

# AD 2000-Merkblatt

ICS 23.020.30

Ausgabe April 2015

<b>Herstellung und Prüfung von Druckbehältern</b>	<b>Zerstörungsfreie Prüfung der Schweißverbindungen Verfahrenstechnische Mindest- anforderungen für die zerstörungsfreien Prüfverfahren</b>	<b>AD 2000-Merkblatt HP 5/3 Anlage 1</b>
---	---	--

Die AD 2000-Merkblätter werden von den in der „Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter“ (AD) zusammenarbeitenden, nachstehend genannten sieben Verbänden aufgestellt. Aufbau und Anwendung des AD 2000-Regelwerkes sowie die Verfahrensrichtlinien regelt das AD 2000-Merkblatt G 1.

Die AD 2000-Merkblätter enthalten sicherheitstechnische Anforderungen, die für normale Betriebsverhältnisse zu stellen sind. Sind über das normale Maß hinausgehende Beanspruchungen beim Betrieb der Druckbehälter zu erwarten, so ist diesen durch Erfüllung besonderer Anforderungen Rechnung zu tragen.

Wird von den Forderungen dieses AD 2000-Merkblattes abgewichen, muss nachweisbar sein, dass der sicherheitstechnische Maßstab dieses Regelwerkes auf andere Weise eingehalten ist, z. B. durch Werkstoffprüfungen, Versuche, Spannungsanalyse, Betriebserfahrungen.

FDBR e. V. Fachverband Anlagenbau, Düsseldorf

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin

Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI), Frankfurt/Main

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA), Fachgemeinschaft Verfahrenstechnische Maschinen und Apparate, Frankfurt/Main

Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf

VGB PowerTech e. V., Essen

Verband der TÜV e. V. (VdTÜV), Berlin

Die AD 2000-Merkblätter werden durch die Verbände laufend dem Fortschritt der Technik angepasst. Anregungen hierzu sind zu richten an den Herausgeber:

**Verband der TÜV e. V., Friedrichstraße 136, 10117 Berlin.**

## Inhalt

	Seite
0 Präambel .....	2
1 Vorbemerkung .....	2
2 Durchstrahlungsprüfung (RT) .....	2
3 Ultraschallprüfung (UT) .....	2
4 Magnetpulverprüfung (MT) .....	5
5 Eindringprüfung (PT) .....	5
6 Sonstige Verfahren .....	5

Ersatz für Ausgabe Januar 2002; | = Änderungen gegenüber der vorangehenden Ausgabe

Die AD 2000-Merkblätter sind urheberrechtlich geschützt. Die Nutzungsrechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, die Wiedergabe auf fotomechanischem Wege und die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei auszugsweiser Verwertung, dem Urheber vorbehalten.

## 0 Präambel

Zur Erfüllung der grundlegenden Sicherheitsanforderungen der Druckgeräte-Richtlinie kann das AD 2000-Regelwerk angewandt werden, vornehmlich für die Konformitätsbewertung nach den Modulen „G“ und „B + F“.

Das AD 2000-Regelwerk folgt einem in sich geschlossenen Auslegungskonzept. Die Anwendung anderer technischer Regeln nach dem Stand der Technik zur Lösung von Teilproblemen setzt die Beachtung des Gesamtkonzeptes voraus.

Bei anderen Modulen der Druckgeräte-Richtlinie oder für andere Rechtsgebiete kann das AD 2000-Regelwerk sinngemäß angewandt werden. Die Prüfständigkeit richtet sich nach den Vorgaben des jeweiligen Rechtsgebietes.

## 1 Vorbemerkung

Dieses AD 2000-Merkblatt beschreibt die verfahrenstechnischen Mindestanforderungen und enthält einige Beispiele für die Bewertung von Prüfergebnissen.

## 2 Durchstrahlungsprüfung (RT)

Für die Durchführung der Durchstrahlungsprüfung gelten die Regelungen der DIN EN ISO 17636-1.

Die in den Tafeln 1b, 2b und 3b des AD 2000-Merkblatts HP 0 geforderten Prüfklassen entsprechen für die Durchstrahlungsprüfung den Klassen nach DIN EN ISO 17636-1.

