

Zentralverband
Elektrotechnik- und
Elektronikindustrie e.V.



**Fügen von Formteilen
und Halbzeugen
aus thermoplastischen Kunststoffen
mit Ultraschall**

Verfahrens-, Konstruktions-
und Anwendungsempfehlungen

Zentralverband
Elektrotechnik- und
Elektronikindustrie e.V.



**Fügen von Formteilen
und Halbzeugen
aus thermoplastischen Kunststoffen
mit Ultraschall**

Verfahrens-, Konstruktions-
und Anwendungsempfehlungen

Zu beziehen durch:

ZVEI, Zentralverband Elektrotechnik- und
Elektronikindustrie e.V.
Stresemannallee 19
6000 Frankfurt (Main) 70
Tel. 0 69 / 6 30 22 73
Telex 411 035

Vorwort

Die Empfehlungen zum »Fügen von Formteilen und Halbzeugen aus thermoplastischen Kunststoffen mit Ultraschall« wurde durch eine Arbeitsgruppe, bestehend aus Herstellern von Ultraschallschweißgeräten, Rohstoffherstellern und Anwendern, unter Federführung des ZVEI (Zentralverband der elektrotechnischen Industrie e.V.) erstellt.

Die Ultraschall-Verbindungstechnik von thermoplastischen Formteilen wird in der Industrie auf breiter Ebene eingesetzt. Die hierbei gesammelten Erfahrungen ließen es vorteilhaft erscheinen, dieses Wissensgut in einer Richtlinie zusammenzutragen. Um die Übersichtlichkeit nicht zu verlieren, wurden Ausnahmefälle in der Anwendungstechnik nicht berücksichtigt.

Die Empfehlungen sollen eine Hilfestellung bei der Anwendung der Ultraschall-Kunststoff-Verbindungstechnik sein und dazu beitragen, Unklarheiten zu beseitigen und mögliche Fehler zu vermeiden.

Bei kritischen Anwendungsfällen wird empfohlen, Kontakt mit den Ultraschall-Geräte- bzw. Rohstoffherstellern aufzunehmen.

Alle Angaben wurden nach bestem Wissen gemacht, jedoch können Verpflichtungen irgendwelcher Art nicht daraus abgeleitet werden.

Beteiligte Firmen:

BASF AG, Ludwigshafen
Bayer AG, Leverkusen
Robert Bosch GmbH, Stuttgart
Branson Schallkraft GmbH, Heusenstamm
Herfurth GmbH, Hamburg
Herrmann Ultraschalltechnik GmbH, Karlsbad-Ittersbach
Hoechst AG, Frankfurt/M
KLN-Ultraschall GmbH, Heppenheim
Philips AG, Eindhoven
Siemens AG, Erlangen, München
Rinco Ultrasonics, CH-Arbon

Inhalt

1. Allgemeines (Grundlagen)

2. Verfahren

Ultraschallschweißen von Formteilen und Halbzeugen aus thermoplastischen Kunststoffen
Weitere Einsatzmöglichkeiten

3. Aufbau eines Ultraschall-Schweißgerätes

- 3.1 Gerätearten
 - 3.1.1 Manuell betätigte Geräte
 - 3.1.2 Pneumatisch betätigte Geräte (Standardgeräte)
 - 3.1.3 Sondermaschinen und Anlagen
- 3.2. Beschreibung der Einzelkomponenten und ihrer Wirkungsweise
 - 3.2.1 Generator
 - 3.2.2 Mechanische Resonanzeinheit des Ultraschallsystems
 - 3.2.2.1 Transformationsstück
 - 3.2.2.2 Sonotrode
 - 3.2.3 Aufnahmewerkzeug (Amboß)
- 3.3 Einstellmöglichkeiten der Schweißparameter am Schweißgerät
 - 3.3.1 Schweiß- und Haltezeit
 - 3.3.2. Einschaltzeitpunkt für den Ultraschall
 - 3.3.3 Anpreßkraft
 - 3.3.4 Hubeinstellung und Hubgeschwindigkeit
 - 3.3.5 Wegabhängige Steuerung

4. Verfahrensschritte zum Optimieren der Schweißparameter

- 4.1 Festlegen der Amplitude
- 4.2 Angleichen der Anpreßkraft an die Amplitude und die Generatorausgangsleistung
- 4.3 Einstellen des Ultraschall-Einschaltzeitpunktes (Triggerung)
- 4.4 Einstellen der Aufsetzgeschwindigkeit der Sonotrode
- 4.5 Einstellen der Schweißzeit
- 4.6 Einstellen der Haltezeit

5. Rohstoffbedingte Einflüsse für das Schweißverhalten von thermoplastischen Kunststoffen

- 5.1 Dichte
- 5.2 Schubmodul G' und mechanischer Verlustfaktor $\tan \delta$ in Abhängigkeit von der Temperatur
- 5.3 Schmelzwärme bzw. Wärmehalt und spezifische Wärmekapazität c_p
- 5.4 Schmelzbereich bzw. thermoplastischer Bereich
- 5.5 Schallgeschwindigkeit
- 5.6 Schmelzeviskosität
- 5.7 Verstärkungstoffe, Füllstoffe und andere Zusätze

6. Einfluß der Herstellungsbedingungen der Formteile auf das Schweißverhalten

- 6.1 Spritzgegossene Formteile
 - 6.1.1 Feuchtigkeitseinfluß
 - 6.1.2 Einfluß der Verarbeitungsbedingungen
 - 6.1.3 Mindestlagerdauer
 - 6.1.4 Regenerat
 - 6.1.5 Formtrennmittel, Verunreinigungen
- 6.2 Extrudiertes Halbzeug und blasgeformte Formteile

7. Konstruktive Gestaltung der Formteile

- 7.1 Konstruktion der Formteile
 - 7.1.1 Ausrunden von Ecken und Kanten
 - 7.1.2 Lage der Fügefläche und die Entfernung zur Sonotrode
 - 7.1.3 Größe und Ausbildung der Fügefläche
 - 7.1.4 Energierichtungsgeber (ERG)
 - 7.1.5 Zentrierung der Formteile
 - 7.1.6 Freier Einsinkweg des Oberteiles
 - 7.1.7 Mitschwingen von Rippen, Laschen, Bolzen und anderen Funktionselementen

- 7.1.8 Lösen von Partikeln beim Schweißen
- 7.1.9 Auflage im Aufnahmewerkzeug
- 7.1.10 Ankoppelfläche der Sonotrode
- 7.2 Fügeflächegeometrie
 - 7.2.1 Fügeflächenausbildung mit kegel- und noppenförmigen Energierichtungsgebern
 - 7.2 Fügeflächenausbildung mit dachförmigen Energierichtungsgebern
 - 7.2.3 Fügeflächenausbildung mit Quetschnähten

8. Anwendungshinweise zu den einzelnen Fügeverfahren

- 8.1 Schweißen mit Ultraschall
 - 8.1.1 Nahfeldschweißen (direktes Ultraschallschweißen)
 - 8.1.2 Fernfeldschweißen (indirektes Ultraschallschweißen)
 - 8.1.3 Schweißen mit eingelegter Dichtung
 - 8.1.4 Schweißen von Formteilen – spritzgegossen, extrudiert, blasgeformt, thermogeformt – mit Halbzeugen bzw. Folien.
 - 8.1.5 Schweißen von Formteilen – Kombination spritzgegossener, extrudierter bzw. thermogeformter Teile
 - 8.1.6 Punktschweißen
 - 8.1.7 Nahtschweißen und Nähen
 - 8.1.8 Schweißen beschichteter Pappen oder Gewebe
- 8.2 Umformen mit Ultraschall
 - 8.2.1 Nieten
 - 8.2.2 Bördeln
 - 8.2.3 Verdämmen
- 8.3 Einbetten von Metallteilen mit Ultraschall
- 8.4 Trenn-Nahtschweißen mit Ultraschall
- 8.5 Verbinden von textilen Flächengebilden (z. B. Gewebe mit Formteilen) mit Ultraschall

9. Sonotrodenherstellung

- 9.1 Allgemeines
- 9.2 Sonotrodenwerkstoffe
- 9.3 Sonotrodenformen
- 9.4 Sonotrodenparameter
- 9.5 Ermittlung der Schallgeschwindigkeit
- 9.6 Bestimmen der Länge bei Stufensonotroden
- 9.7 Längenberechnung einer rotationssymmetrischen Sonotrode mit einer e-Funktion
- 9.8 Ermittlung der Sonotrodenlänge bei Kegelform mit rotationssymmetrischen sowie mit rechteckigem Querschnitt
- 9.9 Abstimmung des Sonotrodenrohlings
- 9.10 Praxisbeispiel
- 9.11 Nacharbeit an Sonotroden
 - 9.11.1 Frequenzkorrektur

10. Sicherheitsmaßnahmen bei der Anwendung von Ultraschall in der Füge-technik

11. Lärmschutzmaßnahmen

- 11.1 Vorbemerkung
- 11.2 Meßverfahren
- 11.3 Schlußbemerkung
- 11.4 Literaturhinweise zu Lärmschutzmaßnahmen

12. Anwendungsgebiete

- 12.1 Elektrotechnik, Elektronik, Lichttechnik, Nachrichtenwesen
- 12.2 Radio, Phono, TV, Video
- 12.3 Foto, Kino, Optik
- 12.4 Maschinenbau, Feinwerktechnik, Installation, Bürotechnik
- 12.5 Haushaltsgeräte
- 12.6 Verkehrswesen
- 12.7 Möbelindustrie
- 12.8 Sport, Freizeit, Hobby, Spielzeug
- 12.9 Verpackung, Transport, medizinische Geräte, Kosmetik
- 12.10 Sonstiges

13. Beispielsammlung

1. Allgemeines (Grundlagen)

Der vom Menschen hörbare Bereich der mechanischen Schwingungen liegt bei Frequenzen zwischen 16 Hz und 16.000 Hz. Die nichthörbaren Frequenzen unter 16 Hz werden als Infraschall und die zwischen 16.000 Hz und 10^{10} Hz als Ultraschall (US) bezeichnet. Frequenzen über 10^{10} Hz sind Hyperschall. Die Frequenz ist die Anzahl der Schwingungen innerhalb einer Sekunde.

In einer Vielzahl von Techniken wie Reinigen, Metallschweißen, spanendes Bearbeiten, Umformen, Löten, Werkstoffprüfen, Orten, Diagnostik, Therapie, Signalübertragung usw. werden Ultraschall-Schwingungen eingesetzt. Die Ultraschall-Fügetechnik hat sich durch den zunehmenden Einsatz von thermoplastischen Kunststoffen innerhalb der letzten zwei Jahrzehnte zu einem wichtigen Verfahren der Verbindungstechnik entwickelt. Auf dem Gebiet der elektrischen Geräte, der Bauelemente, der Automobil- und Textilindustrie haben insbesondere das Ultraschall-Kunststoffschweißen und -nieten breite Anwendung gefunden. Entsprechend dem Anwendungsgebiet werden Ultraschall-Schweißgeräte mit Frequenzen zwischen 20 und 50 kHz verwendet.

Die handelsüblichen elektro- und magnetostriktiven Schallwandler schwingen fast stets longitudinal, das bedeutet, daß die schallabstrahlende Fläche des Schwingers sinusförmig um die Ruhelage der Fläche schwingt.

Bild 1 zeigt eine Longitudinalwelle. Die Ausbreitungsrichtung und die Schwingungsrichtung fallen bei der Longitudinalwelle zusammen. Der Abstand zwischen zwei gleichen Schwingungszuständen wird als λ (Lambda-Länge, Wellenlänge) bezeichnet.

λ läßt sich aus folgender Gleichung errechnen:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

λ = Wellenlänge
 v = Schallgeschwindigkeit des Materials
 f = Frequenz

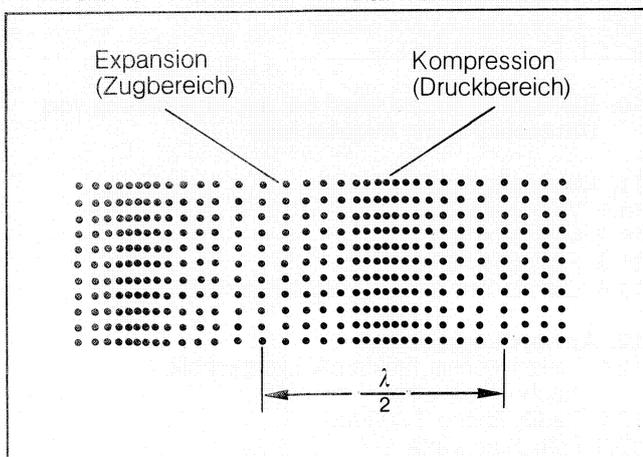


Bild 1: Longitudinalwelle

Reine Longitudinalwellen treten nur in räumlich unbegrenzten Medien bzw. bei Abmessungen $\gg \lambda$ auf. Bedingt durch die Geometrie der Energieleiter (Transformationsstück, Sonotrode) bei den Ultraschall-Geräten in der Verbindungstechnik tritt meist eine Mischform aus transversalen- und longitudinalen Schwingungen auf. Bei Transversalwellen ist die Schwingungsrichtung quer zur Fortpflanzungsrichtung, Bild 2.

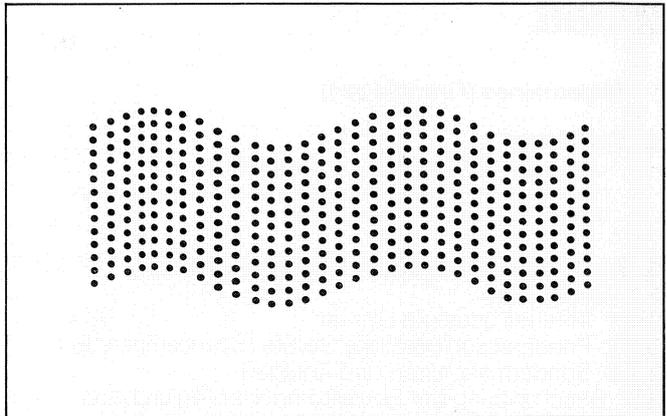


Bild 2: Transversalwelle

Die Auftretende Mischform wird als Dehnungswelle bezeichnet, Bild 3.

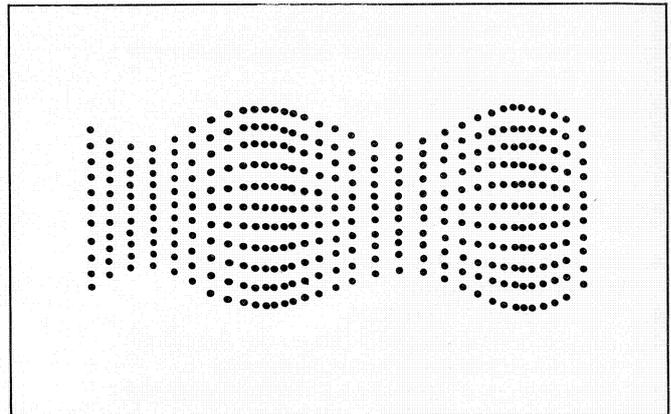


Bild 3: Dehnungswelle

Im Bereich der Kompression tritt eine Verdickung und im Bereich der Expansion (größte Amplitude) tritt eine Verdünnung ein.

Durch die Reflexion der vom Ultraschallwandler erzeugten Schwingungen an der schallabstrahlenden Endfläche der mechanischen Resonanzeinheit des Schwingungssystems bildet sich eine stehende Welle aus. Die Position des Schwingungsknotens (Längsamplitude Null) und des Schwingungsbauches (Längsamplitude Maximum) bleibt konstant. Die mechanische Resonanzeinheit wird daher meist im Schwingungsbauch gelagert. Die Arbeitsfläche der Sonotrode liegt im Schwingungsbauch, also bei maximaler Längsamplitude.

Das Entstehen von unkontrollierten Biegewellen, Bild 4, ist bei der Konzeption von Sonotroden zu vermeiden.

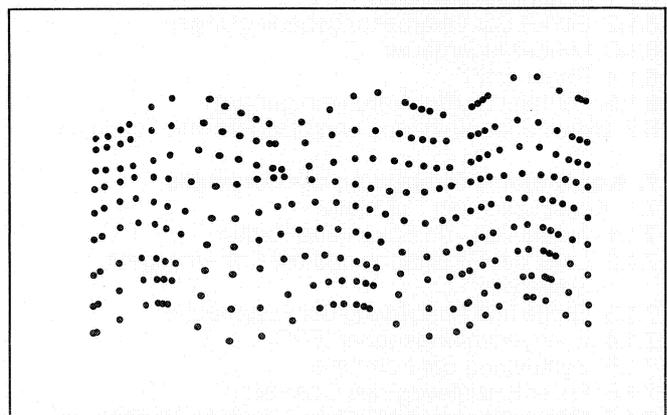


Bild 4: Biegewelle

2. Verfahren

2.1 Ultraschallschweißen von Formteilen und Halbzeugen aus thermoplastischen Kunststoffen

Entsprechend DIN 1910 Teil 3 und DIN 16 960, Blatt 1, werden die Formteile an den Fügeflächen bzw. Verbindungsflächen vorzugsweise ohne Schweißzusatz durch Einwirkung von Ultraschall erwärmt und plastifiziert und unter Anwendung von Druck geschweißt. Die Kraft wird von Hand oder mechanisch aufgebracht. Kraft und Schwingungsrichtung verlaufen im allgemeinen rechtwinklig zu den Fügeflächen. Das Schweißen kann taktweise oder kontinuierlich erfolgen.

Beim Ultraschall-Schweißen werden die vom Generator erzeugten elektrischen Schwingungen im Ultraschallbereich im Ultraschallwandler (Schallkopf, Konverter) in mechanische Schwingungen gleicher Frequenz umgewandelt und über das Transformationsstück (Booster) und die Sonotrode den Werkstücken zugeleitet. Dabei arbeiten Generator, Ultraschallwandler, Zwischenstück und Sonotrode in Resonanz.

Die Erwärmung im Fügebereich erfolgt durch die Absorption der mechanischen Schwingungen, durch die Reflexion der Schwingungen in der Fügezone und durch die Grenzflächenreibung der Fügeflächen.

Zum Erzielen einer reproduzierbaren guten Schweißqualität sind neben der richtigen Auswahl des Ultraschall-Schweißgeräts die rohstoffbedingten Einflüsse der thermoplastischen Kunststoffe, die Herstellbedingungen und die konstruktive Gestaltung der Formteile (Werkstücke), die Ausbildung der Fügefläche und das Arbeiten mit optimierten Schweißparametern von wesentlichem Einfluß.

2.2 Weitere Einsatzmöglichkeiten

Nach dem gleichen Prinzip wie das Ultraschall-Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen (Punkt 2.1) arbeiten die unter Punkt 8 näher beschriebenen Verfahren.

- Nahfeldschweißen (direktes Ultraschallschweißen)
Punkt 8.1.1
- Fernfeldschweißen (indirektes Ultraschallschweißen)
Punkt 8.1.2
- Schweißen mit eingelegter Dichtung
Punkt 8.1.3
- Schweißen von Formteilen – spritzgegossen, extrudiert, blasgeformt, thermogeformt – mit Halbzeugen bzw. Folien
Punkt 8.1.4
- Schweißen von Formteilen – Kombination spritzgegossener, extrudierter bzw. thermogeformter Teile
Punkt 8.1.5
- Punktschweißen
Punkt 8.1.6
- Nahtschweißen und Nähen
Punkt 8.1.7
- Schweißen beschichteter Pappen oder Gewebe
Punkt 8.1.8
- Umformen mit Ultraschall
Punkt 8.2
- Nieten
Punkt 8.2.1
- Bördeln
Punkt 8.2.2

- Verdämmen
Punkt 8.2.3
- Einbetten von Metallteilen mit Ultraschall
Punkt 8.3
- Trenn-Nahtschweißen mit Ultraschall
Punkt 8.4
- Verbinden von textilen Flächengebilden (Gewebe mit Formteilen) mit Ultraschall
Punkt 8.5

3. Aufbau eines Ultraschall-Schweißgerätes

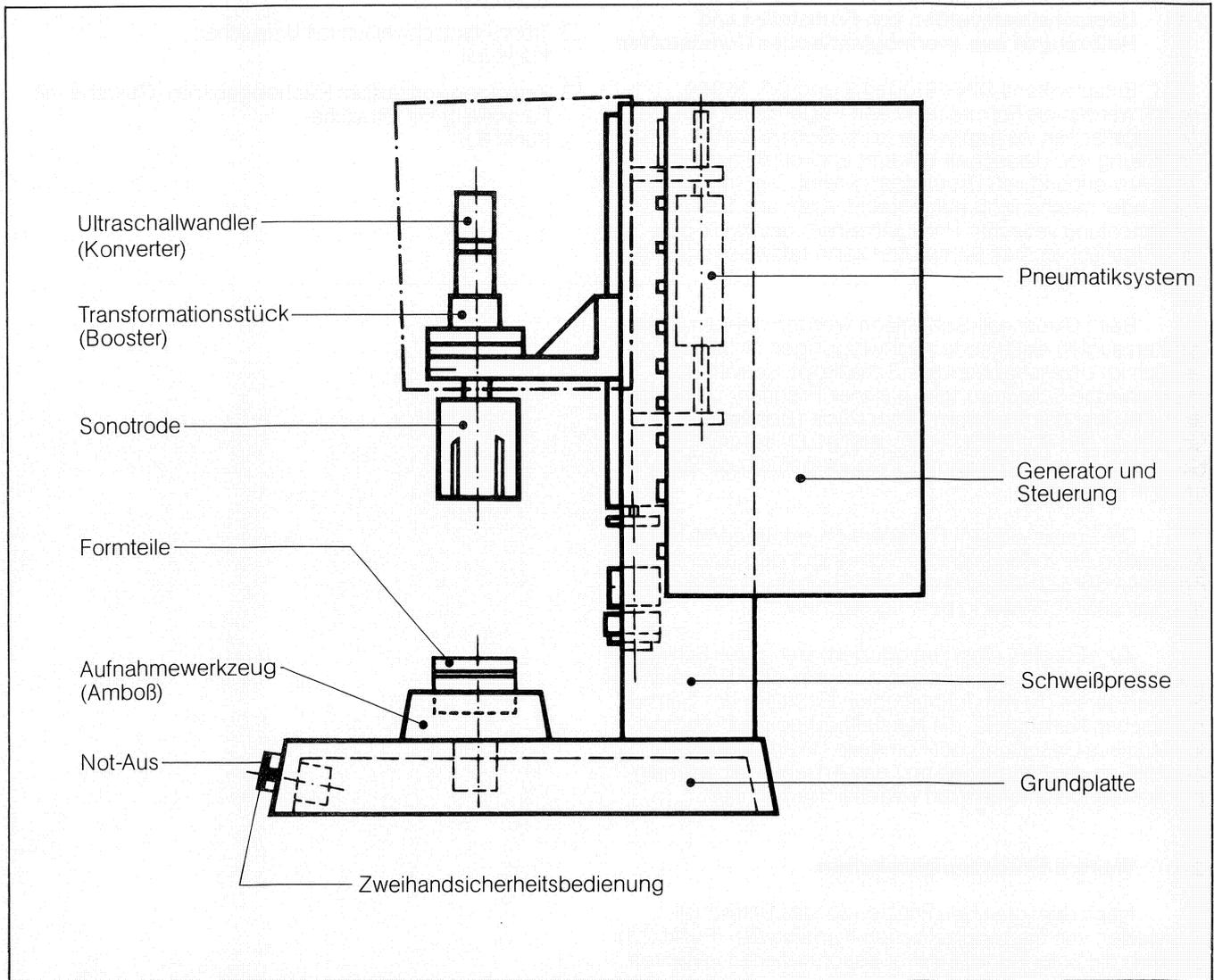


Bild 5: Schematischer Aufbau eines Ultraschall-Schweißgerätes

Ein Ultraschall-Schweißgerät besteht im wesentlichen aus der Schweißpresse, dem Generator, dem Ultraschallwandler (Konverter) mit dem Transformationsstück (Booster) und dem Schweißwerkzeug, Bild 5. Das Schweißwerkzeug besteht aus Sonotrode und Aufnahmeinstrument (Amboß). Die für den Schweißvorgang erforderliche Kraft wird durch die Schweißpresse erzeugt.

3.1 Gerätearten

3.1.1 Manuell betätigte Geräte

Manuell betätigte Geräte werden als Handschweißgeräte oder auch als Schweißpistolen bezeichnet.

Handschweißgeräte werden in der Praxis vorzugsweise mit Generator-Ausgangsleistungen zwischen 100 und ca. 1000 Watt eingesetzt. In Ausnahmefällen sind auch höhere Leistungen möglich. Handhebelpressen werden nur für einfache Arbeiten eingesetzt.

Das Handschweißgerät besteht im einzelnen aus:

- Generator

- Mechanischer Resonanzeinheit des Ultraschallsystems (Ultraschallwandler im Gehäuse mit Handgriff und Verbindungskabel).

3.1.2 Pneumatisch betätigte Geräte (Standardgeräte)

In der Praxis werden in erster Linie pneumatisch sowie in einigen Sonderfällen hydraulisch oder magnetisch angetriebene Schweißpressen eingesetzt. Bild 5 zeigt eine pneumatisch betätigte Schweißpresse. Bei diesen Geräten ist der Generator im Maschinenoberteil integriert oder separat angeordnet. Diese Ultraschall-Schweißgeräte werden in den Fällen bevorzugt, in denen eine kompakte Schweißanlage erwünscht ist.

Bei dem Standard-Ultraschall-Schweißgerät sind folgende Merkmale wichtig:

- Druckluftanschluß (üblicherweise 6 bar)
- Anpreßkraft (bis ca. 4000 N bei 6 bar)
- Einstellbarer Arbeitshub
- Einstellbarer Ultraschall-Einschaltzeitpunkt (Triggerung)
- Regelbare Absenk- und Aufsetzgeschwindigkeit

- Mechanische Höheneinstellung der mechanischen Resonanzeinheit
- Freier Raum zwischen Sonotrode und Tisch sowie zwischen Sonotrode und Maschinensäule bzw. Ständer
- Präzise Führung der mechanischen Resonanzeinheit
- Planparallelität von Sonotrode und Aufnahmewerkzeug.

3.1.3 Sondermaschinen und Anlagen

In zunehmendem Maße werden individuelle Problemlösungen maschinentechnischer Art benötigt, die den Einsatz von Sondermaschinen oder Anlagen erforderlich machen. Das gilt z. B. für Aufgabenstellungen, für die der Einsatz einer Ultraschall-Schweißeinheit nicht genügt oder für Formteile, bei denen in mehreren Fügeebenen und/oder unterschiedlichen Schweißpositionen gearbeitet werden muß.

Die Schweißzeiten sind bei Ultraschall-Anlagen sehr kurz. Da die Anlagen in erster Linie für Massenartikel eingesetzt werden, bieten sich Halb- oder Vollautomaten an. Eine viel praktizierte Erweiterung der Standardanlagen ist die

Ausführung mit einem Rundschalttisch (Drehtisch), oder einer linearen Zuführungseinheit.

3.2 Beschreibung der Einzelkomponenten und ihre Wirkungsweise

3.2.1 Generator

Der Generator wandelt Energie aus dem Stromnetz in eine für die mechanische Resonanzeinheit benötigte Frequenz um. Der bevorzugte Frequenzbereich liegt bei ca. 20 kHz. Darüber hinaus gibt es Anlagen mit einer Frequenz bis 50 kHz.

Die benötigte Generatorleistung ist von der Aufgabenstellung abhängig. Im allgemeinen wird mit Leistungen pro Schweißeinheit im Bereich von 100 bis 4000 Watt gearbeitet.

Die Leerlaufleistung des Generators setzt sich zusammen aus den Eigenverlusten des elektrischen Systems sowie den Verlusten der mechanischen Reso-

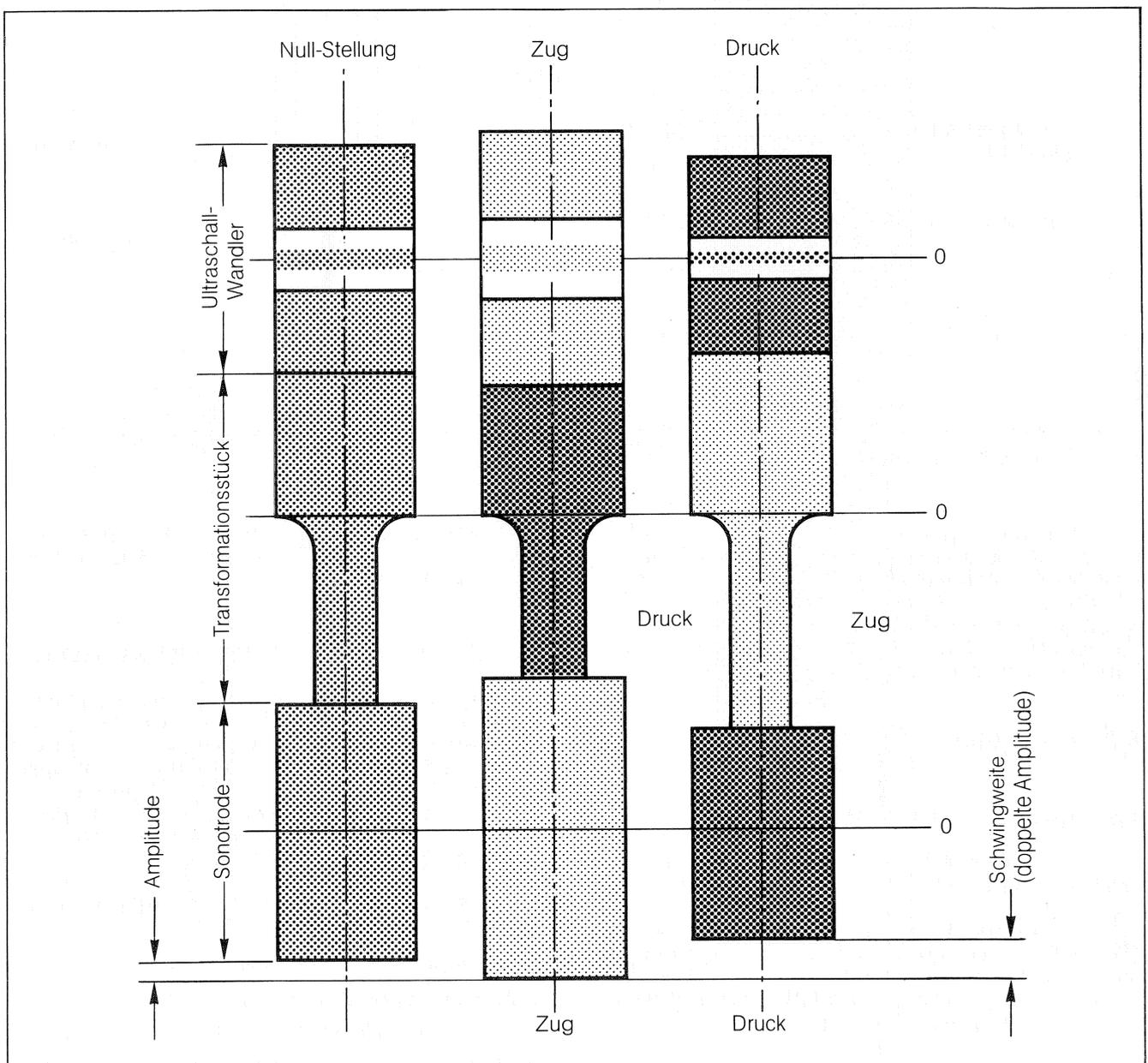


Bild 6: Schwingungsverhalten der mechanischen Resonanzeinheit des Ultraschallsystems

nanzeinheit. Es ist anzustreben, die Leerlaufleistung so gering wie möglich zu halten. Sie ist stets auf Minimum abzustimmen. Die Grenzwerte der Hersteller sind zu beachten!

Unter Leistung bei Last versteht man die Leistung ausgedrückt in Watt, die der Generator an die mechanische Resonanzeinheit unter Belastung bei weitgehend konstanter Amplitude bis zur Nennbelastung des Generators abgibt. Die Einschaltdauer und das Einschwingverhalten unter Last sind zu beachten (siehe Bedienungsanleitung).

3.2.2 Mechanische Resonanzeinheit des Ultraschallsystems

Es besteht im allgemeinen aus dem Ultraschallwandler, dem Transformationsstück und der Sonotrode. Bild 6 zeigt das Schwingungsverhalten der mechanischen

Resonanzeinheit. Links in Bild 6 befindet sich die mechanische Resonanzeinheit in Ruhelage, in der mittleren Darstellung schwingt die Sonotrode in der Zugphase und rechts in der Druckphase.

Die Amplitude ist die halbe Schwingweite. Sie wird an der Stirnseite mit einer Meßuhr oder einem elektrischen Längenmeßgerät gemessen; die Schwingweite hingegen mit einem Mikroskop.

Die Schwingweite ist der Gesamtweg (Spitze-Spitze) die die Sonotroden-Stirnfläche bei der Schwingung zurücklegt.

