

# Druckbehälter für Länder - wo Andere Ferien machen



Abb. 1: Hooker Valley, Canterbury, Neuseeland

Viele denken, wenn sie von Neuseeland hören, an ein Naturparadies im Pazifik und einen Ferientraum. So auch ich! Bis mir einer unserer Projektleiter sagte, ein Kunde möchte einen Behälter nach ASME haben, der in Neuseeland aufgestellt werden soll. Er fragte mich nun: «Können wir das? Und was benötigt es dazu?» An seiner Bürotür hängt ein Schild mit dem Satz: «Wo Standard aufhört, fängt KASAG an!» Dieser Satz ist sinnbildlich für solche Projekte. Der folgende Artikel ist ein Erfahrungsbericht über die Lieferung von Druckbehältern in Länder rund um die Welt, hier am Beispiel Neuseeland.

*Holger Thiele, SFI, KASAG Swiss AG  
Leiter Engineering & Qualitätssicherung,  
Schweissaufsicht, Prüfaufsicht*

Nun ging es also darum, die Machbarkeit abzuklären. In der KASAG Swiss AG sind solche Abklärungen und deren anschließende Umsetzung alltägliche Arbeit. Die Firma, ein mittelständisches Unternehmen mit Sitz in Langnau i.E., ist mit ihren rund 65 Mitarbeitern auf Anlagen-, Apparate-, Behälterbau und Filtrationstechnik für den weltweiten Einsatz in Chemie-, Pharma-, Bio-, Gas-, Kryotechnik- sowie der Lebensmittelindustrie spezialisiert. Das sind z.B. Reaktoren, Wärmetauscher, Spezialapparate sowie komplette Anlagenteile, die zumeist abnahmepflichtig sind.



**KASAG Swiss AG verfügt über Zulassungen und entsprechendes Knowhow für annähernd alle Länder der Welt Abnahmen, wie z.B. für USA, China, Russland, Singapur, Japan, Malaysia und Kanada vorzunehmen.**

Damit einher geht auch das breite Zulassungsspektrum und das Know-how verschiedenster Regelwerke.

So besitzt die KASAG neben Zertifizierungen und Zulassungen für die europäische Druckgeräterichtlinie (PED) auch den ASME U-Stamp, den China Stamp sowie die Herstellerzulassung für die Zollunion (EAC). Zusätzlich können mit diesen Zulassungen und Erfahrungen, Abnahmen und Lieferungen in viele weitere Länder, wie z.B. Singapur, Japan, Kanada oder Australien realisiert werden. Ein grosser Vorteil für das breite Zulassungsspektrum ist zum einen, dass im Engineering der KASAG neben dem Konstruieren auch Berechnungen nach AD 2000, EN 13445, ASME Section VIII-1 sowie mittels FEM-Analyse selbst durchgeführt werden können. Zum anderen erfolgt die Herstellung mit Zuschnitt, Runden, Schweißen, Zfp, Beizen ebenfalls fast komplett im Hause der KASAG. Die Werkstoffe, welche das Unternehmen verarbeitet, sind dabei ausschliesslich «weisse» Werkstoffe, wie hochlegierte nichtrostende Stähle, Nickel-Basis-, Duplex-, Aluminium- und Titan-Legierungen. Mit dieser hohen Fertigungstiefe kann schnell und flexibel auf sich ändernde Anforderungen, sei es vom Kunden gewünscht oder vom Regelwerk gefordert, reagiert werden.

Um die Machbarkeit zu klären, haben wir zunächst die nationalen Anforderungen geprüft. Für Druckgeräte ist in Neuseeland die "Health and Safety in Employment (Pressure Equipment, Cranes, and Passenger Ropeways) Regulations 1999" (PECPR) gültig. Das ungewöhnliche an diesem Gesetz ist, dass es technische Regeln für Krane, Druckgeräte und Seilbahnen gleichermaßen beinhaltet.

Im Abschnitt zum Design Code steht der für Druckgeräte eher unübliche Satz: "Designers of pressure equipment shall design it to be safe". Man soll die Druckbehälter also einfach «sicher» konstruieren? Da dachte ich mir: «Das ist kein Problem!». Mit einer solcher Anforderung kann ASME als Regelwerk ohne Bedenken verwendet werden. Unter dem Punkt des Notified Body (NoBo) steht: "An inspection body carries out the functions described in subclause [...] depending on the functions it is accredited to perform, that it employs or engages". Das heisst der NoBo muss für die jeweiligen Tätigkeiten und Objekte akkreditiert sein. Weitere besondere Anforderungen sind in der PECPR nicht aufgeführt.