## 3 Ultraschallprüfung (UT)

### 3.1 Stumpfnähte

#### 3.1.1 Prüfklassen

Bei der Längsfehlerprüfung nach Prüfkategorie A genügt es im Allgemeinen, die Prüfung der Schweißnaht nur von einer Oberfläche und einer Nahtseite aus (Position 1, 2, 3 oder 4 in Bild 1) mit nur einem Prüfwinkel vorzunehmen.

Zur Querschnittsprüfung ist von der Nahtoberfläche aus einzuschallen (Position 1 und 2 in Bild 2). Wenn dies wegen der Rauigkeit der Decklage nicht möglich ist, darf von der Grundwerkstoffoberfläche aus eingeschallt werden (Position 3 und 4 oder 5 und 6 in Bild 2).

Bei der Prüfkategorie B muss die Schweißnaht von beiden Nahtseiten geprüft werden (für die Längsfehlerprüfung nach den Positionen 1 und 2 oder den Positionen 3 und 4 nach Bild 1, für die Querschnittsprüfung nach den Positionen 1 und 2 in Bild 2). Wenn dies wegen der Rauigkeit der Decklage nicht möglich ist, darf von der Grundwerkstoffoberfläche aus geprüft werden (Position 3 bis 6 in Bild 2).

Bei Prüfkategorie C ist die Längsfehlerprüfung wie bei Prüfkategorie B, die Querschnittsprüfung von der Nahtoberfläche aus, d. h. von den Positionen 1 und 2 in Bild 2 aus, durchzuführen. Dazu muss gegebenenfalls die Ankopplung durch Bearbeiten der Deckraupe ermöglicht werden. Diese Bearbeitung ist bereits vor der Längsfehlerprüfung vorzunehmen. Bei Wanddicken > 100 mm ist zusätzlich eine Prüfung nach der Tandem-Methode auf Längs- und Querschnittsprüfung vorzunehmen.

#### 3.1.2 Einschallwinkel

Bei Prüfflächen, die in Prüfrichtung nicht gekrümmt sind, sollte der Einschallwinkel nicht kleiner als 45 Grad sein. Bei den Prüfkategorien A und B und bei der Prüfkategorie C im Wanddickenbereich  $\leq 40$  mm ist durch geeignete Wahl des Einschallwinkels sicherzustellen, dass die Auftreffwinkel an den zu prüfenden Oberflächen 70 Grad nicht überschreiten.

Auftreffwinkel sind die Winkel zwischen Hauptstrahl und Oberflächennormale am Auftreffpunkt (Beispiel Winkel  $\beta_1$  und  $\beta_2$  in Bild 4). Falls erforderlich, sind zur Erfüllung dieser Bedingung für den Auftreffwinkel entsprechende Einschallwinkel einzusetzen, oder es ist auch von weiteren Prüfflächen aus einzuschallen.

Bei Wanddicken > 40 mm ist – soweit es die Geometrie der Naht zulässt – für die Längs-, Schräg- und Querschnittsprüfung ein Winkelprüfkopf zu verwenden, mit dem die oberflächennahen Zonen mit Auftreffwinkeln < 60 Grad erfasst werden. Zusätzlich ist in der Prüfkategorie C bei diesen Wanddicken ein Winkelprüfkopf zu verwenden, dessen Hauptstrahl möglichst senkrecht auf flächenhafte, senkrecht zur Oberfläche verlaufende Fehler auftrifft. Ergibt es sich, dass diese Bedingungen am besten unter Senkrechteinschallung zu erfüllen sind, ist hierfür ein Senkrechteprüfkopf zu verwenden.

Wenn auf senkrecht oder annähernd senkrecht zur Oberfläche verlaufende Fehler nach dem Tandemverfahren geprüft wird, so ersetzt diese Prüfung den zuvor geforderten zusätzlichen Einschallwinkel.

#### 3.1.3 Breite der Prüffläche

Die Breite des als Prüffläche vorzubereitenden Oberflächenstreifens ergibt sich aus der Forderung, dass die Längsfehlerprüfung bei jedem Volumenelement der Schweißnahtzone in den Bereichen von mindestens zwei halben Sprungabständen durchzuführen ist, sofern nicht durch Einschallen von einer anderen Oberfläche aus unter einem entsprechenden zweiten Einschallwinkel geprüft wird.