3.2.2.1 Transformationsstück

Das Transformationsstück (Booster) leitet die mechanische Schwingungsenergie der Sonotrode zu und transformiert die von dem Ultraschallwandler abgegebene

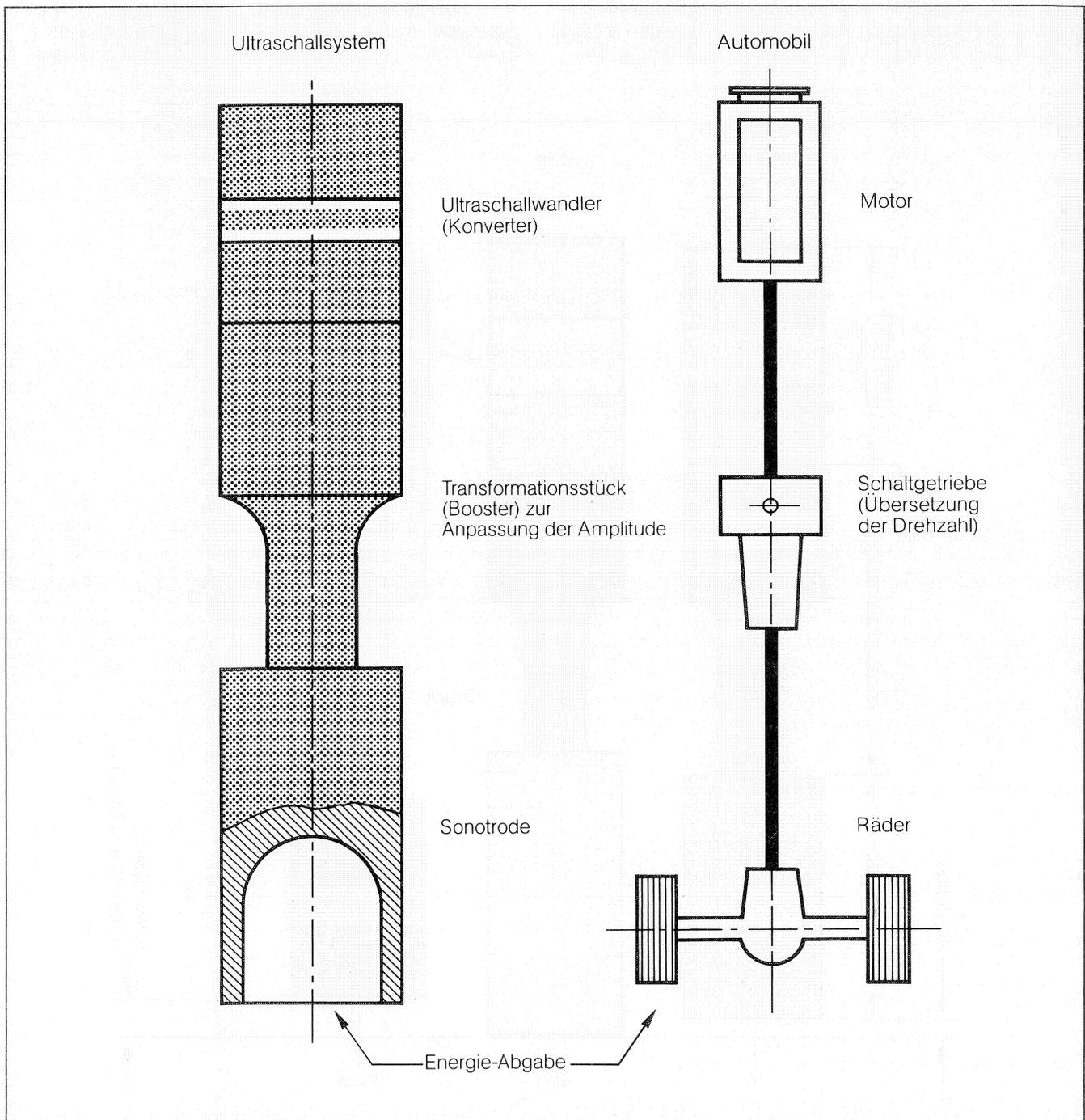


Bild 7: Mechanische Analogie Transformationsstück/Schaltgetriebe

Schwingungsamplitude auf den an der Sonotrode benötigten Wert.

Die mechanische Analogie der Aufgabe des Transformationsstückes stellt im Automobil das Schaltgetriebe dar, Bild 7.

3.2.2.2 Sonotrode

Das als Sonotrode bezeichnete Schweiß-, Niet- oder Einbettwerkzeug hat folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Übertragung der Schwingungsenergie
- Übertragung der Anpreßkraft
- Transformation der Amplitude
- Formgebung beim Umformen.

Der Sonotrode gilt besondere Beachtung, da nur bei richtiger Auslegung für das jeweilige Formteil gute Ergebnisse gewährleistet sind. Nicht fachgerecht hergestellte Sonotroden (falsche Frequenz, ungünstige Transformation und Impedanz) können zur Zerstörung der mechanischen Resonanzeinheit oder zu erheblichen Schäden am Generator führen. Die Herstellung einfacher Sonotroden (bis ca. 60 mm Durchmesser) ist in Punkt 9 beschrieben.

3.2.3 Aufnahmewerkzeug (Amboß)

Das Aufnahmewerkzeug dient zur Positionierung des unteren Formteiles. Es kann auch zusätzlich als Führung für das obere Formteil dienen, Bild 11. Es dient als Gegenlager zur Sonotrode. Seine Arbeitsfläche ist den Formteilen geometrisch angepaßt.

Folgende Werkstoffe werden bevorzugt eingesetzt:

- Stahl
- Aluminium
- Messing
- Gießharze (vorzugsweise gefüllt).

Zum Schutz empfindlicher Formteil-Oberflächen kann das Aufnahmewerkzeug mit elastischen Materialien (z.B. PTFE, Kork, Gummi, Leder sowie Elastomere) ausgekleidet werden.

3.3 Einstellmöglichkeiten der Schweißparameter am Schweißgerät

Das Steuerteil des Geräts ermöglicht die Einstellung aller erforderlichen Schweißparameter.

3.3.1 Schweiß- und Haltezeit

Die Erfahrungen der Anwender und Hersteller haben gezeigt, daß eine möglichst kurze Schweißzeit anzustreben ist, um die erforderliche Schweißqualität zu erreichen (mögl. < 1,5 s). Bei längerer Schweißzeit besteht die Gefahr der Beschädigung des Formteiles, ggf. muß ein leistungsstärkeres Ultraschall-Schweißgerät eingesetzt werden. Nach Ablauf der Schallwirkzeit folgt eine kurze Halte- bzw. Abkühlzeit. Die Haltezeit ist im allgemeinen kürzer als die Schweißzeit.

3.3.2 Einschaltzeitpunkt für den Ultraschall

In der Praxis wird die Ultraschallenergie vor, während oder nach dem Aufsetzen der Sonotrode auf das Formteil entsprechend der Aufgabenstellung eingeschaltet.

Dieses Einschalten kann wahlweise zeit- oder druckabhängig erfolgen.

3.3.3 Anpreßkraft

Die Anpreßkraft ist auf die Amplitude, die Leistung der Anlage und die Geometrie der Fügefläche abzustimmen.

3.3.4 Hubeinstellung und Hubgeschwindigkeit

Der Arbeitshub ist stufenlos einstellbar und muß der Aufgabenstellung angepaßt werden. Das gleiche gilt für die Hubgeschwindigkeit.

3.3.5 Wegabhängige Steuerung

Bei der unter 3.3.1 beschriebenen Steuerung wird die Energie nach Ablauf der Schweißzeit abgeschaltet. Die Schallzeitbegrenzung ist durch wegabhängige Abschaltung ebenfalls möglich. Die Abschaltung ist einstellbar und erfolgt nach Erreichung der vorgewählten Endlage der Sonotrode.

4. Verfahrensschritte zum Optimieren der Schweißparameter

Hierbei empfiehlt sich folgende Reihenfolge einzuhalten:

- Festlegen der Amplitude, Punkt 4.1
- Angleichen der Anpreßkraft an die Amplitude und Generatorausgangsleistung, Punkt 4.2
- Einstellen des Ultraschall-Einschaltzeitpunktes (gedämpftes oder freischwingendes Aufsetzen der Sonotrode), Punkt 4.3
- Einstellen der Auftreffgeschwindigkeit der Sonotrode, Punkt 4.4
- Einstellen der Schweiß- und Haltezeit, Punkt 4.5. und 4.6.

4.1 Festlegen der Amplitude

Die Amplitude (halbe Schwingweite) ist auf den Werkstoff, die Konstruktion des Formteiles und die Geometrie der Fügefläche abzustimmen, siehe Tabelle 3, S. 34.

Im allgemeinen erfordern Formteile aus teilkristallinen Kunststoffen höhere Amplituden als solche aus amorphen Kunststoffen.

Als Richtwerte gelten:

- amorphe Kunststoffe 10–30 μm ,
- teilkristalline Kunststoffe 25–50 μm .

Das Festlegen einer Werkstoff- und formteilgerechten Amplitude ist meist nur durch Versuche möglich. Sie läßt sich am besten durch das Verwenden von Transformationsstücken mit unterschiedlichen Übersetzungsverhältnissen bestimmen. Bei den Optimierungsversuchen sollte mit dem kleinsten Übersetzungsverhältnis begonnen werden.

4.2 Angleichen der Anpreßkraft an die Amplitude und die Generatorausgangsleistung

Die Amplitude und die auf die Fügezone einwirkende Anpreßkraft stehen in einer engen Beziehung zueinander. Die Anpreßkraft ist deshalb sehr sorgfältig auf die Amplitude, die Generatorausgangsleistung und den Anwendungsfall abzustimmen.

Als grobe Richtwerte gelten:

kleine Amplitude – hohe Anpreßkraft
große Amplitude – niedrige Anpreßkraft.

Beim Optimieren der Schweißparameter wird die Anpreßkraft vom kleinsten Wert ausgehend so lange gesteigert, bis eine gesicherte Schweißnahtqualität erreicht ist. Die angezeigte Generatorausgangsleistung sollte nach der Optimierung verhältnismäßig konstant sein.

4.3 Einstellen des Ultraschall-Einschaltzeitpunktes (Triggerung)

Die Triggerung schaltet die Ultraschall-Energie zeit-, weg- oder druckabhängig ein. Das Einschalten kann vor, während oder nach dem Aufsetzen der Sonotrode auf das Formteil erfolgen. Beim zeitabhängigen Einschalten hat man die Wahl aller drei Möglichkeiten. Beim wegabhängigen Einschalten kann man nur schwingend aufsetzen.

Beim druckabhängigen Einschalten ist die Wahl von leichtem Aufsetzen bis zum Erreichen des vollen Anpreßdruckes möglich.

Beim Kunststoffschweißen mittels Ultraschall ist es im allgemeinen von Vorteil, wenn der Generator nach dem Erreichen der vorgewählten Anpreßkraft eingeschaltet wird.

Beim Nieten und Bördeln soll man mit schwingender Sonotrode auf das Formteil aufsetzen, um den Kunststoff möglichst schnell zu plastifizieren.

Beim Einbetten von Metallteilen muß man vor dem Kontakt Sonotrode/Formteil die Ultraschall-Energie einschalten, um ein Einbetten in die nicht genügend plastifizierte Aufnahmebohrung bzw. um ein Kalteinbetten zu vermeiden.

4.4 Einstellen der Aufsetzgeschwindigkeit der Sonotrode

Die Aufsetzgeschwindigkeit ist empirisch zu ermitteln. Sie liegt im Bereich von ca. 0,5 mm/s bis 50 mm/s und hat entscheidenden Einfluß auf die Schweißqualität.

Beim Nieten, Bördeln, Verdämmen und Einbetten wird mit einer langsamen Aufsetzgeschwindigkeit gearbeitet.

4.5 Einstellen der Schweißzeit

Die Schweißzeit ist abhängig von:

- der Generatorausgangsleistung
- dem Werkstoff
- der Größe der Fügefläche
- der Einsinktiefe
- dem Ultraschall-Einschaltzeitpunkt
- der Amplitude
- der Anpreßkraft.

Sie wird in der Regel durch Versuche ermittelt. Um eine Schädigung des Werkstoffes der Füge Teile zu vermeiden, ist anzustreben, die Schweißzeit möglichst kurz zu halten (mögl. zwischen 0,2 und 1,5 s), ggf. muß auf leistungsstärkere Ultraschall-Schweißgeräte übergangen werden. In manchen Fällen kann das Abschalten der Schweißzeit durch eine wegabhängige Steuerung zweckmäßig sein.

4.6 Einstellen der Haltezeit

Die Haltezeit ist auf den Anwendungsfall abzustimmen. Sie sollte aus wirtschaftlichen Gründen möglichst kurz gewählt werden. Die genaue Einstellung ist durch Versuche zu ermitteln. Im allgemeinen ist die Haltezeit kürzer als die Schweißzeit.

5. Rohstoffbedingte Einflüsse für das Schweißverhalten von thermoplastischen Kunststoffen

Für eine erste allgemeine Beurteilung des Ultraschall-Schweißverhaltens von thermoplastischen Kunststoffen können neben der Formteilgestalt auch die von den Rohstoffherstellern genannten Werkstoffdaten herangezogen werden, von denen die folgenden eine überschlägige Aussage auf das Schweißverhalten zulassen.

5.1 Dichte

Sie läßt im Vergleich zu den Grundtypen erkennen, ob größere Mengen an Zusätzen, z.B. Glasfasern (GF), Glaskugeln (GK), Asbest, Talkum o.a. enthalten sind, die das Schweißverhalten u.U. beeinflussen. In den meisten Fällen wird die Dichte durch diese Zusätze erhöht.

5.2 Schubmodul G' und mech. Verlustfaktor $\tan \delta$ in Abhängigkeit von der Temperatur

Günstige Schweiß Eigenschaften sind bei einem hohen und bis zur Glasübergangstemperatur konstanten Schubmodul G' bzw. E-Modul zu erwarten. Gleichzeitig soll der mechanische Verlustfaktor $\tan \delta$ (Dämpfung) bis zur Glasübergangstemperatur niedrig und möglichst konstant sein. Diese günstigen Eigenschaften besitzen bei Raumtemperatur harte amorphe Kunststoffe, Bild 8. Die Schallwellen werden ohne größere Verluste an die Fügefläche herangeführt und in Wärme umgewandelt. Die meisten Verstärkungsstoffe erhöhen die Steifigkeit, wodurch sich auch der Schubmodul erhöht.

Der Schubmodul wird bei ungefüllten thermoplastischen Kunststoffen auch vom Feuchtigkeitsgehalt, dem

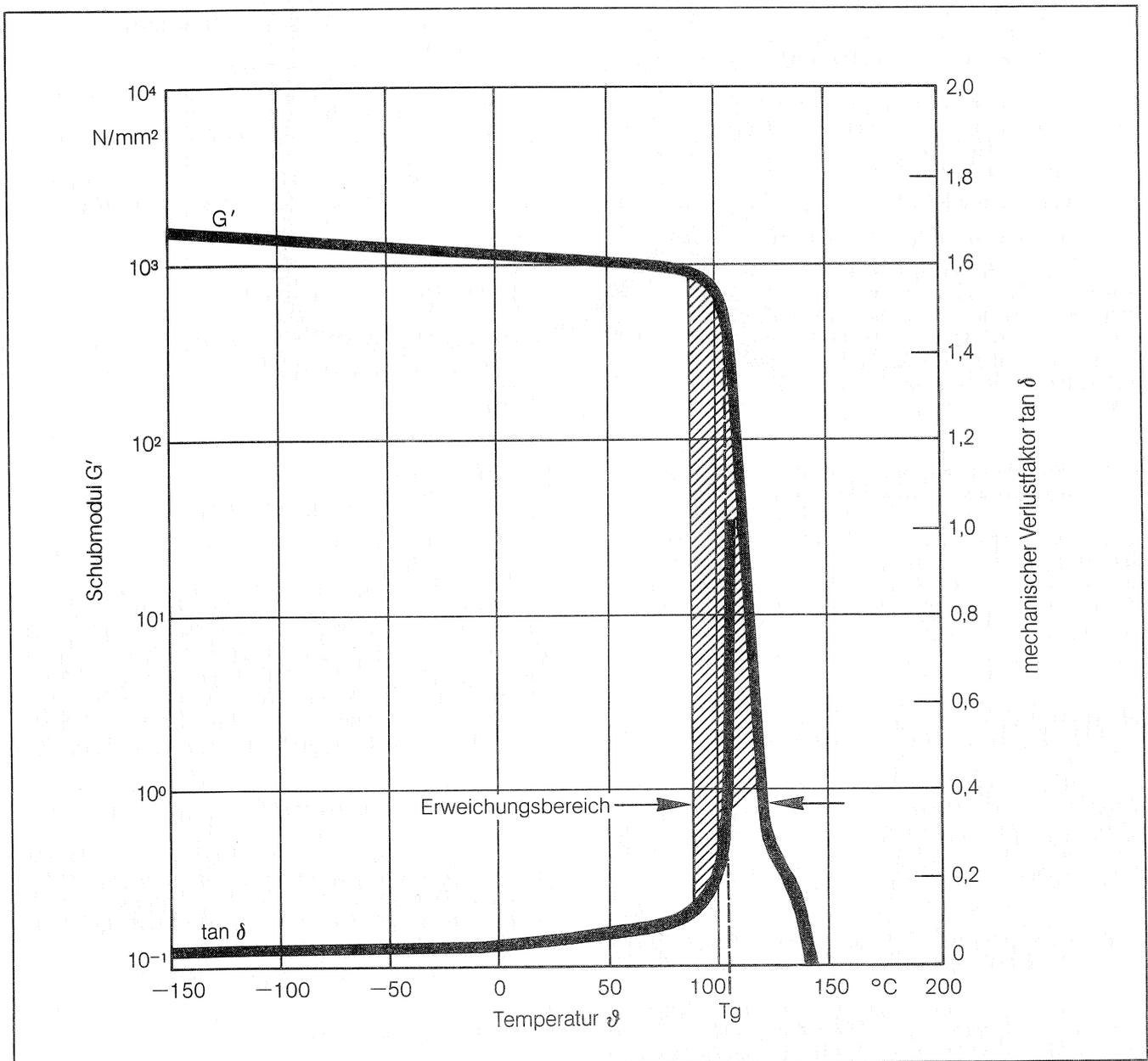


Bild 8: Temperaturverlauf des Schubmoduls G' und des mechanischen Verlustfaktors $\tan \delta$ eines amorphen Thermoplasten (schlagzähes Polystyrol SB)

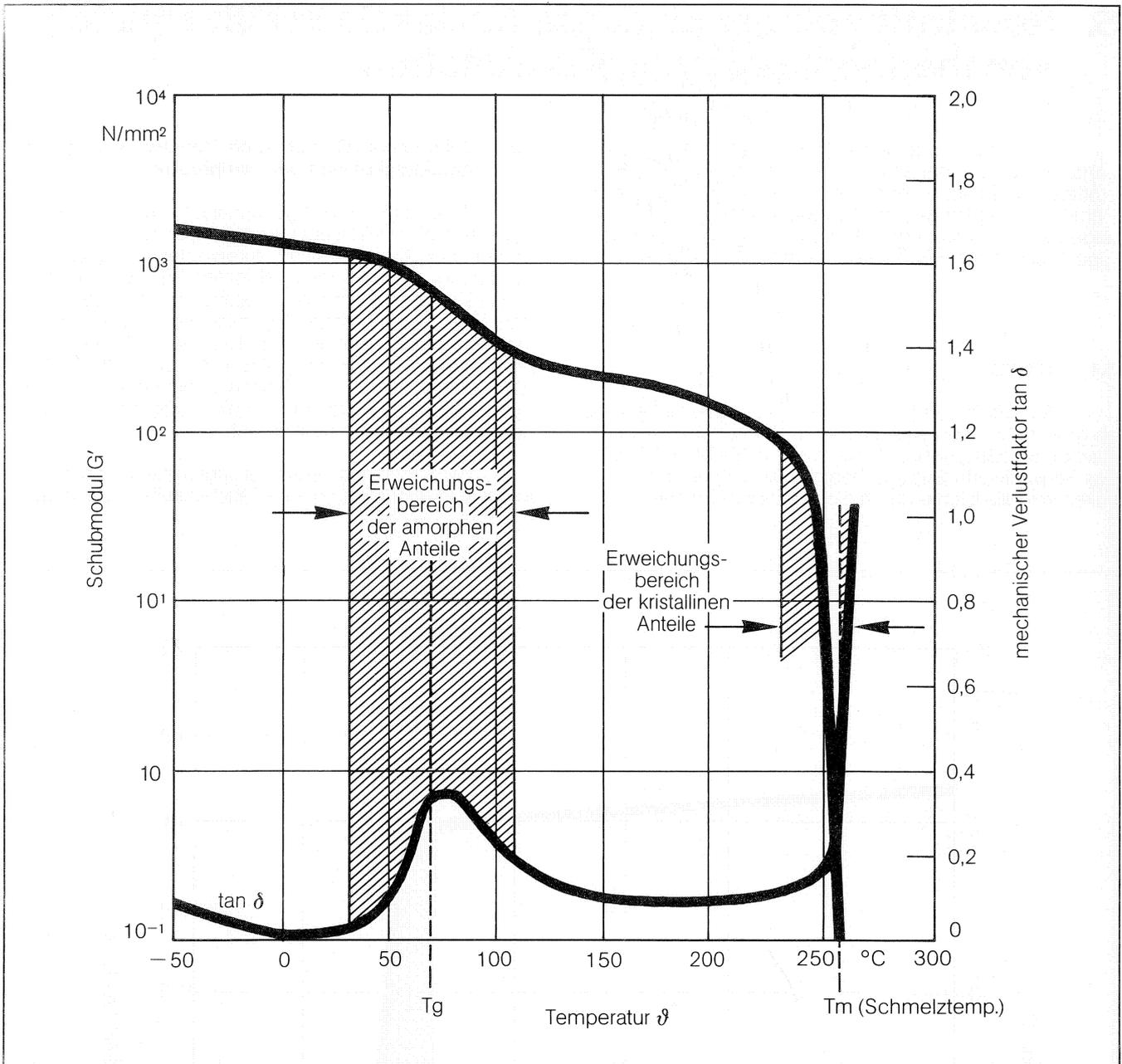


Bild 9: Temperaturverlauf des Schubmoduls G' und des mechanischen Verlustfaktors $\tan \delta$ eines teilkristallinen Thermoplasten (Polybutylenterephthalat PBTP)

Kristallinitätsgrad sowie der Kristallorientierung und Eigenspannung beeinflusst. Auch bei verstärkten thermoplastischen Kunststoffen werden diese Einflußgrößen wirksam.

Ein stärkerer Abfall der Schubmodulkurve bis zur Glasübergangstemperatur (T_g) oder bis zum Schmelzbereich (T_M) ist gleichbedeutend mit einem Anstieg des mechanischen Verlustfaktors und bewirkt eine stärkere Dämpfung der Schallwellen auf dem Weg zur Fügefläche (Bild 9). Im allgemeinen sind die Energieverluste bei den teilkristallinen Kunststoffen höher als bei den harten amorphen Kunststoffen. Formteile gleicher Gestalt erfordern bei teilkristallinen Kunststoffen meist eine höhere Generatorausgangsleistung oder längere Schweißzeit und eine höhere Amplitude gegenüber solchen aus amorphen Kunststoffen. Generell ist eine kurze Schweißzeit anzustreben.

5.3 Schmelzwärme bzw. Wärmeinhalt und spezifische Wärmekapazität c_p

Je höher der Wert vor allem bei der Glasübergangstemperatur bzw. im Schmelzbereich liegt, desto mehr Ener-

gie muß zum Plastifizieren des Materials in der Fügezone aufgewendet werden. Das bedeutet eine längere Schweißzeit oder ggf. eine leistungsstärkere Ultraschallschweißanlage, letzteres ist zu bevorzugen.

5.4 Schmelzbereich bzw. thermoplastischer Bereich

Die Erwärmung der Fügezone über den Schmelzbereich hinaus muß durch die Wahl geeigneter Schweißparameter (Punkt 4) sichergestellt sein.

5.5 Schallgeschwindigkeit

Die Schallgeschwindigkeit im Kunststoff ist temperaturabhängig und dort von Bedeutung, wo das Formteil als Schalleiter wirkt, z.B. beim Fernfeldschweißen.

5.6 Schmelzeviskosität

Die Viskosität einer Kunststoffschmelze (z.B. ausgedrückt durch den Schmelzindex MFI) beeinflusst das Schweißverhalten.

Hochmolekulare, zähfließende Kunststoffe, gekennzeichnet durch einen niedrigen MFI, benötigen in der Regel mehr Energie zum Aufschmelzen. Das ist gleichbedeutend mit einer längeren Schweißzeit bzw. es wird eine höhere Ausgangsleistung des Ultraschall-Schweißgerätes benötigt.

Kunststoffe mit einer niedrigen Schmelzeviskosität, gekennzeichnet durch einen hohen MFI, schmelzen schneller. Schmelze kann hierbei schlagartig aus der Fügezone austreten. Um dieses zu vermeiden, müssen Schweißdruck, Schweißzeit, Amplitude, Triggerung und Fügezonengestaltung besonders sorgfältig aufeinander abgestimmt werden.

Die meisten Verstärkungs- und Füllstoffe erhöhen die Schmelzeviskosität, die Schmelze fließt zäher. Geringe Mengen einiger Füllstoffe, z.B. Glimmer, Talkum, verringern die Schmelzeviskosität, die Schmelze fließt leichter und schneller.

5.7 Verstärkungsstoffe, Füllstoffe und andere Zusätze

Verstärkungsstoffe:
Glasfasern, Glaskugeln, Kohlefasern, Talkum, Asbest, u. a.

Füllstoffe:
Holzmehl, Kreide und weitere mineralische und organische Füllstoffe

Weitere Zusätze:
Stabilisatoren, Gleitmittel, Farbmittel, Weichmacher, flammhemmende Zusätze, antistatische Ausrüstungen u. a.

Die Art und die Menge dieser Zusätze können sich auf das Schweißverhalten und das Schweißergebnis auswirken. Die Konstruktion der Formteile und die Schweißbedingungen sind hierauf abzustimmen.

6. Einfluß der Herstellungsbedingungen der Formteile auf das Schweißverhalten

Mit Ultraschall geschweißt werden vorwiegend spritzgegossene Formteile. In Sonderfällen auch Formteile, die durch Blasformen, Warmformen oder Extrudieren hergestellt sind.

Die Formteile müssen unter typgerechten Bedingungen hergestellt sein. Ursachen für Fehlschweißungen liegen oft unsachgemäße Herstellbedingungen zugrunde.

6.1 Spritzgegossene Formteile

6.1.1 Feuchtigkeitseinfluß

Durch einen zu hohen Feuchtigkeitsgehalt bestimmter Thermoplaste entstehen bei der Spritzgußfertigung wie auch bei der Schweißung Schäden durch Schlieren, Blasen oder porige Gefüge. Das verringert die Gebrauchstauglichkeit, das optische Aussehen und mindert die Qualität der Schweißverbindung. Zu feuchte Thermoplaste sollten daher vor dem Schweißen getrocknet werden.

Bei einer Reihe von Kunststoffen, z.B. Polyamidtypen, ist die erstrebte maximale Zähigkeit erst durch Konditionierung (Feuchtigkeitsaufnahme) zu erzielen. Neben dieser erwünschten Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes nehmen auch einige andere Thermoplastformteile aus der Atmosphäre unerwünschte Feuchtigkeit auf.

Da eine Ultraschall-Schweißung feuchter Formteile in beiden Fällen zu schlechten Ergebnissen – poröse Schweißnähte, längere Schweißzeit – führt, ist eine Konditionierung erst nach der Ultraschall-Schweißung vorzunehmen. Feuchtigkeitsempfindliche Formteile müssen bis zur Verschweißung geschützt (z.B. in PE-Beuteln) gelagert werden. Beim Nieten und Bördeln von Polyamidteilen mit Ultraschall kann ein geringer Feuchtigkeitsgehalt von Vorteil sein. Die in den Datenblättern der Rohstoffhersteller enthaltenen Angaben über Trocknung und Verarbeitung sind zu beachten.

6.1.2 Einfluß der Verarbeitungsbedingungen

Eine ungünstige oder nicht materialgerechte Werkzeugauslegung sowie falsch gewählte Verarbeitungsbedingungen können bei der Spritzgießfertigung von Formteilen zu Einflüssen führen, die schlechte Schweißergebnisse zur Folge haben.

Diese können u.a. sein:

- Maßschwankungen (Schwindung, Nachschwindung, Verzug)
- Gewichtsschwankungen (Füllungsgrad)
- Oberflächenfehler (Einfallstellen, mangelhafte Fügeflächenkontur)
- Inhomogenitäten (Lunker, Fließnähte, Spannungen)
- Verarbeitungsfehler (Zersetzung, Entmischung)
- zu hohe innere Spannungen (besonders bei amorphen Kunststoffen).

6.1.3 Mindestlagerdauer

Spritzgußteile aus teilkristallinen thermoplastischen Kunststoffen sollen nicht unmittelbar nach der Entnahme aus der Spritzgießmaschine verschweißt werden, weil eine

Nachschwindung in verschweißten Teilen unerwünschte Spannungen (Verzug) oder sogar eine Zerstörung hervorrufen kann. Eine Mindestlagerdauer zwischen Spritzgußfertigung und Ultraschallschweißung von 24 h ist daher notwendig. Spritzgußteile aus amorphen thermoplastischen Kunststoffen erfordern diese Mindestlagerdauer nicht.

6.1.4 Regenerat

Die Gültigkeit der vorstehenden Aussagen bezieht sich auf die Verwendung von Originalmaterial. Die Zugabe von größeren Mengen Regenerat kann die Schweiß Eigenschaften bei Formteilen ungünstig beeinflussen.

6.1.5 Formtrennmittel, Verunreinigungen

Ablagerungen von Formtrennmitteln oder Verunreinigungen auf der Fügefläche sind zu vermeiden. Kann auf Formtrennmittel nicht verzichtet werden, so ist zu beachten, daß die Formteile unterschiedliche Mengen des Formtrennmittels auf der Fügefläche aufweisen, und die Schweiß Eigenschaften nachteilig beeinflussen können. Gegebenenfalls müssen die Formteile gereinigt werden.

6.2 Extrudiertes Halbzeug und blasgeformte Formteile

Für blasgeformte, warmgeformte und extrudierte Formteile gelten die gleichen Einflußgrößen wie unter 6.1.1 bis 6.1.5.

7. Konstruktive Gestaltung der Formteile

Das Spritzgießverfahren bietet die einfachste Möglichkeit, die zu verbindenden Formteile schweißgerecht herzustellen. Bei der Konstruktion der Formteile, der Auslegung der Sonotrode und des Aufnahmewerkzeuges sowie beim Schweißen sind einige wichtige Faktoren zu beachten. Beispiele sind in den nachstehend aufgeführten Kapiteln beschrieben.

Das unterschiedliche Schweißverhalten der thermoplastischen Kunststoffe ist bei der Werkstoffauswahl zu berücksichtigen. Die zu verbindenden Formteile müssen so konstruiert sein, daß die zum Schweißen notwendige Plastifizierung reproduzierbar in der Fügefläche eintritt.

Zum Erzielen hochwertiger Verbindungen sind bereits in der Planungsphase die nötigen Voraussetzungen zu schaffen. Je nach Anforderung an die Schweißverbindung ist die Konstruktion u.a. auf folgende Forderungen auszurichten:

- Belastbarkeit der Schweißnaht
- Dichtigkeit gegenüber Flüssigkeiten und Gasen
- optisch ansprechendes Aussehen
- Vermeiden von Schmelzenaustrieb und Kunststoffpartikeln im Innern der Formteile.

Die erzielbare Qualität der Schweißverbindung wird neben den Schweißparametern, Punkt 4, noch von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Art des Werkstoffes
- Konstruktion des Formteils
- Lage und Ausbildung der Fügeflächen
- Anordnung der Energierichtungsgeber
- Positionierung und Passungsspiel zwischen Ober- und Unterteil
- Ankopplung der Sonotrode
- Freier Einsinkweg
- Auflage im Aufnahmewerkzeug.

7.1 Konstruktion der Formteile

Die Formteile sind formsteif auszuführen. Es sind genügend dicke Wandungen vorzusehen. Bei zu dünnwandigen Formteilen besteht die Gefahr der Beschädigung.

7.1.1 Ausrunden von Ecken und Kanten

Alle Ecken und Kanten sind an den Formteilen genügend auszurunden. Vorgeschlagen werden Mindeststrahlen von 0,2 bis 0,5 mm. Dies ist besonders bei harten Kunststoffen wichtig. Zu scharfe Übergänge können beim Ultraschall-Schweißen zu Rissen führen.

7.1.2 Lage der Fügefläche und die Entfernung zur Sonotrode

Die Lage der Fügefläche sollte möglichst senkrecht zur Sonotrodenachse und parallel zur Sonotrodenstirnfläche angeordnet sein. Auch sollte die Fügefläche in einer Ebene liegen. Wo dies nicht realisierbar ist, empfiehlt sich ein Kontakt mit den Ultraschall-Geräte- bzw. Rohstoffherstellern.

Die Entfernung Sonotrodenstirnfläche/Fügefläche sollte gering sein (siehe auch Nah- und Fernfeldschweißen, Punkt 8.1.1 und 8.1.2).

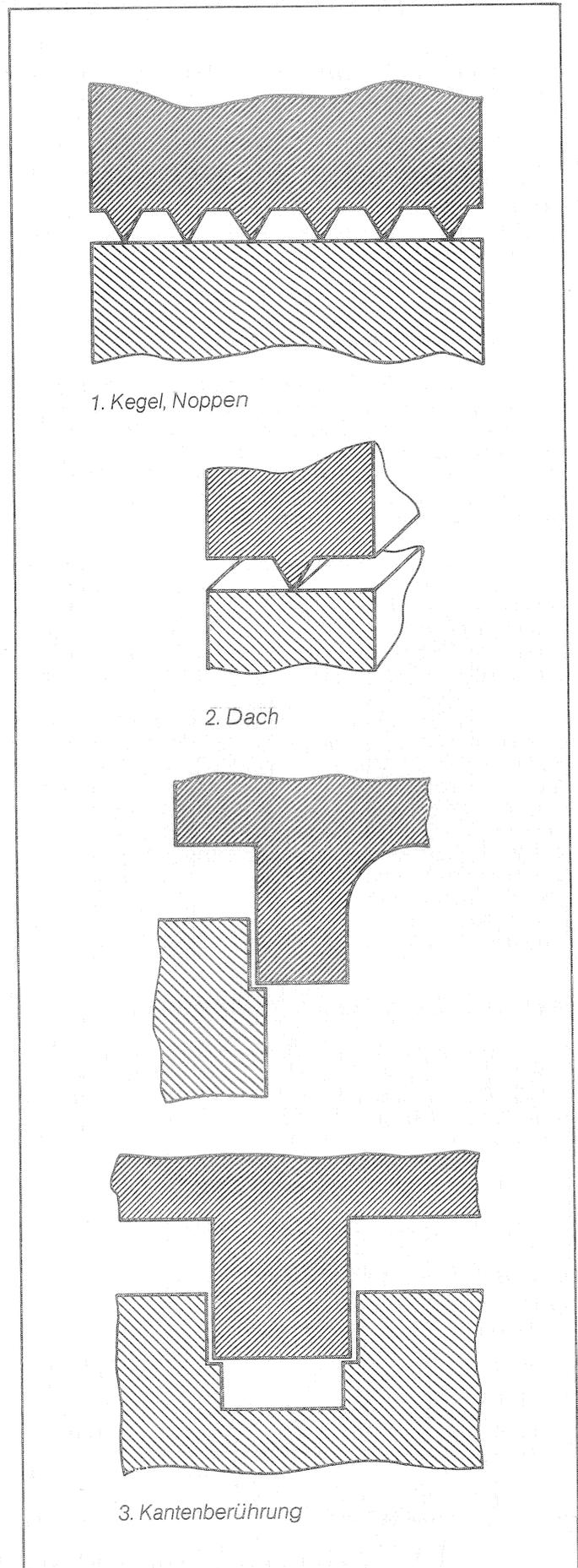


Bild 10: Grundformen der Energierichtungsgeber

7.1.3 Größe und Ausbildung der Fügefläche

Die Fügeflächengeometrie ist auf die Anforderungen an die Schweißnaht abzustimmen. Entscheidende Faktoren sind:

- Art des Werkstoffes
- Konstruktion des Formteils.