So konnten wir also ASME ohne Einschränkungen als Design Code verwenden.

ASME ist ein anerkanntes Regelwerk aus den USA, welches aber nicht nur in Nordamerika, sondern auch in Südostasien, im Pazifikraum sowie in Südamerika weit verbreitet ist und dort als Basis für die nationalen Anforderungen gilt.

ASME als Organisation entstand nach gehäuften Unfällen beim Betrieb von Dampfkesseln und Druckbehältern im Jahr 1880 und hat in der Folgezeit die ersten Code-Bücher herausgebracht, wie die Section I (1884) und Section VIII (1915). Inzwischen gibt es eine Vielzahl an Sections.

Die Wichtigsten sind dabei:

- Section I - Construction of Power Boilers
- Section II - Materials
- Section III - Construction of Nuclear Facility Components
- Section IV - Construction of Heating Boilers
- Section V - Nondestructive Examination
- Section VI - Recommended Rules for the Care and Operation of Heating Boilers
- Section VIII - Construction of Pressure Vessels
- Section IX - Welding, Brazing, and Fusing Qualifications
- Section X - Fiber-Reinforced Plastic Pressure Vessels

Die für den zu bauenden Druckbehälter Relevante ist die Section VIII, Division 1 sowie die Section II, V, IX auf welche für die spezifischen Gebiete verwiesen wird.

Da der Behälter nach ASME Section VIII-1 abnahmepflichtig war, haben wir auf Grund der erlangten Erkenntnisse unseren NoBo die Frage gestellt, ob er denn nach PECPR akkreditiert sei. Dieser hat uns bei diesem Projekt sehr unterstützt und seinerseits die Abklärungen begonnen. Für das Projekt war es zwingend notwendig, dass unser NoBo eine Akkreditierung besitzt, da man die Abnahme mit ASME-Certification Mark (U-Stamp) nur mit dem NoBo durchführen kann, mit dem man auch ein Service Agreement besitzt. Das heisst, dass wir in diesem Fall nicht auf eine andere Autorisierte Inspektionsgesellschaft (AIA) ausweichen konnten.

Wenig später hat mich unser NoBo informiert, dass er zwar keine Akkreditierung besitze, aber diese nun beantrage. Damit war die erste Hürde geschafft und der Umsetzung des Projektes stand unter der Voraussetzung, dass unser NoBo die Akkreditierung rechtzeitig erlangt, nichts mehr im Weg.

Die Machbarkeitsanalyse umfasste natürlich auch technische Details wie Herstellbarkeit, Prüfbarkeit und Aspekte des Engineerings, welches wir danach begannen. Zuerst starteten wir mit der Festigkeitsberechnung zum Festlegen der Wanddicken. Bei dieser müssen je nach Kundenanforderungen Zusatzlasten wie Lastwechsel, Stutzen-, Wind- oder Erdbebenlasten berücksichtigt werden. Wenn so ein Behälter nun nach Neuseeland geht, denkt man eigentlich sofort an Erdbebenlasten, welche doch sicher berechnet werden müssten. Auf Nachfragen beim Kunden ist das in diesem Fall aber nicht erforderlich gewesen.

Bei der Festigkeitsberechnung nach ASME ist ähnlich wie bei anderen Regelwerken auf die Schweißnahtkategorie zu achten und ein Schweißnahtfaktor festzulegen. Die Kategorie spiegelt die Belastung wider, welche sich auf Grund des Innendrucks ergibt. Wie in Abb. 3 dargestellt, haben die Längsnähte die höchste Kategorie, gefolgt von den Rundnähten. Stützeinschweißungen haben die tiefste Kategorie. Mit den Kategorien erfolgt gleichzeitig eine Einteilung in die nutzbaren Schweißnahtfaktoren (Joint Efficiency).