Bei Wanddicken  $> 40$  mm und Prüfklasse C ergibt sich die Breite der Prüffläche aus der Forderung, dass der Auswertebereich beim kleineren Einschallwinkel den ganzen Sprungabstand und beim großen Einschallwinkel den halben Sprungabstand umfasst.

Zur Schweißnahtzone gehören das Schweißgut und der beiderseits angrenzende Grundwerkstoff in einer Breite von

- je 10 mm bei Wanddicken  $\leq 30$  mm,
- je  $\frac{1}{2}$  der Wanddicke bei Wanddicken  $> 30$  bis  $\leq 60$  mm,
- je 20 mm bei Wanddicken  $> 60$  mm.

## 3.2 Stutzen- und Anschweißnähte

**3.2.1** Bei der Prüfung sind das Schweißgut und der angrenzende Grundwerkstoff so weit wie möglich zu erfassen.

**3.2.2** Bei der Längsfehlerprüfung genügt bei Prüfklasse A die Prüfung von einer Nahtseite mit einem Einschallwinkel (z. B. Positionen 1 oder 2 nach Bild 5).

Bei Prüfklasse B und C erfolgt die Prüfung von beiden Nahtseiten mit einem Einschallwinkel (z. B. Position 1 und 2 nach Bild 5).

Zusätzlich ist bei Wanddicken  $s > 40$  mm bei Prüfklasse C eine weitere Einschallposition (z. B. Position 3 nach Bild 5) anzuwenden.

Bei der Längsfehlerprüfung sind das Schweißgut und der angrenzende Grundwerkstoff so weit wie möglich im ganzen Sprungabstand zu erfassen.

**3.2.3** Bei der Querfehlerprüfung genügt bei Prüfklasse A und B und bei Prüfklasse C mit Wanddicken  $s \leq 40$  mm die Prüfung im spitzen Winkel, im halben Sprungabstand, mit einem Einschallwinkel und von einer Oberfläche aus (z. B. Position 4 und 5 nach Bild 5).

Bei Prüfklasse C mit Wanddicken  $s > 40$  mm ist zusätzlich eine Prüfung von einer weiteren Oberfläche aus erforderlich (z. B. Position 6 und 7 nach Bild 5).

**3.2.4** Falls aufgrund der geometrischen Bedingungen am Bauteil eine andere als in Bild 5 dargestellte Einschallposition im Hinblick auf die Prüfaussage günstiger ist, soll diese Einschallposition angewendet werden.

## 3.3 Prüfrichtung

Neben den besonders sorgfältig zu erfassenden Richtungen für die Längs- und Querfehlerprüfung sind auch alle zwischen diesen Richtungen liegenden Seitenrichtungen im Hinblick auf mögliche Fehlerorientierungen zu berücksichtigen und dementsprechend alle Prüfrichtungen anzuwenden. Hierzu genügt es, neben der Hin- und Herbewegung des Prüfkopfes für die Längs- und Querfehlerprüfung diesen Vorgang unter fächerndem Schwenken zu wiederholen.

Bei gekrümmten Oberflächen ist wegen der ständig wechselnden Ankopplungsbedingungen auf ausreichende Ankopplung zu achten. Bei Großbadschweißungen (z. B. Elektroschlackeschweißnähten) ist noch eine zusätzliche Prüfrichtung auf Schrägfehler unter einem Seitenwinkel von 45 Grad erforderlich (Bild 3).

Bei Rundnähten mit Durchmesser  $\leq 101,6$  mm entfällt die Querfehlerprüfung.

## 3.4 Oberflächenzustand

Die Ankopplungsflächen dürfen keine Erhebungen oder Vertiefungen aufweisen, damit der Prüfkopf an jeder Stelle satt aufliegt und nicht kippen kann und der Einschallwinkel eindeutig festliegt. Die Ankopplungsfläche muss frei von Rost, Zunder, Schweißspritzern und sonstigen, die Ankopplung störenden Verunreinigungen sein. Riefen senkrecht zum Hauptstrahl, welche die Prüfungen wesentlich beeinträchtigen, müssen beseitigt werden.

## 3.5 Prüffrequenzen

Im Allgemeinen ist bei Wanddicken  $\leq 40$  mm eine Frequenz von 4 MHz und bei Wanddicken  $> 40$  mm eine Frequenz von 2 MHz anzuwenden.