Zum Erzielen kurzer Schweißzyklen und Vermeiden von Beschädigungen sind Energierichtungsgeber (Energiekonzentratoren) vorzusehen. Man unterscheidet kegel-, noppen- und dachförmige Energierichtungsgeber sowie die als Energierichtungsgeber wirkenden Kantenberührungen bei Quetschnähten.

7.1.4 Energierichtungsgeber (ERG)

Der Energierichtungsgeber hat die Aufgabe, die Plastifizierung der Fügefläche durch Energiekonzentration schnell einzuleiten. Die Form und Größe der ERG ist in bestimmten Grenzen frei wählbar. Je nach Art des Kunststoffes, der Konstruktion des Formteils und der Anforderung an die Schweißverbindung sind folgende Grundformen, Bild 10, zu unterscheiden:

- Kegel- bzw. noppenförmige Energierichtungsgeber
- Dachförmige Energierichtungsgeber
- Kantenberührungen bei Einfach- und Doppelquetschnähten.

In der Regel ist es für das Schweißergebnis unerheblich, auf welcher Formteilhälfte die ERG vorgesehen werden. In Sonderfällen (wie bei unterschiedlichen Kunststoffkombinationen) ist die günstigste Lage durch Versuche zu klären. Bei Formteilen mit unterschiedlicher Steifigkeit sind die ERG im weicheren Formteil anzuordnen.

7.1.5 Zentrierung der Formteile

Formoberteil und Unterteil sind so zu zentrieren, daß sie beim Schweißen ihre Position beibehalten. Die Zentrierhöhe sollte nicht unter 1 mm liegen. In der Regel ist eine Zentrierung über das Formteil anzustreben.

Das Passungsspiel zwischen Ober- und Unterteil sollte gering sein, jedoch mindestens 0,05 mm betragen. Dieses Spiel muß auch bei schrägen und konisch zulaufenden Wandungen bis zur endgültigen Einsinktiefen vorhanden sein. Bei der Kombination von Formteilen aus unterschiedlichen Kunststofftypen (z. B. verstärkt/unverstärkt) sind deren unterschiedliche Schwundmaße zu beachten.

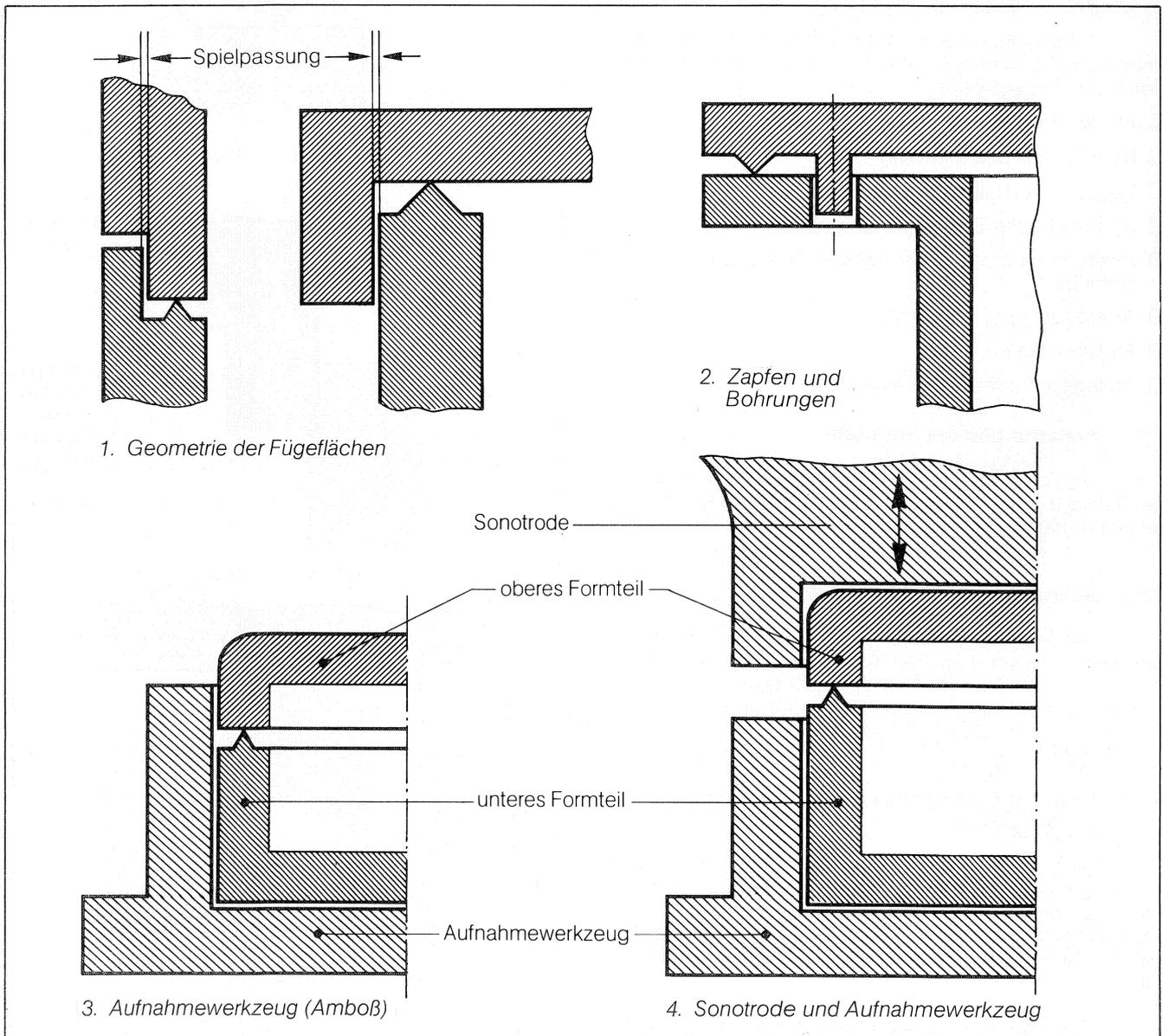


Bild 11: Zentriermöglichkeiten der Formteile

Folgende Zentrierungsmöglichkeiten, Bild 11, werden gewählt:

- durch die Geometrie der Fügeflächen
- durch Zapfen und Bohrung
- durch das Aufnahmewerkzeug
- mittels Zentrierung durch Sonotrode und Aufnahmewerkzeug. (Nur anwendbar bei besonders hoher Maßgenauigkeit der Formteile. Diese Zentriermöglichkeit wird nur in Sonderfällen genutzt.)

7.1.6 Freier Einsinkweg des Oberteils

Das Oberteil muß beim Ultraschall-Schweißen frei einsinken können. Kanten, Rippen oder Stege dürfen das Oberteil bei der Einsinkbewegung nicht abfangen.

7.1.7 Mitschwingen von Rippen, Laschen, Bolzen und anderen Funktionselementen

Freistehende Rippen, Laschen, Bolzen sowie Einlege-teile können bei der Schallübertragung beschädigt werden bzw. Schäden am Formteil verursachen. Durch genügend große Radien an Ecken, Kanten und Übergängen, kurze Schweißzeiten oder auch mit schwingungsdämpfenden Unterlagen ist Abhilfe möglich.

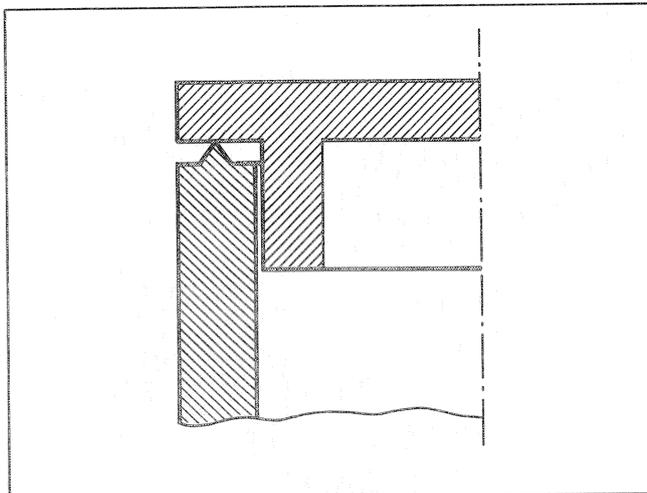


Bild 12: Nach innen verdeckte Schweißnaht

7.1.8 Lösen von Partikeln beim Schweißen

Beim Schweißen können sich Partikel von der Schweißnaht oder deren Umgebung lösen und ins Innere der Formteile gelangen. Dies läßt sich weitgehend durch Verdecken der Schweißnaht vermeiden, Bild 12.

7.1.9 Auflage im Aufnahmewerkzeug

Das untere Formteil ist im Aufnahmewerkzeug genügend abzustützen und für den Schweißvorgang zu zentrieren (siehe auch Punkt 3.2.3). Bei dünnwandigen Formteilen und besonders bei Quetschnähten ist ein Abstützen der Seitenwände bis nahe zur Fügezone empfehlenswert, Bild 13.

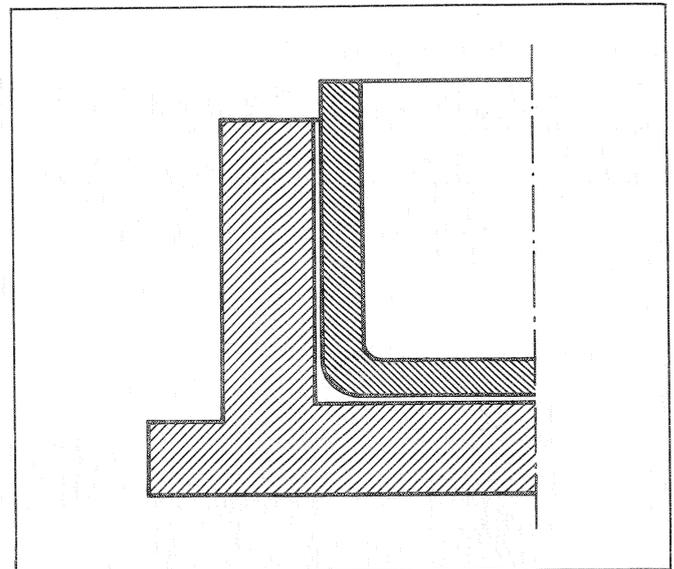


Bild 13: Abstützung des unteren Formteils im Aufnahme-werkzeug

7.1.10 Ankopplungsfläche der Sonotrode

Für die Ankopplung der Sonotrode ist möglichst eine ebene, dem Formteil angepaßte und ausreichend groß bemessene Fläche vorzusehen, Bild 14. Bei zu klein bemessenen Flächen wird die Einleitung des Ultraschalls vermindert. Beschädigungen der Ankopplungsfläche sind die Folge.

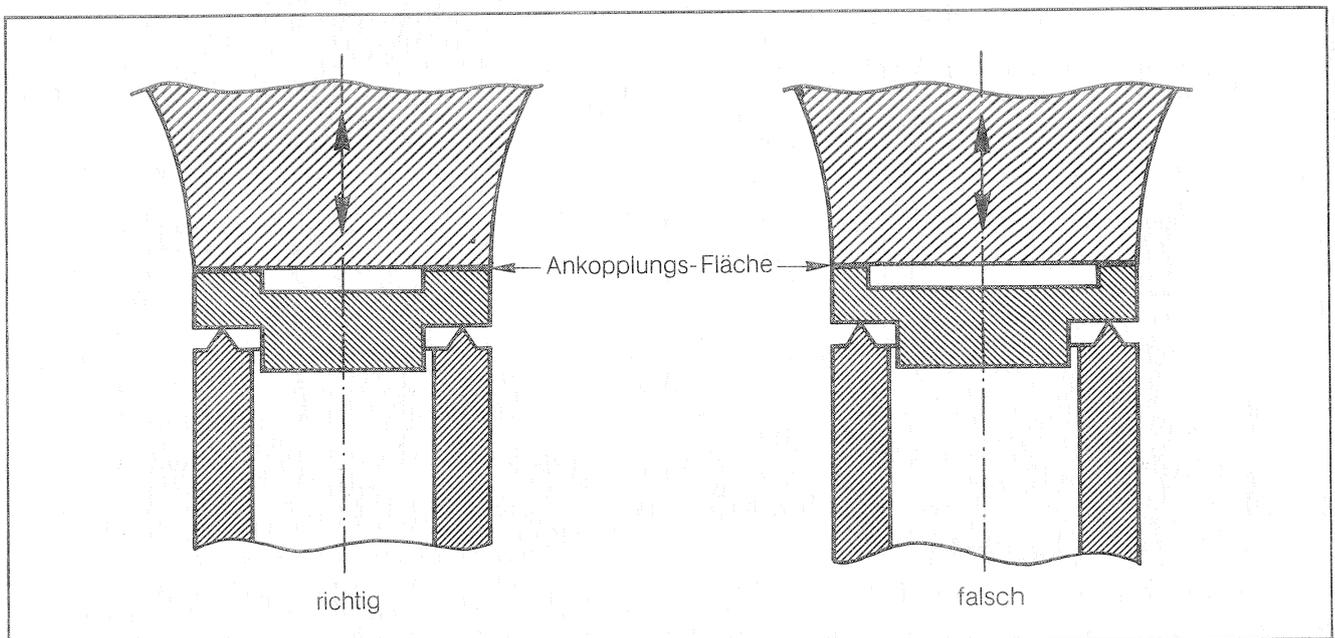


Bild 14: Ankopplung der Sonotrode an das Formteil

Ein gleichmäßiges Berühren der Sonotrode auf der Formteiloberfläche läßt sich z.B. durch Tuschießen oder mit Kohlepapier, dem ein weißer dünner Papierbogen beigelegt ist, nachweisen.

Die Ankopplung der Sonotrode auf hochglänzenden oder strukturierten Oberflächen kann zu Markierungen führen. Solche Abdrücke lassen sich durch eine Folienzwischenlage, z. B. einer PE-Folie, mindern.

7.2 Fügeflächengeometrie

Wenn keine Erfahrungen bei der Dimensionierung der Energierichtungsgeber vorliegen, ist es aus Gründen der leichteren Nacharbeit von Spritzgießwerkzeugen zweckmäßig, mit geringeren Höhen der Energierichtungsgeber (ERG) zu beginnen.

7.2.1 Fügeflächenausbildung mit kegel- und noppenförmigen Energierichtungsgebern

Solche ERG lassen sich beim Verbinden von Formteilen und flächigen Teilen anwenden. Bild 15 zeigt ein Formunterteil mit kegelförmigen Energierichtungsgebern. Sie eignen sich nicht für Dichtschweißungen.

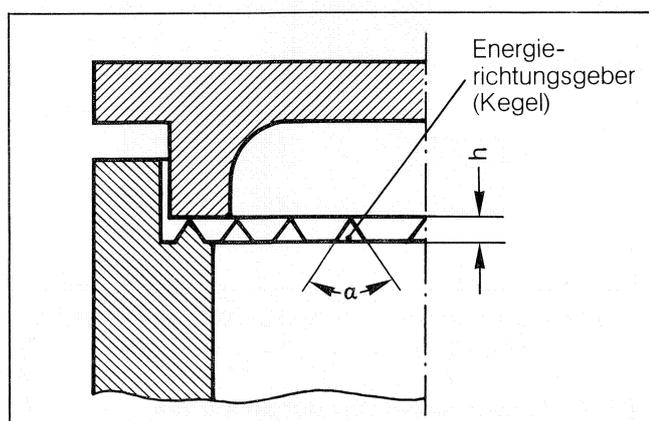


Bild 15: Formunterteil mit kegelförmigen Energierichtungsgebern

Der Winkel α beträgt ca. 60 bis 90°. Die Höhe der ERG liegt zwischen 0,2 und 1 mm. Bei den teilkristallinen Kunststoffen sind die ERG in der Regel höher auszubilden als bei den amorphen Kunststoffen.

7.2.2 Fügeflächenausbildung mit dachförmigen Energierichtungsgebern

Schweißnahtgeometrien mit dachförmigen ERG sind nahezu bei allen Formteilabmessungen anwendbar. Der

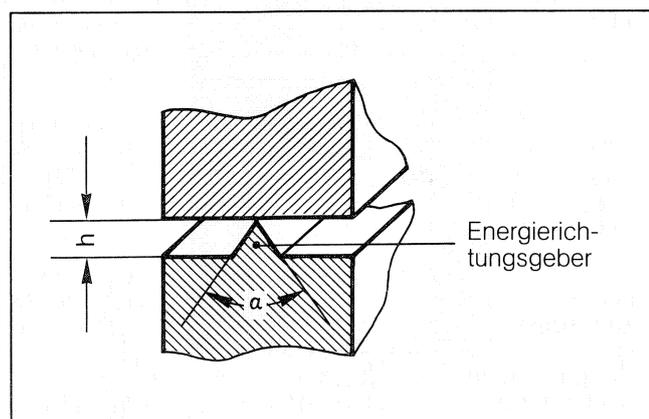


Bild 16: Dachförmiger Energierichtungsgeber

ERG sollte einen Winkel zwischen 60° und 90° haben. Die Höhe h kann, je nach Anforderung an die Schweißverbindung, zwischen 0,2 und 1 mm, in Sonderfällen bis 2 mm, gewählt werden, Bild 16.

Ein symmetrisch angeordneter ERG ist einem unsymmetrischen vorzuziehen. Er sollte die gegenüberliegende Fügefläche möglichst mittig treffen. In Sonderfällen können anstelle eines großen auch mehrere kleine ERG gewählt werden. Sie lassen sich versetzt, wie auch unterschiedlich hoch anordnen.

Nachstehend einige bewährte Fügeflächenformen mit dachförmigen ERG, Bild 17 bis 22. In bestimmten Grenzen können sich deren Proportionen noch ändern. Ebenso sind Sonderformen möglich.

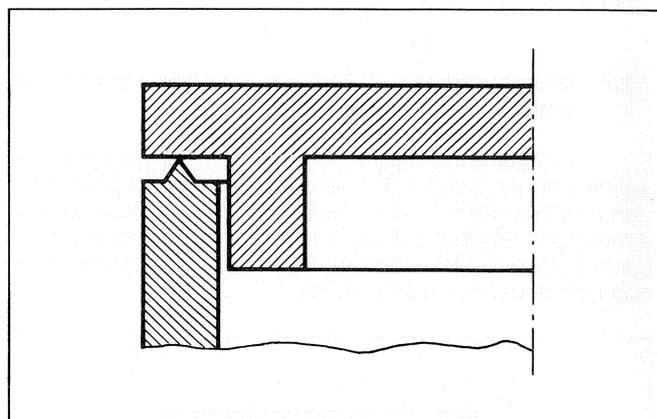


Bild 17: Oberteil mit Innenzentrierung. Naht nach innen verdeckt, nach außen kann Schmelze austreten.

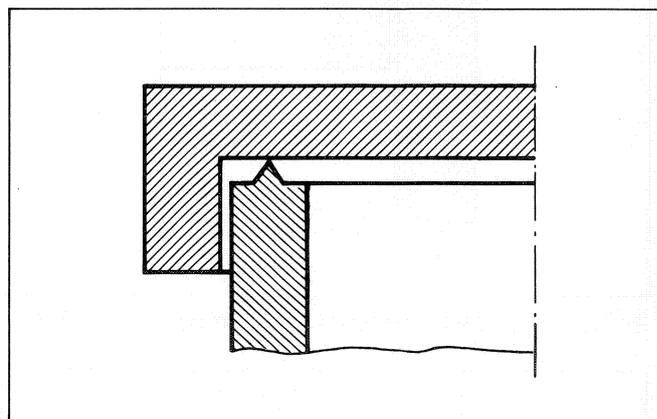


Bild 18: Oberteil mit Außenzentrierung. Naht nach außen verdeckt, nach innen kann Schmelze austreten.

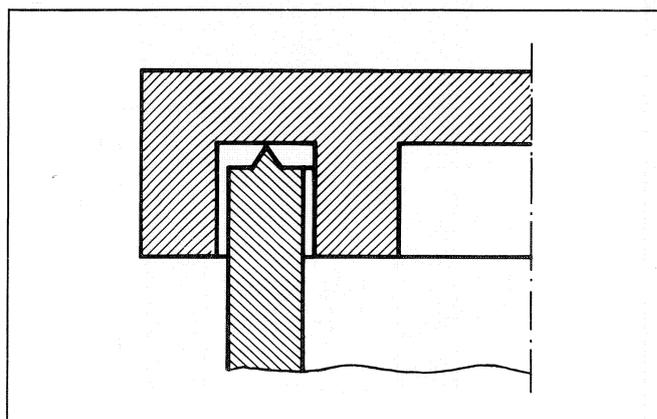


Bild 19: Oberteil mit doppelseitiger Zentrierung. Wegen der Forderung nach hoher Maßhaltigkeit bevorzugt nur bei kleineren Formteilabmessungen anwendbar.

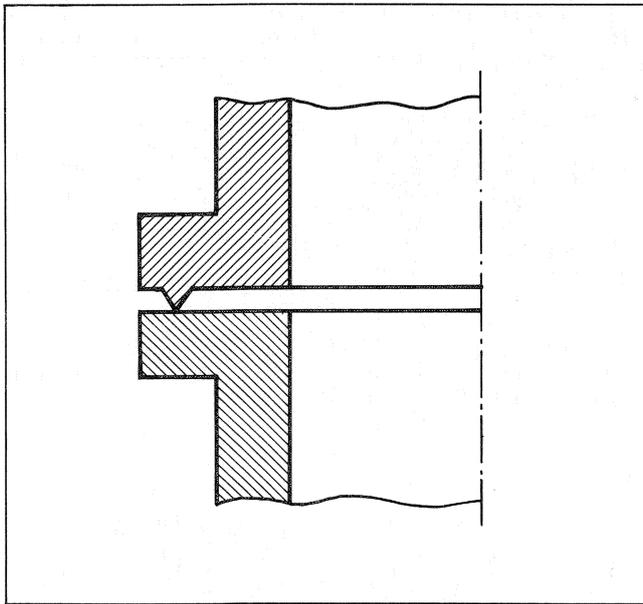


Bild 20: Nahtform für größere Formteile

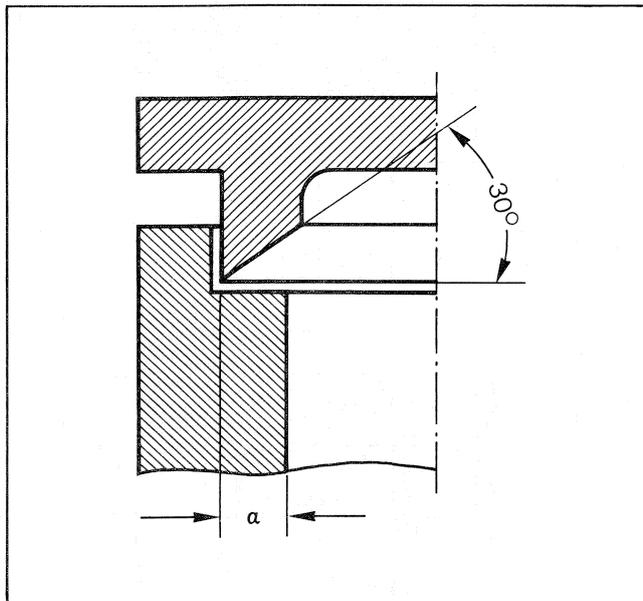


Bild 21: Oberteil mit Innenzentrierung, $a > 0,6$

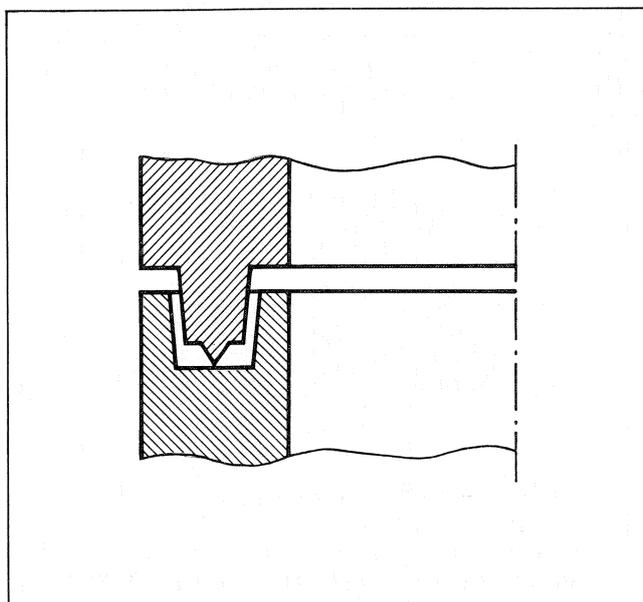


Bild 22: Oberteil mit doppelseitiger Zentrierung

Mit der auf Bild 20 dargestellten Nahtform können auch größere Bauteile geschweißt werden. Die Sonotrode ist am umlaufenden Rand des oberen Teiles aufzusetzen. Der Rand des Unterteils ist durch das Aufnahmewerkzeug abzustützen. Durch Anbringen einer Zentrierung am Ober- oder Unterteil kann die Naht nach innen bzw. außen verdeckt werden. Vorteilhaft ist diese Nahtform beim Schweißen für Polyolefine.

Bild 21 zeigt ein Oberteil mit Innenzentrierung und unsymmetrischen ERG. Diese Nahtform eignet sich bevorzugt für das Ultraschallschweißen harter amorpher und teilkristalliner Kunststoffe.

Auf Bild 22 ist ein Oberteil mit doppelseitiger Zentrierung im Unterteil dargestellt. Das seitliche Spiel muß bis zum Erreichen der vollen Einsinktiefe erhalten bleiben. Wegen der Forderung nach hoher Maßhaltigkeit bevorzugt nur bei kleineren Formteilabmessungen anwendbar.

7.2.3 Fügeflächenbildung mit Quetschnähten (QN)

Quetschnähte (Stufennähte) werden bevorzugt für Dichtschweißungen und bei der Verwendung von teilkristallinen Kunststoffen gewählt. Die Formteile sollten eng toleriert und das Passungsspiel gering sein. Die Seitenwände der Unterteile sind bis zur Höhe der Schweißnaht abzustützen. Das Prinzip einer Quetschnaht zeigt Bild 23.

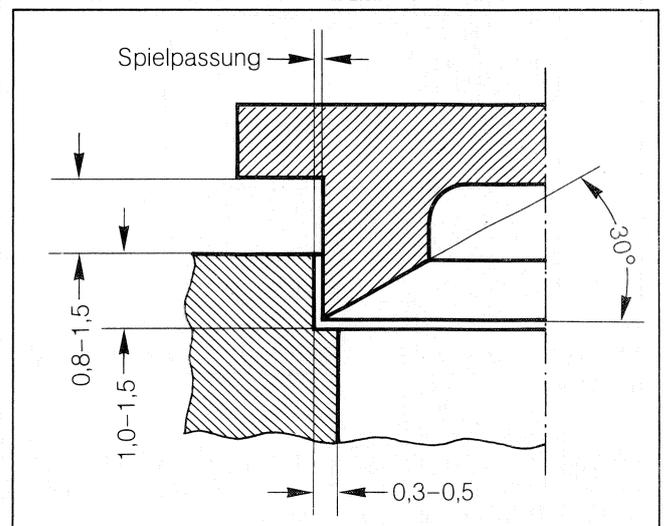


Bild 23: Prinzip einer Quetschnaht

Die Bilder 24 bis 27 zeigen bewährte Ausbildungsformen von Quetschnähten.

Bild 25 zeigt Doppelquetschnähte mit und ohne ERG am Unterteil. Wegen der Forderung nach hoher Maßhaltigkeit bevorzugt nur bei kleineren Formteilabmessungen anwendbar.

Auf Bild 26 sind Doppelquetschnähte mit und ohne ERG am Unterteil ersichtlich. Die zweite Quetschnaht wirkt erst bei zunehmender Einsinkbewegung des Oberteils. Wegen der Forderung nach Maßhaltigkeit nur bei kleineren Formteilabmessungen anwendbar.

Die Zapfenschweißung wird beim Verbinden von Formteilen gewählt, die fest, jedoch nicht dicht miteinander zu schweißen sind. Sie ist anwendbar bei den meisten harten amorphen und teilkristallinen Kunststoffen. Für die Bemessung der Fügeflächen gelten annähernd die gleichen Gesichtspunkte wie bei den Quetschnähten, Bild 27. In Sonderfällen sind Dichtschweißungen durch Beilagen elastischer Dichtelemente möglich.

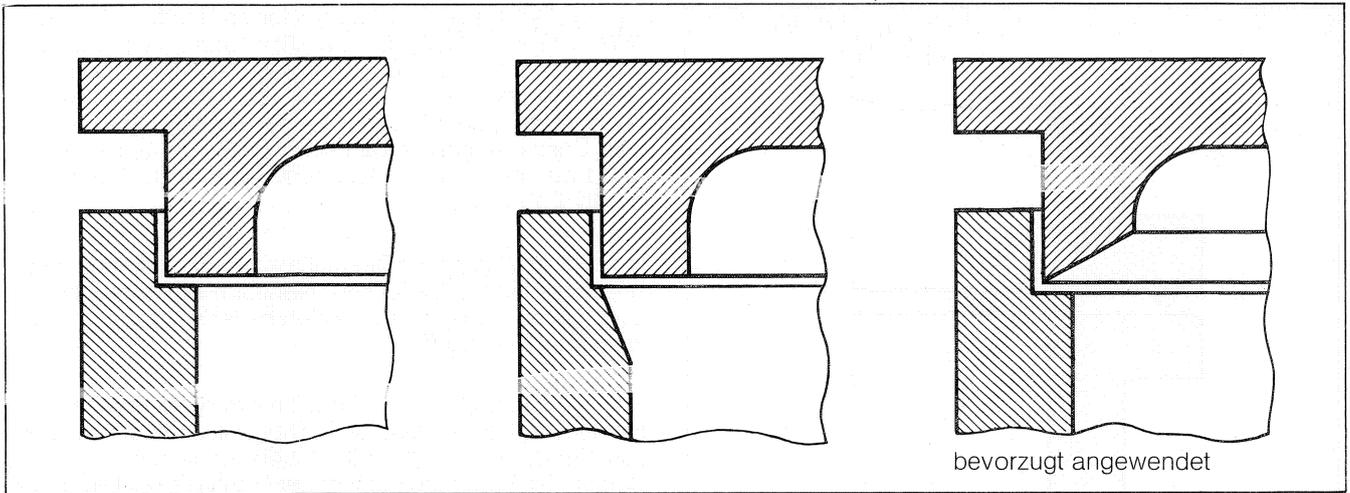


Bild 24: Einfachquetschnähte

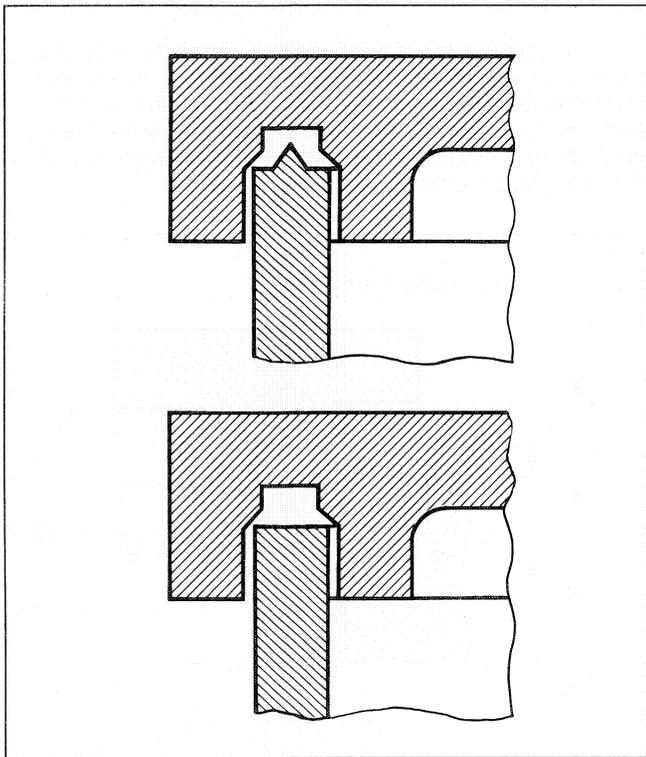


Bild 25: Doppelquetschnaht mit und ohne ERG am Unterteil

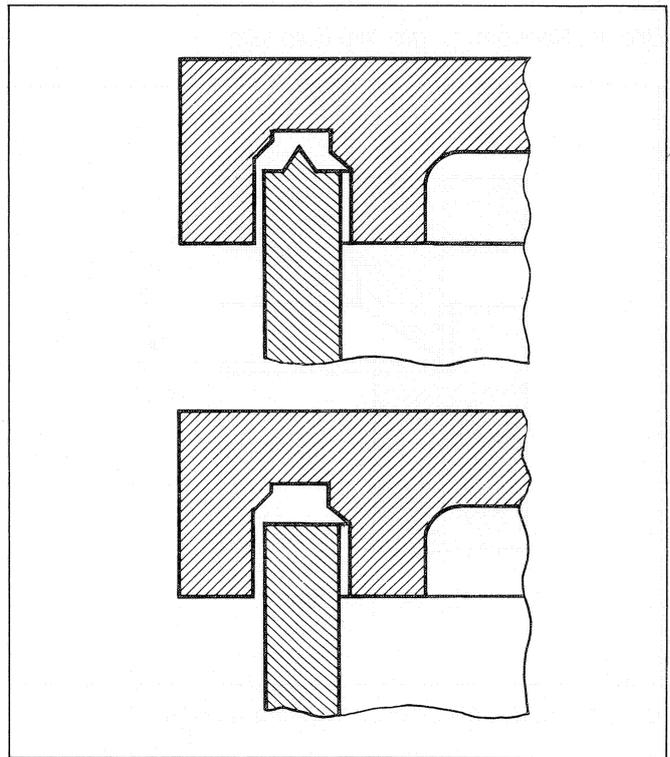


Bild 26: Abgesetzte Doppelquetschnaht mit und ohne ERG am Unterteil

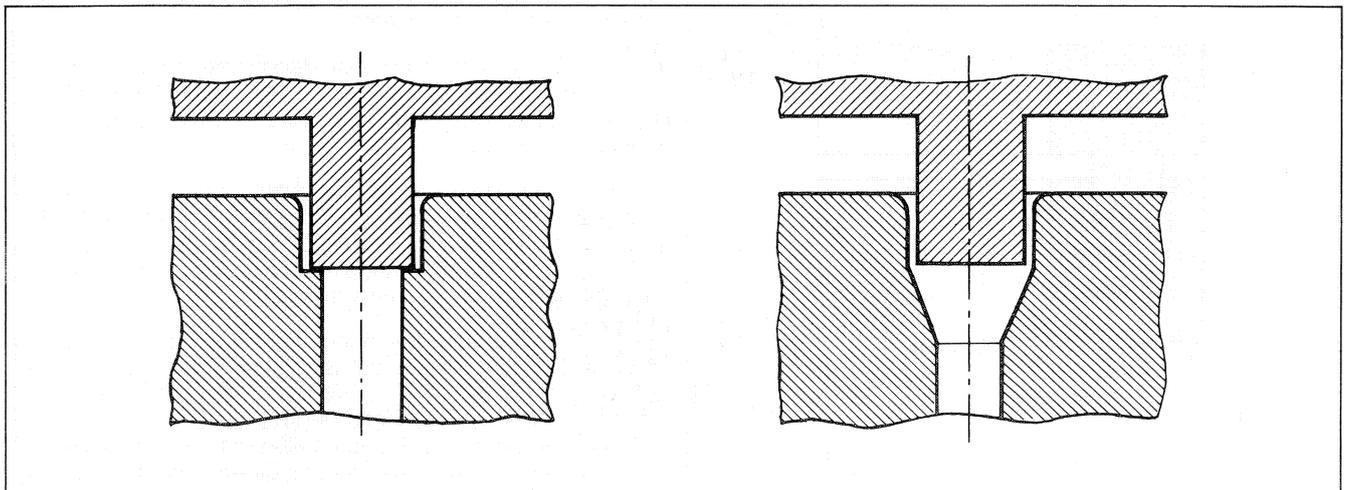


Bild 27: Zapfenschweißung

8. Anwendungshinweise zu den Verfahren

8.1 Schweißen mit Ultraschall

Nach DIN 16 960 unterscheidet man das Nahfeld- (direktes) und das Fernfeld- (indirektes) Ultraschallschweißen.

