationen und im Reinigungs- und Konservierungsplan angegeben werden. Eine Übersicht über geprüfte Mittel befindet sich in der QP-Datenbank. Die maximal zulässigen Gehalte an Verunreinigungen nach DIN 25493 sind in Tabelle 2 angegeben.

*Tabelle 2: Zulässige maximale Massenanteile an Verunreinigungen in Prüfhilfsmitteln gemäß DIN 25493.*

	Chlor [mg/kg]	Fluor [mg/kg]	Chlor + Fluor [mg/kg]	Schwefel [mg/kg]
Untergrundfarbe für MT-Prüfung	-	-	<b>200</b>	<b>200</b>
Lecksuchmittel	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>1000</b>
UT-Koppelmittel	-	-	<b>200</b>	<b>200</b>

Prüf- und Prüfhilfsmittel sollten unmittelbar nach der Prüfung entfernt werden. Dies kann gegebenenfalls mit einem Wischtest überprüft werden.

Druckprüfungen an Komponenten mit Innenflächen aus austenitischen CrNi-Stählen und Nickelbasislegierungen sollten mit Betriebsmedium oder Deionat durchgeführt werden. Bei un- und niedriglegierten Stählen sollte Deionat nur zusammen mit geeigneten Korrosionsinhibitoren (Ammoniak oder Hydrazin) verwendet werden (s. Abschnitt 5.5). Weitere Angaben zur Qualität des Druckprüfmediums befinden sich z.B. in der AVS D 36.2/50.

Bei einer Druckprüfung mit Deionat muss der Endzustand der Oberfläche dem nach einer Endspülung einschließlich Trocknung entsprechen. Gegebenenfalls kann anstelle einer Trocknung auch eine Nasskonservierung angewendet werden. Diese besteht aus einem Befüllen mit Betriebsmedium oder vollentsalztem Wasser, mit oder ohne Inhibitorzusatz. Nähere Einzelheiten dazu befinden sich z.B. in der AVS D 36.2/50.

## 6.2 Wärmedämmung

Isolationsmaterialien können schädigende Stoffe wie Chloride und Sulfate enthalten oder mit diesen verunreinigt sein. Bei Zutritt von Feuchtigkeit unter die Isolation können diese zu Korrosion von außen führen (Corrosion Under Isolation, CUI).

Es muss verhindert werden, dass Wasser unter die Isolation gelangen oder in Form von Dampf kondensieren kann.

Bei der Errichtung und bei Prüf- und Instandsetzungsarbeiten sollten Vorkehrungen getroffen werden, die eine Kontamination des Isolationsmaterials mit Schmutz, Aerosolen usw. verhindern. Das Isolationsmaterial sollte deshalb nicht auf den Boden geworfen oder mit nackten Händen angefasst werden. Mittels PE-Folien sollte es für die Dauer der Arbeiten vor Umwelteinflüssen geschützt werden. Vor dem Einbau ist sicherzustellen, dass es trocken ist.

Bei der Bestellung von Isolationsmaterialien sollte darauf geachtet werden, dass diese möglichst arm an schädigenden Stoffen sind. Bei Kontakt mit austenitischen CrNi-Stählen und Nickelbasislegierungen ist Mineralwolle in AS-Qualität nach AGI-Arbeitsblatt Q 132, mit einem maximalen Massenanteil von **6 mg/kg** Chlorid zu empfehlen. Nach DIN 25493 sind maximal 10 mg/kg an wasserauslaugbarem Chlorid zulässig. Aus Glaswolle, Keramikfasern, Steinwolle und Calcium-Silikat-Hartschalen dürfen nach DIN 25493 maximal **10 mg/kg** Chloride und **100 mg/kg** Sulfate auslaugbar sein.

Bei Sonderdämmstoffen wie Geweben innerhalb von Dämmstoffkassetten gelten nach DIN 25493 die jeweiligen maximalen Massenanteile von **100 mg/kg** für Chlorid und Sulfat und 5 mg/kg für Sulfid.

Bei Wärmedämmstoffen im Niedertemperaturbereich in Kontakt mit austenitischen Oberflächen gilt nach DIN 25493 ein maximaler wasserauslaugbarer Chloridanteil von **500 mg/kg**.

Die Auslaugung sollte gemäß DIN EN 13468 und DIN 25493 in Anlehnung an das AGI-Arbeitsblatt Q 132 im pH-Bereich 7-11 erfolgen.

## 6.3 Außenluft, Gase und Aerosole

In wässrigen Lösungen gelöster Sauerstoff ist einer der wesentlichen Faktoren für das Auftreten von Korrosion. Öffnungen von wasserführenden Komponenten sollten daher stets verschlossen und Ansammlungen von Wasser auf Oberflächen vermieden werden.

Kohlenstoffdioxid aus der Luft reagiert mit Wasser unter Bildung von Kohlensäure. Dies kann bei unlegierten Stählen zu Korrosionsschäden führen.

In Wasser gelöster Schwefelwasserstoff wirkt bei un- und niedriglegierten Stählen korrosiv und kann zu Spannungsrisskorrosion führen. Er entsteht u.a. bei Fäulnis- und Zersetzungsprozessen durch den Abbau von Biomasse und kann über Abwasserleitungen oder Außenluft in die Anlage gelangen. Die Wahrnehmung von Geruch nach verfaulten Eiern oder Abwasser könnte ihre Ursache in einem defekten Ab- oder Kühlwassersystem haben. Um Folgeschäden zu vermeiden sollte die Ursache schnellstmöglich gefunden und abgestellt werden.

Aerosole in Form von feinen Stäuben oder Rauchen können große Mengen an Verunreinigungen wie Chloriden enthalten. Diese werden von Oberflächen adsorbiert oder lösen sich in Flüssigkeitsfilmen und Wässern. Hohe Chloridkontaminationen sind im Rauch von verbranntem PVC enthalten.

Außenluft sollte in den Kontrollbereich möglichst nur gefiltert gelangen. Das gilt besonders in Meeresnähe oder bei einem hohen Staubanteil der Luft.