## 3.6 Empfindlichkeitsjustierung

### 3.6.1 Registriergrenze

#### 3.6.1.1 AVG-Methode

Für die Senkrecht- und Winkelschallung gelten für nicht formbedingte Echos jeweils die Echohöhen der in Tafel 1 angegebenen Kreisscheibenreflektoren.

Für die Tandemprüfung gilt die Echohöhe eines Kreisscheibenreflektors von 6 mm Durchmesser.

**Tafel 1 — Registriergrenze in Abhängigkeit von der verschweißten Wanddicke für Längs- und Querfehler**

$r^{1)2)}$ oder $a^{2)}$ mm	Durchmesser des Kreisscheibenreflektors mm			
	Eisenwerkstoffe		Aluminiumwerkstoffe	
	Winkel- einschallung	Senkrecht- einschallung	Winkel- einschallung	Senkrecht- einschallung
$\leq 15$	1,0	2,0	1,0	2,0
$> 15 \text{ bis } \leq 20$	1,5	2,0	1,5	2,0
$> 20 \text{ bis } \leq 40$	2,0	2,0	2,0	2,0
$> 40$	3,0	3,0	2,0	3,0

1) Siehe AD 2000-Merkblatt HP 5/3 Bild 1 bis 3.  
2) Bei unterschiedlichen verschweißten Wanddicken ist die kleinere ohne Berücksichtigung der Raupenhöhe maßgebend.

### 3.6.1.2 Vergleichskörper- oder Vergleichslinienmethode

Es gilt eine Anzeighöhe von 50 % (Verstärkungszuschlag: 6 dB) der Echohöhe der in Bild 6 angegebenen Justierreflektoren.

### 3.6.2 Absenken der Registriergrenze bei Querfehlerprüfung

Treten bei der Querfehlerprüfung nicht voneinander trennbare Echoanzeigen (Anzeigenscharen) auf, so ist die Prüfempfindlichkeit so einzustellen, dass Anzeigen registriert werden, die bei Anwendung der AVG-Methode die Echohöhe eines Kreisscheibenreflektors mit einem Durchmesser von 1 mm überschreiten oder bei Anwendung der Vergleichskörper- oder Vergleichslinienmethode bis zu 12 dB unterhalb der vorgegebenen Registriergrenze liegen.

### 3.6.3 Transferkorrektur

Die in Abschnitt 3.6.1 angegebenen Grenzwerte für die Registrierung gelten nur nach Anwendung der Transferkorrektur zur Berücksichtigung der wechselnden Ankopplungs- und Schwächungsbedingungen im Prüfstück oder der Unterschiede gegenüber dem Justierkörper. Diese Korrektur ist an verschiedenen Stellen zu kontrollieren, wobei insbesondere auf die Schallweganteile im Schweißgut und die Gleichmäßigkeit der Oberflächenbedingungen zu achten ist.

Für die Prüfung von Stutzen- und Anschweißnähten sind die an vergleichbaren Stellen des Bauteils ermittelten Transferkorrekturen anzuwenden.

## 3.7 Formbedingte Reflexionsstellen

Für Formechos, die an Raupenflanken entstehen können (Bild 7, Stellung 1), gilt der Nachweis als erbracht, wenn vom mutmaßlichen Ort des Reflektors bei Einschallung von der anderen Seite der Schweißverbindung (Bild 7, Stellung 2) kein Echo angezeigt wird.

Zum Nachweis von Formechos an Schweißnähten mit schmalen Wurzeln soll ein Testkörper gleicher Dicke, Schallgeschwindigkeit und gegebenenfalls Krümmung wie der Prüfgegenstand mit einer  $1 \times 1$  mm Rechtecknut verwendet werden. Die Lage der maximalen Echohöhe der Nut wird auf dem Bildschirm markiert. Der verkürzte Projektionsabstand wird am Testkörper gemessen (Bild 8 a und b). Die zu untersuchenden Reflektoren werden gemäß Bild 8 c und d so angeschallt, dass die dabei auftretenden Echoanzeigen mit ihrem Fußpunkt – ohne Berücksichtigung des Echomaximums – mit der zuvor ermittelten Bildschirmmarkierung in Deckung gebracht werden (Bild 8 e). Das nach Bild 8 a ermittelte Maß für den verkürzten Projektionsabstand  $a'$  wird auf der Oberfläche markiert (Bild 8 c). Falls nichts anderes vereinbart, gilt der Nachweis als erbracht, wenn die beiden Markierungen mindestens 3 mm Abstand haben. Andernfalls dürfen die Echoanzeigen nicht als Formechos klassifiziert werden (Bild 8 d).