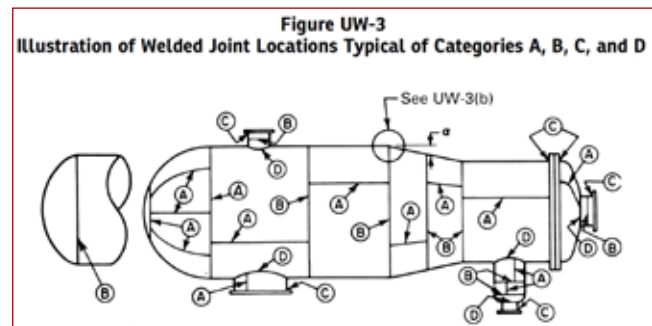


Abb. 3: Kategorie nach Section VIII-1 [Quelle: ASME Section VIII-1, Edition 2019, UW-3]

Der Schweißnahtfaktor hat Auswirkungen auf die erforderliche Wanddicke des Behälters. Beides zusammen, Schweißnahtkategorie und Schweißnahtfaktor, bestimmen auch den Prüfumfang der jeweiligen Nähte. Tab. 1 zeigt mögliche Schweißnahtfaktoren und deren Prüfumfang auf volumetrische Unregelmässigkeiten mittels Röntgenprüfung (RT) oder Ultraschallprüfung (UT) der mit diesem Faktor berechneten Schweißnähte.

Schweißnahtfaktor	Prüfumfang
1.0	100% (Full)
0.85	Stichproben (Spot)
0.7	Keine (none)

Tab. 1: Vergleich Schweißnahtfaktor und Prüfumfang

Wird ein Behälter nun mit Schweißnahtfaktor 1.0 berechnet, so wird dieser dünner als mit 0.85 oder 0.7, das hat aber auch den höchsten Prüfumfang zur Folge. Der Schweißnahtfaktor 0.7 benötigt im Gegenzug dazu keinerlei ZfP, wird aber von vielen Betreibern nicht akzeptiert. Bei Behältern aus Standardwerkstoffen wird üblicherweise der Schweißnahtfaktor von 0.85 gewählt, so auch in diesem Fall.

Tendenziell werden bei Festigkeitsberechnung nach ASME die Behälter aber dickwandiger und die Schweißnähte grösser im Vergleich zu den europäischen Regelwerken, da ASME einen konservativeren Ansatz besitzt. Dies hat auch direkte Auswirkungen auf die Fertigung, speziell auf den Verzug. So muss bei der Festlegung der Schweißfolge der erhöhte Verzug besonders beachtet werden.