#### **6.4 Chlorhaltige Kunststoffe und Elastomere (PVC, Neopren®, Camapren®, Saranex™,...)**

Polyvinylchlorid (PVC) kann in verschiedenen Komponenten und Hilfsstoffen wie Kabelisolierungen, Kunststofffolien oder Handschuhen enthalten sein. Schläuche, Gummimatten, Taucheranzüge, Verschlussstopfen, Isolierungen, Schuhteile etc. sind oftmals aus Chloropren (Neopren®, Camapren®) oder anderen chlorhaltigen Elastomeren hergestellt. Aus Polyvinylidenchlorid (PVDC) sind Folien, Beschichtungen oder auch Saranex™-Anzüge gefertigt.

Im Brandfall führen diese Kunststoffe und Elastomere zu hohen Chloridfreisetzungen. Im Kontrollbereich sollten sie deshalb gar nicht oder allenfalls für den kurzzeitigen Gebrauch eingesetzt werden. Alle nicht verwendeten Kunststoffgegenstände sollten aus dem Kontrollbereich entfernt werden. In Ringhals 2 (Schweden) hatte 2011 der Brand einer Schachtel mit PVC-Handschuhen und eines Taucheranzugs eine umfassende Reinigung des Kontrollbereichs, verbunden mit einem 7-monatigen Stillstand zur Folge.

#### **6.5 Brandschutz- und Brandbekämpfungsmittel**

Schwer entflammable Folien auf Basis von teilhalogeniertem PE oder PP oder Brand- und Hitzeschutzplanen enthalten häufig Chloride und Fluoride, die im Brandfall freigesetzt werden. Gemäß DIN 25493 darf die Gesamtmenge an Verunreinigungen die folgenden Werte nicht überschreiten:

Summe Chlor + Fluor	<b>≤ 30 g/kg</b>
Schwefel	<b>≤ 5 g/kg</b>

Löschwasser wird im Brandfall nach Verfügbarkeit entnommen und unterliegt keinen speziellen Sauberkeitsanforderungen. Bei Feuerbekämpfungsmaßnahmen oder beim äußerlichen Kühlen von Komponenten im Gefahrfall können deshalb größere Mengen an Chloriden und anderen Verunreinigungen in die Anlage eingetragen werden. An geeigneten Stellen können sich diese aufkonzentrieren und zu Schädigungen führen.

Pulverfeuerlöscher können große Mengen an Chloriden oder Sulfaten enthalten. Feuerlöschdecken können ebenfalls mit Chloriden kontaminiert sein. Falls die Brandschutzordnung eine Auswahl zulässt, sollten solche Brandbekämpfungsmittel verwendet werden, die möglichst geringe Verschmutzungseinträge zur Folge haben (z.B. Feuerlöscher mit BC-Füllungen auf Natriumhydrogencarbonatbasis, Verzicht auf Fluorproteinschaummittel).

Nach Brandbekämpfungsmaßnahmen oder anderen Feuerwehreinsätzen muss mit Hilfe von Wischtests geprüft werden, ob eine Kontamination von Oberflächen stattgefunden hat. Nötigenfalls ist eine Reinigung der Komponenten oder Systeme erforderlich.

## **6.6 Kondensatorleckagen**

Bei Kondensatorleckagen kann Kühlwasser in den Sekundärkreis gelangen. Als Folge davon kann es im Dampferzeuger zu einer Aufkonzentration von Chloriden und anderen Verunreinigungen kommen. Das sollte nach einer Kondensatorleckage berücksichtigt werden.

# **7 Sauberkeitsprüfungen**

## **7.1 Sichtprüfung**

Die allgemeine Sichtprüfung muss bei ausreichenden Lichtverhältnissen über die gesamte Oberfläche der Komponente durchgeführt werden. Bei unzugänglichen Stellen müssen entsprechende Hilfsmittel wie Endoskope oder Spiegel verwendet werden. Ein besonderes Augenmerk ist auf Verbindungsstellen wie Schweißnahtbereiche oder Steck-/Überlappbereiche sowie Einbauten zu richten.

Beizschäden sind nicht zulässig. Bei Verdacht aufgrund von Oberflächenverfärbungen, Ätzerscheinungen oder Lochkorrosion muss die Oberfläche mit einer Lupe (mindestens 6fache Vergrößerung) untersucht werden (s. Abschnitt 7.6).

Ebenso unzulässig sind organische und anorganische Verunreinigungen (Fette, Öle), Beschriftungen, Salzbelegungen, Prüfmittelrückstände, Reinigungs- und Bearbeitungsrückstände, Zündstellen, Schweißperlen, Klebebänder, Kleberreste, Fremdrostbelag, aufgewachsene Korrosionspusteln und

Borrückstände. Bestimmungsgemäß aufgebrauchte Schmier- und Gleitmittel gelten nicht als Verunreinigungen.

Temporäre Korrosionsschutzschichten und Beschriftungen dürfen nur nach schriftlicher Freigabe durch den Auftraggeber auf der Oberfläche verbleiben.

Speziell in Schweißnahtbereichen ist mit Anlauffarben und Zunderschichten zu rechnen. Bei austenitischen CrNi-Stählen und Nickelbasislegierungen durchlaufen die Anlauffarben mit zunehmender Schichtdicke die Farbskala gelb, braun, violett, dunkelblau, mittelblau, hellgrau, grau. Die Farben gelb bis mittelblau sind zulässig (s. Abb. 1, nach DIN 25410 oder AVS D 8.1/50).

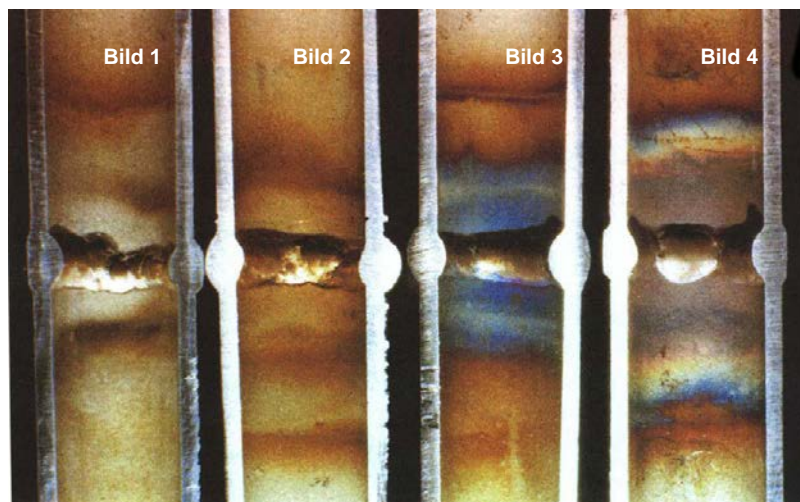


Abb. 1: Anlauffarben nach AVS D 8.1/50. Zulässig sind Bild 1-3 (Sauberkeitsklasse 1 und 2).

Bei un- und niedriglegierten Stählen ist eine graue Anlauffarbe zulässig (s. AVS D 8.2/50).

Zunderschichten sind unzulässig. Ausnahmen sind werkstoffspezifische oxidische Schutzschichten, z.B. Gushäute bei Gusseisen und un- oder niedriglegiertem Stahlguss.

Bei Gusskomponenten ist eine Gushaut zulässig, wenn diese festhaftend und gleichmäßig ausgebildet ist.

Bei un- und niedriglegierten Stählen ist nach AVS D 8.2/50 eine dünne gleichmäßige Rostbelegung entsprechend ISO 8501-1, Vergleichsbild C Sa 1 zulässig (s. Abb. 2 und 3). Zulässig sind demnach Stahloberflächen, die weitgehend mit festhaftendem Zunder bedeckt sind, aber im Wesentlichen frei von Rost sind (Rostgrad A), die beginnende Rostbildung und beginnende Zunderabblätterung zeigen (Rostgrad B) und die, von denen der Zunder abgerostet ist oder sich abschaben lässt, die aber nur ansatzweise für das Auge sichtbare Rostnarben aufweisen (Rostgrad C). Die Oberfläche muss frei sein von sichtbarem Öl, Fett und Schmutz und losem Zunder, losem Rost, losen Beschichtungen und losen artfremden Verunreinigungen.

Nicht zulässig sind Stahloberflächen, von der der Zunder abgerostet ist und die verbreitet für das Auge sichtbare Rostnarben aufweisen (Rostgrad D).

Im Falle einer leichten Graufärbung muss zusätzlich ein Wischtest gemacht werden.

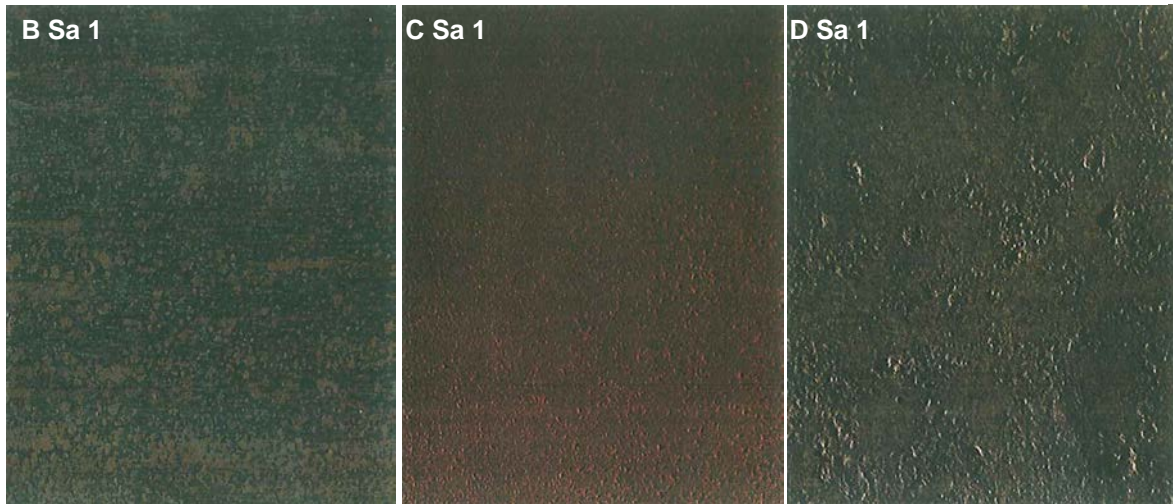


Abb. 2: Vergleichsbilder mit Rostbelegungen für gestrahlte Oberflächen von un- und niedriglegierten Stählen nach ISO 8501-1. Zulässig sind die Zustände B Sa 1 und C Sa 1, unzulässig ist D Sa 1.

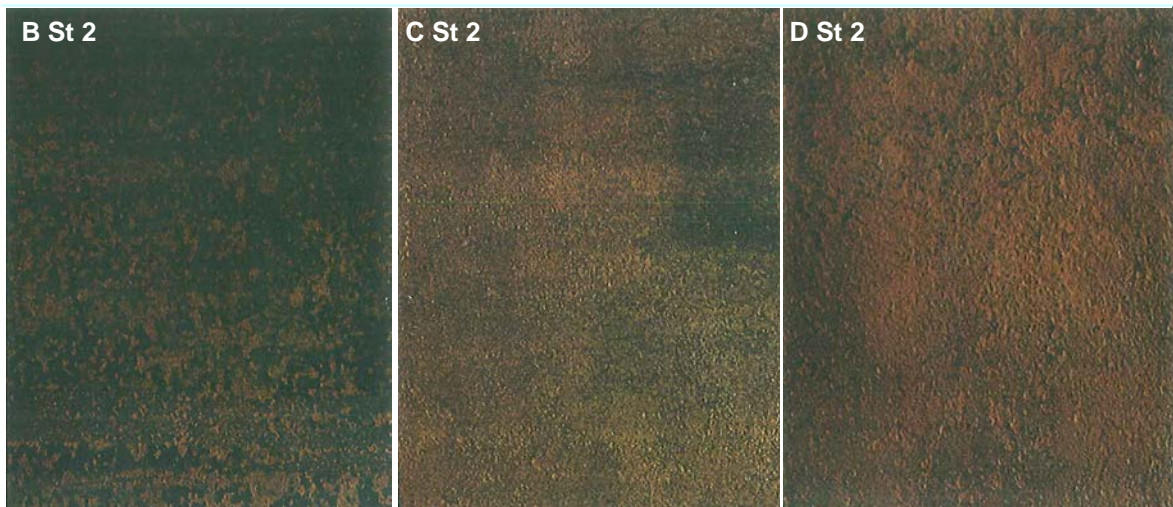


Abb. 3: Vergleichsbilder mit Rostbelegungen für beschliffene oder mechanisch bearbeitete Oberflächen von un- und niedriglegierten Stählen nach ISO 8501-1. Zulässig sind die Zustände B St 2 und C St 2, unzulässig ist D St 2.

## 7.2 Ferritindikator-Test (Ferroxyl-Test)

Der Ferritindikator-Test nach DIN 25410 oder AVS D 8.1/50 dient zum örtlich begrenzten Nachweis von ferritischen Verunreinigungen auf Komponenten aus austenitischen CrNi-Stählen und Nickelbasislegierungen.



Bei gestrahlten Oberflächen und Komponenten aus nichtrostenden ferritischen Stählen, martensitischen Stählen und Stahlguss (Chrom-Stähle) muss stattdessen eine Wasserbehandlung (s. Abschnitt 7.3) durchgeführt werden.

Der Ferritindikator-Test sollte frühestens **24 Stunden** nach einer mechanischen Oberflächenbehandlung (Bürsten, Drehen, Schleifen etc.) durchgeführt werden, da sich danach erst wieder eine Passivschicht aufbauen muss. Andernfalls ist mit großflächigen Fehlanzeigen zu rechnen.

Für den Ferritindikator-Test werden zwei Lösungen (A und B) benötigt, die getrennt angesetzt und aufbewahrt werden. Ihre Zusammensetzung ist in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3: Lösungen für den Ferritindikator-Test.

Lösung A	Lösung B
10 g $K_4Fe(CN)_6$ Kaliumhexacyanoferrat (II) 50 ml vollentsalztes Wasser 3 Tropfen Netzmittel	50 ml vollentsalztes Wasser 15 ml konz. $HNO_3$ (Salpetersäure 65 Gew.-%ig)

Von den zwei Lösungen werden vor der Prüfung je zwei gleiche Volumenanteile miteinander vermischt. Die Indikatorlösung kann sofort eingesetzt werden. Sie darf max. **2 Stunden** verwendet werden, da sie durch Eigenzersetzung und Bildung der Hexacyanoeisensäure blau wird.

Die Indikatorlösung wird entweder auf die zu prüfende Fläche aufgesprüht oder auf ein Filterpapier getränkt, welches auf die zu prüfende Fläche aufgelegt wird. Bei Anwesenheit von Ferrit auf der Bauteiloberfläche findet nach etwa 30 bis 60 Sekunden ein Farbumschlag nach blau statt. Dieser Farbumschlag tritt nur örtlich an den mit Ferritpartikeln behafteten Stellen ein.

Nach der Prüfung müssen die geprüften Oberflächenbereiche sofort mit Deionat gereinigt werden.

Die Beurteilung erfolgt z.B. gemäß Tabelle 4 nach AVS D 8.1/50.

Tabelle 4: Beispiele für Annahmekriterien beim Ferritindikator-Test (Ferroxyl-Test) nach AVS D 8.1/50.

Sauberkeitsklasse 1	Sauberkeitsklasse 2
maximal <b>3 Anzeigen</b> pro 4 Prüfflächen à 1 dm <sup>2</sup> (quadratisch), jedoch bei einer Prüffläche nicht mehr als <b>2 Anzeigen</b> , hiervon nicht mehr als <b>1 Anzeige</b> mit einer maximalen Ausdehnung bei a) von <b>1 mm</b> b) von <b>2 mm</b>	maximal <b>6 Anzeigen</b> pro 4 Prüfflächen à 1 dm <sup>2</sup> (quadratisch), jedoch bei einer Prüffläche nicht mehr als <b>5 Anzeigen</b> , hiervon jedoch nicht mehr als <b>2 Anzeigen</b> mit einer maximalen Ausdehnung bei a) von <b>2 mm</b> b) von <b>3 mm</b>

### 7.3 Wasserbehandlung

Die Wasserbehandlung nach DIN 25410 oder AVS D 8.1/50 dient zum Nachweis von ferritischen Verunreinigungen auf der gesamten Komponentenoberfläche, kann aber auch zur örtlich begrenzten Stichprobenkontrolle verwendet werden.

Bei der lokalen Stichprobenprüfung mittels Wasserbehandlung werden auf die zu prüfende Oberfläche je vier 1 dm<sup>2</sup> große quadratische Filterpapiere aufgelegt, die mit Deionat getränkt worden sind. Die Filterpapiere müssen über eine Prüfdauer von mind. 6 Stunden feucht gehalten werden. Die Beurteilung erfolgt wie beim Ferritindikator-Test (Ferroxyl-Test) z.B. nach Tabelle 4 gemäß AVS D 8.1/50.

Bei der großflächigen Prüfung mittels Wasserbehandlung werden die Bauteiloberflächen in Deionat getaucht oder damit berieselt oder besprüht. Die Einwirkzeit des Wassers auf die zu prüfende Oberfläche beträgt mind. 6 Stunden.

Das verwendete Deionat darf eine elektrische Leitfähigkeit von 10 µS/cm (bei 25 °C) nicht überschreiten. Die Chlorid- und Sulfatgehalte müssen unter 0,5 mg/kg (0,5 ppm) liegen.

Bei Anwesenheit von Fremdferrit auf der Bauteiloberfläche entstehen an mit Ferritpartikeln behafteten Stellen örtlich begrenzte rostbraune Anzeigen. Mit zunehmender Einwirkzeit (> 6 Stunden) vergrößern sich diese Anzeigen. Die Beurteilung erfolgt z.B. nach Tabelle 5 gemäß AVS D 8.1/50.

Tabelle 5: Beispiele für Annahmekriterien bei der Wasserbehandlung nach AVS D 8.1/50.

Sauberkeitsklasse 1	Sauberkeitsklasse 2
<ul style="list-style-type: none"><li>• mindestens <b>90 %</b> der Gesamtfläche ohne Anzeige</li><li>• höchstens <b>10 %</b> der Gesamtfläche mit maximal <b>2 Anzeigen/dm<sup>2</sup></b> (quadratisch) mit einer maximalen Ausdehnung von <b>2 mm</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• mindestens <b>50 %</b> der Gesamtflächen ohne Anzeige</li><li>• höchstens <b>40 %</b> der Gesamtfläche mit <b>1 Anzeige/dm<sup>2</sup></b> (quadratisch)</li><li>• höchstens <b>10 %</b> der Gesamtfläche mit maximal <b>5 Anzeigen/dm<sup>2</sup></b> (quadratisch) mit einer maximalen Ausdehnung von <b>3 mm</b></li></ul>

### 7.4 Wischtest

Der Wischtest nach DIN 25410, AVS D 8.1/50 oder AVS D 8.2/50 dient als örtlich begrenztes Kontrollverfahren zum Nachweis von wasserlöslichen Chlorid-, Fluorid- und Schwefelverbindungen.

Benötigte Geräte vor Ort:

- Handschuhe (Purple Nitrile Extra, blau),



- mind. 4 Weithalsflaschen (100 ml) aus Glas oder PE mit Schraubverschluss,
- PE-Spritzflasche mit Deionat,
- Filterpapier (Ø 9 bis 12,5 cm, Schwarzband für Analyse).

Bei der Wischprobennahme werden Kontaminationen der genannten Stoffe von der Metalloberfläche auf das Filterpapier überführt und durch eine anschließende chemische Analyse quantitativ bestimmt.

Vor der Wischprobennahme müssen frische Handschuhe angezogen werden. Das Filterpapier wird mit Deionat befeuchtet und die zu prüfende Fläche mit dem befeuchteten Filterpapier abgewischt. Die Größe der zu prüfenden Fläche muss genau bestimmt werden und sollte mindestens 1 dm<sup>2</sup> betragen. Bei ebenen Flächen empfiehlt es sich, eine Schablone mit einer definierten Fläche von 1 dm<sup>2</sup> anzulegen (100 x 100 mm). Bei Kleinleitungen kann die gesamte Innenoberfläche durch Durchschieben/-ziehen von angefeuchteten Filterpapieren geprüft werden (Prüffläche = Innendurchmesser ·  $\pi$  · Rohrlänge). Als Durchziehhilfen können gereinigte Schweißstäbe oder andere Gegenstände aus austenitischem CrNi-Stahl verwendet werden.

Zur quantitativen Erfassung der Verunreinigungen sollte das Abwischen derselben Fläche dreimal, mit jeweils frischen, angefeuchteten Filterpapieren wiederholt werden. Die vier Wischproben werden zusammen in einer 100 ml Weithalsflasche gesammelt und darin anschließend dicht verschlossen. Zur Erfassung des Blindwertes werden in eine weitere Weithalsflasche vier befeuchtete, aber unbenutzte Filterpapiere aus der gleichen Packung gegeben.

Für eine repräsentative Analyse sollten mindestens drei Wischprobennahmen an verschiedenen Stellen der Oberfläche durchgeführt werden. Bei Kleinleitungen können stattdessen drei verschiedene Rohre geprüft werden.

Die Analyse der Filterpapiere erfolgt in einem chemischen Labor durch Auslaugung und nasschemische Analyse.

Benötigte Geräte im Labor:

- Handschuhe (Purple Nitrile Extra, blau),
- Messkolben (100 ml),
- PE-Spritzflasche mit Deionat,
- Wasserbad mit Thermostat,
- Dosierpipetten,
- 0,45 µm Spritzenfilter,
- Ionenchromatograph, ICP-OES, ICP-MS, o.a.

In die Weithalsflaschen mit den jeweils vier Wischproben werden zunächst 50 ml Deionat gegeben. Die Flaschen werden anschließend in ein Wasserbad mit **60-80 °C** gestellt und darin **6-8 Stunden**

belassen. Die Proben sollten danach **weitere 10 Stunden** bei Raumtemperatur stehen gelassen werden.

Nach dem Auslaugen werden die Lösungen in 100 ml Messkolben filtriert. Die ausgelaugten Filterpapiere und die Weithalsflaschen werden mit Deionat nachgewaschen und die Messkolben mit Deionat zur Marke aufgefüllt.

Die Chlorid-, Fluorid- und Sulfatkonzentrationen der Lösungen werden mittels chemischen Analysemethoden wie Ionenchromatographie, ICP-OES oder ICP-MS quantitativ bestimmt.

Zur Bestimmung des Gesamtschwefels müssen die Filtrierrückstände einschließlich der ausgelaugten Filterpapierwischproben getrocknet, verascht und mittels NaOH/KNO<sub>3</sub> in der Schmelze aufgeschlossen werden. Der Schmelzkuchen wird in Deionat gelöst und die Lösung über ein gewaschenes Schwarzband- oder Weißbandfilter filtriert. Im Filtrat wird der Schwefel als Sulfat wie oben quantitativ bestimmt.

Aus den erhaltenen Verunreinigungskonzentrationen  $c$  [ $\mu\text{g/l}$ ] wird die Kontamination an Chlorid, Fluorid und Sulfat pro Fläche berechnet. Die Formel hierzu lautet:

$$\text{Kontamination } [\mu\text{g}/\text{dm}^2] = \frac{c(\text{Cl}/\text{F}/\text{SO}_4) [\mu\text{g}/\text{l}] \cdot 0,1 [\text{l}]}{\text{Oberfläche } [\text{dm}^2]}$$

Für mediumberührte Oberflächen sollten die Chlorid-, Fluorid- und Schwefelkontaminationen die folgenden Werte nicht überschreiten werden (s. AVS D 8.1/50 bzw. AVS D 8.2/50 oder AVS D 8.3/50):

Chlorid	$\leq 100 \mu\text{g} / \text{dm}^2$
Fluorid	$\leq 100 \mu\text{g} / \text{dm}^2$
Gesamtschwefel	$\leq 500 \mu\text{g} / \text{dm}^2$

## 7.5 Bortest

Der Bortest nach AVS D 8.3/50 dient zum Nachweis von Borverunreinigungen auf Oberflächen. Er muss an Schweißnahtbereichen durchgeführt werden, die mit boriertem Medium benetzt waren und anschließend geschweißt werden sollen.

Benötigt werden:

- Handschuhe (Purple Nitrile Extra, blau),
- mind. 3 Glasfaserfilter ( $\varnothing$  5 cm),
- mind. 2 Bechergläser ( $50 \text{ cm}^3$ ),
- PE-Spritzflasche mit Deionat,
- Reagenzlösung: 100 mg Carminsäure, gelöst in 1 l konzentrierte Schwefelsäure.

Der Bortest entspricht in seiner Ausführung einem Wischtest mit Glasfaserfilter. Zur Durchführung müssen frische Handschuhe verwendet werden. Vor dem Test müssen Staubteilchen oder andere Rückstände auf der Oberfläche im Gesamtbereich der Schweißnaht mit einem mit Deionat angefeuchteten Glasfaserfilter entfernt werden. Vor allem organische Verunreinigungen stören die nachfolgende Auswertung der Prüfung.

Der Bortest erfolgt mit einem befeuchteten Glasfaserfilter. Die abgewischte Fläche sollte ca. 1 dm<sup>2</sup> betragen, wobei bis zu 30 mm vom Schweißbereich entfernt geprüft werden muss. Bei kleineren Flächen (z. B. Stutzen Ø < 100 mm) muss die Größe der Wischfläche protokolliert werden.

Die Wischprobe wird in ein Becherglas gegeben und mit der Reagenzlösung überdeckt. Dasselbe passiert mit einem unbenutzten, angefeuchteten Glasfaserfilter als Vergleich. In Abhängigkeit vom Borgehalt stellt sich eine Farbänderung der Reagenzlösungen ein (s. Abb. 4 und 5). Die Farbdifferenz zwischen Wischprobe und Vergleichsprobe nimmt mit zunehmender Reaktionszeit zu. Die Auswertung sollte nach 10 min. erfolgen. Eine deutliche Farbdifferenz zeigt nach dieser Zeit einen Borgehalt von > 50 µg Bor an (s. Abb. 5).

Bei Borgehalten  $\geq 50 \mu\text{g}/\text{dm}^2$  muss der Schweißnahtbereich gemäß AVS D 8.3/50 nachgereinigt und erneut auf Borkontamination geprüft werden.

Organische Stoffe ergeben mit der Reagenzlösung eine Dunkelfärbung. In solchen Fällen muss der Bortest an einer anderen Stelle nach gründlicher Vorreinigung wiederholt werden.

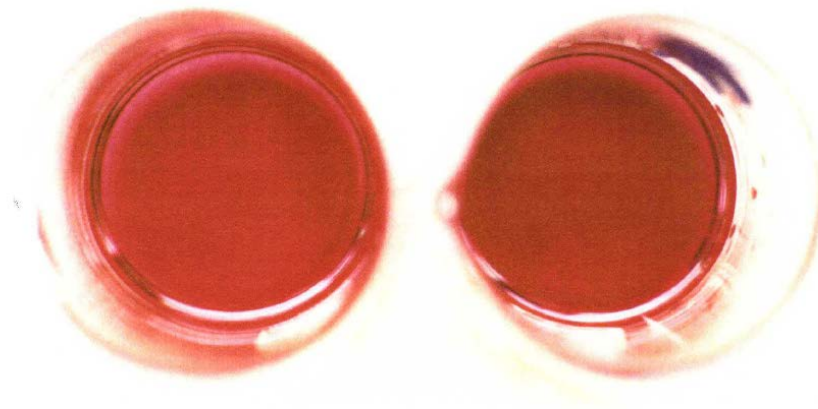


Abb. 4: Bortest mit < 50 µg Bor nach 10 min Einwirkzeit (nach AVS D 8.3/50 noch zulässig).

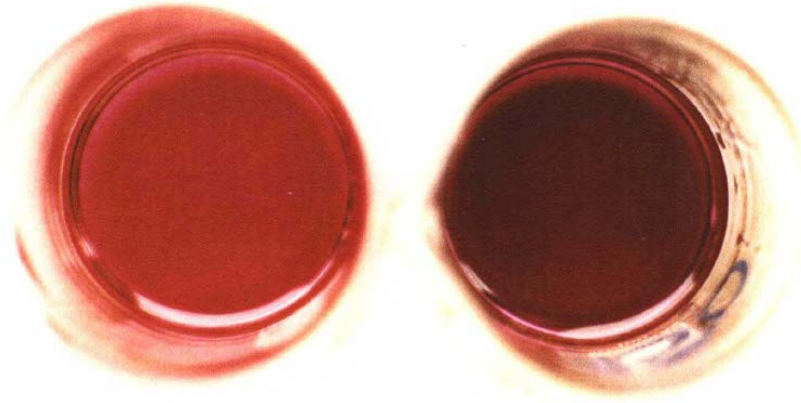


Abb. 5: Bortest  $\geq 50 \mu\text{g Bor}$  nach 10 min Einwirkzeit (nach AVS D 8.3/50 nicht zulässig).

### 7.6 Prüfung auf Beizschäden

Bei Verdacht auf Beizschäden wird nach AVS D 8.1/50 an den betroffenen Oberflächenbereichen eine direkte Sichtprüfung mittels Lupe (mindestens **6fache Vergrößerung**) durchgeführt.

Beizschäden sind erkennbar anhand von Korngrennzeichnungen (Abb. 6) oder Lochkorrosion (Abb. 7).

Ergibt die Prüfung keine eindeutige Aussage, muss anschließend eine Oberflächenprüfung (PT) nach DIN EN 571-1 durchgeführt werden. Die Einwirkzeit des Eindringmittels muss dabei mindestens 60 Minuten betragen. Anzeigen sind nicht zulässig (s. AVS D 8.1/50).

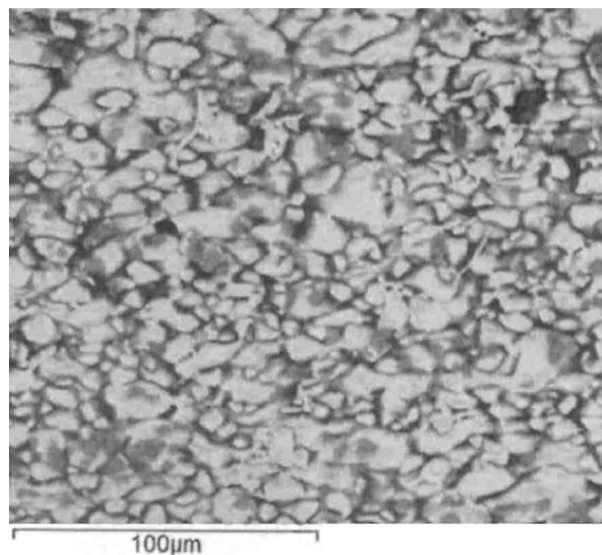


Abb. 6: Beispiel für Beizschäden an austenitischem CrNi-Stahl 1.4550.

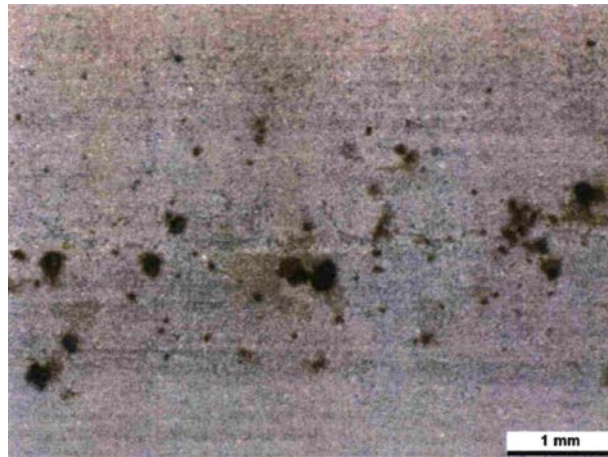


Abb. 7: Beispiel für Lochkorrosion und Beizschäden an austenitischem CrNi-Stahl 1.4550.

### 7.7 Wassersprühprüfung

Die Wassersprühprüfung dient zur Prüfung der Bauteiloberfläche auf Fett- und Ölfreiheit. Sie beruht auf dem Prinzip, dass geringe Öl- und Fettmengen die Benetzbarkeit einer Oberfläche herabsetzen. Die Wassersprühprüfung eignet sich vor allem für die Prüfung örtlich begrenzter Oberflächenbereiche.

Bei der Wassersprühprüfung wird die Oberfläche etwa 30 s mit einem feinen Wassernebel besprüht. Wenn der Wassernebel erhalten bleibt, ist die Oberfläche frei von Öl oder Fett (s. DIN 25410, AVS D 8.1/50 bzw. AVS D 8.2/50 oder AVS D 8.3/50). Fließt der Wassernebel zu Wassertropfen zusammen, ist von einer Kontamination auszugehen.

### 7.8 Wasserablaufprobe

Die Wasserablaufprobe dient zur Prüfung der Bauteiloberfläche auf Fett- und Ölfreiheit. Sie eignet sich vor allem für die Prüfung von großen Oberflächenbereichen.

Bei der Wasserablaufprobe wird die zu prüfende Komponente mit fließendem kaltem Wasser benetzt. Die Lage der Oberfläche, ob horizontal, geneigt oder senkrecht, spielt dabei keine entscheidende Rolle. Die Oberfläche ist frei von Fetten und Ölen, wenn sie nach 30 s gleichmäßig mit Wasser benetzt bleibt und der Wasserfilm an keiner Stelle aufreißt (s. DIN 25410, AVS D 8.1/50 bzw. AVS D 8.2/50 oder AVS D 8.3/50).

### 7.9 Kratzprobe

Die Kratzprobe nach AVS D 8.3/50 wird bei un- und niedriglegierten Stählen zur Prüfung von Korrosionsproduktbelegungen angewendet. Dabei werden die Korrosionsprodukte von einer

definierten Fläche bis zum Grundmetall abgekratzt und quantitativ aufgefangen. Danach werden sie ausgewogen und die Flächenbelegung berechnet.

Zulässig sind die folgenden Richtwerte (s. AVS D 8.3/50):

- Sauberkeitsklassen 1 + 2:  $\leq 200 \text{ mg/dm}^2$   
 Sauberkeitsklasse 3:  $\leq 2000 \text{ mg/dm}^2$

## 7.10 Auslaugversuch

Der Auslaugversuch dient zur Bestimmung von auslaugbaren Gehalten an Chlorid, Fluorid und Sulfat in Dichtungen, Handschuhen, Hilfsstoffen u.a. Bei den Gesamt-Gehalten handelt es sich dagegen um die Summe der löslichen und unlöslichen Anteile eines Stoffs.

Tabelle 6: Benötigte Geräte für Auslaug- bzw. Auskochversuche

Auslaugversuch bei 60-80 °C	Auskochversuch bei 95-100 °C
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Handschuhe (Purple Nitrile Extra, blau)</li> <li>• Weithalsflasche (100 ml) aus Glas oder PE mit Schraubverschluss</li> <li>• PE-Spritzflasche mit Deionat</li> <li>• Dosierpipetten</li> <li>• 0,45 µm Spritzenfilter</li> <li>• Wasserbad mit Thermostat</li> <li>• Messkolben (100 ml)</li> <li>• Ionenchromatograph od. ICP-OES, ICP-MS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Handschuhe (Purple Nitrile Extra, blau)</li> <li>• Glaskolben (250 ml) mit Rückflusskühler</li> <li>• Heizpilz oder Heizplatte</li> <li>• Messkolben (100 ml)</li> <li>• Dosierpipetten</li> <li>• 0,45 µm Spritzenfilter</li> <li>• Ionenchromatograph od. ICP-OES, ICP-MS</li> </ul>

Die Auslaugversuche finden üblicherweise mit Deionat statt. Die auszulaugenden Materialien dürfen nur mit frischen, chloridarmen Handschuhen angefasst werden. Die Gerätschaften müssen sauber gespült sein. Vor dem Versuch müssen die Proben mit geeigneten Werkzeugen (z.B. Raspel, Feile, Messer, Schere) fein zerkleinert und anschließend gewogen werden.

Materialien mit einer geringen thermischen oder Hydrolysebeständigkeit wie Papier, PE, PP, PVC, Latex u.a. sollten in einem Wasserbad mit **60-80 °C** über **6-8 Stunden** ähnlich wie bei den Wischtestproben ausgelaugt werden. Es empfiehlt sich, die Proben danach weitere 10 Stunden bei Raumtemperatur stehen zu lassen.

Materialien mit einer höheren Beständigkeit wie NBR, PTFE, PEEK, EPDM, FKM, Graphit u.a. sollten über **24 h** im Rückflussverfahren **ausgekocht** werden (s. WPB-BRAP 31.00-3/4 und WPB-BRAP 32.00-3/3).

Alternativ kann auch bei 95 °C über 1 h (DIN 25493) oder 24 Stunden ausgelaugt werden (AREVA NP GmbH Analysenvorschrift AV 4-014, 2008 „Spezifikationskontrolle von Dichtungsmaterialien –

Bestimmung von Gesamt-Chlor/Fluor und wasserlösliches Chlorid mittels ionenchromatographischer Verfahren“).

Als Blindprobe werden die Gefäße ohne Probe mit Deionat ausgelaugt und anschließend analysiert.

Nach dem Auslaugen werden die Lösungen in 100 ml Messkolben filtriert. Die verwendeten Gefäße und ausgelaugten Gegenstände werden mit Deionat nachgewaschen und die Messkolben mit Deionat zur Marke aufgefüllt.

Die Chlorid-, Fluorid- und Sulfatkonzentrationen der Lösungen werden mit Hilfe eines chemischen Analyseverfahrens wie Ionenchromatographie, ICP-OES oder ICP-MS quantitativ bestimmt. Dieses muss nach den allgemein anerkannten Richtlinien der chemischen Analysetechnik qualifiziert sein (z. B. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, DIN 38 405 Teil 4 und DIN EN ISO 10304-1).

Aus den Analyseergebnissen wird der auslaugbare Massenteil pro Probenanteil in mg/kg berechnet. Die Formel hierzu lautet:

$$\text{Auslaugbare Menge [mg/kg]} = \frac{c(\text{Cl/F/SO}_4) [\mu\text{g/l}] \cdot 0,1 [\text{l}]}{\text{Probenmenge [kg]} \cdot 1000}$$

## 8 Zugrundeliegende Normen und Arbeitsvorschriften

DIN 25410	Oberflächensauberkeit von Komponenten
DIN 25493	Schutz metallischer Bauteiloberflächen vor Schädigungen durch Montagehilfsmittel, Dichtungen, Packungen, Verpackungsmaterial und Wärmedämmstoff
AVS D 8.1/50	Anforderungen an die Oberflächensauberkeit, Reinigung und deren Prüfung von nichtrostenden Stählen und Stahlguss sowie Nickelbasislegierungen beim Hersteller
AVS D 8.2/50	Anforderungen an die Oberflächensauberkeit, Reinigung und deren Prüfung von unlegierten/niedriglegierten Stählen, Stahlguss, Gusseisen und Mischverbindungen beim Hersteller
AVS D 8.3/50	Anforderungen an die Oberflächensauberkeit, Reinigung und deren Prüfung auf der Baustelle/Anlage
AVS D 10.1A/000	Anforderungen an die Verpackung und Maßnahmen bei Transport, Handhabung und Lagerung von Komponenten und Bauteilen für Kernkraftwerke
AVS D 10.2/000	Anforderungen an die Verpackung und Maßnahmen bei Transport (Seetransport), Handhabung und Lagerung von Komponenten und Bauteilen von Kernkraftwerken in Länder mit ungünstigen klimatischen Bedingungen
AVS D 36.1/50	Anforderungen an die Prüfmedien für Druck- und Funktionsprüfung sowie an die Innenkonservierung von Bauteilen und Komponenten beim Hersteller
AVS D 36.2/50	Anforderungen an die Medien für Druckprüfung, Spülung und Konservierung sowie an die Innenkonservierung von Komponenten und Systemen auf der Baustelle/Anlage
AVS D 6.2/50	Herstellung, Verarbeitung und Prüfung von Außenbeschichtungen an Komponenten und Bauteilen aus metallischen Werkstoffen in Kernkraftwerken
KS 02021/50	Armaturen K2, Anhang D: Dichtungen
WPB-BRAP 31.00-3/4	Dichtungen aus Dichtungsplatten (Flachdichtungen) und PTFE-Dichtungsbänder im Krafthauptschluss und Kraftnebenschluss
WPB-BRAP 32.00-3/3	O-Ringe