Bei Kehlnähten mit Anzeigen vom Wurzelspalt ist entsprechend zu verfahren, wenn der Wurzelspalt nicht als Anpassfehler zu beurteilen ist.

Bei Stutznähten mit konstruktiv unverschweißten Spalten gilt es als Fehler, wenn sich beim Prüfen aufgrund des Halbwertspiels ergibt, dass die Tiefenausdehnung des Spaltes um mehr als 3 mm größer sein kann, als konstruktiv vorgesehen ist. Es empfiehlt sich, ein entsprechendes Teststück zu verwenden.

## 3.8 Ausdehnung von Reflexionsstellen

Bei Überschreitung der Registriergrenze wird die Länge von Reflexionsstellen durch den Prüfkopf Abstand gegeben, bei dem die Echohöhen um die in Tafel 2 angegebenen dB-Werte unter die Registriergrenze nach Abschnitt 3.6.1 abgefallen sind.

Bei Registrierlängen über 10 mm sind die Längen anzugeben. Punktförmige registrierpflichtige Anzeigen werden mit  $\leq 10$  mm protokolliert.

Wenn die Echohüllkurve bei der Prüfkopfverschiebung deutlich ein Plateau erkennen lässt oder durch andere Merkmale der Hinweis auf einen flächenhaften Charakter gegeben ist, so ist dies im Prüfbericht zu vermerken.

**Tafel 2 — Echohöhenunterschreitung zur Bestimmung der Registrierlänge<sup>1)</sup>**

$t$ oder $a^{2)}$ mm	Echohöhenunterschreitung der Registriergrenze dB
$\leq 10$	0
$> 10$ bis $\leq 40$	6
$> 40$	12

1) Die Genauigkeit der Messung der Registrierlänge darf durch zusätzliche Prüfköpfe und unter Berücksichtigung der Schallbündelöffnung gesteigert werden, z. B. Prüfköpfe mit höheren Prüfgrenzen oder fokussierte Prüfköpfe.  
2) Siehe AD 2000-Merkblatt HP 5/3 Bild 1 bis 3.

## 4 Magnetpulverprüfung (MT)

Die Durchführung der Magnetpulverprüfung hat als Nassprüfung nach DIN EN ISO 17638 und den ergänzenden Festlegungen der Abschnitte 4.1 und 4.2 zu erfolgen.

### 4.1 Oberflächenvorbereitung

Besteht der Verdacht auf das Vorhandensein von Rissen oder haben sich bereits Risse gezeigt, sind die Prüfungen an überschleiften Oberflächen vorzunehmen.

### 4.2 Kontaktstellen bei Selbstdurchflutung

**4.2.1** Wird mittels Selbstdurchflutung geprüft, sollen nach Möglichkeit abschmelzende Elektroden (z. B. Blei-Zinn-Legierungen) verwendet werden. Es ist sicherzustellen, dass in den Kontaktbereichen Überhitzungen des zu prüfenden Werkstoffes vermieden werden.

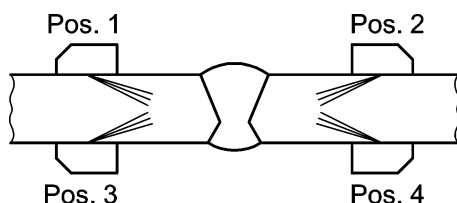
**4.2.2** Sind dennoch Überhitzungsbereiche entstanden, so sind sie zu kennzeichnen, nach Abschluss der Prüfung zu überschleifen und einer Magnetpulverprüfung mittels Jochmagnetisierung zu unterziehen.

## 5 Eindringprüfung (PT)

Die Durchführung der Prüfung hat nach DIN EN ISO 3452-1 zu erfolgen. Die Kontrolle der Prüfmittel und des Prüfmittelsystems erfolgt nach DIN EN ISO 3452-2.

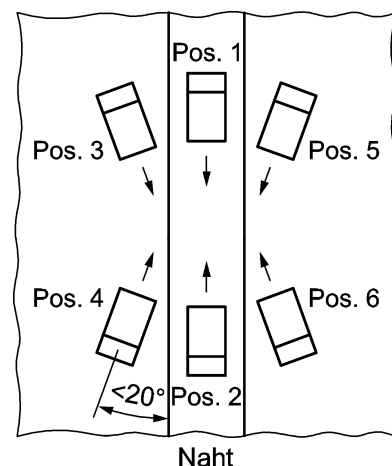
## 6 Sonstige Verfahren

Werden andere als die unter Abschnitt 4 und 5 behandelten Verfahren angewendet, sind die Anforderungen mit den Beteiligten abzustimmen.



**Bild 1 — Prüfkopfpositionen für die Längsfehlerprüfung**

Prüfklasse A: Pos. 1, 2, 3 oder 4  
Prüfklasse B und C: Pos. 1 und 2 oder Pos. 3 und 4



**Bild 2 — Prüfkopfpositionen für die Querschnittprüfung**

Prüfklasse A: Pos. 3 und 4 oder Pos. 5 und 6, falls Pos. 1 und 2 nicht möglich  
Prüfklasse B: Pos. 3 bis 6, falls Pos. 1 und 2 nicht möglich  
Prüfklasse C: Pos. 1 und 2

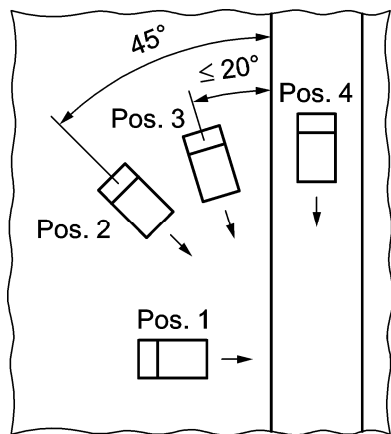


Bild 3 — Prüfkopfpositionen bei Längs-, Schräg- und Querfehlern

Pos. 1: Längsfehler  
Pos. 2: Schrägfehler  
Pos. 3 oder 4: Querfehler

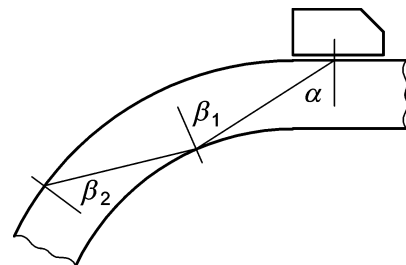
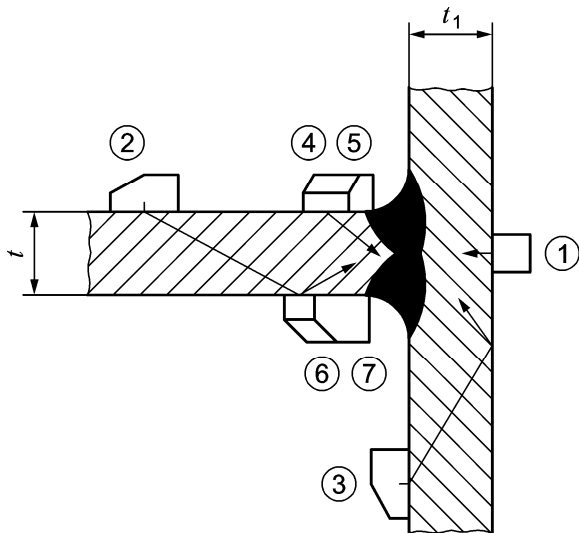