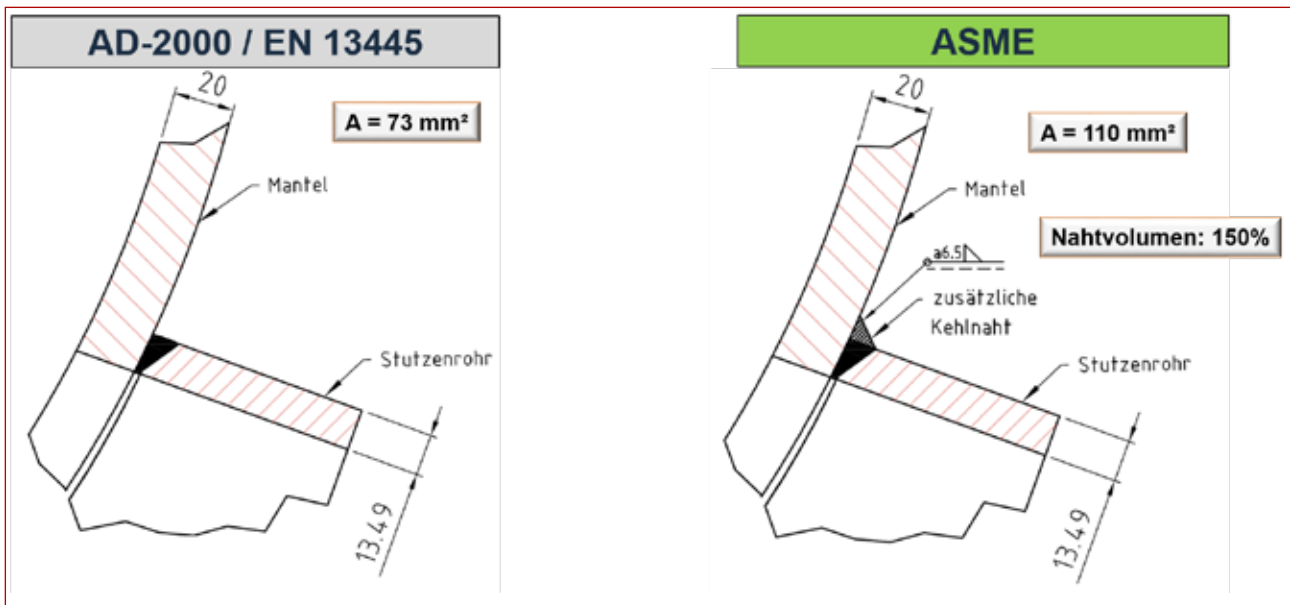


Abb. 4: Vergleich der Schweißnahtdimensionierung zwischen AD 2000 / EN 13445 und ASME

Die Abb. 4 zeigt einen Vergleich der Schweißnahtdimensionierung zwischen AD 2000 bzw. EN 13445 und ASME bei gleicher Wanddicke. ASME verlangt im Vergleich zu den AD 2000 / EN 13445 immer eine zusätzliche Kehlnaht an den Stutzeneinschweißungen.

Da der Behälter nach ASME berechnet und konstruiert wurde, musste letzteres ausgeführt werden. Weitere Besonderheiten betrafen vor allem Formalien, wie, dass das Typenschild, der Zeichnungskopf und ASME-Spezifische Zusatzangaben, korrekt auf der Zeichnung angegeben werden müssen.

Bei der dazugehörigen Stückliste ist darauf zu achten, dass das Material mit korrektem Werkstoff und Erzeugnisnorm festgelegt wird. Beides muss ASME konform und in der Section VIII-1 gelistet sein. ASTM-Werkstoffe sind nicht ausreichend. Bei diesem Projekt ist mit 316L zwar ein gut schweißbarer Standardwerkstoff zur Anwendung gekommen, aber auch bei diesem muss genau auf die ASME-Spezifischen Anforderungen geachtet werden.

Nachdem die Festigkeitsberechnung und Konstruktion abgeschlossen waren, wurden die Prüf- und Arbeitspläne, inkl. der Schweißanweisungen (WPS) erstellt. Anschliessend reichten wir alle Unterlagen wie Berechnung, Zeichnung, Stückliste, Prüf- und Arbeitspläne, Schweißverfahrensprüfungen (PQR) sowie WPS'n zur Entwurfsprüfung (Design Review) beim NoBo ein. Dieser prüft und kommentiert die eingereichten Unterlagen. Abschliessend prüft der Authorized Inspector (AI) des NoBo's noch den Arbeitsplan (Traveler) und gibt diesen zusammen mit der Zeichnung und der Stückliste frei. Mit diesem Schritt erfolgt gleichzeitig die Freigabe zur Fertigung.

Bei diesem Projekt war uns klar, dass wir noch eine PQR schweißen müssen, welche wir zwar nach EN ISO 15614-1 bereits hatten, die nach ASME Section IX aber noch fehlte.

Hierbei ist zu beachten, dass sowohl die Schweißverfahrensprüfungen als auch die Schweißerprüfungen in voller Eigenverantwortung des Herstellers erfolgen. So haben wir die Verfahrensprüfung vor dem Fertigungsstart geschweisst und vom Labor erproben lassen. Dabei war es wichtig, dass wir als der Hersteller genau angeben, welche Prüfungen nach ASME Section IX durchgeführt werden sollen. Diese weichen, genauso wie der Geltungsbereich, teilweise erheblich von denen nach EN ISO 15614 ab. Mit der schnellen Durchführung der Prüfungen hat uns das Prüflabor bei der termingerechten Realisierung des Projektes sehr geholfen. Nach der Erprobung mussten wir den Prüfbericht noch gegenprüfen und freigeben.

In der Zwischenzeit wurde das Material beschafft. Wichtig bei der Beschaffung von ASME-Material ist, dass dies in der Bestellung korrekt nach Section II und dort wo erforderlich, nach Section VIII-1 spezifiziert wird. Letzteres betrifft z.B. Böden, Flansche, Fittinge und ähnliches.