8.1.1 Nahfeldschweißen (direktes Ultraschallschweißen)

Die Fügefläche liegt nahe der Sonotrodenstirnfläche, d. h. die Entfernung Kontaktfläche Sonotrode/Kunststoff-Formteil zur Fügefläche kann bis ca. 6 mm betragen, Bild 28.

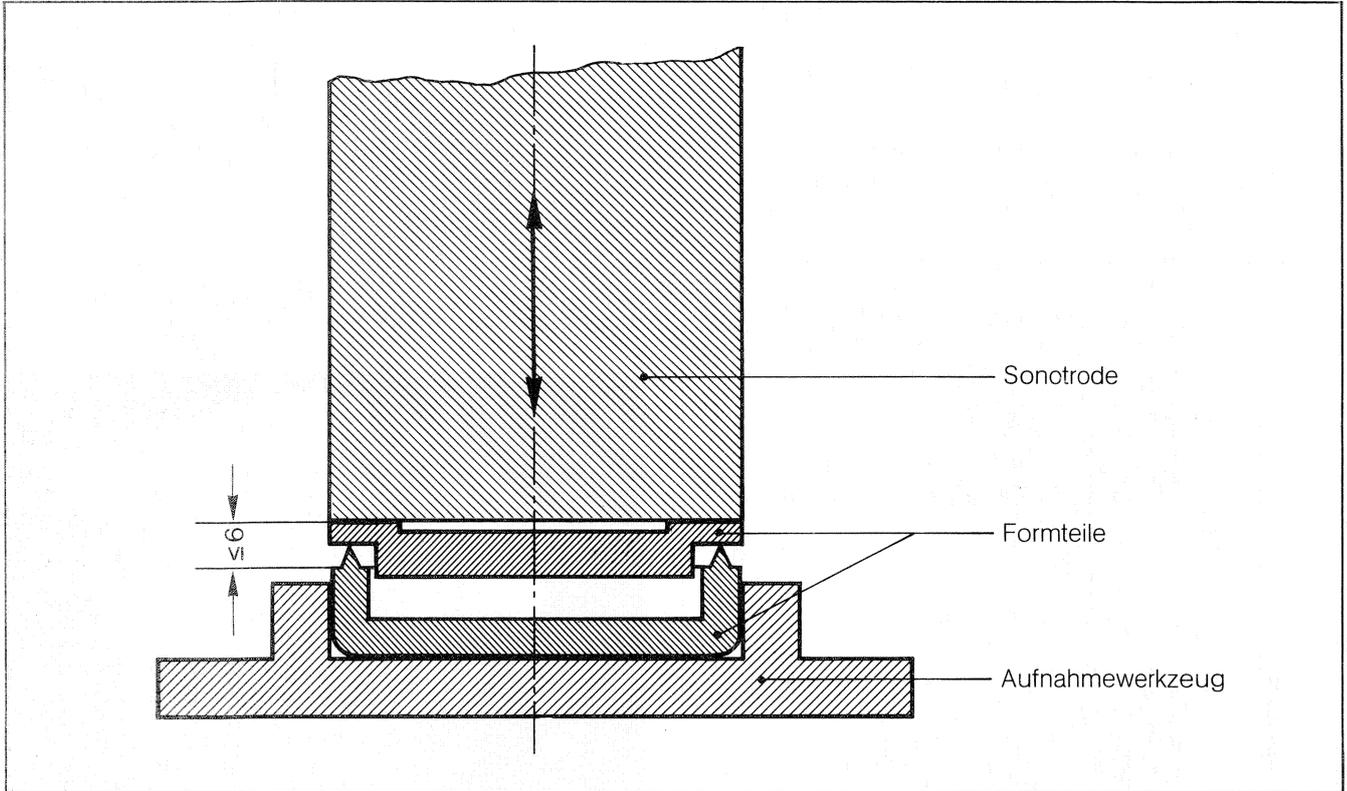


Bild 28: Ultraschallschweißen im Nahfeld

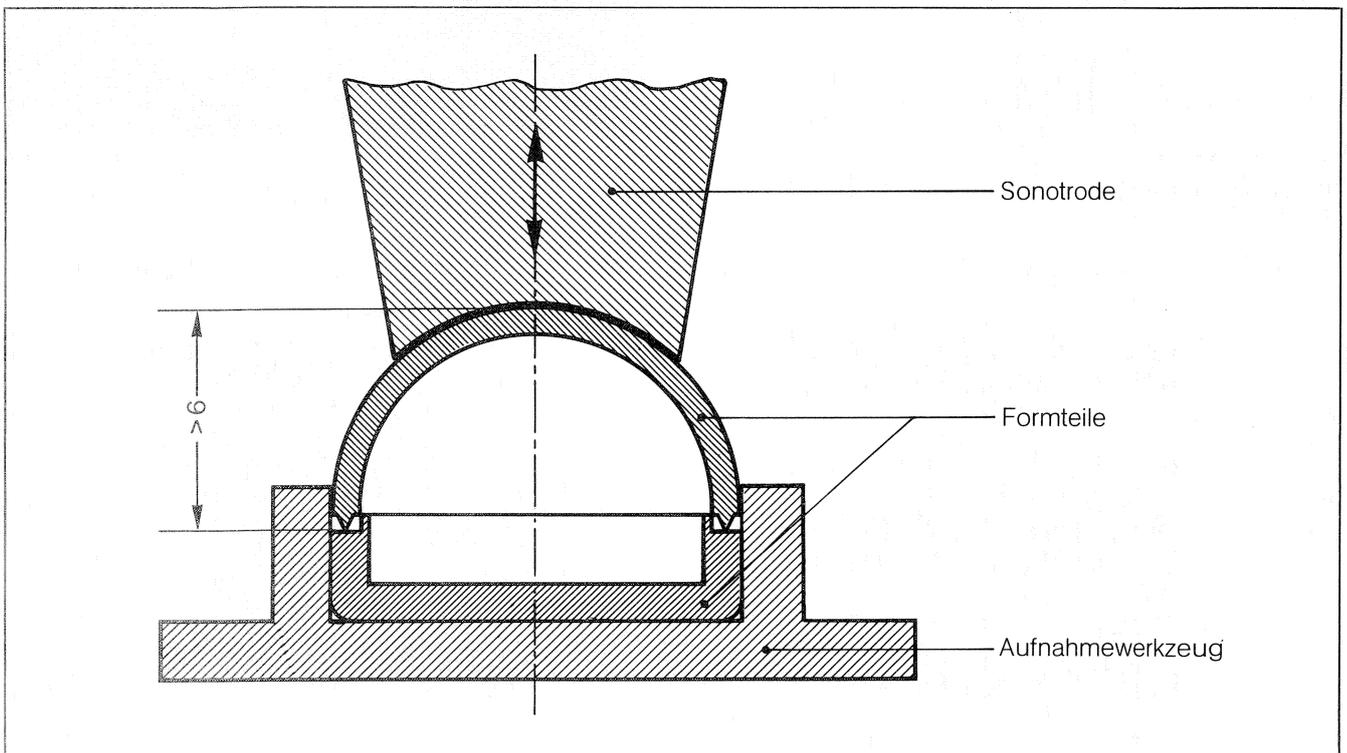


Bild 29: Ultraschallschweißen im Fernfeld

8.1.2 Fernfeldschweißen (indirektes Ultraschallschweißen)

Die Entfernung der Kontaktfläche Sonotrode/Kunststoffformteil zur Fügefläche ist größer als ca. 6 mm. Die Ultraschallenergie wird durch die obere Formteilwandung hindurch zur Fügefläche geleitet, Bild 29. Es lassen sich deshalb nur genügend steife Kunststoffteile (z.B. PS, ABS, SB, PMMA) mit dem indirekten Ultraschallschweißverfahren verbinden. Auch eine Reihe teilkristalliner Kunststoffe (z.B. POM, PETP, PBTB, PA) lassen sich bei günstiger Formteilgeometrie auch im Fernfeld schweißen.

Der zwischen Sonotrodenstirnfläche und Fügefläche liegende Kunststoff wird kaum erwärmt.

8.1.3 Schweißen mit eingelegter Dichtung

Beim Ultraschallschweißen lassen sich in der Regel dichte Verbindungen herstellen. Das gilt für die meisten Fügeflächenbildungen, jedoch in besonderer Weise für Quetschnähte. In Sonderfällen werden Dichtschweißungen über eine eingelegte elastische Dichtung (z.B. O-Ringe) erzielt. Bild 30 zeigt ein Ausführungsbeispiel.

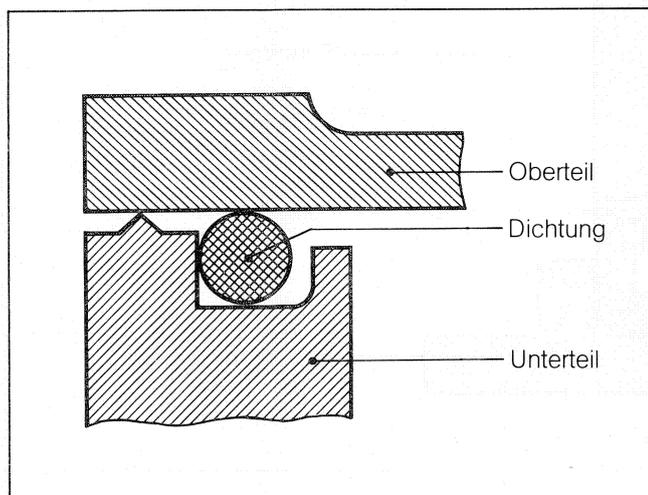


Bild 30: Ultraschallschweißen von Formteilen mit eingelegter Dichtung

8.1.4 Schweißen von Formteilen - spritzgegossen, extrudiert, blasgeformt, thermogeformt - mit Halbzeugen bzw. Folien

Wenn keine Energierichtungsgeber vorhanden sind, bzw. nur mit sehr hohem Aufwand angebracht werden können, empfiehlt es sich, das Punktschweißverfahren, Bild 31, einzusetzen, siehe Punkt 8.1.6.

Beim Ultraschallschweißen von Folien mit spritzgegossenen, extrudierten, blasgeformten bzw. thermogeformten Formteilen oder mit Folien sollten Sonotroden mit Profilierungen (Rautierungen, Rändelungen) an der Schweißfläche verwendet werden.

8.1.5 Schweißen von Formteilen - Kombination spritzgegossener, extrudierter bzw. thermogeformter Teile

Spritzgegossene Formteile können mit blasgeformten, extrudierten bzw. thermogeformten Formteilen geschweißt werden. Der Energierichtungsgeber wird an den spritzgegossenen Formteilen angespritzt. Die Formteile sollten möglichst aus dem gleichen Kunststofftyp bestehen. Auf Bild 32 ist der Deckel mit einem Joghurtbecher ultraschallgeschweißt.

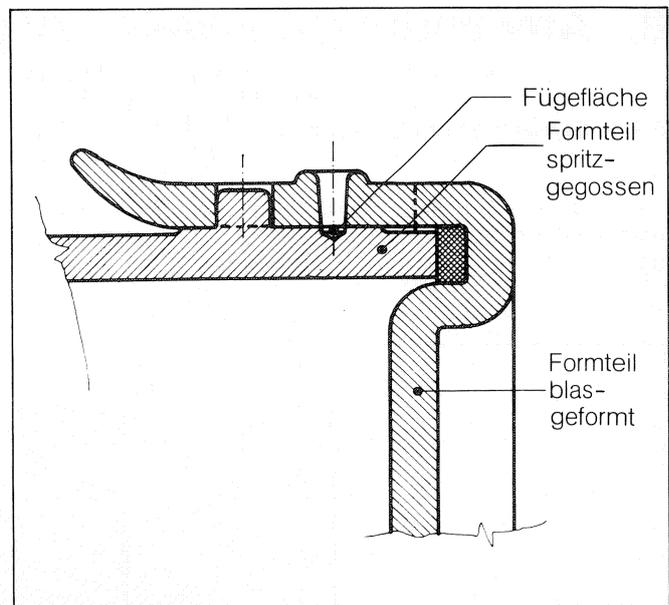


Bild 31: Ultraschall-Punktschweißen von blasgeformten mit spritzgegossenen Formteilen

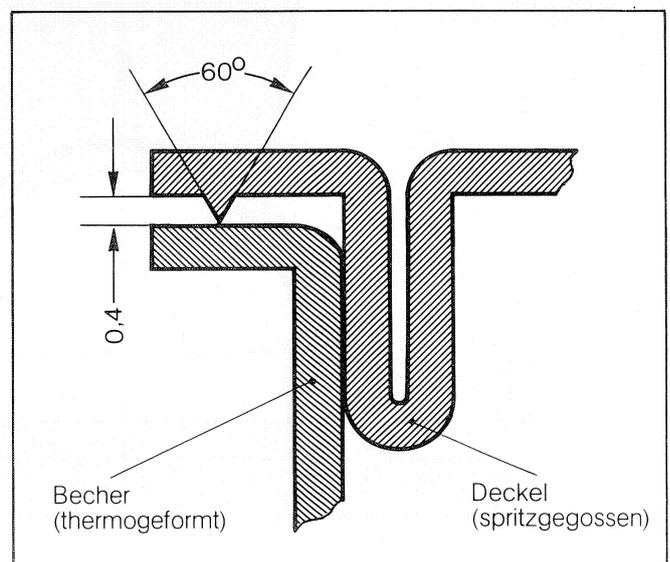
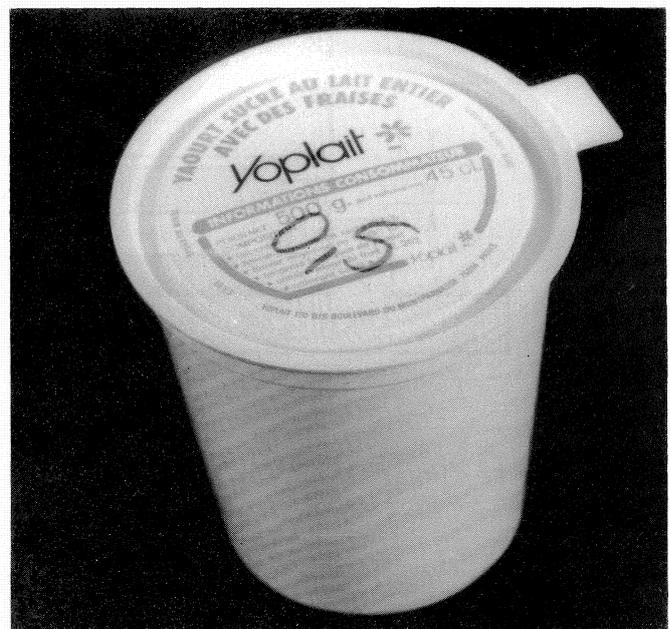


Bild 32: Ultraschallschweißen von thermogeformten mit spritzgegossenen Formteilen

8.1.6 Punktschweißen

Das Ultraschall-Punktschweißen wird überwiegend dort eingesetzt, wo z. B. flächige Formteile ohne Nahtvorbereitung (ERG) verbunden werden sollen (z. B. Halbzeuge, thermogeformte, blasgeformte, extrudierte und großflächige Formteile).

Bild 33 zeigt das Prinzip des Punktschweißens. Die Sonotroden spitze dringt durch das Oberteil hindurch in das Unterteil ein. An den Berührungsflächen der Formteile entsteht Wärme, durch die das Material plastifiziert und miteinander verschweißt wird. Der verdrängte Kunststoff fließt nach oben und bildet eine ringförmige Erhebung. Die Rückseite des Unterteils bleibt weitgehend frei von Markierungen. Die Formteile werden zweckmäßig durch Niederhalter bzw. Spannvorrichtungen fixiert. Die Materialdicke des an der Sonotrode anliegenden Formteiles sollte 8 mm nicht überschreiten. Das Punktschweißen kann auch mit einem ortsbeweglichen Ultraschall-Handschweißgerät (Hand-Pistole) ausgeführt werden.

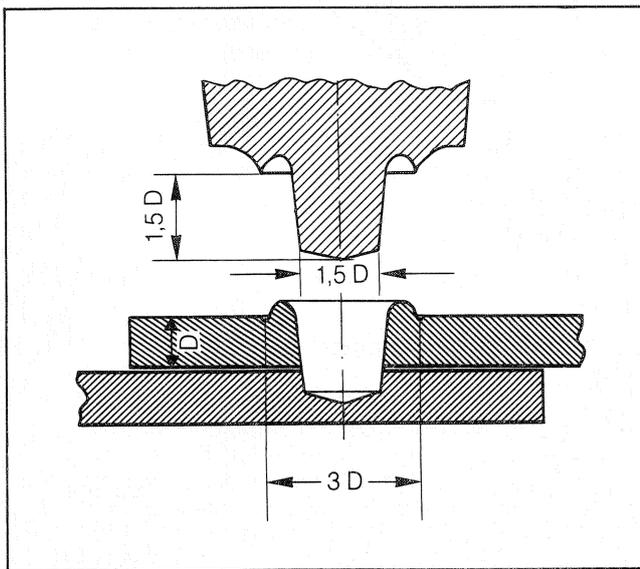


Bild 33: Prinzip des Ultraschall-Punktschweißens

8.1.7 Nahtschweißen und Nähen

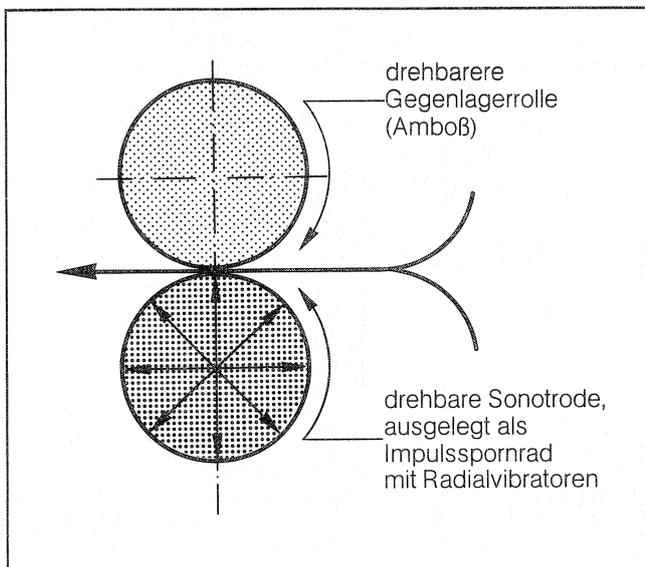


Bild 34: Ultraschall-Nahtschweißen, kontinuierlicher Antrieb durch die Sonotrode

Das Schweißen von Formteilen und Halbzeugen (Folien, Gewebe, Platten, Profile) erfolgt nahtförmig. Die Bilder 34 bis 37 zeigen Varianten des Nahtschweißens.

Mit Hilfe spezieller „Ultraschall-Nähmaschinen“ können Gewebe, Gewirke und Folien „genäht, gesäumt, plissiert, geheftet und geprägt“ werden. Der Anteil an Naturfasern kann bis zu 35% betragen.

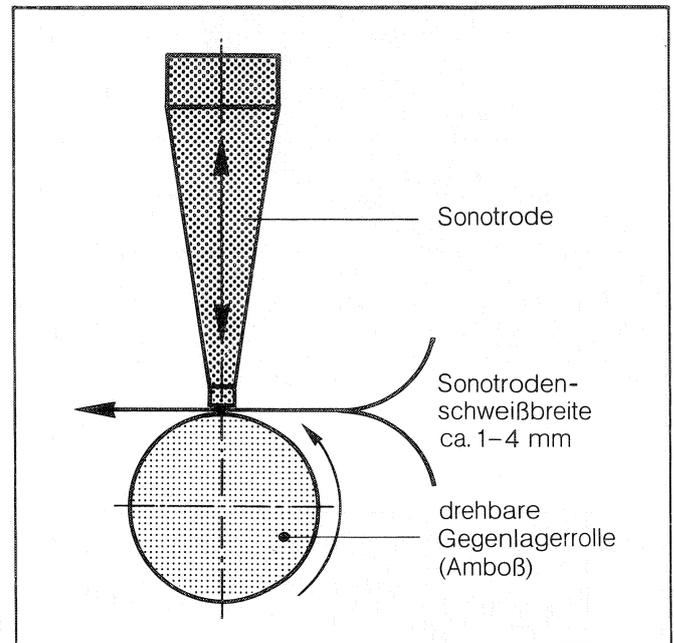


Bild 35: Ultraschall-Nahtschweißen, kontinuierlicher Antrieb durch die drehbare Gegenlagerrolle

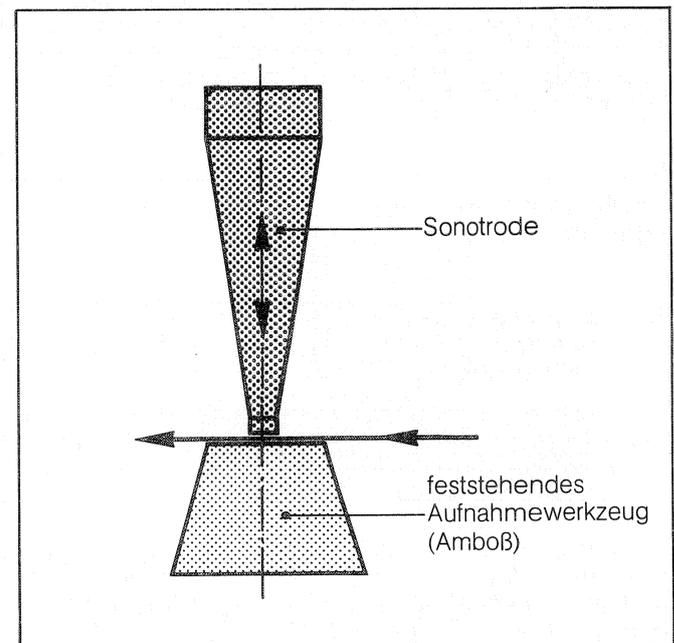


Bild 36: Ultraschall-Nahtschweißen, Transport der Folie nur durch Folienzug

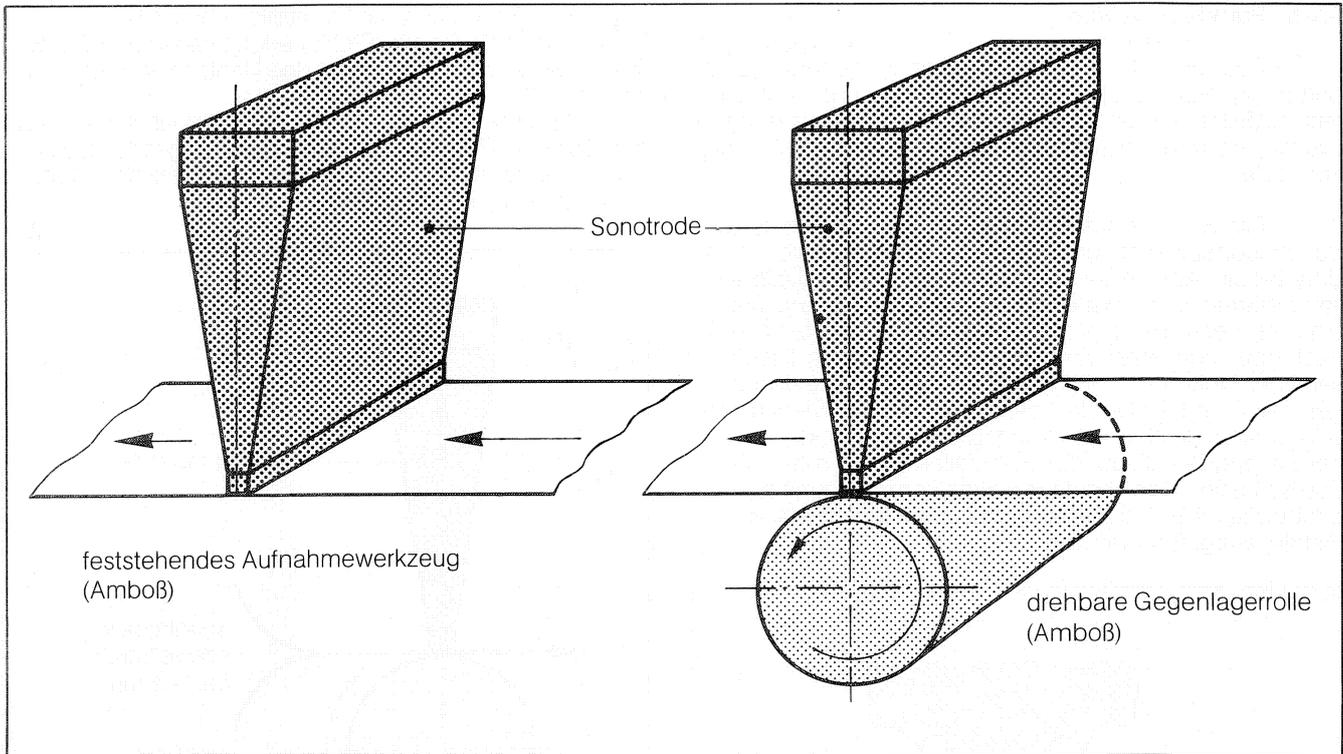


Bild 37: Ultraschall-Nahtschweißen diskontinuierlich durch Strichnahtsonotrode

8.1.8 Schweißen beschichteter Pappen oder Gewebe

Eine Verbindung kunststoffbeschichteter Pappen oder Gewebe ist durch eine Ultraschall-Schweißung möglich, Bild 38. Dabei durchdringt die Ultraschallenergie den Trägerwerkstoff und schweißt die Beschichtung zusammen. Es ist zweckmäßig, die Sonotrodenstirnfläche zu rifeln.

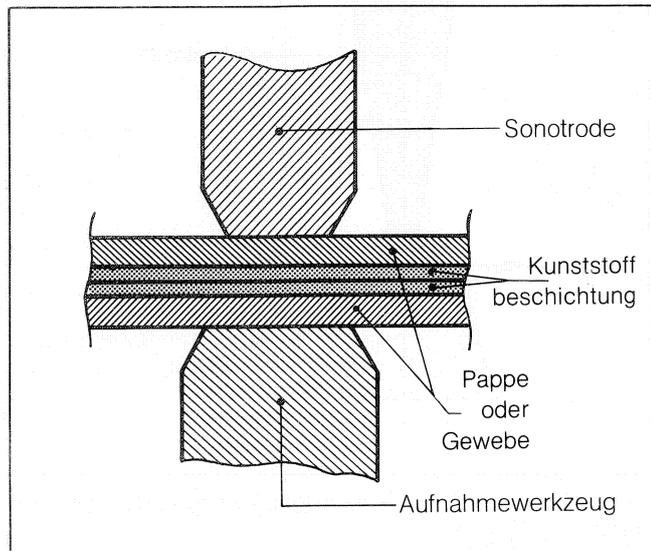


Bild 38: Anordnung beim Ultraschallschweißen beschichteter Pappen oder Gewebe

8.2 Umformen mit Ultraschall

Formteile aus thermoplastischem Kunststoff können durch Ultraschall plastifiziert und umgeformt werden. Diese Möglichkeit nutzt man z. B. beim Nieten, Bördeln und Verdämmen. Von besonderem Vorteil ist, daß im Vergleich zum Umformen mit warmem Stempel, die Sonotrode beim Umformprozeß kalt bleibt und somit gleichzeitig die Aufgabe des Kühlstempels übernimmt.

Um die Plastifizierung schnell einzuleiten, ist es günstig, das zu bearbeitende Formteil zu arretieren. Schwingt dagegen das Formteil in Resonanz mit, müssen längere Bearbeitungszeiten angesetzt werden. Dies kann sich nachteilig auf die Qualität des Formteils auswirken. Beim Umformen mit Ultraschall ist zu beachten, daß die Plastifizierung zunächst an der Oberfläche einsetzt und von dort aus in tiefere Zonen vordringt. Anzustreben ist hierbei, daß die umzuförmenden Bereiche im plastifizierten Zustand geformt werden. Die Umformbedingungen sind deshalb sehr genau auf den Kunststoff und die Fügeaufgabe abzustimmen. Werden nicht genügend plastifizierte Zonen umgeformt, ist mit Spannungsrissen und/oder mit dem Nachlassen der Belastbarkeit zu rechnen.

Für Umformaufgaben können die üblichen Ultraschallschweißgeräte eingesetzt werden.

8.2.1 Nieten

Wie beim Ultraschall-Schweißen dient beim Ultraschall-Nieten die Sonotrode zur Übertragung der mechanischen Schwingungsenergie auf den Nietzapfen. Sie ist das Nietwerkzeug und wird gemäß der gewünschten Nietkopf-ausbildung sowie der Anzahl der in einem Takt zu nietenden Zapfen hergestellt. Dabei ist es möglich, mehrere Nietungen mit einer Sonotrode auszuführen. Beim Nieten von Großteilen (z. B. Armaturentafeln in der Automobilindustrie) werden Mehrkopfanlagen eingesetzt.

Darstellung von Sonotrodenform, Werkstück und ausgebildetem Nietkopf	Kopfausbildung	Darstellung von Sonotrodenform, Werkstück und ausgebildetem Nietkopf	Kopfausbildung	Nietzapfendurchmesser
	A		B	$d: > 1-5$
	C		D	$d: > 2$
	E		F	$d: > 0,5$
	G		H	

Bild 39: Häufig eingesetzte Nietkopfformen und Zapfendurchmesser

Die Nietzeit («Schweißzeit») ist abhängig vom Werkstoff und dem Nietschaftdurchmesser. Sie liegt bei ca. 1 bis 3 s. In vielen Fällen ist es günstig, mit Niederhalter zu arbeiten. Folgende Punkte sind beim Nieten zu beachten:

- Anpassen des Nietschaftüberstandes an die Nietkopfform (der überstehende Nietschaft soll dem Volumen des Nietkopfes entsprechen),
- langsame Absenkgeschwindigkeit der Sonotrode,
- geringe Anpreßkraft und im allgemeinen höhere Amplituden als beim Ultraschallschweißen,
- Haltezeit bis zum Erstarren des Nietkopfes,
- Verschleiß der Sonotrodenform (vor allem beim Nieten glasfaserverstärkter Kunststoffe).

Der Nietzapfen ist in den meisten Fällen an das Formteil angespritzt. Die Anbindung des Nietzapfens sollte nicht scharfkantig, sondern mit einem möglichst großen Radius versehen werden. Dies verhindert ein Plastifizieren oder Reißen in diesem Bereich. Bewährt haben sich die Schaftausbildungen nach Bild 39 H.

Das mit dem Kunststoff zu nietende Teil erhält einen dem Nietschaft angepaßten Durchbruch mit einem geringen Übermaß (Spielpassung). Der Zapfenüberstand und die Nietkopfausbildung richten sich nach

- dem zu nietenden Werkstoff
- der gewünschten Festigkeit
- den Nietschaftabmessungen
- den Maßtoleranzen bei einer Mehrfachnietung.

Bild 39 zeigt häufig eingesetzte Nietkopfformen.

Die Nietkopfausbildungen A und B werden vorzugsweise für dünne Zapfen bis etwa 3 mm eingesetzt. Besonders bewährt haben sich die Kopfausbildungen C und D. Bei diesen Formen ist die Kontaktfläche zwischen Sonotrode und Nietzapfen durch die zentrale Spitze, die mittig angreifen muß, zunächst sehr klein. Hierdurch wird die Ultraschallenergie eingeleitet. Die Kopfausbildung D wird aufgrund der guten Festigkeitswerte bevorzugt verwendet.

Bei der Ausführung E wird die Sonotrodenstirnseite mit einer Kordierung (Waffelmuster) versehen. Diese Nietkopfform hat sich bei Einzel- und besonders bei Mehrfachnietungen bewährt. Dabei wird der Nietbereich an der

Sonotrodenstirnfläche großflächig kordiert. Positionsungenauigkeiten zwischen Sonotrode und Nietzapfen sowie Maßtoleranzen im Abstandsmaß mehrerer Nietstellen, können damit ausgeglichen werden.

Bei größerem Nietzapfendurchmesser empfiehlt es sich, besonders um Einfallstellen beim Spritzen der Teile zu vermeiden, Hohlzapfen, Bild 39, Ausführung G, oder mehrere dünne Zapfen einzusetzen.

Beim Nieten glasfaserverstärkter Thermoplaste wird gegenüber dem gleichen Kunststoff ohne Glasfaserezusatz eine höhere Ultraschalleistung benötigt.

Da die Nietsonotroden bei glasfaserverstärkten Kunststoffen einem verhältnismäßig großen Verschleiß unterworfen sind, muß die Sonotrodenarbeitsfläche verschleißfest ausgeführt werden.

Beim Nieten der Werkstoffe PA, POM, PETP und PBTP müssen neben der optimierten Ausbildung der Nietkopfform die Nietbedingungen besonders angepaßt werden. Vorzugsweise werden die Formen C, D, E nach Bild 39 sowie höhere Amplituden und Leistungen als bei harten amorphen Kunststoffen verwendet. Die Anbindung des Nietschaftes sollte mit einem ausreichend großen Radius versehen werden, Bild 39 H.

8.2.2 Bördeln

Wie in der Metallbearbeitung können auch Formteile aus Kunststoff gebördelt werden. Auf diese Weise lassen sich Bauteile aus Kunststoff untereinander und in Kombination mit artfremden Werkstoffen verbinden. Je nach Aufgabe ist die Sonotrode an ihrer Arbeitsfläche zu profilieren, um Ränder, Zapfen, Vorsprünge oder sonstige Befestigungshilfen zu plastifizieren und umzuformen.

Bördelungen mit Ultraschall sind besonders wirtschaftlich. Die Bearbeitungszeiten sind mit den üblichen Zyklen beim Ultraschallschweißen von Formteilen vergleichbar. Beim Einbördeln von Glasteilen darf die Sonotrode das Glasteil nicht berühren.

Die Bilder 40 und 41 zeigen Beispiele für eine Innen- und Außenbördelung.

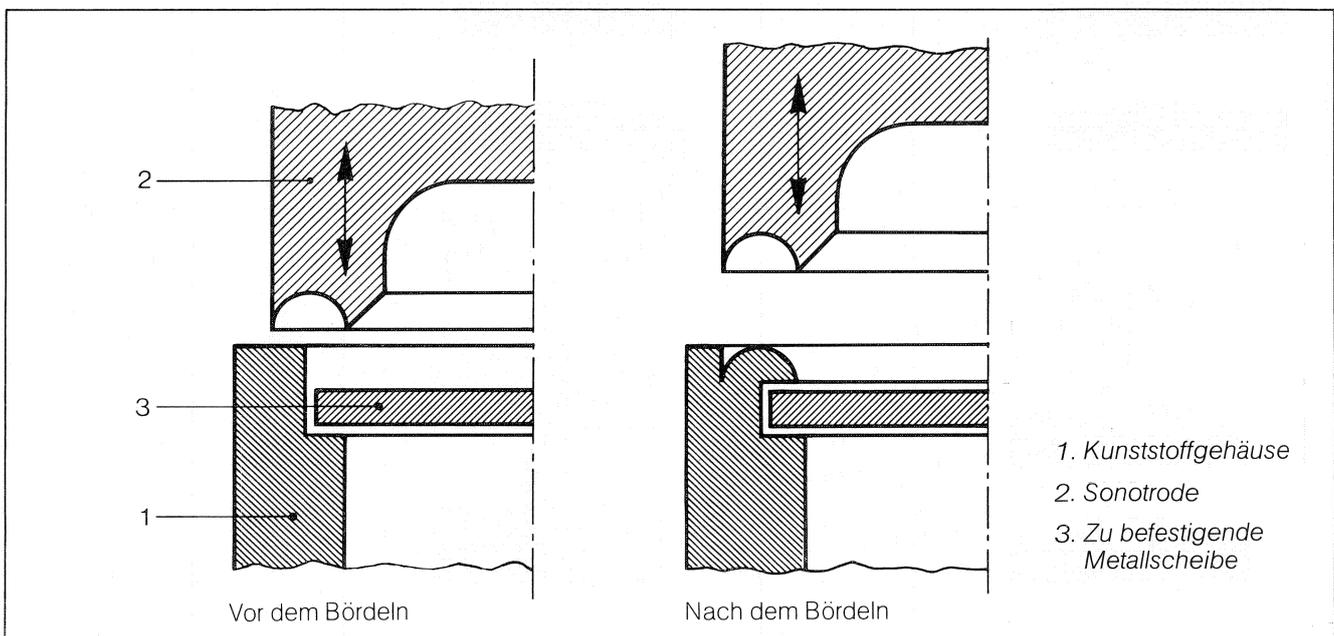


Bild 40: Innenbördelung, Befestigen einer Metallscheibe in einem Kunststoffgehäuse

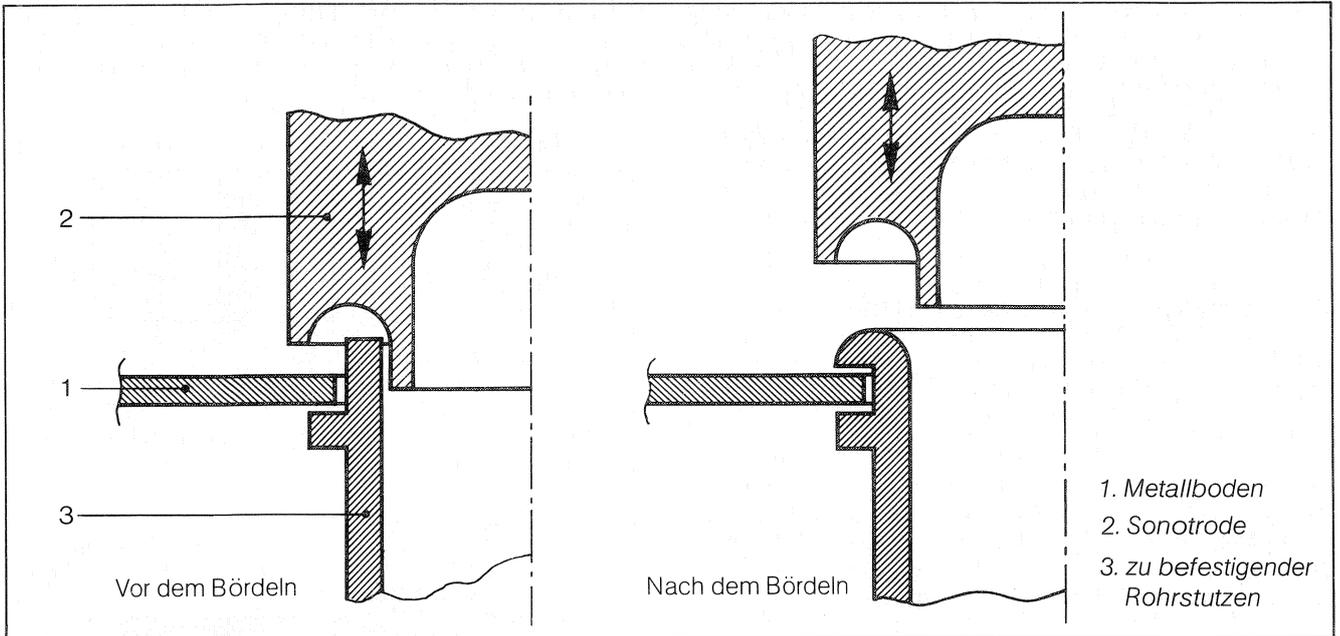


Bild 41: Außenbördelung, Befestigen eines Kunststoffrohrstutzens in einem Behälterboden

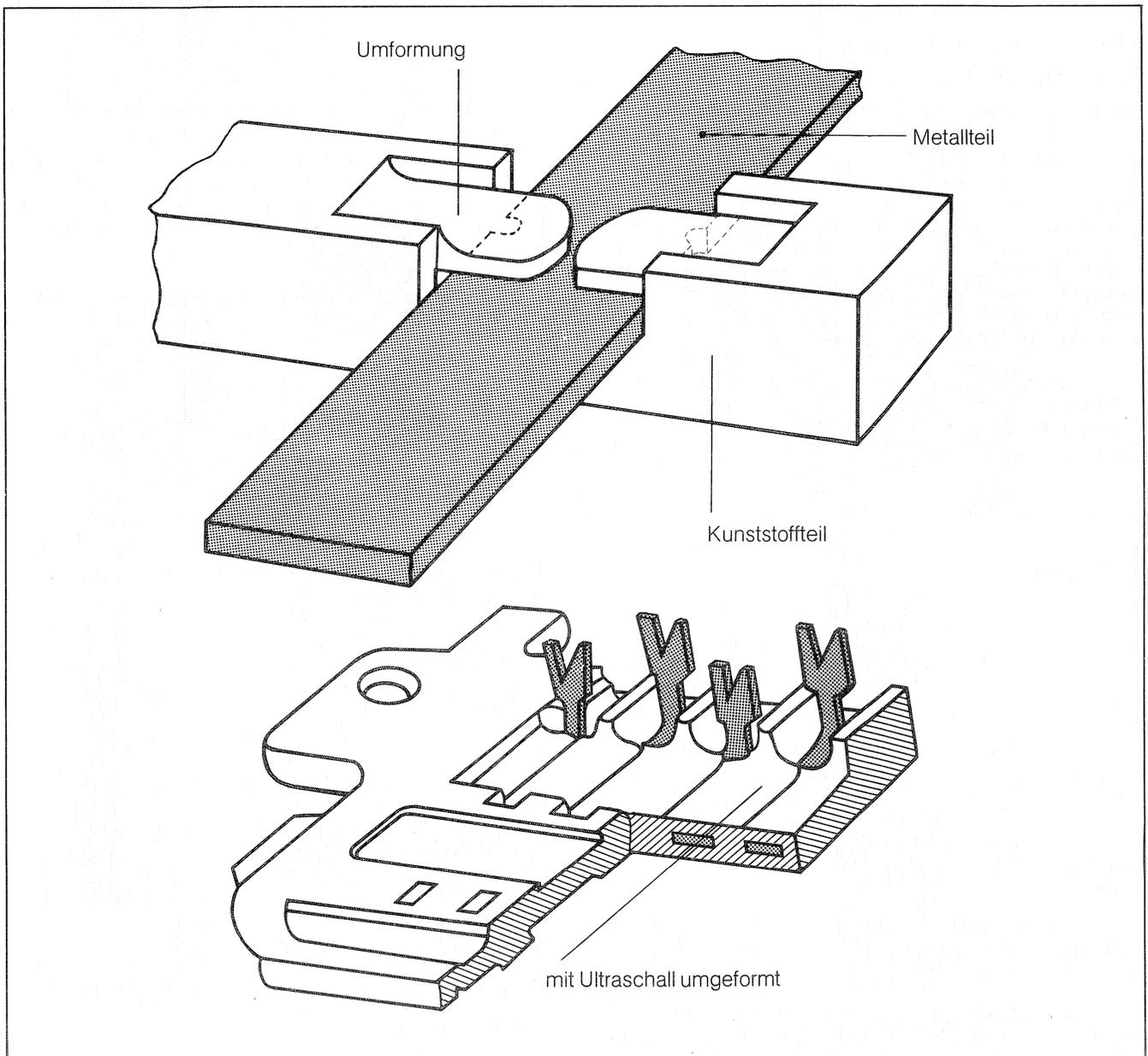


Bild 42: Beispiele zum Verdämmen mit Ultraschall

8.2.3 Verdämmen

Das Ultraschall-Verdämmen stellt ein dem Bördeln ähnliches Bearbeitungsverfahren zum Befestigen von artgleichen oder artfremden Werkstoffen miteinander dar. Dabei wird der von der Sonotrode plastifizierte Kunststoff in Aussparungen, Hinterschneidungen oder Bohrungen gedrückt. Durch dieses Verfahren wird eine unlösbare Verbindung der Teile hergestellt, Bild 42.

8.3 Einbetten von Metallteilen mit Ultraschall

Gewindeinsätze, Gewindestifte oder andere Metallteile können mittels Ultraschall in thermoplastische Kunststoffe eingebettet werden. Je nach Größe und Gestaltung der Metallteile lassen sich hohe Verdreh- und Ausreißfestigkeiten erzielen.

Bei günstigen Höhenunterschieden der Einbettebenen können gleichzeitig mehrere Teile mit einer zusammengesetzten λ -Sonotrode, Bild 43 in einem Arbeitsgang eingebettet werden. Die unteren Sonotroden sind den unterschiedlichen Fügeebenen anzupassen.

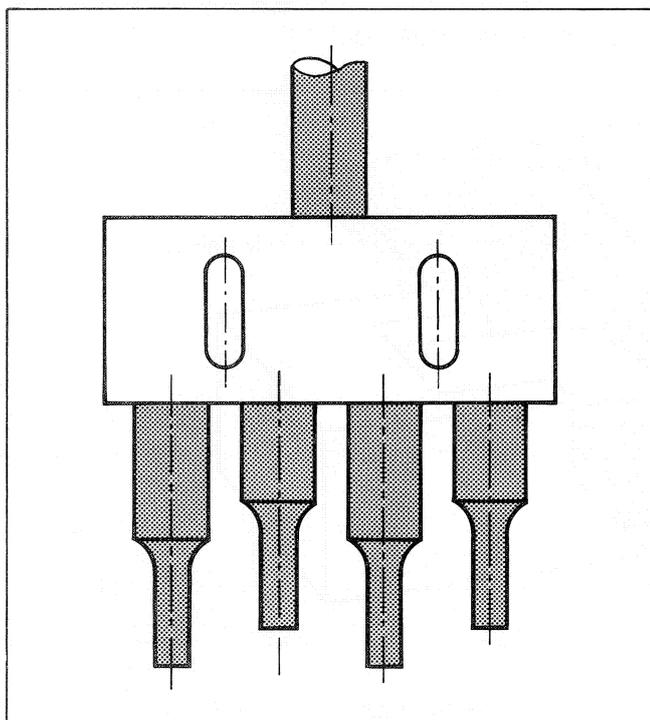


Bild 43: Sonotrodenkombination zum Einbetten von Metallteilen in unterschiedlichen Fügeebenen

Bei sehr langen Metallteilen ist es oft vorteilhaft, das Kunststoffteil der Sonotrode zuzuordnen und das Metallteil im Aufnahmewerkzeug zu halten.

Sofern die Aufnahmebohrungen im Kunststoffteil in Form von Augen mit angespritzt werden, ist zu beachten, daß sich auf der Rückseite Markierungen, meist in Form von Einfallstellen, bemerkbar machen können. Die von den Rohstoffherstellern genannten Verhältnisangaben Wanddicke Auge/Wanddicke Formteil müssen dann beachtet werden.

Zum Erzielen einer spannungsarmen Einbettung der Metallteile mit hoher Ausreiß- und Verdrehfestigkeit ist folgendes zu beachten:

Ein verkantungsfreies Ansetzen der Metallteile läßt sich durch eine Führungsbohrung, die im Durchmesser ca. 0,1–0,2 mm größer als das Metallteil ist, erzielen. Die einzubettenden Metallteile müssen ausreichend geführt werden.

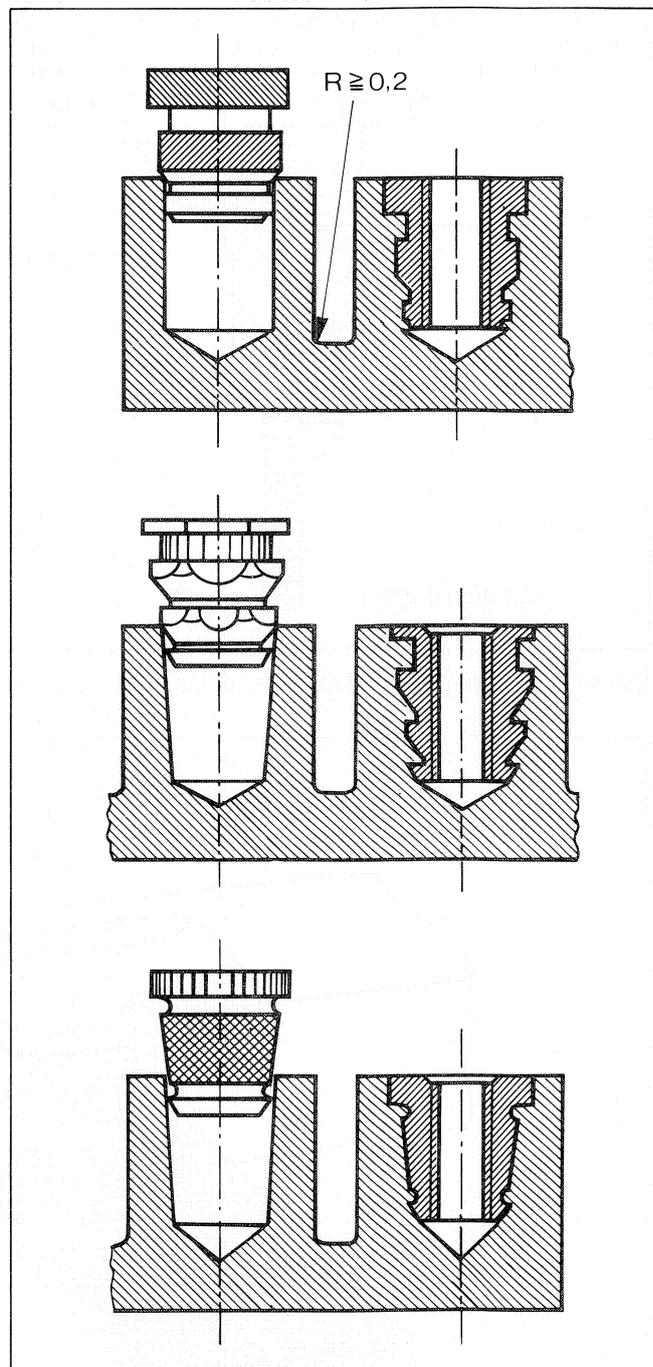


Bild 44: Kunststoff-Formteile mit angespritzten Augen zur Aufnahme von Metallteilen

Die Augen sollten im Übergang zum Kunststoffteil einen Radius $\geq 0,2$ mm aufweisen, Bild 44.

Die Aufnahmebohrung muß etwas kleiner als das einzubettende Metallteil sein, Tabelle 1.

Sofern konische Metallteile in zylindrische Aufnahmebohrungen eingebettet werden, sollte das Metallteil beim Einlegen etwa bis zur Hälfte in die Aufnahmebohrung einsinken. Das Untermaß der Aufnahmebohrung soll so groß sein, daß das Volumen der beim Einbetten plastifizierten Masse mindestens dem Volumen der Hinterschneidungen bzw. Rändelungen des Metallteiles entspricht.

Bei Sacklöchern muß die Aufnahmebohrung mindestens 2 bis 3 mm tiefer sein als das Metallteil eingebettet werden soll, um die verdrängte Kunststoffschmelze aufzunehmen.

Wenn hohe Ausreiß- und Verdrehfestigkeiten verlangt werden, soll bei Aufnahmebohrungen in Augen die

Wanddicke mindestens 1,5, besser > 2 mm betragen. Die Empfehlungen der Rohstoff-, Maschinen- und Metallteilehersteller sind zu beachten. Beim Einbetten ist die Amplitude so klein wie möglich zu wählen, um Spannungen, Rißbildung oder Zerstörungen der Augen zu vermeiden.

Es ist vorteilhaft, mit schwingender Sonotrode aufzusetzen, oder die Ultraschallenergie sofort nach ganz geringem Druckaufbau einzuleiten. Die Einsinkgeschwindigkeit soll gering sein. Der Ultraschall soll nur solange einwirken, bis das Metallteil eingebettet ist. Beim Einbetten ist mit Metallabrieb zu rechnen.

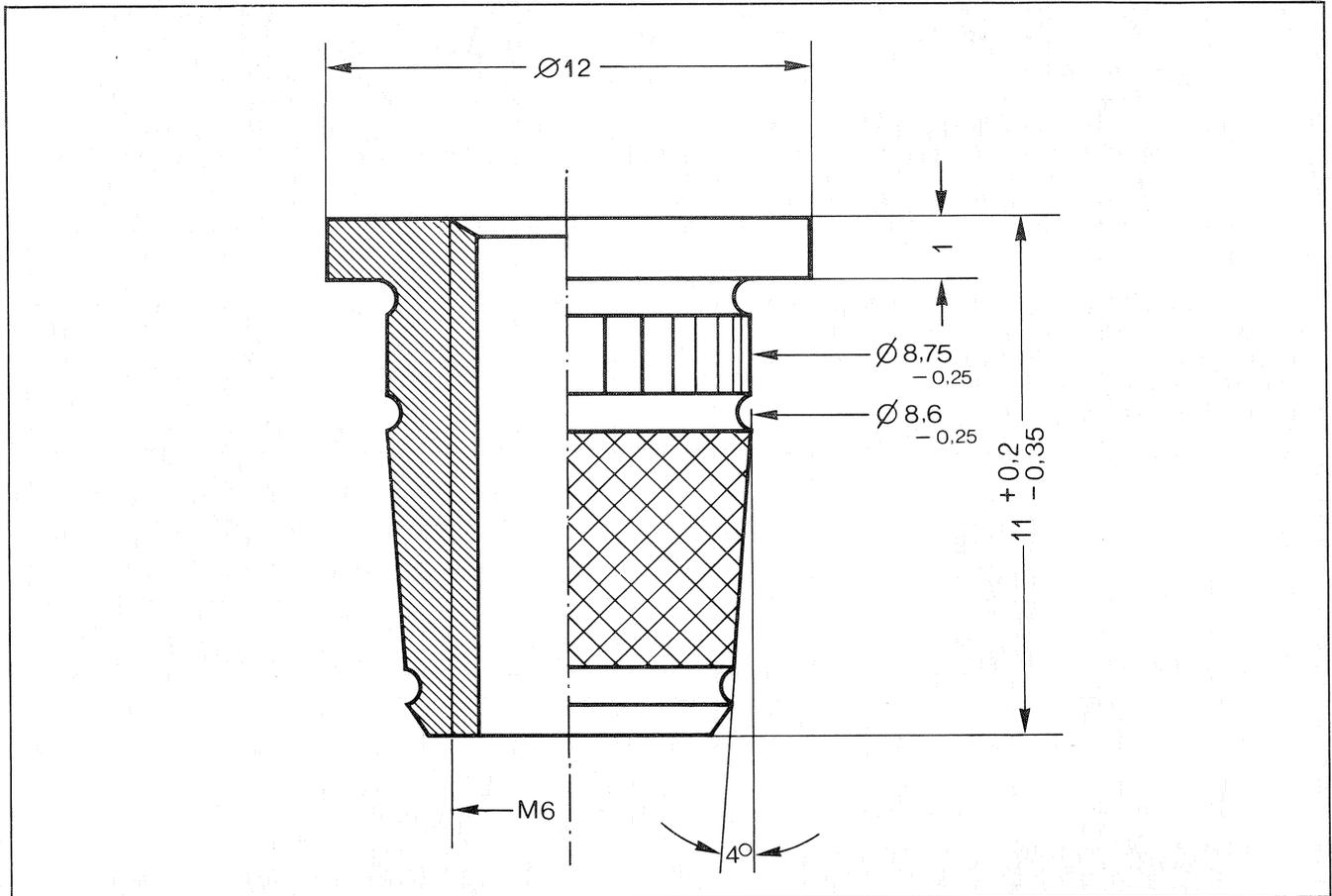


Bild 45: Gewindeeinsatz mit Bund

Metrisches Gewinde	Länge der Buchse in mm	Durchmesser in mm		Aufnahmebohrung in mm (Richtw.)	Gewindeeinsatz 1
		D 1	D 2		
M3	5,5	4,0	4,7	4,3	
M4	7,5	5,2	6,15	5,65	
M5	9,0	6,4	7,35	6,85	
M6	10,0	7,7	8,75	8,25	
M8	12,0	9,7	11,3	10,8	
Metrisches Gewinde	Länge der Buchse in mm	Durchmesser in mm		Aufnahmebohrung in mm (Richtw.)	Gewindeeinsatz 2
		D 1	D 2		
M3	5,8	3,9	4,7	4,0	
M4	8,2	5,5	6,3	5,6	
M5	9,5	6,3	7,1	6,4	
M6	12,7	7,9	8,7	8,0	
M8	12,7	9,5	10,2	9,6	

Tabelle 1: Empfohlene Bohrungsdurchmesser zur Aufnahme der Gewindeeinsätze 1 und 2

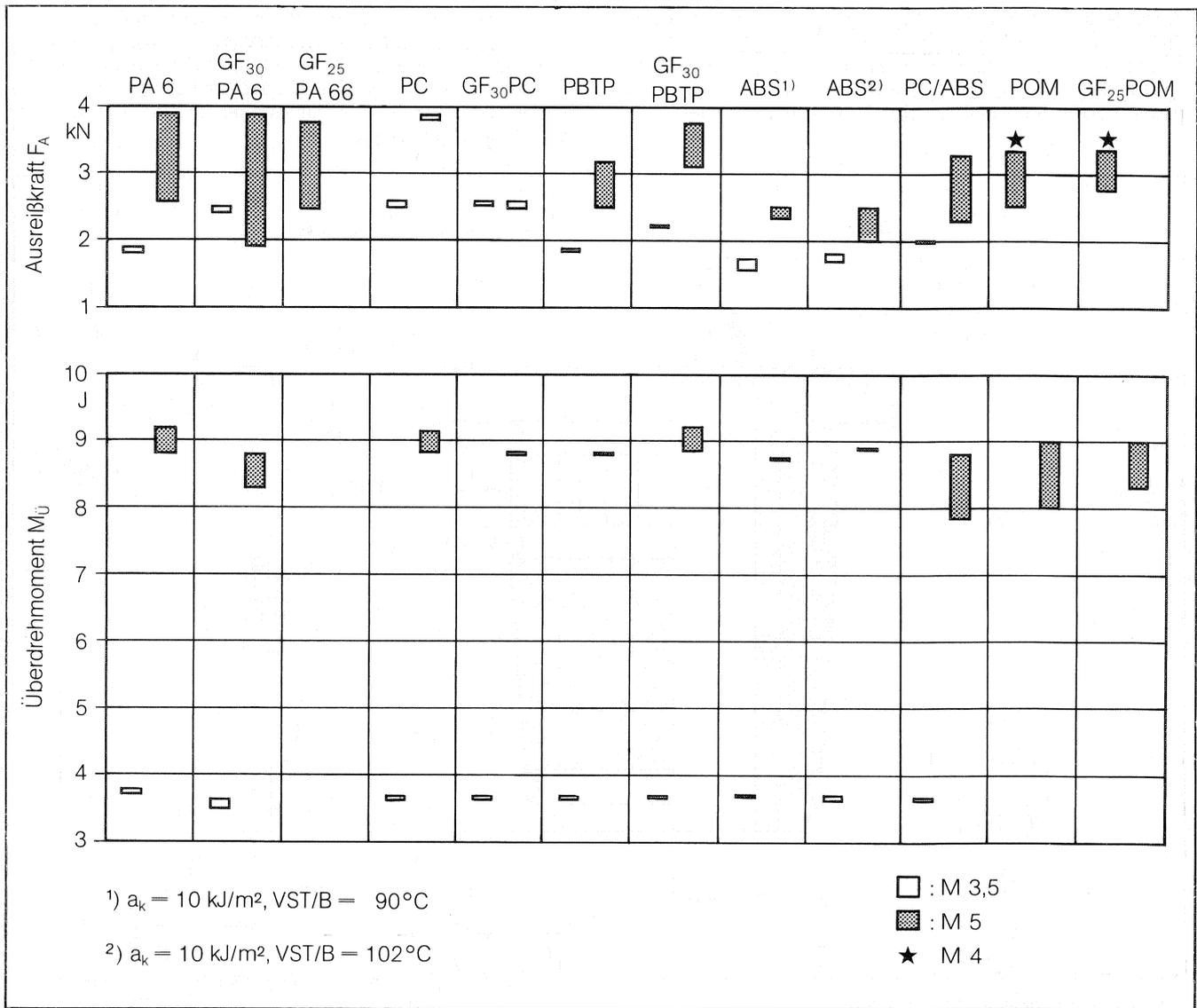


Tabelle 2: Ausreißkräfte und Überdrehmomente von eingebetteten Gewindeeinsätzen M 3,5; M 4 und M 5

Um die Zugkräfte auf die Gewindeeinsätze gering zu halten, wird empfohlen, den Gewindeeinsatz etwa 0,1 mm über der Kunststoffoberfläche herausstehen zu lassen. Damit stützen sich bei einer Verschraubung die auftretenden Kräfte auf die Stirnfläche des Einsatzes und nicht am Kunststoff ab. Andernfalls steht der Einsatz und die Fügefläche unter dauernder Zugbelastung. Bei dem Gewindeeinsatz, Bild 45, erfolgt die Abstützung am herausragenden Bund.

Die erzielbaren Festigkeiten einiger Thermoplaste sind in Tabelle 1 aufgeführt. Je nach Herstellungsbedingungen der Kunststoffteile und Einbettbedingungen können diese unter- oder überschritten werden.

8.4 Trenn-Nahtschweißen mit Ultraschall

Textile Flächengebilde (Gewebe sowie Gewirke) mit thermoplastischem Anteil können mittels Ultraschall getrennt und verfestigt werden. Der thermoplastische Anteil sollte mindestens 65% betragen.

Trennen mittels Ultraschall kann kontinuierlich bzw. taktweise durchgeführt werden. Das Trennen erfolgt dadurch, daß entweder die Sonotrode oder das Aufnahmeinstrument als Schnittwerkzeug ausgelegt sind. Zu beachten ist der Verschleiß der Schnittwerkzeuge.

Die Vorteile sind: kein Ausfransen der Schnittkanten.

8.5 Verbinden von textilen Flächengebilden (z.B. Gewebe mit Formteilen) mit Ultraschall

Eine weitere Sonderanwendung ist das Schweißen von Geweben auf Formteile, Bild 46. Eine Verbindung Gewebe/Formteil ist aber auch möglich, wenn verschiedenartige Kunststoffe aufeinandertreffen. Dabei durchdringt der plastifizierte Kunststoff das Gewebegefüge und man erhält dadurch eine Bindung zwischen Gewebe und Formteil. Es ist günstig, an dem Formteil Energierichtungsgeber vorzusehen.

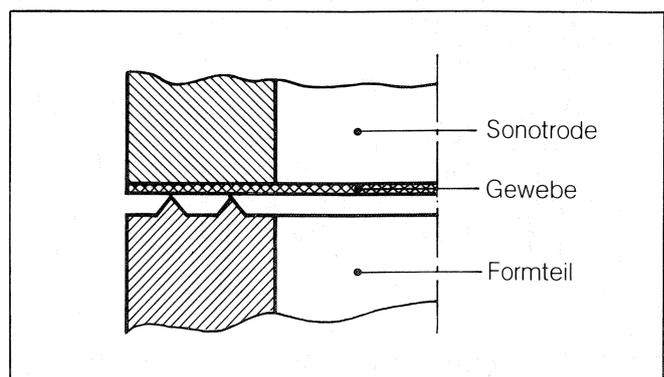


Bild 46: Anordnung beim Ultraschallschweißen von Geweben mit Formteilen

9. Sonotrodenherstellung

9.1 Allgemeines

Die Sonotrode dient zum Übertragen der Schwingungsenergie vom Ultraschallwandler (Schallkopf, Konverter) zur Fügefläche sowie meist als Transformator für die mechanische Amplitude.

Wie bereits unter Punkt 3.2.2.2 „Sonotrode“ beschrieben, gilt der Konzeption und der Herstellung einer Sonotrode besondere Beachtung. Falsch hergestellte Sonotroden beeinträchtigen die Schweißqualität und können zur Zerstörung des Schwingungssystems und zu erheblichen Schäden am Generator führen.

Die Sonotroden werden vorwiegend von den Ultraschall-Geräteherstellern gefertigt.

Bei der Einhaltung der Parameter Sollfrequenz, Transformations- bzw. Übersetzungsverhältnis und Querab-

messung können Sonotroden mit maximalen Querabmessungen von 60 mm bei ca. 20 kHz bzw. 30 mm bei 40 kHz auch vom Anwender selbst angefertigt werden. Bevorzugt sollte man mit der Herstellung von Sonotroden mit Stufenform beginnen, Bild 47a.

Die Länge (l_0) der Sonotrode entspricht im Normalfall einer halben Wellenlänge $\lambda/2$, Bild 47a. Für Sonderanwendungen fertigt man auch Sonotroden mit Längen mehrfach $\lambda/2$ oder kombiniert $\lambda/2$ Sonotroden, Bild 48.

Sonotroden, die aufgrund großer Querabmessung Schlitz erhalten müssen, Bild 49, sollten auf keinen Fall vom Anwender selbst gefertigt werden, wenn nicht genügend Grundkenntnisse in bezug auf Sonotrodenbau vorhanden sind.

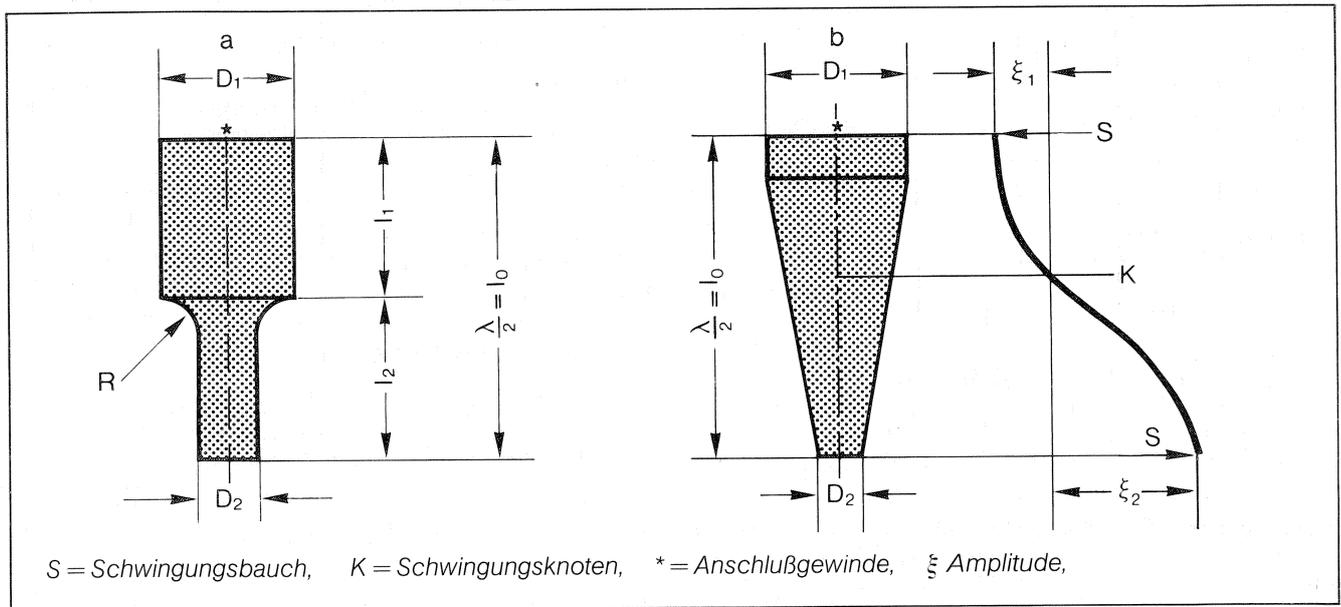


Bild 47: Sonotrode $\frac{\lambda}{2}$ = Normalausführung,

a = Stufenform, b = Kegelform,

Querschnittsvarianten:

Kreis/Kreis · Kreis/Rechteck · Rechteck/Rechteck

$\frac{r_2}{r_1} = \frac{s_2}{s_1}$ = Transformationsverhältnis der Sonotrode

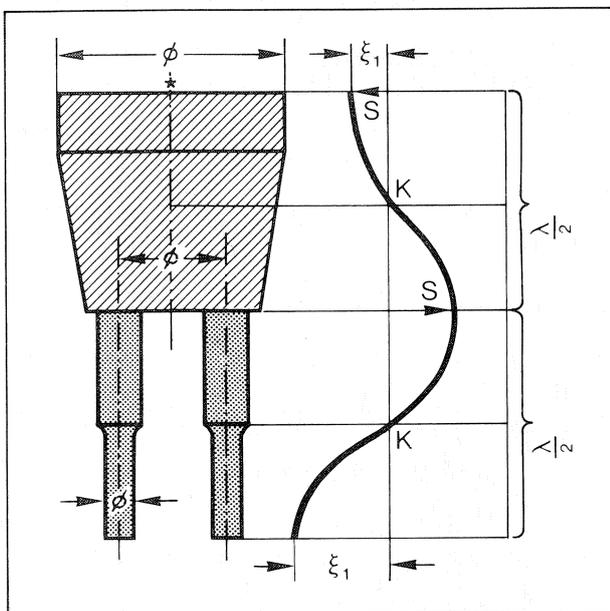


Bild 48: Zusammengesetzte kombinierte Sonotrode $2 \times \frac{\lambda}{2}$

S = Schwingungsbauch, K = Schwingungsknoten, * = Anschlußgewinde, ξ = Amplitude

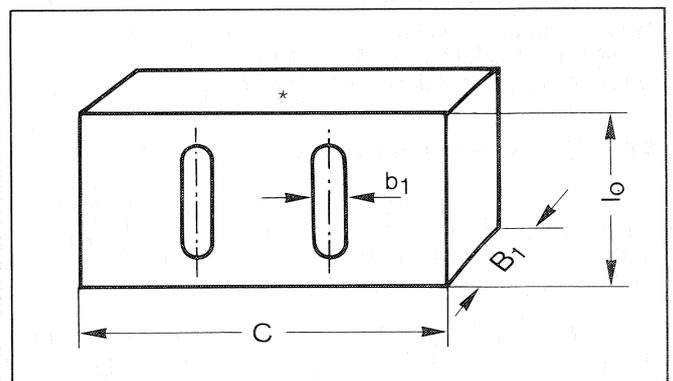


Bild 49: Sonotrode mit Rechteckform, geschlitzt,

* Anschlußgewinde

Material	Amplitude μm Praxiswerte
Polystyrol (PS)	15 bis 30
Polystyrol (SB) schlagzäh	20 bis 35
Acryl, Butadien- Styrol (ABS)	20 bis 30
Styrol-Acrylnitril (SAN)	15 bis 30
Polymethylmethacrylat (PMMA) Spritzguß	20 bis 35
Modifiziertes (PPO)	25 bis 40
Polycarbonat (PC)	25 bis 40
Polyacetalharz (POM)	40 bis 50
Polyamid (PA)	35 bis 55
Polyethylenterephthalat (PETP)	45 bis 55
Polybutylenterephthalat (PBTB)	40 bis 50
Cellulosederivate	25 bis 35
PVC hart	20 bis 40
PVC weich	25 bis 40
Polyethylen (PE)	25 bis 60
Polypropylen (PP)	30 bis 60

Tabelle 3: Richtwerte für die Amplitude beim Ultraschallschweißen im Nahfeld. Bei modifizierten Materialien können die Amplituden abweichen.

Material	Schallgeschwindigkeit $v_0 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$	Abweichungen $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$
Titanlegierung Ti Al V 64	4 900	± 100
Aluminium- legierungen Al Cu Mg 2 Al Cu MG Pb	5 100 5 000	± 100 ± 100
Aluminium	5 100	± 200
Monel gegläht u. abgeschreckt	4 350	± 150
Stahl 1550 (RT 11) vergütet	5 250	± 50
Ferrotitanit WFN gehärtet	6 950	± 150

Tabelle 4: Schallgeschwindigkeit verschiedener Sonotrodenwerkstoffe

9.2 Sonotrodenwerkstoffe

Da beim Kunststoffschweißen und Umformen sehr große Amplituden vorherrschen (Tabelle 3), ist die Belastung der Sonotrode durch die Spannungsbeanspruchung sehr groß. Sie verlangt, daß nur Werkstoffe mit hoher Dauerwechselfestigkeit und geringer Dämpfung zum Einsatz kommen.

Am besten haben sich die Legierungen Titan (TiAlV64) und Aluminium (AlCuMg2) bewährt. Beide Legierungen bringen eine sehr große Standfestigkeit und können bei verzerrungsfreiem Betrieb bis zu 40 μm Amplitude bei 20 kHz belastet werden. Bei höheren Frequenzen wird mit kleineren Amplituden gearbeitet.

Die Schallgeschwindigkeit der nachfolgenden Sonotrodenmaterialien ist aus Tabelle 4 ersichtlich.

Titan-Legierung TiAlV64:

Großserien, mit Beschichtung auch für glasfaserverstärkte Kunststoffe geeignet.

Alu-Legierung AlCuMg2:

Großserien, kann ebenfalls beschichtet werden.

AlCuMg Pb:

Versuchs-Sonotroden, Kleinserien.

Monel:

Bis zu einer Amplitude von 20 μm können Hartmetallplättchen oder Hartmetallstifte eingelötet werden.

Stahl 1550 vergütet:

Vorwiegend zum Einbetten von Metallteilen in Kunststoffe.

Ferrotitanit:

Sehr abriebfest, daher bestens zum Nieten von glasfaserverstärkten Kunststoffen geeignet.

9.3 Sonotrodenformen

Sonotroden können in den verschiedensten Formen und Abmessungen hergestellt werden. In der Praxis haben sich folgende Formen besonders bewährt:

1. Stufenform mit Kreisquerschnitt, Bild 47a
2. Kegelform mit Kreisquerschnitt, Bild 47b
3. Stufenform mit Quadrat- und Rechteckquerschnitt, Bild 49
4. Exponentialform

9.4 Sonotrodenparameter

Schallgeschwindigkeit	v
Wellenlänge/2 = $\frac{\lambda}{2}$	l_0
Frequenz	f
Eingangsdurchmesser der Sonotrode mit Kreisquerschnitt (Transformationsstück)	D_1
Ausgangsdurchmesser der Sonotrode mit Kreisquerschnitt (zum Formteil)	D_2
Eingangsfläche der Sonotrode	A_1
Ausgangsfläche der Sonotrode	A_2
Ausgangsdurchmesser des Transformationsstückes	D_3
Ausgangsfläche des Transformationsstückes (Ankoppelfläche zur Sonotrode)	A_3
Ausgangsamplitude des Transformationsstückes (Ankoppelfläche zur Sonotrode)	ξ_3
Eingangsamplitude der Sonotrode	ξ_1
Ausgangsamplitude der Sonotrode	ξ_2
Transformations- bzw. Übersetzungsverhältnis	β

Folgende Werte sind vom Gerätehersteller anzugeben und genau zu beachten:

Schallfrequenz	$f \pm \text{Toleranz}$
Amplitude des Transformationsstückes	ξ_3
Ausgangsfläche bzw. Ausgangsdurchmesser des Transformationsstückes	A_3 bzw. D_3

9.5 Ermittlung der Schallgeschwindigkeit

Falls die Schallgeschwindigkeit des Sonotrodenwerkstoffes nicht bekannt ist, kann die Bestimmung mit dem Meßplatz, Bild 50, erfolgen, indem die Frequenz eines 130 mm langen Prüfstückes ohne Walz- oder Ziehhaut gemessen wird. Die Schallgeschwindigkeit ergibt sich aus der Funktion

$$v = 2 \cdot l \cdot f$$

wobei die Funktion $l \geq 3 \cdot D$ erfüllt werden muß, da die Schallgeschwindigkeit formabhängig ist.

Durch Abstimmen eines Zylinders mit ca. 40 mm ϕ aus dem Sonotrodenwerkstoff mit der unbekanntenen Schallgeschwindigkeit nach Punkt 9.9 kann ebenfalls die Schallgeschwindigkeit und die Resonanzlänge ermittelt werden.

9.6 Bestimmen der Länge bei Stufensonotroden

Stufensonotroden setzen sich aus

$$l_0 = l_1 + l_2$$

zusammen, Bild 47a.

Der Übergang zu dem kleineren Querschnitt liegt in der Knotenebene. Der Übergang sollte mit einem Radius versehen sein, da hier die Gefahr einer Ribbildung gegeben ist. Bei Sonotroden mit maximalen Querschnittsabmessungen von 60 mm hat sich ein $R = 10$ mm bewährt. Das Errechnen der Länge l_0 ergibt sich aus der Funktion für den einfachen zylindrischen Körper:

$$l_0 = l_1 + l_2 = k_1 \cdot \frac{v}{4 \cdot f} + k_2 \cdot \frac{v}{4 \cdot f}$$

Die Korrekturfaktoren k_1 und k_2 sind vom jeweiligen Sonotrodenquerschnitt abhängig

$$\text{Transformationsverhältnis } \beta = \frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2$$

Die Schallgeschwindigkeit v ist aus Tabelle 4 und l_1 bzw. l_2 aus Tabelle 5 ersichtlich. Zum leichteren Abstimmen von Sonotroden durch Kürzen der Länge, sollte die ermittelte Sonotrodenlänge um 2 bis 3 mm vergrößert werden. Mit zunehmender Praxiserfahrung und dem richtigen Gebrauch von Tabelle 5 kann der Zuschlag verringert werden bzw. entfallen.

9.7 Längenberechnung einer rotationssymmetrischen Sonotrode mit einer e-Funktion

Exponentialform

$$l_0 = \frac{v}{2 \cdot f} \times \sqrt{1 + \left(\frac{\ln D_1/D_2}{\pi} \right)^2}$$

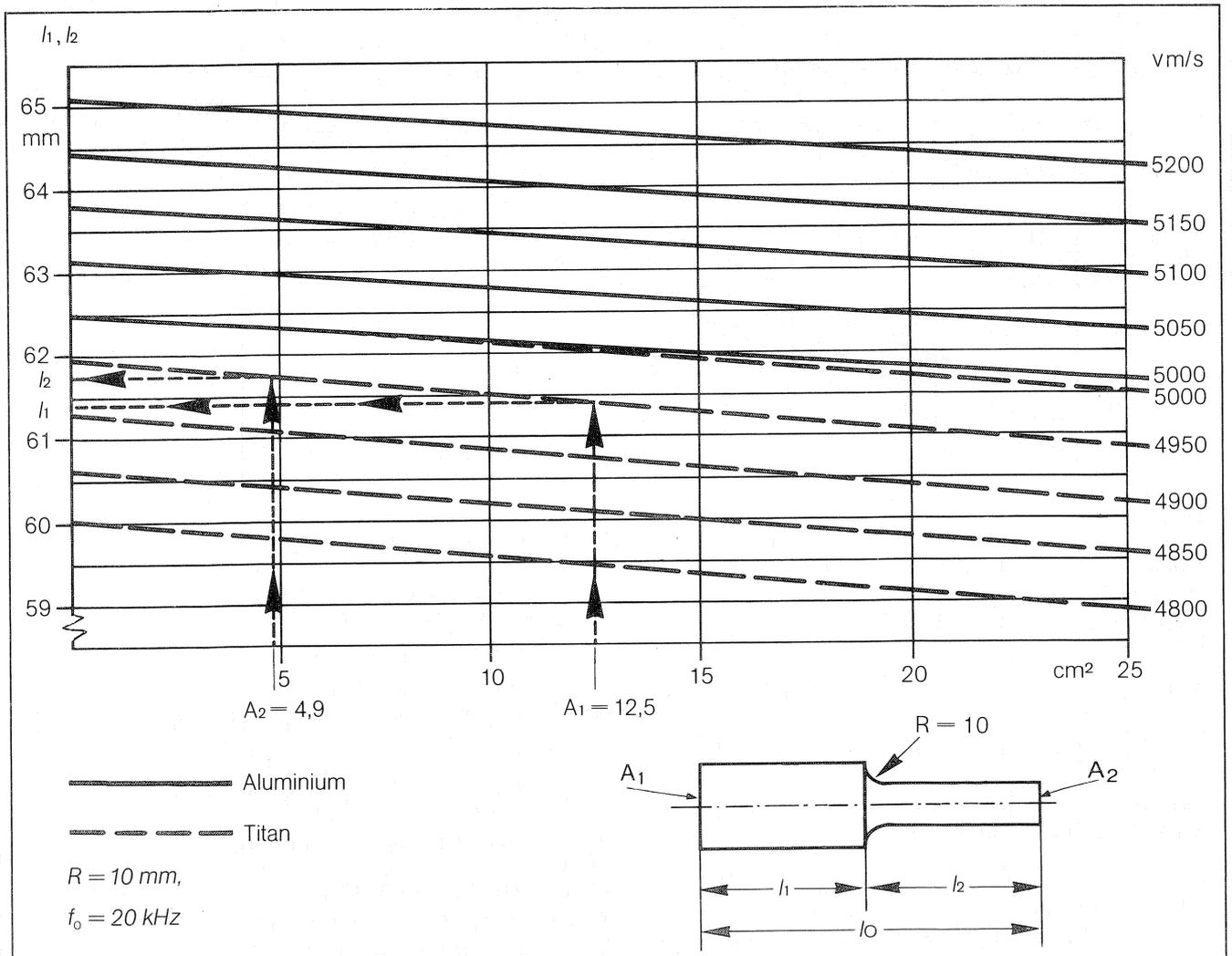


Tabelle 5: Graphische Bestimmung von l_1 und l_2 bei stufenförmigen Sonotroden

Die e-Funktionssonotrode ist schalltechnisch sehr günstig, allerdings fertigungstechnisch aufwendig und wird dadurch nur noch im geringen Maß verwendet. Zumal die meisten Sonotroden mit einem Übersetzungsverhältnis kleiner 1 : 4 in der Praxis eingesetzt werden.

$$\text{Transformationsverhältnis } \beta = \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} = \frac{D_1}{D_2}$$

9.8 Ermittlung der Sonotrodenlänge bei Kegelform mit rotationssymmetrischen sowie mit rechteckigen Querschnitt

Die Kegelsonotrode ist von den drei genannten Formen am schwierigsten zu errechnen. Es wird daher in der Praxis meist die Funktion der Exponentialsonotrode eingesetzt und mit einem Sicherheitsfaktor 1,1 multipliziert. Tabelle 6 ermöglicht die Bestimmung der Kegellänge für

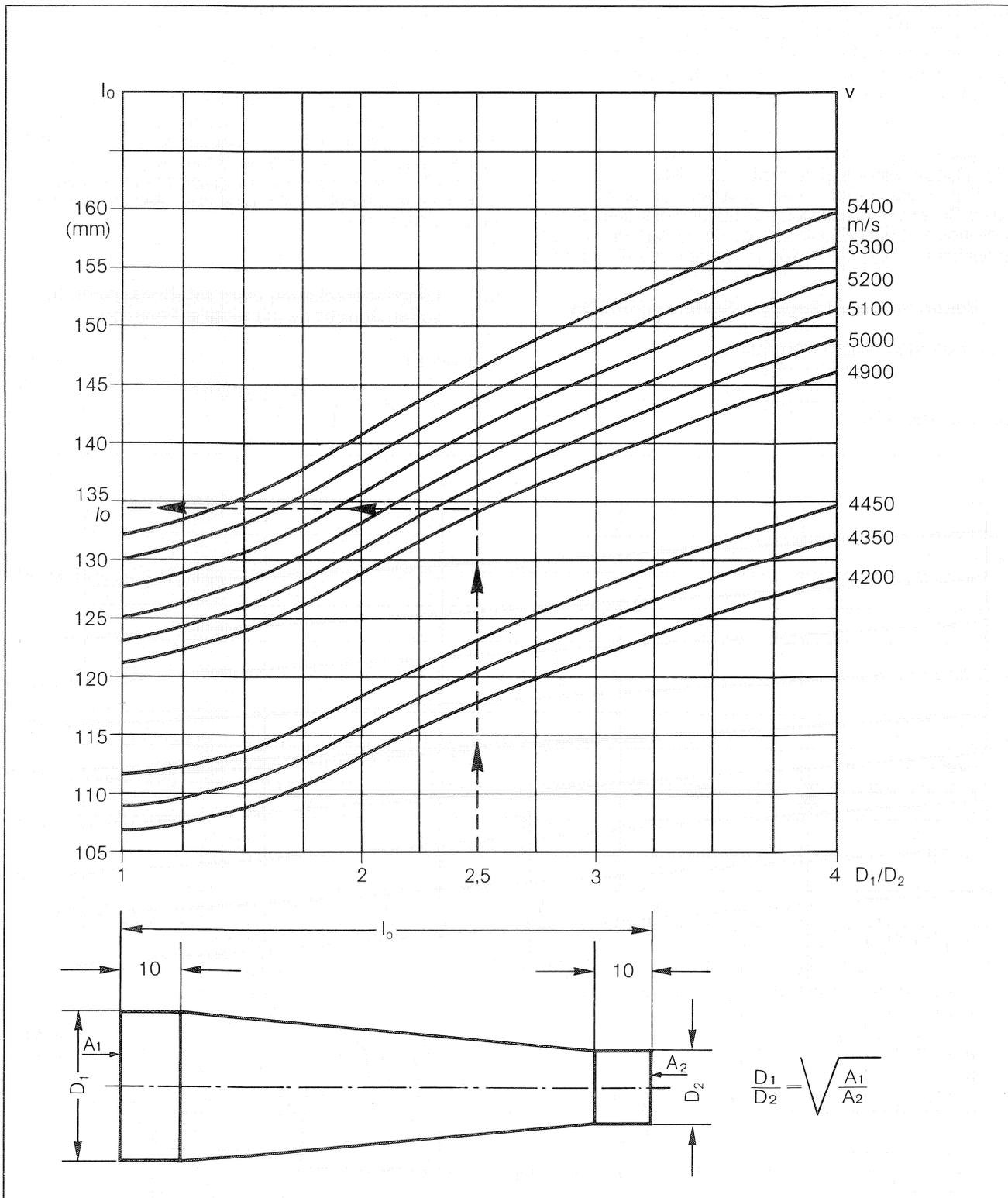


Tabelle 6: Graphische Darstellung zum Bestimmen der Sonotrodenlänge kegeliger Bauarten in Abhängigkeit vom Durchmesserverhältnis und der Schallgeschwindigkeit $f = 20,0 \text{ kHz}$. Für Bauarten mit rechteckigen Querschnitten gilt obige Formel. Aufnahmegewinde M 16x1,5; Gewindetiefe 15 mm. Ein Längenzuschlag von 3 mm zum Abstimmen ist notwendig.

verschiedene Schallgeschwindigkeiten mit Durchmesser-
verhältnissen bis zu 1 : 4 bei Sonotroden mit Aufnahmege-
winde M 16 x 1,5, Gewindetiefe 15 mm. Bei größeren Gewin-
dedurchmessern sind Längenzuschläge an der Gewinde-
seite vorzusehen.

Transformationsverhältnis

$$\beta = \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} \cdot \cos \frac{\omega \cdot l}{v} + \frac{v}{\omega \cdot l} \left(1 - \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} \right) \sin \frac{\omega \cdot l}{v}$$

rät angekoppelte Sonde (Schwingungsaufnehmer) berührt
die Sonotrodenspitze. An dem RC-Generator muß der Fre-
quenzbereich durchfahren werden, in dem die Sonotrode
vermutlich liegt. Die Resonanzfrequenz ist vorhanden,
wenn der max. Amplitudenausschlag am Abstimmungsge-
rät bzw. wenn der Zeigerausschlag des Instrumentes am
Kompaktgerät festgestellt wird.

9.9 Abstimmung des Sonotrodenrohlings

Die Frequenz des Sonotrodenrohlings liegt aufgrund
einer Materialzugabe von 2–3 mm im allgemeinen 0,5 bis 1
kHz unter der gewünschten Resonanzfrequenz. Durch
mehrmaliges Kürzen und Nachmessen erreicht die Sono-
trode die geforderte Frequenz. Zum Messen der Eigenfre-
quenz dient ein Sonotrodenmeßplatz, Bild 50. Er besteht
aus RC-Generator, Meßschwinger und Frequenzanzeige.
Sonotrodenmeßplätze sind auch als Kompaktgerät mit ein-
gebautem RC-Generator auf dem Markt.

Die Sonotrode wird, wie auf Bild 50 gezeigt, zum
Messen auf den Meßschwinger gestellt oder bei anderen
Gerätetypen an den Meßschwinger geschraubt, der an den
RC-Generator angeschlossen ist. Die an dem Abstimmge-

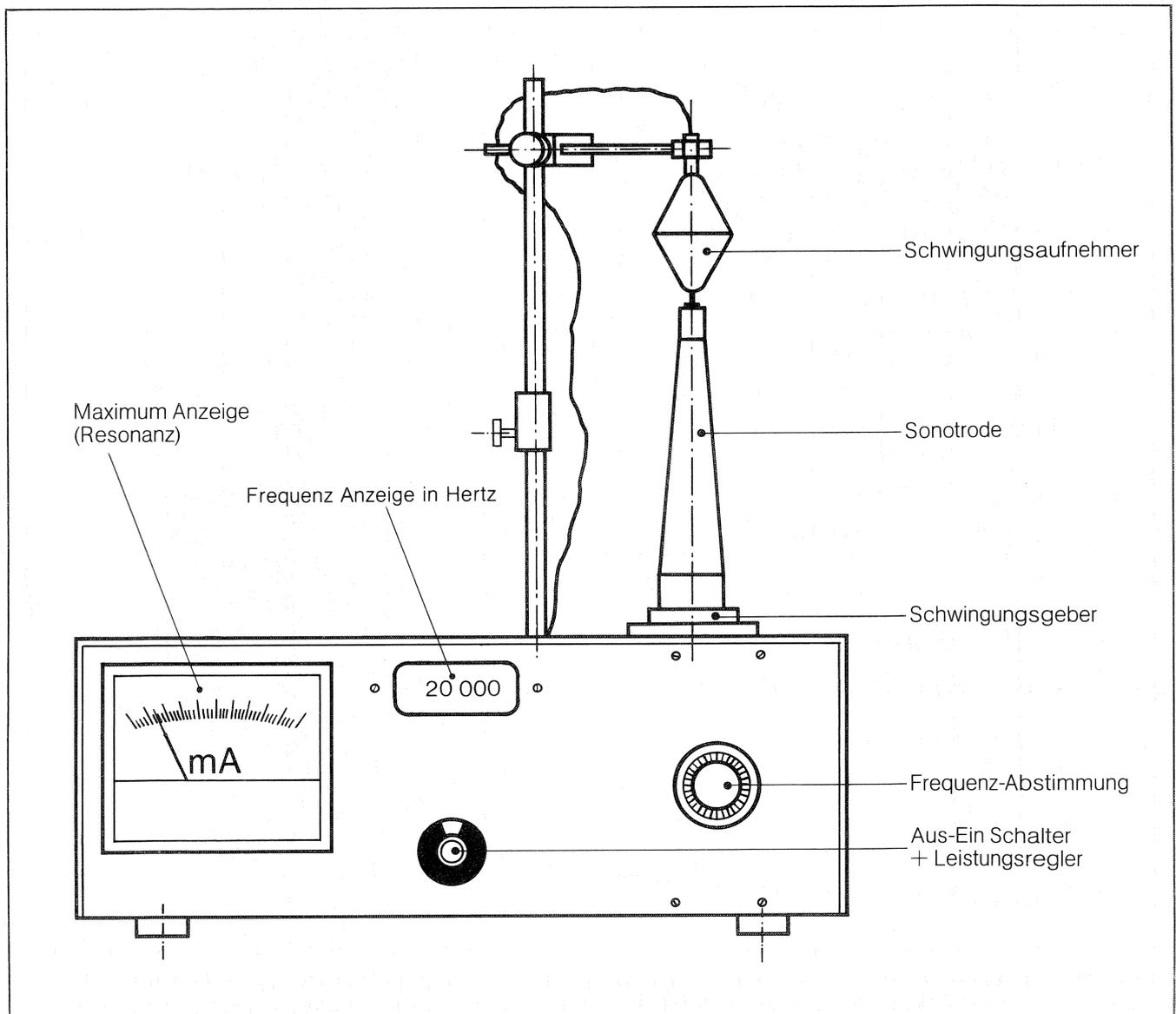


Bild 50: Sonotrodenmeßplatz

9.10 Praxisbeispiel

Berechnung einer Sonotrode aus Titan für ein Formteil aus Polystyrol mit einem Durchmesser von 25 mm.

Angaben des Maschinenherstellers:

Amplitude des Transformationsstücks $\xi_3 = 10 \mu\text{m}$
 Ankopplendurchmesser des Transformationsstücks $D_3 = 35 \text{ mm}$
 Arbeitsfrequenz $f = 20 \text{ kHz} \pm 0,2 \text{ kHz}$

Benötigte Amplitude für das vorliegende Formteil aus Polystyrol, Tab. 3, Seite 34 $\xi_2 = 25 \mu\text{m}$ (gewählt)

für eine ideale Koppelfläche gilt: $\xi_1 = \xi_3$

Amplitudentransformation $\beta = \frac{\xi_2}{\xi_1} = \frac{25 \mu\text{m}}{10 \mu\text{m}} = 2,5$

1. Sonotrode mit Stufenform (Kreisquerschnitt)
 Graphische Lösung, Tabelle 5, Seite 35

$$\beta = \frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

$$D_1 = \sqrt{\beta \cdot D_2^2} = \sqrt{2,5 \cdot 25^2} = 39,53 \sim 40 \text{ [mm]}$$

$$D_1 = 4 \text{ cm}$$

$$A_1 = 12,57 \text{ cm}^2$$

$$D_2 = 2,5 \text{ cm (dem Teil angepaßt)}$$

$$A_2 = 4,9 \text{ cm}^2$$

$$v = 4950 \text{ m/s für das gewählte Titan, Tabelle 4, Seite 34}$$

$$l_1 = 61,4 \text{ mm Tabelle 5, Seite 35}$$

$$l_2 = 61,7 \text{ mm Tabelle 5, Seite 35}$$

$$l_0 = l_1 + l_2$$

$$l_0 = 61,4 + 61,7 = 123,1 \text{ mm} \\ + \text{Sicherheitszuschlag 2 mm bei } l_2$$

Rechnerische Lösung

$$l_0 = K \cdot \frac{v}{2 \cdot f} = \frac{4950}{2 \cdot 20} = 123,75 \text{ [mm]} \\ + \text{Sicherheitszuschlag 2 mm}$$

der Korrekturfaktor K ist mit 1 angenommen.

2. Kegelform

Graphische Lösung, Tabelle 6, Seite 36

Überschlägige Berechnung des Transformationsverhältnisses

$\beta \approx \frac{D_1}{D_2}$ gilt nur für kleine Durchmesserhältnisse.

Die Abweichung beträgt bei $\frac{D_1}{D_2} = 3$ ca. 10% und bei

$\frac{D_1}{D_2} = 5$ ca. 30%.

$$\beta = \frac{\xi_2}{\xi_1} = \frac{25 \mu\text{m}}{10 \mu\text{m}} = 2,5$$

$D_2 = 25 \text{ mm (dem Teil angepaßt)}$

$$D_1 = \beta \cdot D_2$$

$$D_1 = 2,5 \cdot 25 = 62,5 \text{ [mm]}$$

$$l_0 = 134 \text{ mm} + 3 \text{ mm Sicherheitszuschlag (Tabelle 6)}$$

Im aufgeführten Beispiel wird man die Stufenform wählen, da weniger Material benötigt wird und die Ankopplfläche ganz abgedeckt wird. Die Sonotroden sind nach Punkt 9.9 auf Sollfrequenz abzustimmen.

9.11 Nacharbeit an Sonotroden

Beim Nacharbeiten von bereits abgestimmten Sonotroden an der Stirnfläche (Anpassen der Sonotrodenstirnfläche an die Kontur des Formteiles) wird die Frequenz f_0 höher. Danach kann die Sonotrode außerhalb der zulässigen Toleranz liegen und darf nicht mehr an dem Ultraschall-Schweißgerät betrieben werden. Es ist möglich, die Frequenz geringfügig wieder tiefer zu ziehen.

9.11.1 Frequenzkorrektur

Die Frequenz soll erhöht werden:

- Kürzen der Gesamtlänge (gilt für alle Sonotrodenformen). Achtung: Nicht linear!

Die Frequenz soll herabgesetzt werden:

- Kegelform Bild 51, Exponentialform, Zylinder – Einbringen einer Nut im Schwerpunkt
- Stufenform, Bild 52 – Verkürzen der Länge l_1
- Quadrat oder Rechteckform – Verbreitern der Schlitzes b_1 , Bild 49

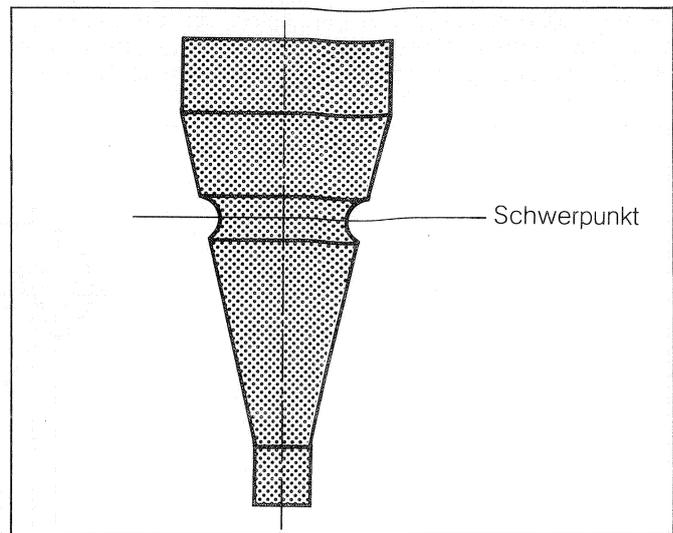


Bild 51: Herabsetzen der Resonanzfrequenz einer Kegelsonotrode durch eine Nut im Schwerpunkt

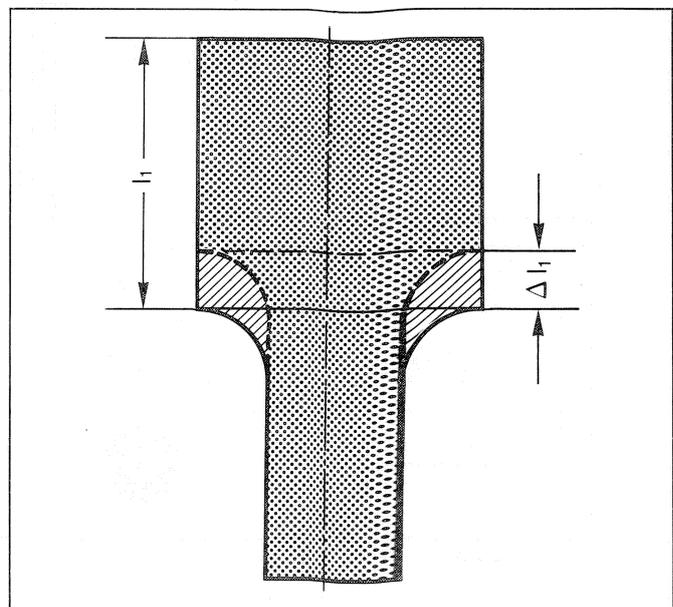


Bild 52: Herabsetzen der Resonanzfrequenz einer stufenförmigen Sonotrode (Stufenzylinder) durch Verkürzen der Länge l_1

10. Sicherheitsmaßnahmen bei der Anwendung von Ultraschall in der Fügetechnik

Beim Betreiben von Ultraschall-Anlagen sind die Bestimmungen der Unfallverhütungsvorschriften, die Lärm-schutzmaßnahmen (siehe Kapitel 11) sowie die Bedienungsanleitung der Gerätehersteller zu beachten.

Ultraschall-Schweißgeräte unterliegen den Bestimmungen des Hochfrequenzgesetzes und sind bei der Deutschen Bundespost anzumelden.

Das Berühren der schwingenden Sonotrode ist zu vermeiden. Bei direkter Einwirkung der Ultraschall-Energie auf die Haut tritt Erwärmung und Zerstörung des Gewebes ein. Leistungsdichten bis zu 2 W je cm^2 sind nach den bisherigen Erfahrungen ungefährlich, wenn die Ultraschall-Einwirkung nicht dauernd dieselbe Hauptpartie trifft.

11. Lärmschutzmaßnahmen

11.1 Vorbemerkung

Beim Fügen von thermoplastischen Kunststoffen mittels Ultraschall kann lästiger bzw. schädlicher Lärm auftreten. Es ist daher ggf. zu überprüfen, ob die Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ bzw. Arbeitsstättenverordnung § 15 eingehalten sind /1/2/. Hier wird vorgeschrieben, daß Personen einem Beurteilungspegel nach DIN 45645 /3/ von höchstens 90 dB (A) ausgesetzt werden dürfen. Der Beurteilungspegel bezieht sich auf Lärm, der im Hörbereich des menschlichen Ohres liegt. Dieser Bereich liegt nach DIN 1320 /4/ zwischen 16 Hz und 16 kHz. Ultraschallanlagen emittieren jedoch auch Schall bei höheren Frequenzen, die zwar nicht mehr gehört, jedoch vom Schallpegelmesser erfaßt werden können. Bei der Messung des Beurteilungspegels müssen daher die Anteile im Hörschallbereich von denen im Ultraschallbereich getrennt werden /6/. Dies ist nicht mit jedem Meßgerät möglich.

11.2 Meßverfahren

Bisher gibt es noch keine verbindliche Vorschrift, die das Messen der Arbeitsgeräusche von Ultraschall-Geräten eindeutig regelt. Christ beschreibt in /7/, daß die Verwendung eines 1"-Meßmikrofons bereits zur Abtrennung des Ultraschallanteiles ausreicht. Der Beurteilungspegel ergibt sich hiernach aus dem A-bewerteten in Ohrhöhe der Bedienungsperson über mehrere Arbeitszyklen zeitlich gemittelten Schallpegel; die zeitliche Mittelung geschieht am einfachsten mit einem integrierenden Schallpegelmesser. Der obere Frequenzbereich von 1"-Mikrofonen endet je nach Hersteller verschieden im Bereich von ca. 20 kHz. Darüber liegende Frequenzen werden vom Mikrofon weitgehend unterdrückt. Daher eignet sich dieses Verfahren zum Messen von Ultraschall-Geräten mit einer Arbeitsfrequenz deutlich oberhalb der oberen Grenzfrequenz des Mikrofons. Beim Messen von Ultraschall-Geräten mit einer Arbeitsfrequenz von ca. 20 kHz werden in Abhängigkeit von der oberen Mikrofongrenzfrequenz zu hohe Beurteilungspegel gemessen.

Noé berichtet in /8/ über Betriebsmessungen an einer Reihe von Ultraschall-Schweißgeräten. Die Ergebnisse zeigen, daß im Hörbereich die bei der halben Arbeitsfrequenz der Ultraschallanlagen liegenden Schallanteile pegelbestimmend sind. Deshalb schlägt Noé ein Meßverfahren vor, bei dem nur die mit einem Oktavfilter der Mittenfrequenz 8 kHz erfaßten Anteile berücksichtigt werden. Beim Verwenden des Oktavfilters der Mittenfrequenz 8 kHz wird vom Schallpegelmesser ein Frequenzbereich von 5,6 kHz – 11,2 kHz erfaßt. Das Meßverfahren kann demnach bei Ultraschallanlagen mit einer Arbeitsfrequenz von der oberen Hörgrenze (nach DIN 1320 16 kHz) bis 22,4 kHz eingesetzt werden. Beim Auftreten von lauten Geräuschen unterhalb 5,6 kHz sind diese Anteile ebenfalls durch Messen der tieferen Oktavbänder zu berücksichtigen.

Wie die Ausführungen zeigen, haben beide Meßverfahren ihre Grenzen. Das Problem könnte leicht durch den Einsatz eines für die Ultraschall-Geräte ausgelegten Tiefpaßfilters mit einer Grenzfrequenz von 16 kHz und hoher Flankensteilheit gelöst werden. (Ein derartig ausgelegtes handliches Meßgerät ist noch nicht handelsüblich auf dem Markt, befindet sich jedoch bereits in der Entwicklung und Erprobung).

11.3 Schlußbemerkung

Soweit bei der Ultraschall-Fügetechnik ein unzulässig hoher Lärmpegel im Hörbereich auftritt, hat die Praxis gezeigt, daß eine Teilkapselung von Ultraschallwandler, Zwischenstück, Sonotrode und Formteile bzw. eine Voll-

kapselung immer Abhilfe schafft/9/. Insbesondere wird der nicht hörbare Ultraschallanteil durch Kapselung auf ein unbedenkliches Maß gesenkt. Dort, wo es notwendig ist, wird empfohlen, in jedem Einzelfall die Schutzmaßnahmen mit dem Maschinenhersteller abzustimmen.

Hinsichtlich des nicht hörbaren Ultraschallanteils berichtet Dr. K. Brendel, Pyhsikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, in /5/ von einer internationalen Arbeitsgruppe der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Die Arbeitsgruppe vertritt dabei folgende Meinung:

„Bis zu Ultraschallpegeln von 120 dB scheinen noch keine Verluste im Hörvermögen oder sonstige physiologische Veränderungen bei den betroffenen Personen aufzutreten. Zu den in jüngster Zeit vermehrt aufgetretenen Klagen über Kopfschmerzen, Unwohlsein und Schwindelanfälle durch hohe Ultraschallintensitäten in Luft wurde die Ansicht vertreten, daß hierfür die relativ hohen Pegel der harmonischen Komponenten im Hörbereich als Ursache anzusehen sind.“

Da sich hohe Frequenzen leichter dämmen lassen als tiefe, führt eine Lärmschutzmaßnahme für den Hörbereich stets zu einer erheblichen Reduzierung der nichthörbaren Ultraschallanteile.

11.4 Literaturhinweise zu Lärmschutzmaßnahmen

- /1/ Arbeitsstättenverordnung v. 1. 5. 1975 § 15 – Schutz gegen Lärm
- /2/ Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ des Hauptverbandes gewerblicher Berufsgenossenschaften in Ausgabe vom 1. 12. 1974
- /3/ DIN 45 645 4/1977 Einheitliche Ermittlung des Beurteilungspegels für Geräuschimmission am Arbeitsplatz
- /4/ DIN 1320 10/1969 Akustik; Grundbegriffe
- /5/ PTB-Mitteilung 87 (1977) 4 S. 319 Working Group on the Health Aspects of Exposure to Ultrasound Radiation
- /6/ DIN 45 633 3/1970 Präzisionsschallpegelmessen Blatt 1: Allgemeine Anforderungen
- /7/ Christ, E. Geräuschmessungen an Ultraschall-Schweißmaschinen Die Berufsgenossenschaft (1977) 11 S. 505–507
- /8/ Noé, E.-L. Messen der Arbeitsgeräusche beim Schweißen, Löten und Reinigen mit Ultraschall Schweißen und Schneiden 29 (1977) 5 S. 183–185
- /9/ Christ, E. Geräuschminderung an Ultraschall-Schweißmaschinen Die Berufsgenossenschaft (1977) 11 S. 508–511
- /10/ Acton Ultrasonics, Jan. (1976) S. 42
- /11/ DIN 57 411 T. 1
- /12/ VDE /0411 T. 1
- /13/ I. Veit Wirkung von Ultraschall auf das Gehör, Bestandsaufnahme Forschungsbericht Nr. 231
- /14/ I. Veit Betrachtung über die bekannten Wirkungen von Ultraschall auf das menschliche Gehör Zeitschrift für Lärmbekämpfung 27. 188/192 (1980)

12. Anwendungsgebiete

Die in den nachfolgenden Anwendungsgebieten aufgeführten Beispiele werden z.T. seit vielen Jahren in der Praxis angewendet (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).

12.1 Elektrotechnik, Elektronik, Lichttechnik, Nachrichtenwesen

Schweißen:

Stecker, Kabelstecker, Zulentlastungen, Anschlußzungen, für Steckergehäuse, Spulen, Spulenkörper, Kontaktteile, Leuchtröhrenhalter, Sicherungsautomaten, Schaltrelais, Steckerleisten, Leiterplatten, Sicherungskästen, spritzgegossene Stegleisten auf extrudierte Kabelschächte, Kabeltrommeln, Lampengehäuse, Schaltkammern, Lichtschranken, Taschenlampengehäuse, Endschalter, Signallampen, Telefonhörer-Hörmuscheln-Trennstecker.

Nieten:

Spannungsverteiler, Metallkontakte in Kabelstecker, Sicherungsschalter, Leiterplatten, Stecker.

Bördeln, Verdämmen:

Litzenhalterung, Metallteile in Kontaktgehäuse, Taschenlampenbatterien, Zulentlastungen, Anschlußzungen in

Steckergehäuse, Spulenkörper mit Lötanschlüssen, Kunststoffscheiben in Metallräder.

Einbetten:

Kontaktdrähte in Schaltungen, Gewindeeinsätze in Gehäuse

12.2 Radio, Phono, TV, Video

Schweißen:

Kassetten für Recorder, Video und Tonband, Lautsprechergehäuse, Kopfhörer.

Nieten:

Tonkopf für Plattenspieler.

Einbetten:

Gewindeeinsätze in Chassis für Sprechfunkgeräte.

12.3 Foto, Kino, Optik

Schweißen:

Dia-Rahmen, Entwicklerdosen, Filmspulen, Pocket-Cassetten, Blitzlichtwürfel, Foto- und Filmkameragehäuse, Gehäuseteile von Overhead-Projektoren, Fernglasgehäuse.

Nieten:

Chassis für Dia- und Filmprojektoren.

Einbetten:

Gewindeeinsätze für Chassis von Filmkameras und Dia-Projektoren.

12.4 Maschinenbau, Feinwerktechnik, Installation, Bürotechnik

Schweißen:

Schauglasabdichtungen, feuchtigkeitsdichte Abkapselungen, Wasserabscheider, Mischbatterieregler, Rolladensteuerung, Armaturengriffe, Uhrengehäuse, Tintenpatronen, Drehbleistifte, Kugelschreiber, Füllhalter, Schreibmaschinenabdeckungen, Hülsen für Tuschestifte.

Bördeln:

Scheiben für Spielautomaten, Kunststoffscheiben in Metallräder, Kugel- und Rollenlagerkäfige.

Nieten:

Heftzangen, Schreibmaschinenkugelpöpfe.

12.5 Haushaltsgeräte

Schweißen:

Kaffeemaschinen-Gehäuse, -Griffe, -Steigrohre, -Metallboden mit Kunststoffing in Kaffeekannen, Bügeleisen-Griffe, -Wassertanks, tiefgezogene Kühlschranksätze mit Haltefaschen, Filter auf Rahmen bei Dunstabzugshauben, Funktionsteile für Küchenmaschinen, Haarfön, Staubsaugergehäuse, -Düsen und Zubehörteile, Feuerzeuge.

Bördeln:

Kaffeefilter (Textil- oder Metallsiebe).

Einbetten:

Lagerbuchse in Fön-Lüfterrad.

12.6 Verkehrswesen

Schweißen:

Reflektoren, Scheinwerferteile, Rückleuchten, Rückstrahler für Fahrräder, Warndreiecke, Straßenmarkierungspfähle, Sonnenblenden, Innen- und Außenspiegel für Kfz und Motorräder, Handschuhkastendeckel, Knöpfe und Schalter, Lüfterdüsen, Armaturentafeln, Ablagefächer, Verkleidungen – Blenden, Kfz und Lkw-Empbleme, Hupengehäuse, Auto-Elektroteile, Ventile für Kühlflüssigkeitssystem, Stoßfängerecken, Sicherheitsgurtschlösser, Sicherheitsgurtbänder, Kraftstoff-Filter, Radioblenden, Zubehörteile für Zentralverriegelung.

Nieten:

Armaturentafeln, Instrumententafel-Rahmen, Funktionsteile für Türverriegelung.

Bördeln:

Innen- und Außenspiegel, Endkappen auf Bowdenzüge, Lüfterflügel, Verstellhebel für Lüfterklappen.

Einbetten:

Gewindebuchsen und Stifte in Armaturentafeln, Lenksäulenverkleidung.

12.7 Möbelindustrie:

Schweißen:

Möbelfüße, -knöpfe, -griffe.

Nieten:

Verbindung von Funktionsteilen.

Einbetten:

Gewindeeinsätze und -stifte für Möbelteile.

12.8 Sport, Freizeit, Hobby, Spielzeug

Schweißen:

Skibindungen, Skibrillen, Spielzeug-Figuren, -Gehäuseteile, -Eisenbahnen, -Autos u.a., Gießkannen.

Nieten:

Taschenmessergriffe.

12.9 Verpackung, Transport, medizinische Geräte, Kosmetik

Schweißen:

Cremedosen u.a. Verpackungsbehältnisse, Zahnbürstestiele für elektrische Zahnbürsten, Zahnbürsten-Köcher, Tuben-Kappen und Endverschlüsse, Hülsen u.a. Verpackungen für kosmetische Artikel, Schutzfolie auf Kosmetikartikel, Verschußdeckel, blasgeformte Behälter mit spritzgegossenen Tüllen, Yoghurtbecher mit Deckel, Ampullen für Bluttransfusionsgeräte, künstliche Nieren, Filter für biologische Anwendungen, Schraubverschlüsse an flexible Container.

Bördeln:

Kosmetikspiegel, Ampullen-Stopfenverschlüsse.

12.10 Sonstiges

Nähen:

Randsäumen von Textilien, Nähen von Streckgeweben, Plissieren von Steppdecken aus synthetischen Vliesstoffen.

13. Beispielsammlung

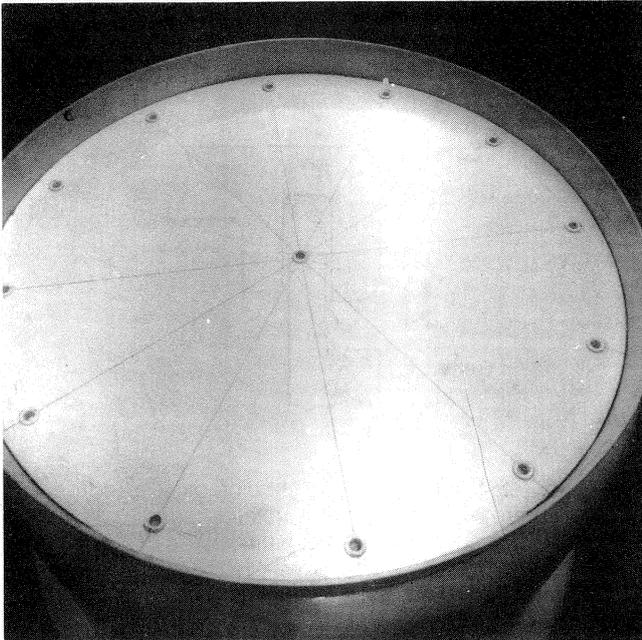
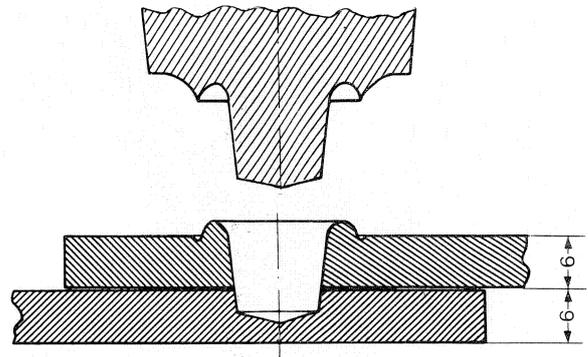


Bild 53 Blumenpflanzgehäuse



Die ebene extrudierte Bodenplatte aus ABS wird ohne Nahtvorbereitung durch Ultraschall-Punktschweißen mit dem thermogeformten Behälter verbunden.

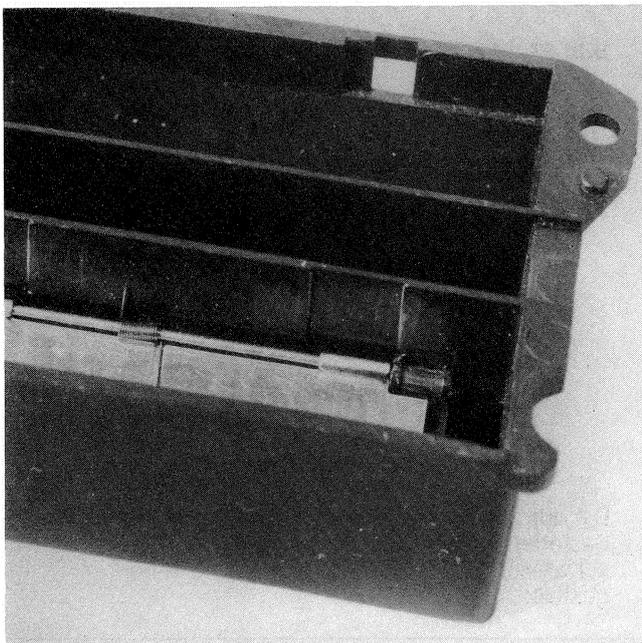
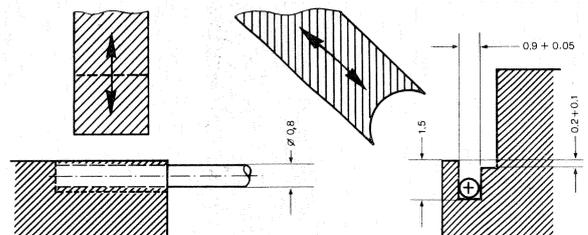


Bild 54 Klappe für Autoradio



Die St-Achse wird an beiden Enden durch Ultraschall im Gehäuse aus ABS festgelegt. Die Sonotrode wird schwingend aufgesetzt.

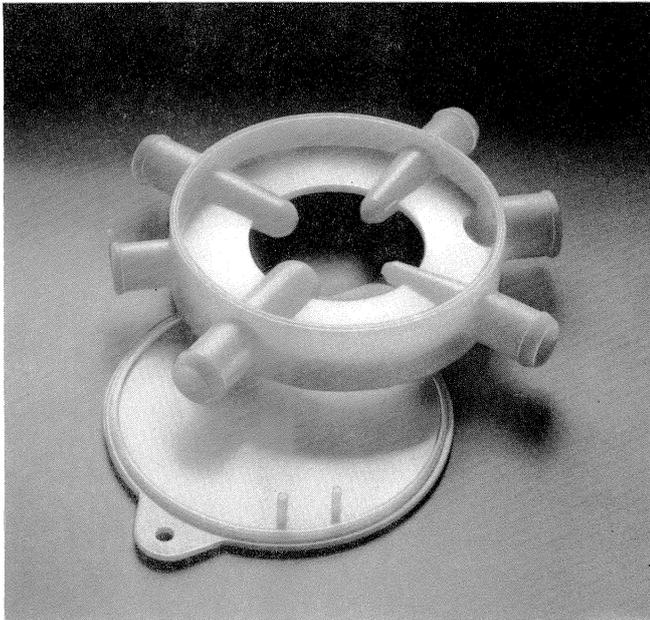
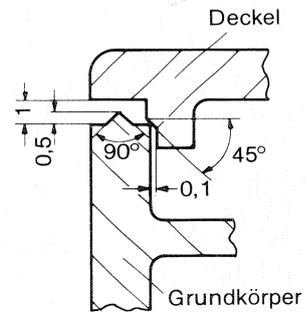


Bild 55 Rückflußverhinderer



Der Rückflußverhinderer aus POM unterbindet ein Rückströmen von (Schmutz-)Wasser aus einem Verbrauchergerät (z.B. Geschirrspülmaschine) in die Versorgungsleitung bei einem möglicherweise auftretenden Unterdruck. Der Rückflußverhinderer besteht aus einem Grundkörper und zwei Deckeln, die flüssigkeitsdicht miteinander verschweißt werden.

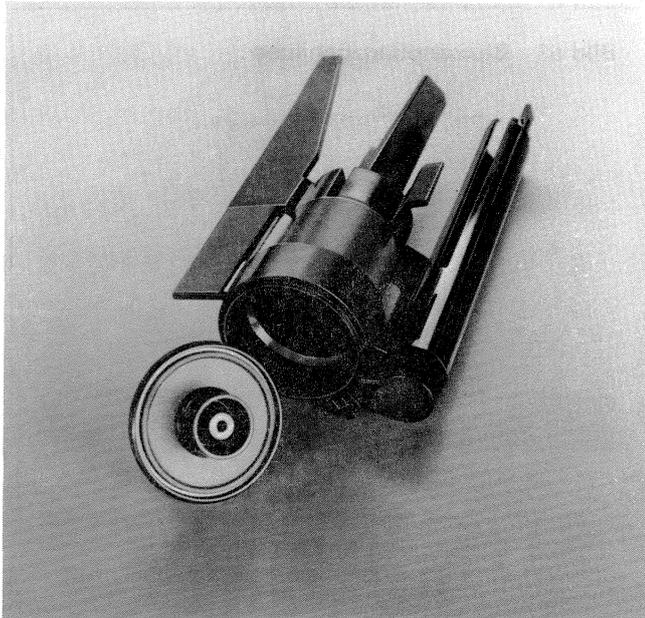
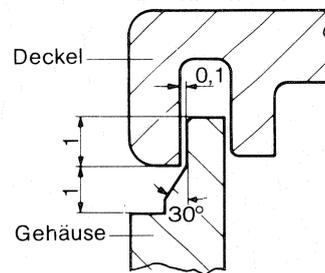


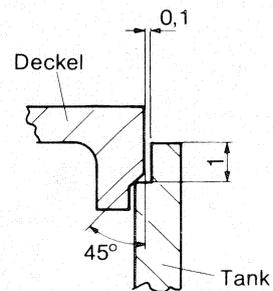
Bild 56 Zeitsteuerung für einen Toaster



Diese Zeitsteuerung ermöglicht eine exakte, reproduzierbare und individuelle Einstellung der Toast-Dauer. Gehäuse und Deckel werden aus POM spritzgegossen. Der Deckel wird luftdicht mit dem Gehäuse verschweißt.



Bild 57 Einwegfeuerzeug



Die durch Innendruck beanspruchten Bauteile bestehen aus dem Tank und einem mit diesem verschweißten Deckel. Sie werden aus POM hergestellt.

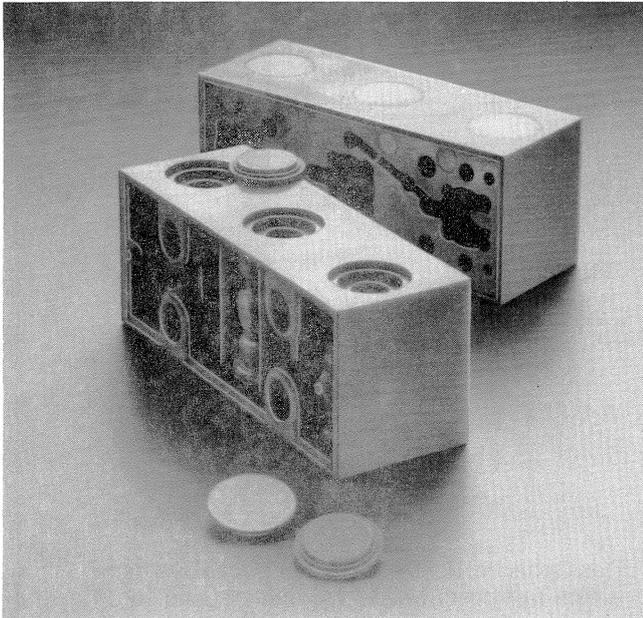
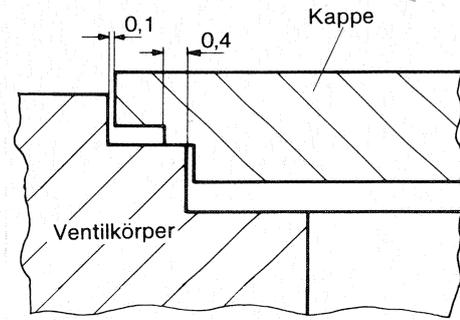


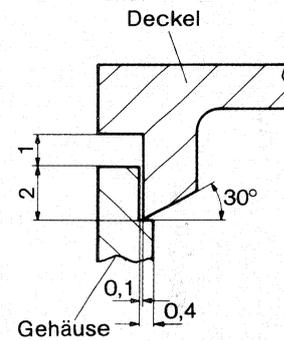
Bild 58 Pneumatisches Bauelement



Für die Steuerung von Druck, Menge und Richtung verwendet man pneumatische Bauelemente, gefertigt aus POM. In jedem Ventilkörper befinden sich mehrere Ventilkolben, die sich in einer zylindrischen Bohrung bewegen. Nach der Montage werden die Bohrungen mit scheibenförmigen Kappen im Ultraschall-Schweiß-Verfahren verschlossen.



Bild 59 Mischbatterien



In Einhebel-Mischbatterien werden Regler, aus POM spritzgegossen, verwendet. Deckel und Gehäuse werden nach dem Einbau von Keramik-Dichtungsscheiben flüssigkeitsdicht miteinander verschweißt.

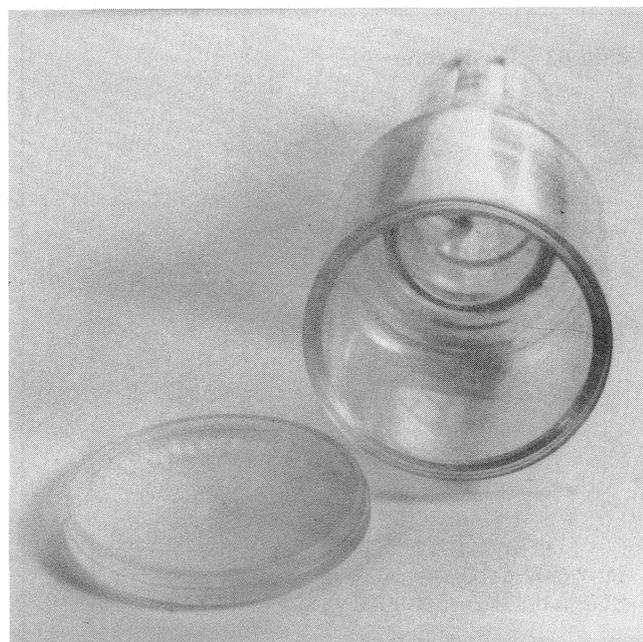
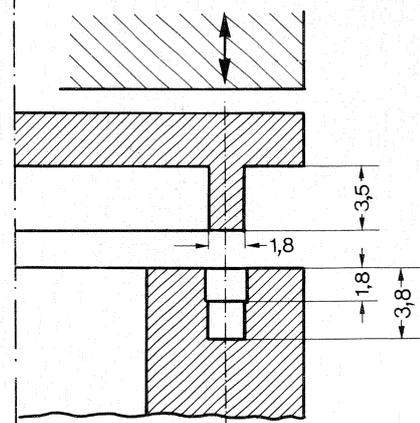


Bild 60 Löschkammer



Die Löschkammer aus PA11 wird wegen der geforderten Druckdichtigkeit mit einer Doppelquetschnaht geschweißt. Der Prüfdruck beträgt 10 bar.

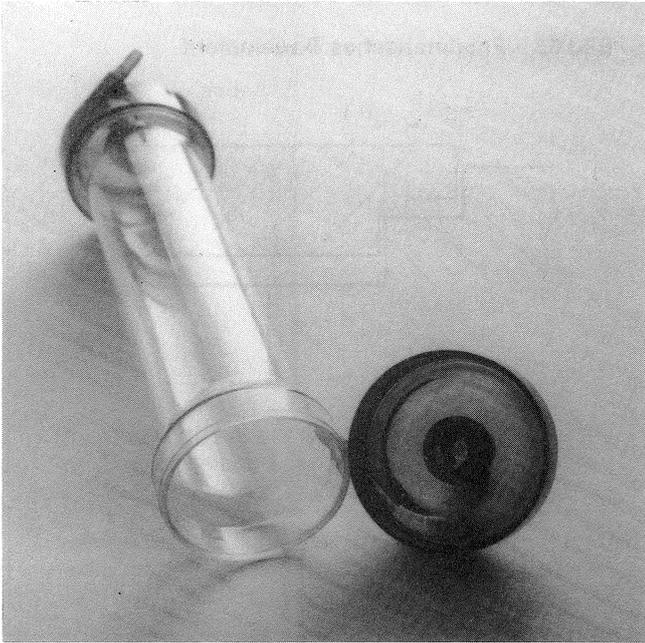
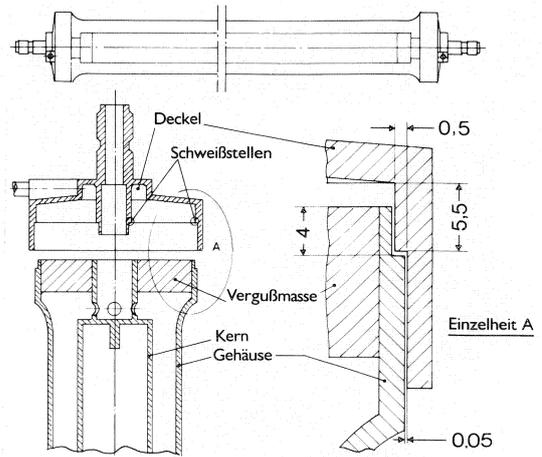


Bild 61 Künstliche Niere (Dialysator)



Das Gehäuse, der Kern und der Deckel werden in einem Takt geschweißt. Alle Fügeteile sind aus PC.

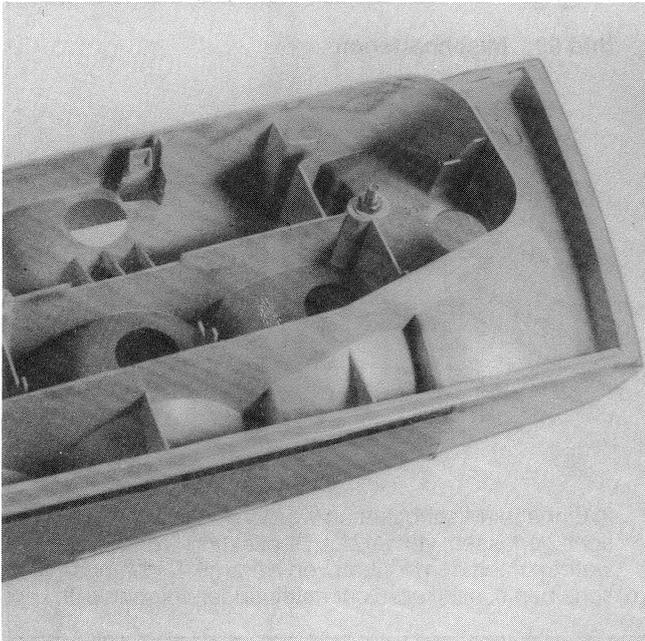
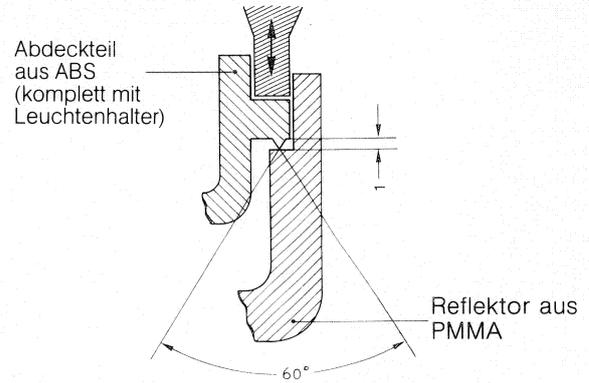


Bild 62 Rückleuchten für PKW



Bei der abgebildeten Rückleuchte wird eine Abdeckung aus ABS mit dem Reflektorgehäuse aus PMMA in einem Arbeitsgang geschweißt.

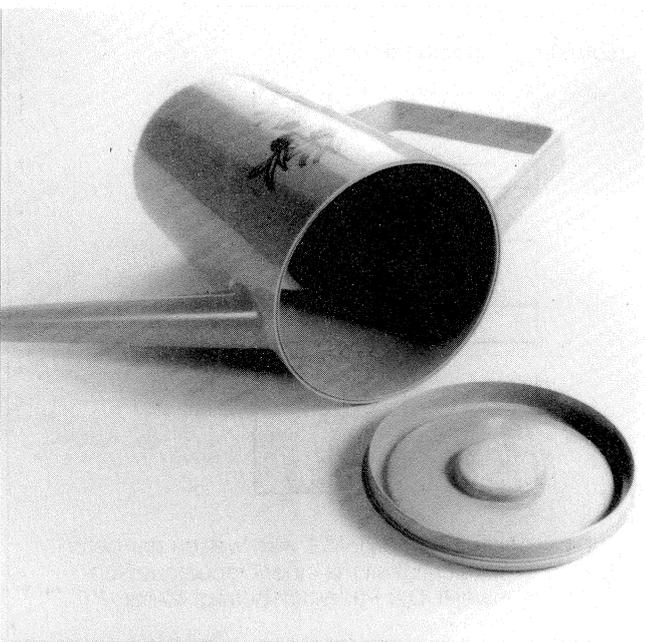
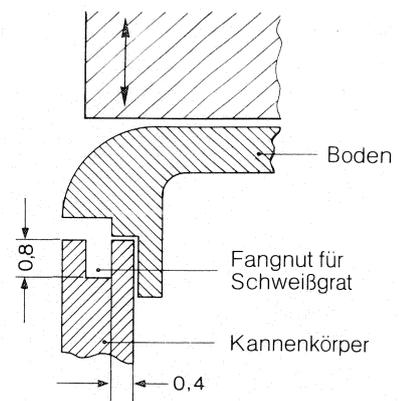


Bild 63 Gießkanne



Bei der abgebildeten Gießkanne aus PS wird der Boden mit dem Gehäuse wasserdicht geschweißt.

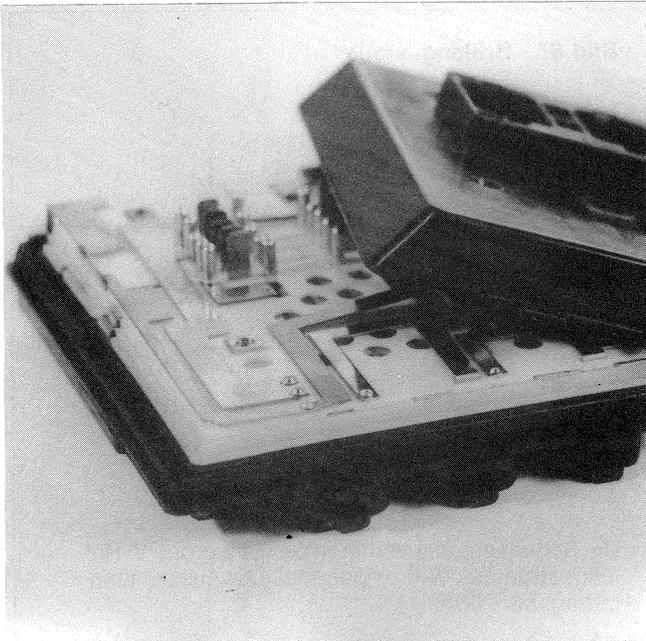
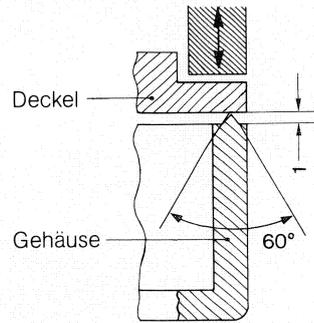


Bild 64 Zentralelektrik für PKW



Das Gehäuse wird mit dem Deckel, beides aus PA 66-GF 30 dicht geschweißt. Aus teilbezogenen Gründen mußte mit keilförmigem ERG geschweißt werden. Eine Quetschnaht wäre vorteilhafter.

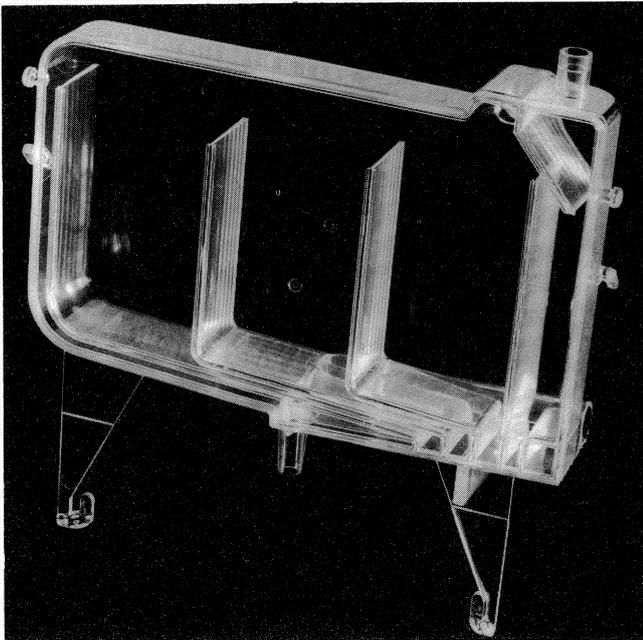
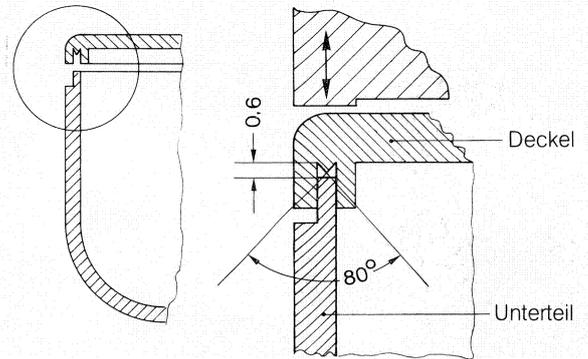


Bild 65 Urin-Meßbehälter



Der Deckel mit dem Unterteil und alle Innenstege werden wasserdicht geschweißt. Alle Fügeiteile sind aus SAN.

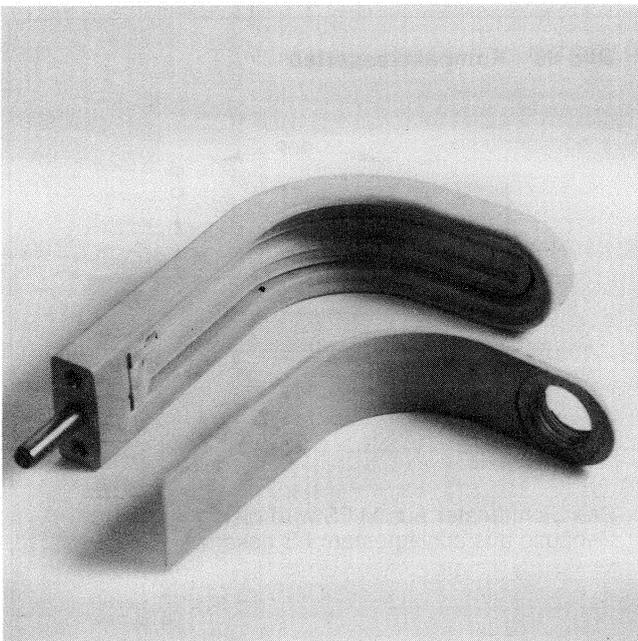
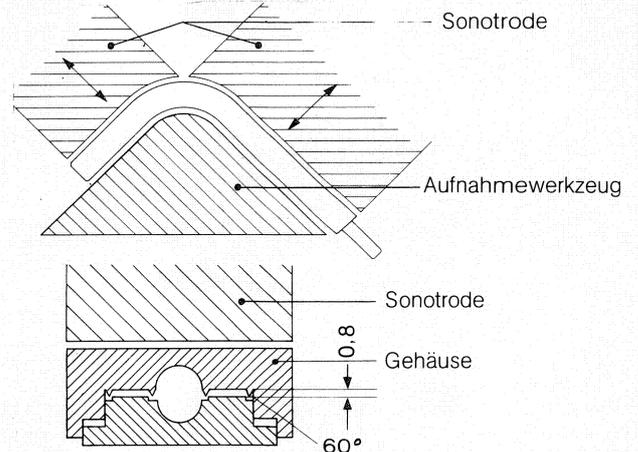


Bild 66 Auslaufkrümmer



Der Auslaufkrümmer aus PPO-GF modifiziert ist absolut dicht und mechanisch fest zu schweißen (Füllarm des Mundspülbechers am Dentalstuhl)

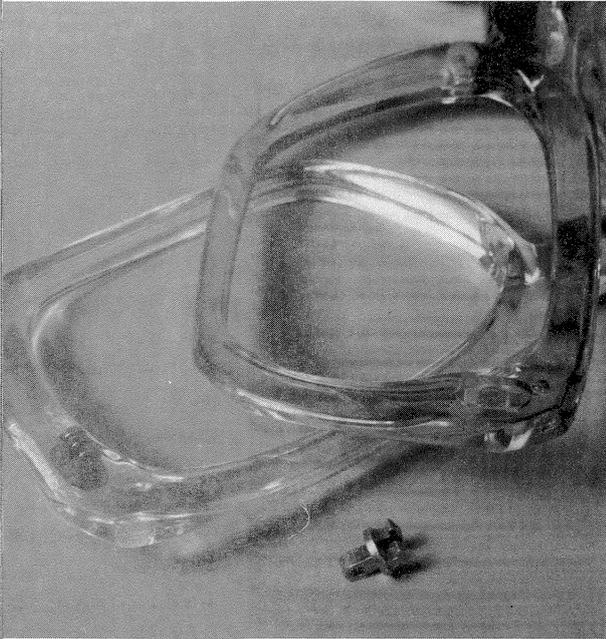
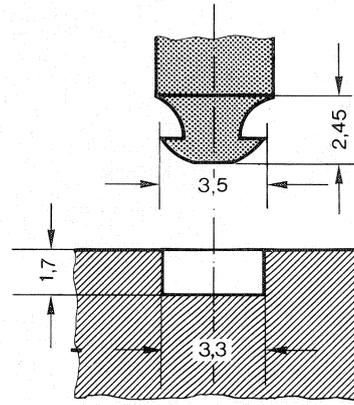


Bild 67 Brillengestelle



Die Scharniere aus verchromten St werden in Brillengestelle aus PA6 eingebettet. Die Auszugskraft beträgt bis 700N.

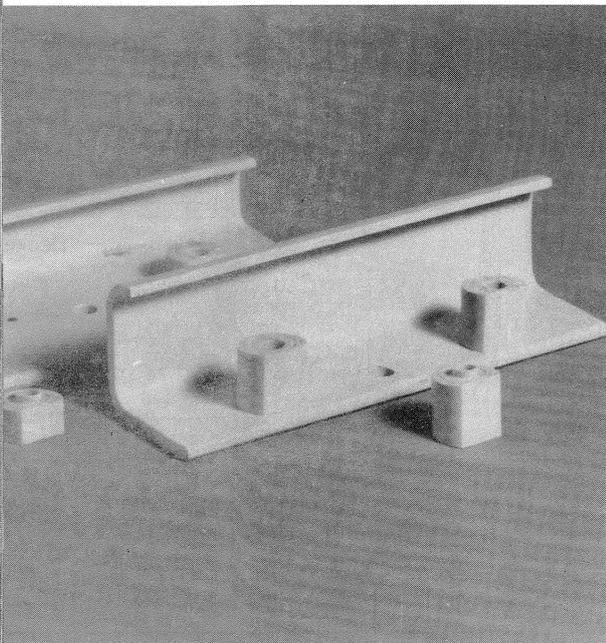
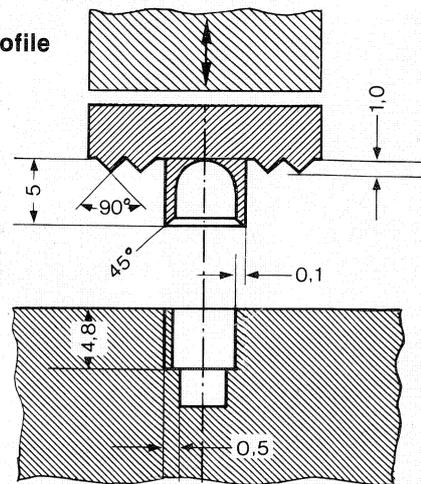


Bild 68 Winkelprofile



Die spritzgegossenen Distanzbolzen werden mit dem extrudierten Winkelprofil geschweißt. Beide Teile bestehen aus ABS.

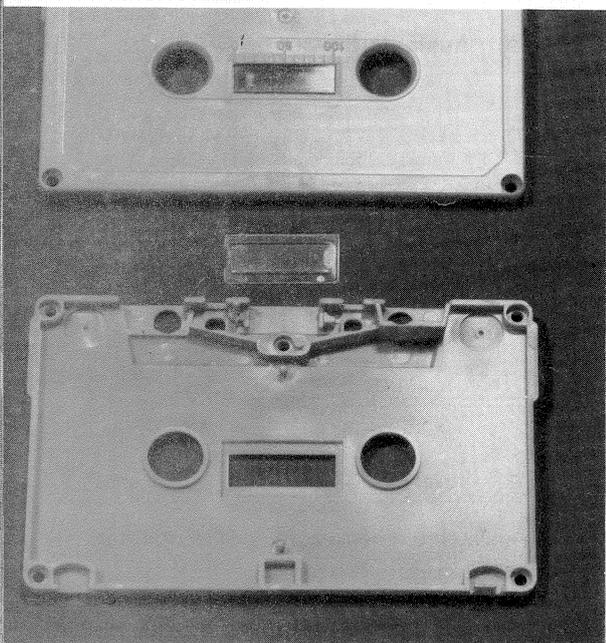
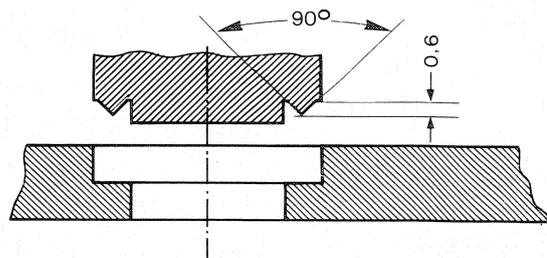


Bild 69 Kompaktkassetten



Das Sichtfenster aus M-PS wird dicht mit dem Gehäuse aus schlagfestem PS geschweißt.

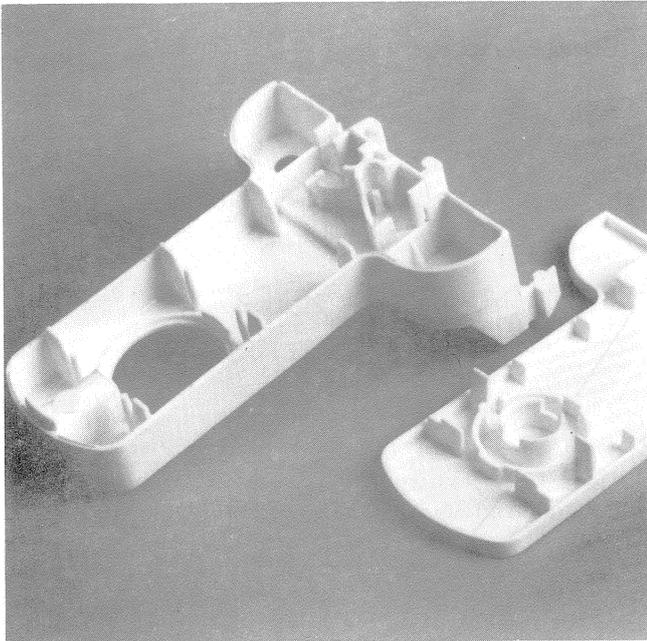
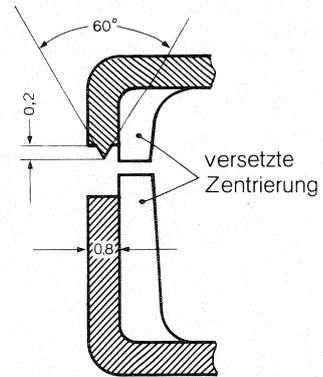


Bild 70 Halterung für Leuchtstoffröhren



Die Zentrierung der beiden dünnwandigen Teile aus PC erfolgt durch seitlich versetzte Zentrierstege. Durch die unterbrochenen ERG erzielt man kürzere Schweißzeiten bei geringerer Maschinenleistung. Es ist keine dichte Schweißverbindung erforderlich.

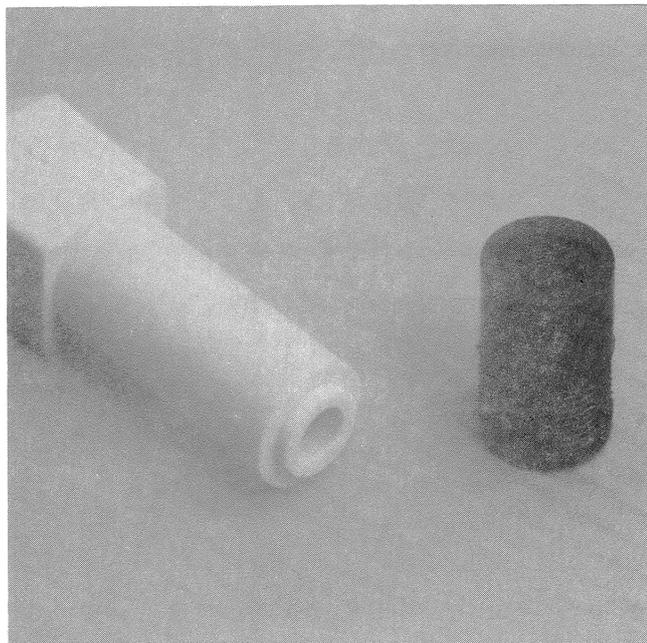
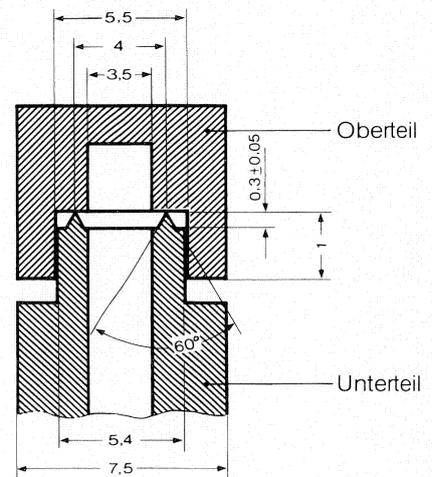


Bild 71 Drucktaste



Das Oberteil aus PC wird mit dem Unterteil aus PC geschweißt.

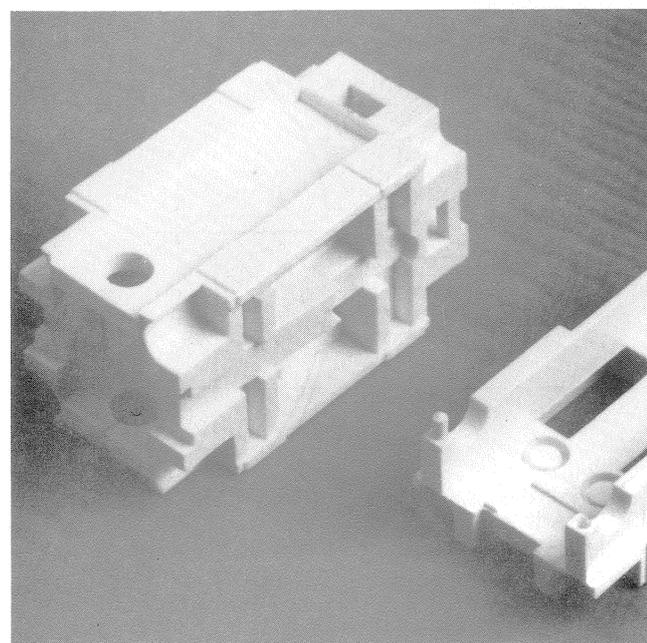
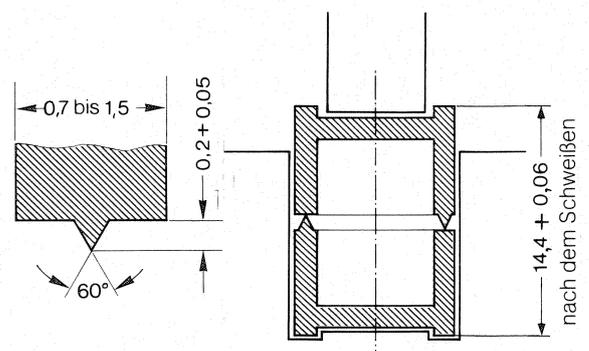
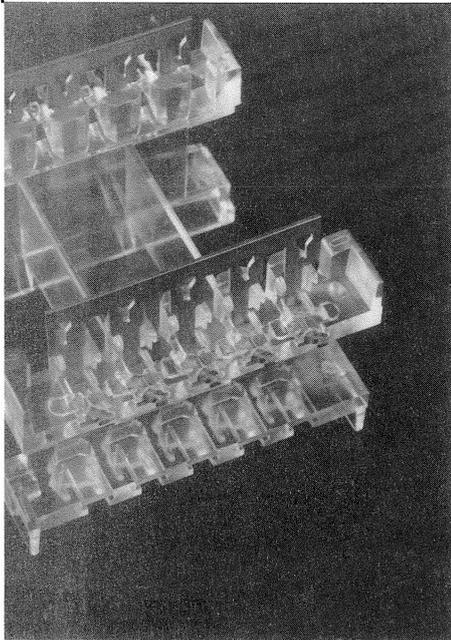


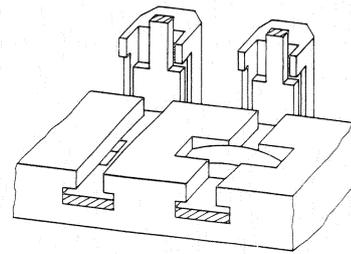
Bild 72 Druckstastenkörper



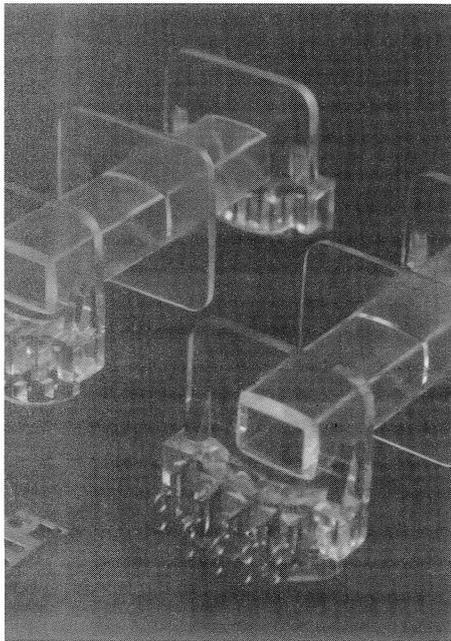
Durch das wegabhängige Abschalten des Ultraschalls können die Bauteiltoleranzen ausgeglichen werden. Beide Fügeteile sind aus PC.



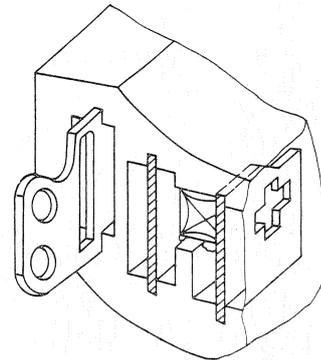
Überträgerspulen



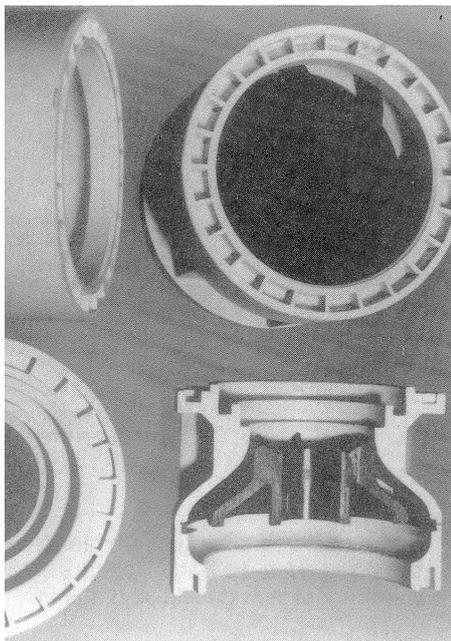
Durch Ultraschall werden in einem Arbeitsgang die Lötflächen im Spulengehäuse aus PC festgelegt.



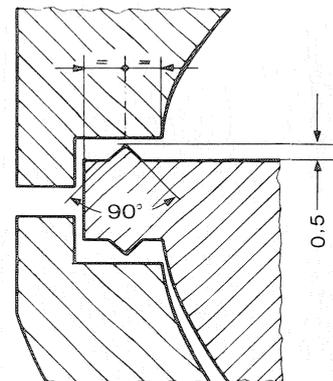
Induktionsspulen



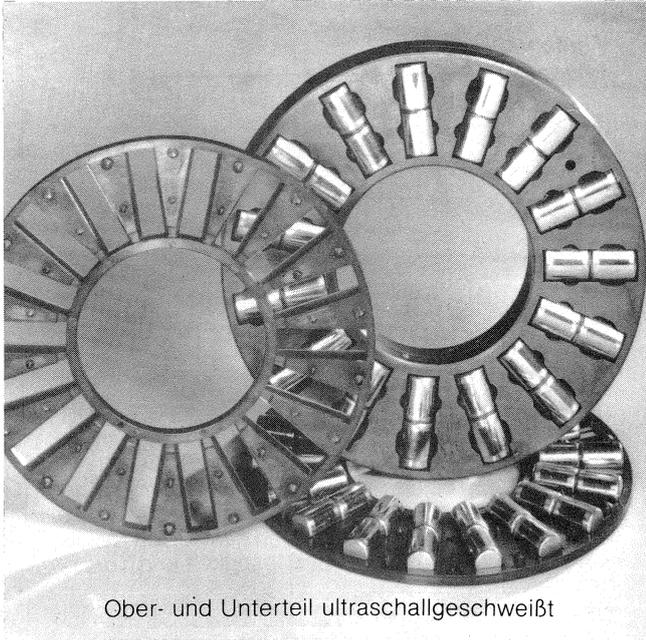
Durch Ultraschall werden fünf Lötflächen in einem Arbeitsgang im Spulengehäuse aus PC festgelegt.



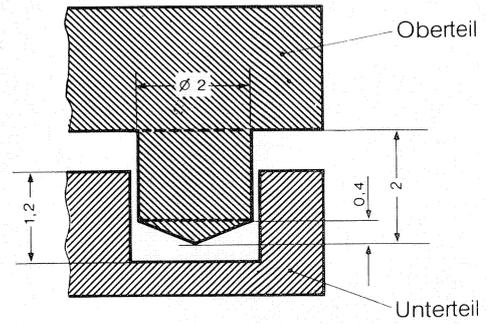
Pumpenrad



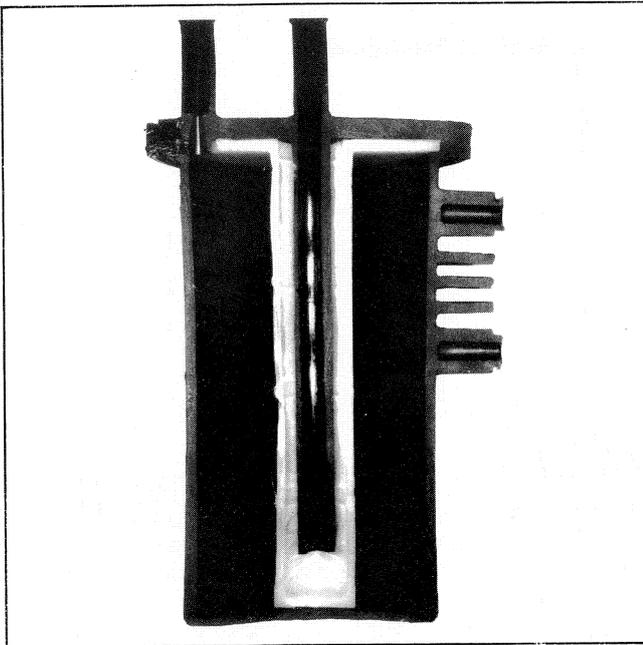
Die Pumpenradteile bestehen aus PPO-GF20 mit unterschiedlicher Einfärbung (schwarz und beige). Die Besonderheit dieser Schweißung liegt darin, daß 3 Komponenten in einem Arbeitsgang geschweißt werden.



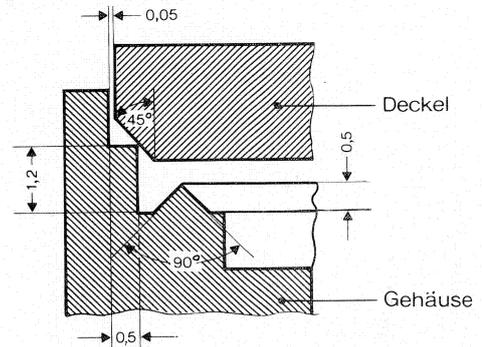
Drucklager



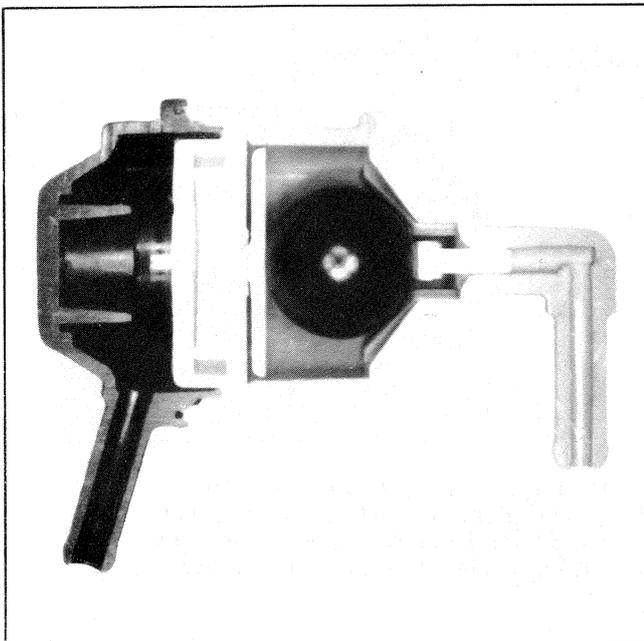
Die beiden Käfighälften werden aus PA 66-GF 30 gespritzt. Nach der Vormontage der Rollen im Käfigunterteil wird das Oberteil aufgesetzt, über die angespritzten Zapfen fixiert und mit Ultraschall geschweißt.



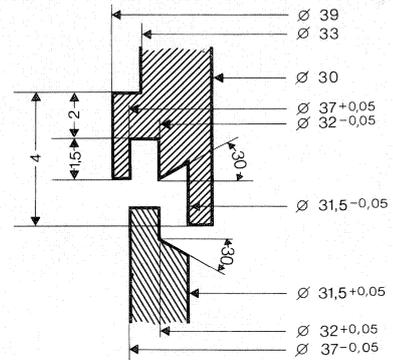
Benzinfilter



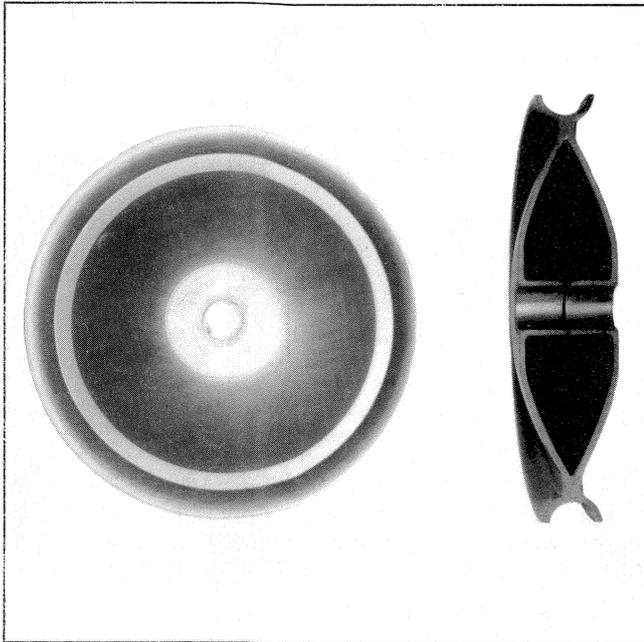
Das Filtergehäuse und der Deckel sind aus PA 66-GF 30. Der Filter einsatz aus PE wird gleichzeitig durch Schweißen des Deckels mit dem Gehäuse geklemmt. Besondere Anforderungen an die Naht: Betriebsdruckdicht bis 5 bar, Prüfdruck 8 bar, Berstdruck min. 11 bar.



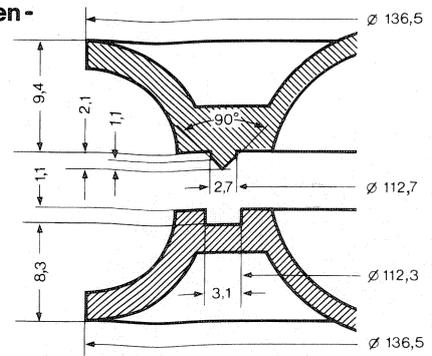
Be- und Entlüftungsventil für Kfz-Tanks



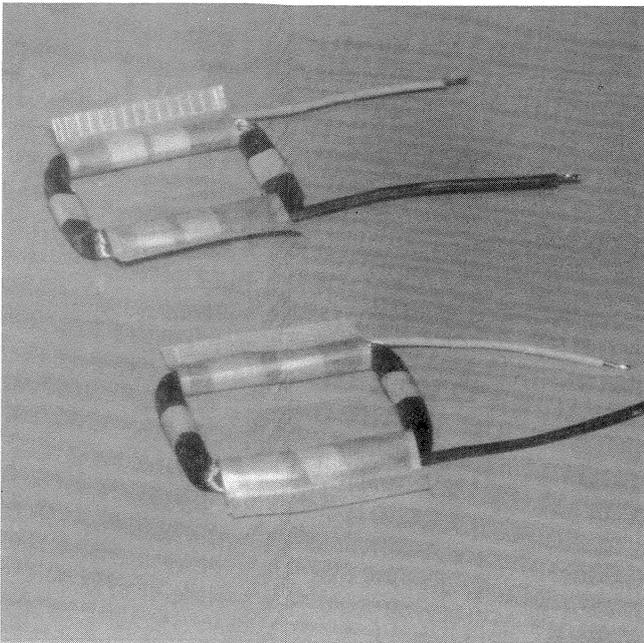
Die beiden Außenteile sind aus POM gespritzt und werden mittels Ultraschall im Fernfeld ohne Sonotrodenabdruck geschweißt. Um absolute Druckdichtigkeit zu erzielen, wurde die Verbindungsstelle als verdeckte Quetschnaht ausgebildet. Besondere Anforderungen: Betriebsdruck bis 6 bar, Prüfdruck 10 bar, Zerreißdruck min. 30 bar.



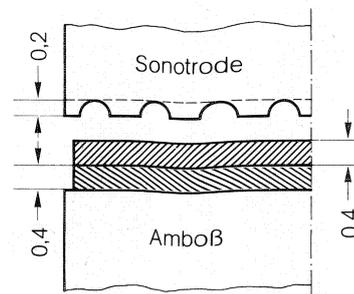
Kinderwagenfelgen



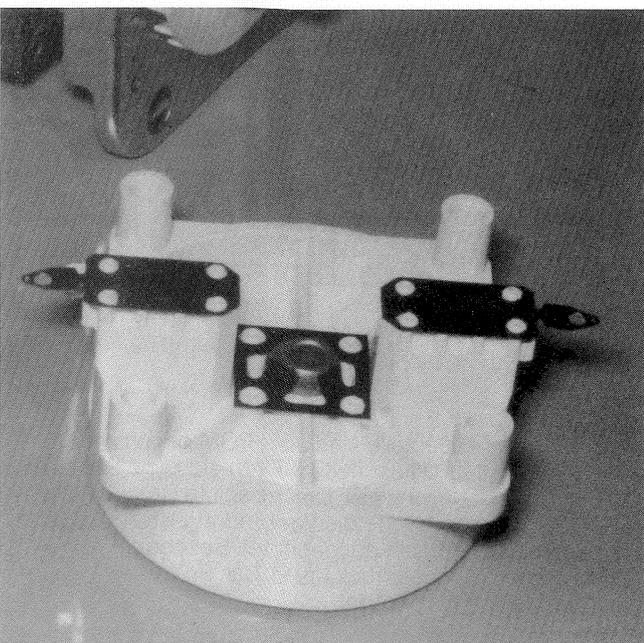
Die beiden Felgenhälften werden aus PS-SB (schlagzäh) gespritzt. Die Schweißung erfolgt im Außenring, wobei durch die besondere Schweißnahtgestaltung die beiden Teile gleichzeitig während des Schweißvorgangs zueinander fixiert werden. An die Naht werden hohe Anforderungen gestellt, da Kinderwagenräder vom TÜV auf Stoßfestigkeit und Torsion geprüft werden.



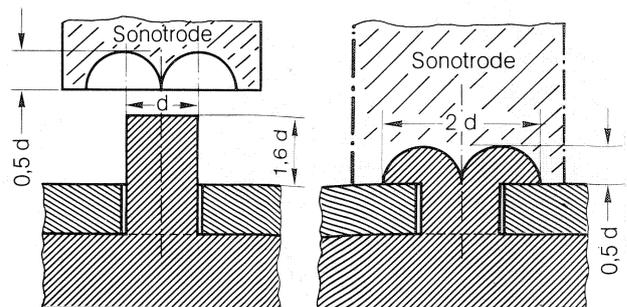
Feldspule für Elektromotor



Die gewickelten Feldspulen werden mit PE-Folie isoliert (Nutisolation). Dabei ist es erforderlich, die beiden Folienenden flächig mit Ultraschall zu schweißen. Die Ausbildung der Sonotrode zeigt die Skizze.



Deckel für Elektromotor



Auf den aus PA hergestellten Deckel werden 2 Bürstenhalter und ein Sinterlager mittels Ultraschall aufgenietet.