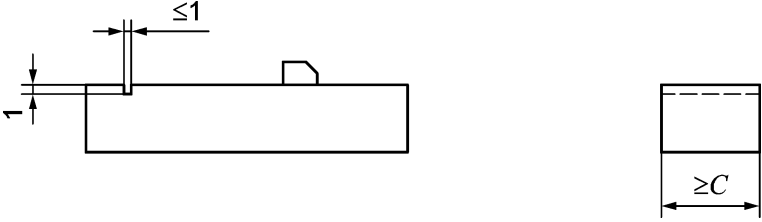
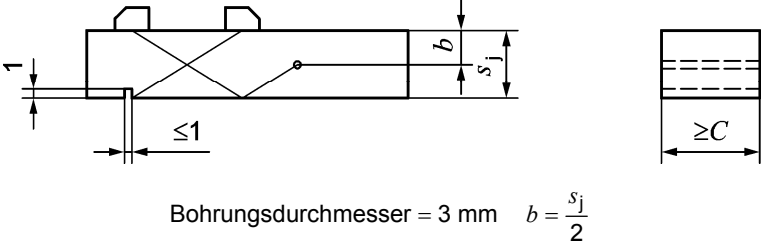
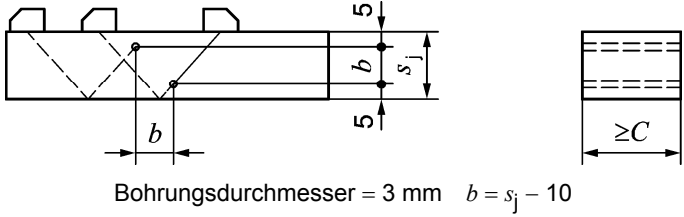
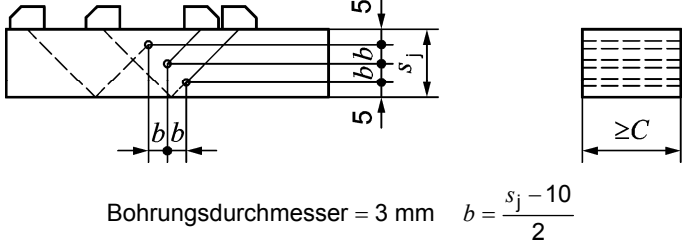
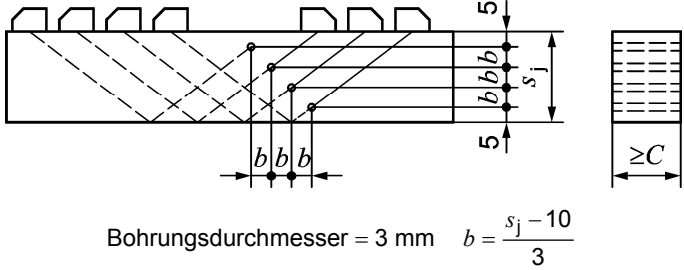
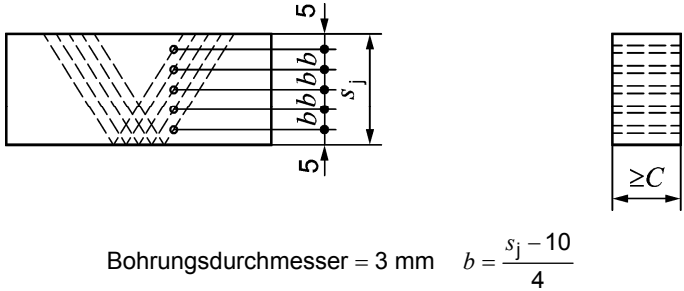
Bild 4 — Auftreffwinkel bei in Prüfrichtung gekrümmter Werkstoffgeometrie



4, 5 Querfehlerprüfung in zwei gegensinnigen  
6, 7 Prüfrichtungen mit Anstellwinkel zur Naht

Prüf- klasse	Wanddicke $t, t_1$ mm	Einschallposition	
		Längsfehler- prüfung	Querfehler- prüfung
A	alle	1 oder 2	4 und 5
B	alle	1 und 2	4 und 5
C	≤ 40	1 und 2	4 und 5
	> 40	1 und 2 und 3	4 und 5 und 6 und 7

Bild 5 — Einschallpositionen für die Ultraschallprüfung von Stutzen- und Anschweißnähten

$s \leq 10$	
$10 < s \leq 15$	 <p>Bohrungsdurchmesser = 3 mm <math>b = \frac{s_j}{2}</math></p>
$15 < s \leq 20$	 <p>Bohrungsdurchmesser = 3 mm <math>b = s_j - 10</math></p>
$20 < s \leq 40$	 <p>Bohrungsdurchmesser = 3 mm <math>b = \frac{s_j - 10}{2}</math></p>
$40 < s \leq 80$	 <p>Bohrungsdurchmesser = 3 mm <math>b = \frac{s_j - 10}{3}</math></p>
$80 < s$	 <p>Bohrungsdurchmesser = 3 mm <math>b = \frac{s_j - 10}{4}</math></p>

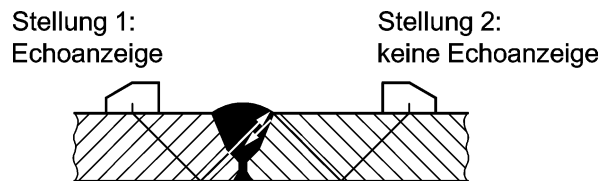
**Bild 6 — Justier- oder Vergleichskörper zur Empfindlichkeitsjustierung bei der Schrägeinschallung**

$$C = \frac{2s_{\max} \times \lambda}{D} \text{ [mm]}$$

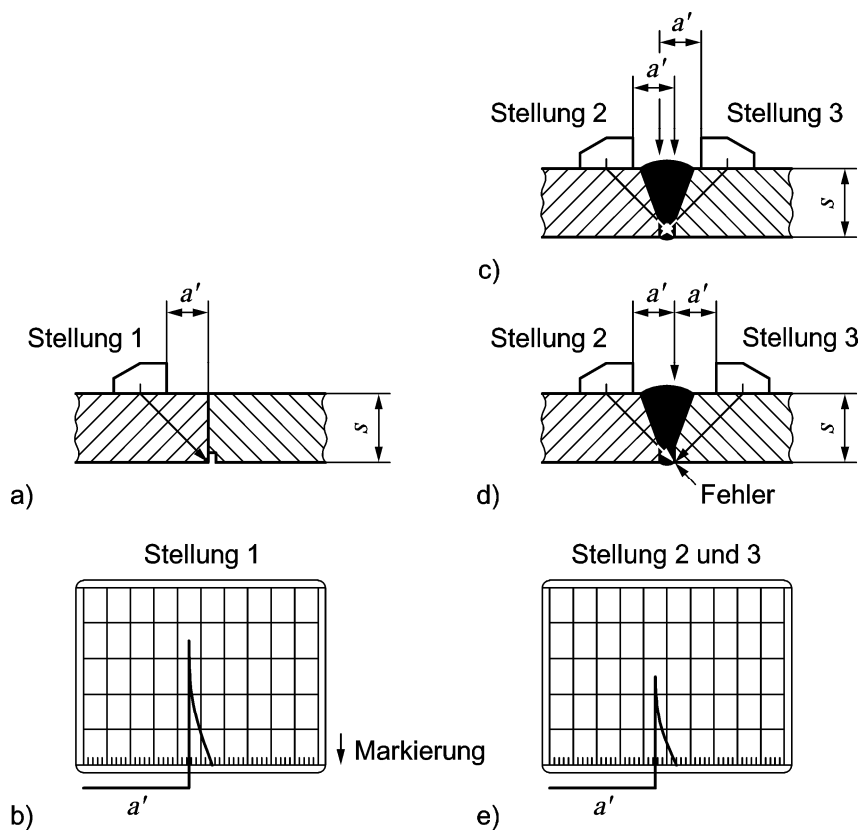
$s_{\max}$ : maximaler Schallweg zum Vergleichsreflektor [mm]

$\lambda$ : Wellenlänge [mm]

$D$ : Schwingergröße quer zur Einschallrichtung [mm]



**Bild 7 — Beispiel zum Nachweis eines Formechos**



**Bild 8 — Nachweis von Formechos durch Vergleich mit der Echoanzeige einer Nut**

Herausgeber:



Verband der TÜV e.V.

E-Mail: [berlin@vdtuev.de](mailto:berlin@vdtuev.de)  
<http://www.vdtuev.de>

Bezugsquelle:

**Beuth**

Beuth Verlag GmbH  
 10772 Berlin  
 Tel. 030 / 26 01-22 60  
 Fax 030 / 26 01-12 60  
[kundenservice@beuth.de](mailto:kundenservice@beuth.de)  
[www.beuth.de](http://www.beuth.de)