Das gelieferte Material muss genau nach ASME mit Erzeugnisnorm, Werkstoff und Schmelznummer gestempelt bzw. markiert sein. Ein Beispiel ist in Abb. 5 dargestellt. Material ohne diese Stempelungen oder Angaben nur nach europäischem Standard ist unzulässig. Des Weiteren müssen auch die Materialprüfbescheinigungen bzw. Materialatteste alle erforderlichen Prüfungen nach ASME aufweisen. Hier ist z.B. auf die Elongation oder den Prüfdruck bei geschweißten Rohren zu achten.

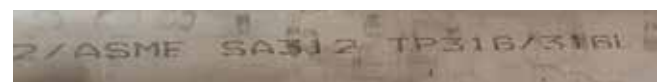


Abb. 5: Beispiel einer Materialstempelung

Nachdem Material und Verfahrensprüfung freigegeben waren, konnte es nun losgehen und die Produktion beginnen. Zeichnungen, Stückliste sowie Prüfplan waren in der Fertigung und das Vorgehen mit den Schweißern abgestimmt.



Im Gegensatz zu vielem anderen, welches sich zwischen ASME und anderen Regelwerken unterscheidet, bleibt die Physik des Schweißens naturgemäss immer gleich. Aus diesem Grund haben wir unsere Schweissanweisungen so kreiert, dass diese sowohl nach ASME als auch nach EN ISO 15609 konform sind. So können unsere Schweisser immer mit den gleichen WPS'n arbeiten und müssen sich nicht jedes Mal umstellen. Auch den Arbeitsplan haben wir weitestgehend vereinheitlicht. Mit diesem dokumentieren wir gleichzeitig, welcher Schweisser welche Naht geschweisst und wer diese geprüft hat.

Für das Schweißen stehen neben einer Vielzahl von Handschweisemaschinen auch Maschinen für das mechanisierte Schweißen von Längs-, Rund-, Rohrnähte sowie Orbital-schweisemaschinen für Rohrverbindungen und dem Schweißen von Rohr / Rohrplatten zur Verfügung. Als Schweissverfahren werden darauf WIG, Plasma und MSG eingesetzt. So wurden auch bei diesem Behälter die Längs- und Rundnähte mechanisiert geschweisst, während die Stutzen manuell eingeschweisst wurden. Bei Letzteren waren die dickwandigen, nahezu tangential eingesetzten Stutzen eine besondere Herausforderung. Mit dieser ist unser Schweisser, welcher dieses Objekt gebaut hat, aber sehr gut zurechtgekommen, er hat die Stutzen ohne Makel eingeschweisst (Abb. 6). Bei der Fertigung solcher Behälter ist die erforderliche Überwachung und Freigabe sowohl der gehefteten als auch der geschweissten Bauteile durch die Schweissaufsicht besonders zu beachten.



Abb. 6: Stutzeneinschweissung in Behälter

Wie bereits erwähnt wurde der Behälter mit einem Schweißnahtfaktor von 0.85 berechnet, wodurch der Prüfumfang der Längs- und Rundnähte auf innere volumetrische Unregelmäßigkeiten nach UW-52 zu wählen war. Das bedeutete eine Stichprobenprüfung («spot») dieser Nähte, wofür wir das Prüfverfahren RT nutzten.

Wir verfügen in der KASAG über die Möglichkeiten, Röntgenprüfungen selbst durchzuführen und zu bewerten. Zu beachten ist dabei, dass für ASME eine spezifische Zertifizierung des Prüfpersonals erforderlich ist.

Das der AI nach dem Schweißen der jeweiligen Naht festlegen muss, wo die Filme zu platzieren sind, ist eine weitere Besonderheit beim ASME gegenüber europäischen Regelwerken. Dieser Schritt, «selection of spot», ist bei jedem einzelnen Film einzuhalten.



Abb. 7: Schweißen einer Rundnaht

Bevor mit der zweiten Rundnaht der Behälter geschlossen wurde, erfolgte die «Inspection before closure» (Inspektion vor dem Schliessen) durch den AI. Dabei begutachtete er alle inneren Schweißnähte visuell.

Nach dieser Inspektion haben wir den Behälter innen einem Oxygen Cleaning unterzogen, was bei diesem Objekt erforderlich war, und anschliessend die zweite Rundnaht geschweisst (Abb. 7). Damit war der Behälter fertiggeschweisst.

Nun noch das Röntgen dieser Naht und fertig!

Jetzt konnte die Abnahme vorbereitet werden. Die PQR's, WPQ's, WPS'n und Materialatteste wurden schon vor Produktionsstart vorbereitet und geprüft. Nun wurden noch die Prüfprotokolle und der Manufacturer's Data Report (MDR) erstellt.

Während der Abnahme durch den AI erfolgt zum einen die Bau- und Druckprüfung mit der Kontrolle der allgemeinen Beschaffenheit, der Schweißnähte, der Schweißnahtdimensionen und der Materialstempelungen. Zum anderen wurden der Arbeitsplan, die Materialliste, Materialatteste, Prüfprotokolle und Kalibrierungen der Prüfmittel kontrolliert. Zum Schluss wird der MDR finalisiert und vom Quality Control Manager (QCM) sowie dem AI unterschrieben. Beim MDR ist es besonders wichtig, dass das Format mit Form, Schriftgrösse u.ä. stimmt. Sollte es dort Abweichungen geben, werden MDR's mit NB-Registration konsequent an den Hersteller zurück zur Korrektur geschickt.

Wenn der MDR nun also unterschrieben ist, ist der Behälter damit abgenommen und das Typenschild kann mit dem ASME-Certification Mark gestempelt werden.



Abb. 8: Fertiggestellter Behälter

Danach erfolgte noch die Reinigung des kompletten Behälters nach Oxygen Cleaning Standard und die Vorbereitung für die Warenausgangskontrolle. Bei dieser führten wir nochmals eine letzte Sichtkontrolle durch (Abb. 8), bevor der Behälter verpackt und zum Kunden verschickt wurde. Parallel dazu stellten wir die Dokumentation fertig und legten diese bei.

So konnte der Auftrag zur Zufriedenheit unseres Kunden sowie zum Stolz unserer Mitarbeiter durchgeführt und abgeschlossen werden. Und nun, nach der Fertigstellung des Auftrages konnte ich dann doch wieder vom Naturparadies Neuseelands träumen!

Das Beispiel dieses Projektes hat gezeigt, dass bei den Anforderungen der Regelwerke alles mit allem zusammenhängt und sich gegenseitig beeinflusst. Dies zu meistern und umzusetzen ist eine Spezialität der KASAG Swiss AG. Weiteres zum Thema wird im «Vortrag des Monats» am 15. Oktober 2020 beim SVS in Basel behandelt und im CAS «Verfahrenstechnischer Maschinen- und Apparatebau» der HSLU Horw geschult.

#### Quellen

- [1] Health and Safety in Employment (Pressure Equipment, Cranes, and Passenger Ropeways) Regulations 1999 (SR 1999/128)
- [2] Guideline "A general guide to the health and safety in employment (pressure equipment, cranes, and passenger ropeways) regulations 1999"
- [3] ASME Section VIII, Division 1, ASME Boiler and Pressure Vessel Code
- [4] [www.asme.org](http://www.asme.org)

#### Abkürzungsverzeichnis:

AI	Authorized Inspector / Autorisierter ASME-Inspektor
AIA	Authorized Inspection Agency / Autorisierte Inspektionsgesellschaft
ASME	American Society of Mechanical Engineers / Amerikanische Gesellschaft der Maschinenbau-Ingenieure
ASTM	American Society for Testing Materials / Amerikanische Gesellschaft für Werkstoffprüfung
EAC	Konformitätskennzeichen der Eurasischen Wirtschaftsunion (Russland, Kasachstan, etc.)
MDR	Manufacturer's Data Report / Bauprüfbescheinigung des Herstellers
NB	National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors / Anmeldebehörde in den USA
NoBo	Notified Body / Benannte Stelle
PECPR	Health and Safety in Employment (Pressure Equipment, Cranes, and Passenger Ropeways) Regulations 1999
QCM	Quality Control Manager / Qualitätsstellenleiter
RT	Radiographic Testing / Röntgenprüfung
PED	Pressure Equipment Directive / Druckgeräterichtlinie (DGRL)
PQR	Procedure Qualification Record / Schweißverfahrenprüfbericht
UT	Ultrasonic Testing / Ultraschallprüfung
WPQ	Welders Performance Qualification / Schweißerprüfbescheinigung
WPS	Welding Procedure Specification / Schweißanweisung
ZfP	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung