

ULTRASCHALL SCHWEISSTECHNOLOGIE

# GRUNDLAGEN KUNSTSTOFFE

## Ultraschall-Schweißtechnologie. Für thermoplastische Kunststoffe.

---

Herrmann Ultraschall ist ein weltweit führendes Unternehmen im Bereich des Ultraschallschweißens. Für unsere Kunden sind wir zugleich Berater und Anwendungsproblemlöser in der Ultraschallverbindungs- und Ultraschallsiegeltechnik von Kunststoffen. Diese Broschüre enthält praxisorientierte Hinweise und erste Informationen zum Schweißen von Kunststoffen mittels Ultraschall.

Neben technologisch führenden Produkten bieten wir eine exzellente Anwendungsberatung, um die Fügeaufgaben vor allem unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu lösen. Bitte beachten Sie, dass diese Broschüre als eine Heranführung an die Verbindungstechnik von Kunststoffen mittels Ultraschall gedacht ist und keinesfalls die anwendungstechnische Beratung durch unsere Experten ersetzt.



Aufgrund von hohen Prozessgeschwindigkeiten und reproduzierbaren Schweißergebnissen wird die Technologie vor allem bei der Großserienproduktion in der Automobil-, Elektro-, Medizin-, Verpackungs-, Hygiene-, Filter- und der allgemeinen technischen Industrie eingesetzt.

Gute Schweißresultate hinsichtlich Festigkeit, Dichtigkeit und optisch gutem Eindruck lassen sich nur dann erreichen, wenn die Fügeile verfahrens- und werkstoffgerecht gestaltet wurden.

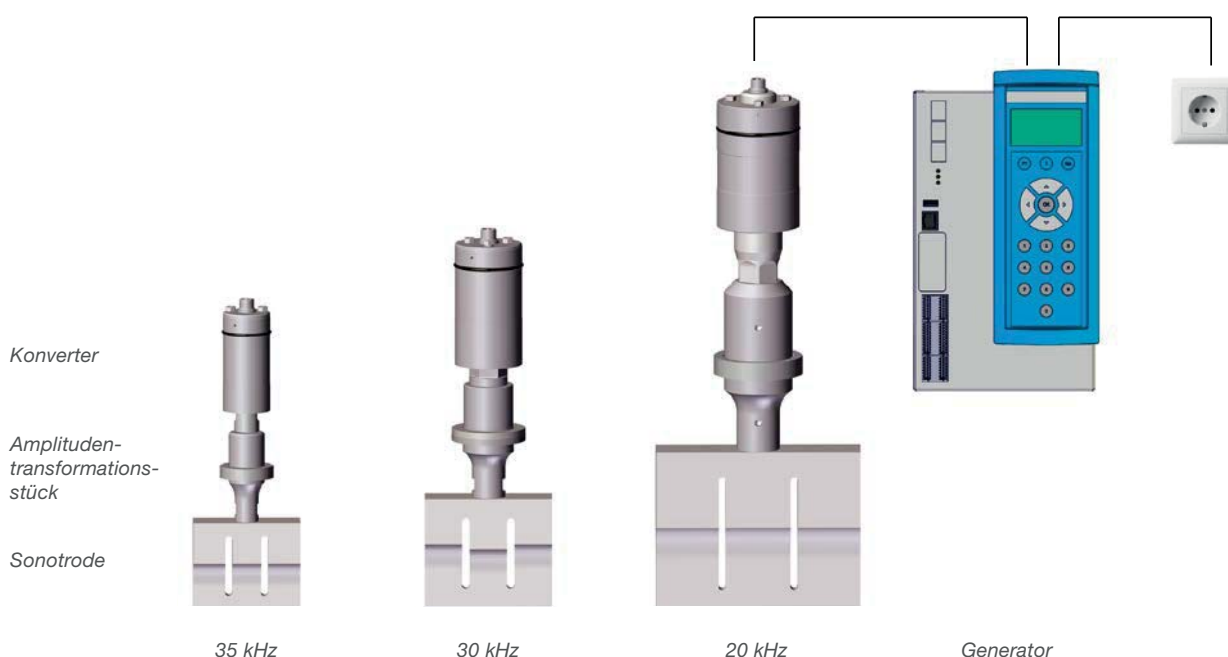
Um konstant gute Schweißresultate zu erzielen, ist es wichtig, dass man bei der Konstruktion der zu fügenen Teile von Beginn an „ultraschallgerecht“ denkt.

So vermeidet man schon im Vorfeld Probleme bei der Werkstückproduktion. Auch für die Konstruktion von Spritzgieß- und Extrudierwerkzeugen sind schweißtechnische Überlegungen unabdingbar. Nachträgliche Werkzeugänderungen können sehr teuer werden und führen häufig aus Zeitnot zu einem Kompromiss. Ultraschallgerechte Konstruktionen setzen nicht nur Kenntnisse der Fügeverfahren und -techniken, sondern auch der Werkstoffeigenschaften voraus. Letztere sind elementar für die Fügeilegestaltung.

## Erzeugung von Ultraschall

Der Ultraschallgenerator wandelt Netzspannung in eine hochfrequente Spannung zwischen 20 und 35 kHz um, die im Konverter durch den piezoelektrischen Effekt in mechanische Schwingungen gewandelt wird. Das Schweißwerkzeug, die sogenannte Sonotrode, fährt auf das Bauteil und leitet die Schwingung in die Fügezone ein. Bei einer Ultraschallfrequenz von z. B. 20 kHz sind das 20.000 Bewegungen in der Sekunde. Die dabei ent-

stehende Reibungswärme schmilzt das Material gezielt an den Berührungspunkten der beiden Bauteile auf. Aufgrund des geringen Energiebedarfs werden die Teile thermisch kaum belastet. Auch die Schweißwerkzeuge erwärmen sich kaum. Die geschweißten Teile sind sofort bearbeitbar, sodass Ultraschallsysteme (oder Ultraschallmodule) auch problemlos in Automationslinien integriert werden können.



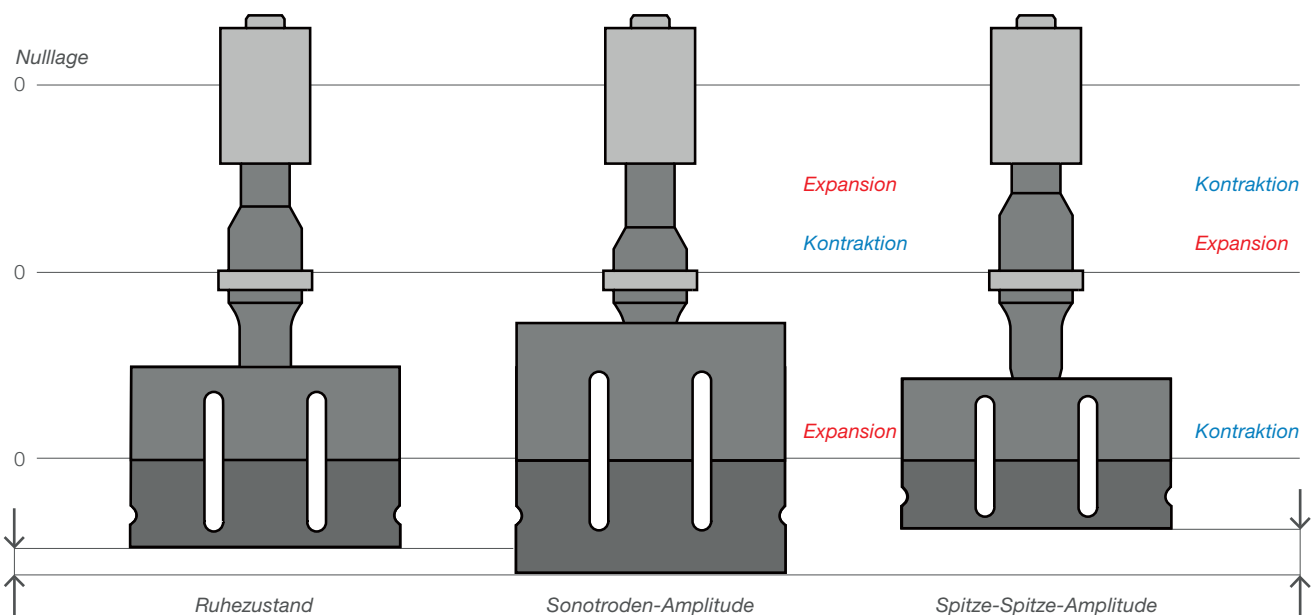
# Die Technik des Ultraschallschweißens.

## Verbunden in Sekunden.

### Verfahrensablauf

Während des Ultraschall-Schweißprozesses werden mechanische Schwingungen einer Ultraschallfrequenz in die zu schweißenden Materialien mit einer spezifischen Amplitude, Kraft und Dauer eingeleitet. Durch Molekular- und Grenzflächenreibung entsteht Wärme, die den Dämpfungskoeffizienten des Materials anwachsen lässt. Am Energierichtungsgeber (Definition s. S. 8) beginnt der Kunststoff zu schmelzen. Da der Dämpfungsfaktor des plastifizierten Materials zunimmt, wird ein größerer Anteil der Schwingungsenergie in Wärme umgesetzt. Diese Reaktion beschleunigt sich von selbst. Nach Beenden der Schalleinleitung ist eine kurze Abkühlphase unter dem noch anstehenden Fügedruck notwendig, um das zuvor plastifizierte Material homogen zu verfestigen. Anschließend sind die mithilfe der thermischen Energie verbundenen Teile sofort weiter bearbeitbar.

Das Herzstück des Ultraschall-Schweißsystems ist das Schwinggebilde. Es besteht aus dem piezoelektrischen Konverter, dem „Ampli“ (Amplitudentransformationsstück) und der Sonotrode. Das Schwinggebilde kontrahiert und expandiert in der Ultraschallfrequenz. Die Schwingungen, die entstehen, sind Longitudinalwellen. Die Bewegung des Schweißwerkzeugs, also den Abstand zwischen dem Umkehrpunkt und der Ruhelage, nennt man Amplitude – sie liegt beim Ultraschallschweißen zwischen 5 und 50  $\mu\text{m}$ . Zum Vergleich: Der Durchmesser eines menschlichen Haares ist gerade 100  $\mu\text{m}$ . Sehen kann man die Bewegung deshalb nicht, jedoch fühlen und hören.

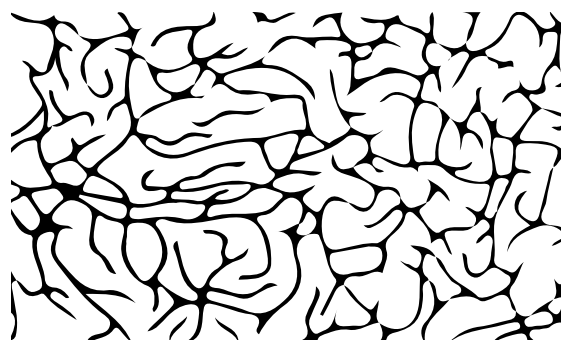


# Werkstoffeigenschaften der Kunststoffe.

## Einflussreiches Material.

### Energieübertragung

Grundsätzlich haben harte, amorphe Kunststoffe wie PC oder ABS günstige Übertragungseigenschaften für Ultraschallenergie. Die Schwingungen lassen sich über größere Strecken bis zur Nahtstelle weiterleiten. Teilkristalline Kunststoffe wie PA oder POM haben dagegen einen hohen akustischen Dämpfungsfaktor, der die eingeleiteten Schwingungen stark abschwächt. Diese Materialien sind somit nur im unmittelbaren Nahfeld zur Sonotrode schweißbar.



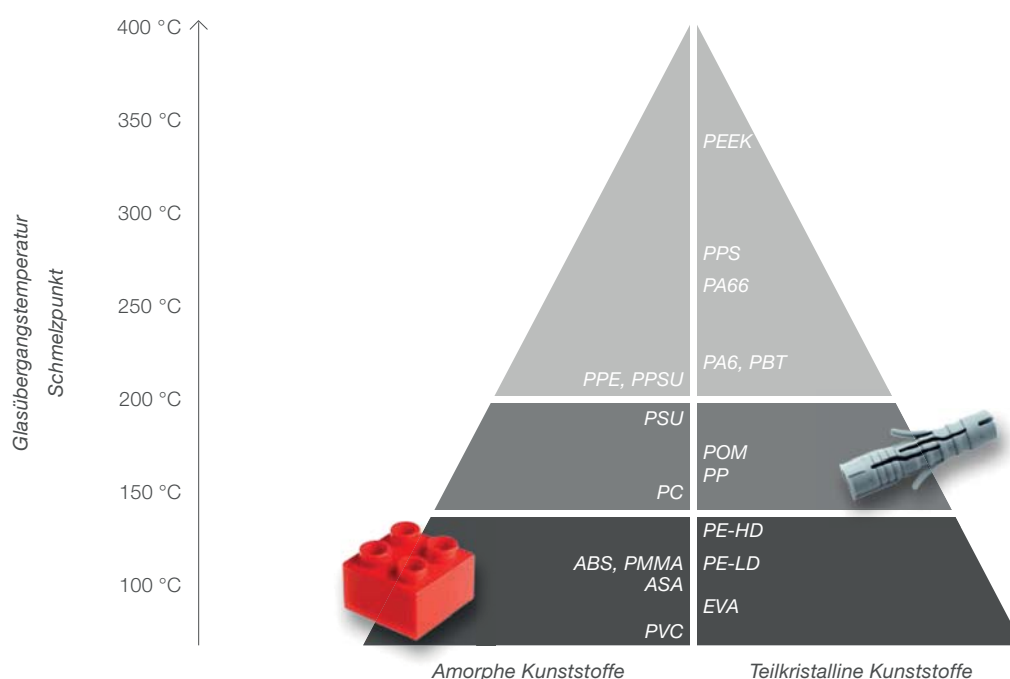
Amorphe Kunststoffe

### Werkstoffeigenschaften

Auch hinsichtlich des Energiebedarfs unterscheiden sich beide Werkstofffamilien: Amorphe Thermoplaste haben keinen definierten Schmelzpunkt und benötigen generell weniger Energie. Mit zunehmender Temperatur geht die Schweißzone in einen plastischen Zustand über, bevor sich Schmelze bildet. Teilkristalline Kunststoffe haben einen höheren Leistungs- und Energiebedarf. Vor allem beim teilkristallinen Kunststoff PA ist der Feuchtegehalt von besonderer Bedeutung. Hohe Feuchte verursacht eine höhere Dämpfung und damit eine schlechtere Schweißbarkeit (Blasenbildung). Glasfasern haben bei teilkristallinen Kunststoffen hingegen einen positiven Einfluss.



Teilkristalline Kunststoffe



# Präzise Schweißparameter. Für optimale Reproduzierbarkeit.

## Prozessparameter

Der große Vorteil des Ultraschallprozesses ist die Vielzahl der möglichen Parameter sowie ihre exakte Einstellung. Mit einer genauen Parametrierung erreicht man:

- die optimale Fügegeschwindigkeit für eine gute Verschweißung sowie eine
- gute Reproduzierbarkeit der Schweißergebnisse.

Wichtige Schweißparameter:

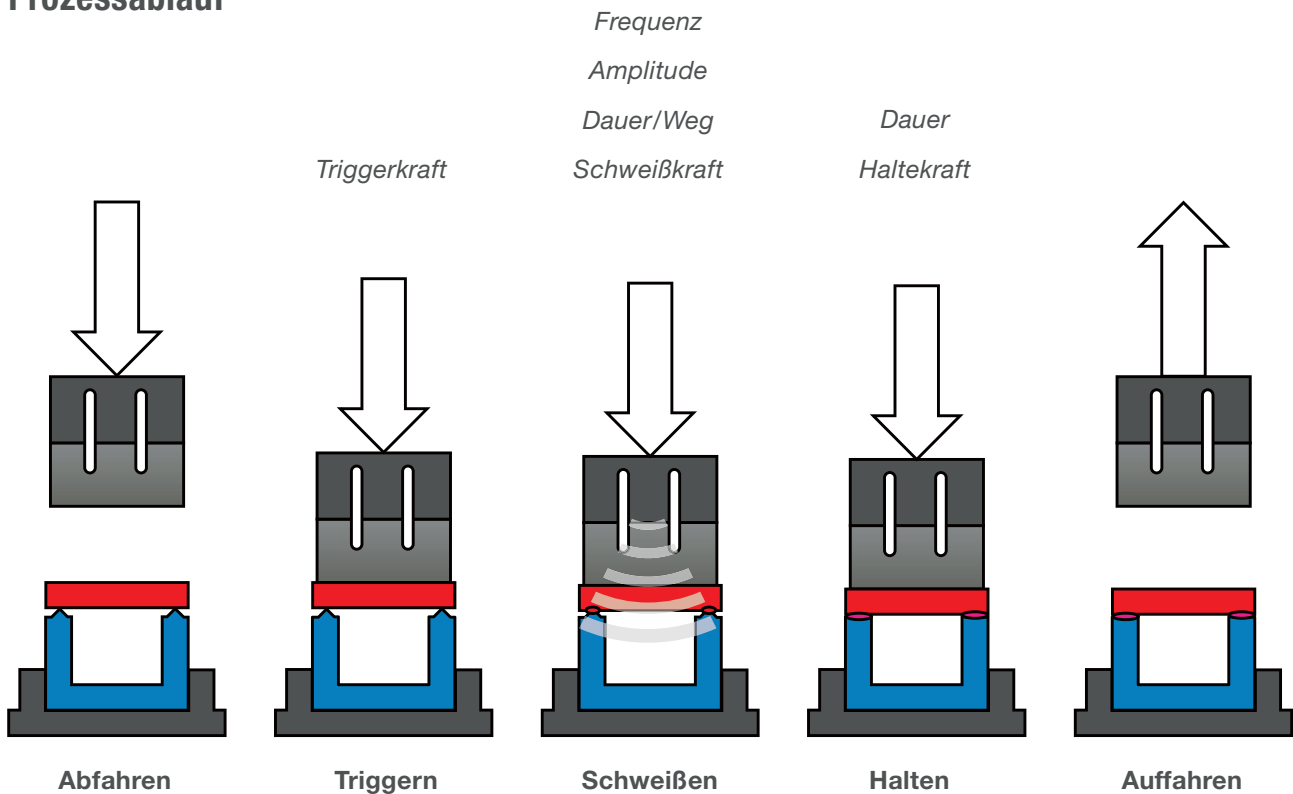
- Frequenz
- Amplitude
- Schweißkraft
- Triggerkraft
- Abschaltkriterium (z. B. Schweißweg oder Schweißzeit)

Der Verlauf der Schweißung kann grafisch dargestellt werden. Die Visualisierung auf der Bedienoberfläche der Steuerung zeigt Abweichungen im Prozessverlauf und ermöglicht die Prozessoptimierung. Der Verlauf der Fügegeschwindigkeitskurve (Weg über Zeit) ist hierbei ein entscheidender Indikator.



Fügeverlaufsdarstellung DIALOG Bedienoberfläche

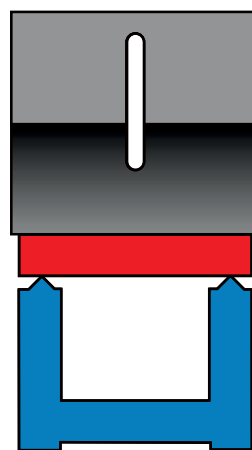
## Prozessablauf



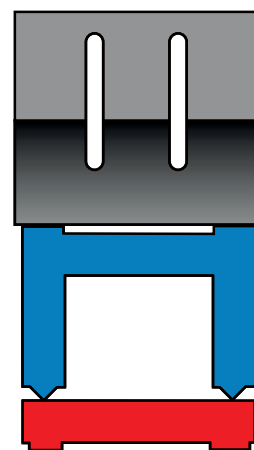
# Optimierte Abstimmung. Ein Prozess, viele Varianten.

## Sonotrode/Sonotrodenkontakt

Das Schweißwerkzeug (Sonotrode) muss dem Bauteil geometrisch angepasst sein und gleichzeitig einwandfrei schwingen. Dies erfordert großes technisches Know-how. Die Auflagefläche der Sonotrode sollte immer so nah wie möglich am Energierichtungsgeber sein, damit die Ultraschallwellen auf dem Weg durch den Kunststoff ihre Intensität nicht verlieren.



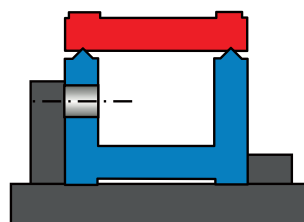
Schweißen im Nahfeld



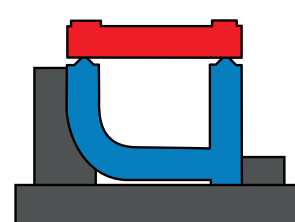
Schweißen im Fernfeld

## Werkstückaufnahme

Die Werkstückaufnahme (WA) ist ebenso wichtig wie die Geometrie der Sonotrode. Sie muss die Schweißkräfte aufnehmen und das Bauteil sicher festhalten. Die richtige Materialauswahl für die Werkstückaufnahme gewährleistet technisch und optisch einwandfreie Schweißteile. Die Schweißnaht sollte immer direkt und ohne Unterbrechung abgestützt werden, damit die Schweißkraft aufgenommen werden und die Amplitude wirken kann. Die Bauteile müssen so unterstützt werden, dass sie sich nur in Fugerichtung bewegen können.



Beispiel WA 1

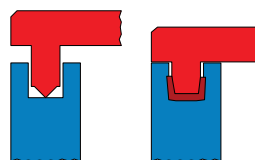


Beispiel WA 2

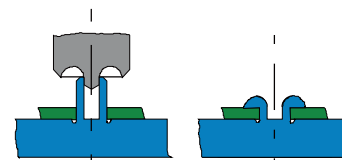
## Fügevarianten

Vereinfacht wird zwischen vier Fügevarianten unterschieden:

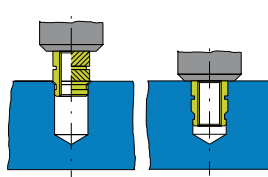
- Klassisches Verschweißen zweier Kunststoffbauteile mittels Energierichtungsgeber
- Vernieten eines materialfremden Bauteils mit einem Thermoplast (Umformen)
- Einsenken von Buchsen in Kunststoffbauteile
- Verkrallen von Vliesstoffen oder nicht schweißbaren Materialien mit thermoplastischen Bauteilen



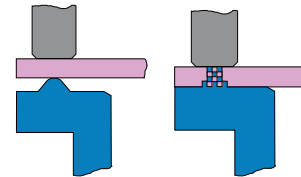
Schweißen



Umformen/Nieten



Einsenken



Verkrallen



## Gezielte Schmelzebildung. Konzentration auf das Wesentliche.

### Energierichtungsgeber

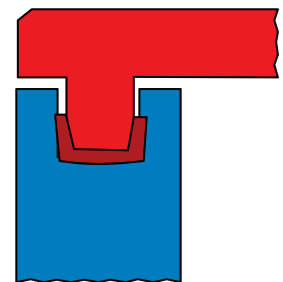
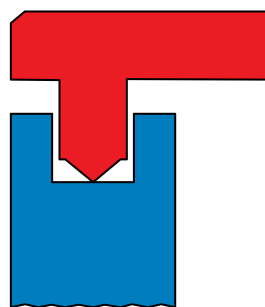
Die Nahtgestaltung bei Spritzgussteilen besteht aus geeigneten Schweißgeometrien mit Spitzen oder Kanten in der Fügezone – diese sogenannten Energierichtungsgeber fokussieren den Schall und definieren die Schmelzeinleitung. Die Ultraschallwellen werden dabei von den Formteilen bis hin zur Fügestelle übertragen.

Der Punktkontakt an dieser Stelle verhindert flächiges Ankoppeln. Die Schmelze wird an den Kontaktstellen der Energierichtungsgeber direkt zwischen den Bauteilen gebildet. Die Nahtgestaltung ist zwingend notwendig zur zuverlässigen Prozessführung. Es gibt unterschiedliche Nahtgestaltungen, diese sind abhängig von der Bauteilgeometrie (Wandstärken), dem verwendeten Kunststoff (amorph/teilkristallin) sowie den unterschiedlich gestellten Anforderungen (hohe Festigkeit und Berstdruck sowie besonders empfindliche Sicht- und Oberflächen).



### Schmelze-Einkapselung

Eine gut eingekapselte Schweißnaht ist dicht und austriebsfrei. Die Festigkeit wird zudem erhöht, weil sich die Schmelze in der Naht gleichmäßig verteilt. Amorphe Kunststoffe können aufgrund ihrer zähen Schmelze auch ohne Kapselung gut geschweißt werden. Wenn es spritzgusstechnisch schwierig wird, gilt: Eine einseitige Kapselung ist besser als keine.

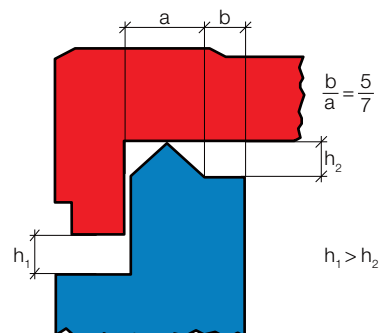




# Varianten der Nahtgestaltung. Für unterschiedlichste Anforderungen.

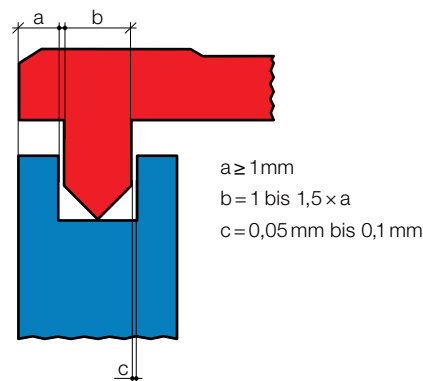
## Stufennaht

Diese Nahtvariante ist im Spritzgusswerkzeug relativ einfach zu realisieren. Bei amorphen Kunststoffen lassen sich hiermit optisch einwandfreie, hochfeste und bedingt dichte Verbindungen herstellen. Die Selbstzentrierung der Bauteile und die Aufnahme von erhöhten Scher- und Zugkräften sind weitere Vorteile.



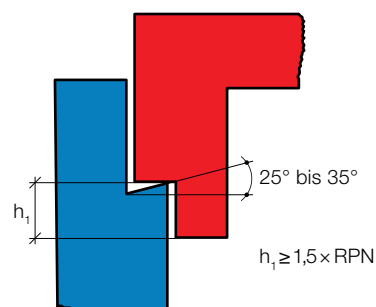
## Nut-/Feder-Naht

Mit einer Nut-/Feder-Naht-Verbindung werden üblicherweise die höchsten Festigkeiten erreicht. Durch die eng tolerierten Spaltmaße entsteht ein Kapillareffekt, wodurch die erzeugte Schmelze den kompletten Nahtbereich ausfüllt. Diese Nahtgestaltung erfordert relativ große Wandstärken und ist bei passenden Rahmenbedingungen grundsätzlich zu empfehlen.



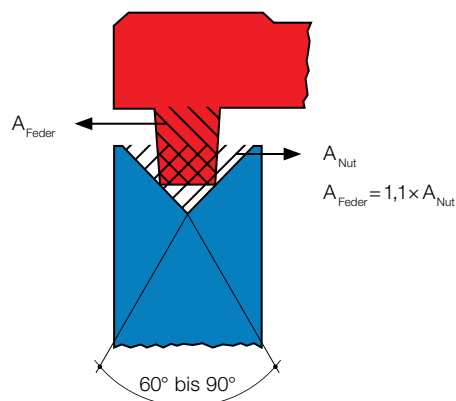
## Quetschnaht

Für teilkristalline Kunststoffe in Verbindung mit dünnen Wandstärken hat sich die Quetschnaht bewährt. Mit dieser Nahtvariante lassen sich generell dichte und hochfeste Schweißungen bei großen Fügewegen erzielen.



## Dünnwandnaht

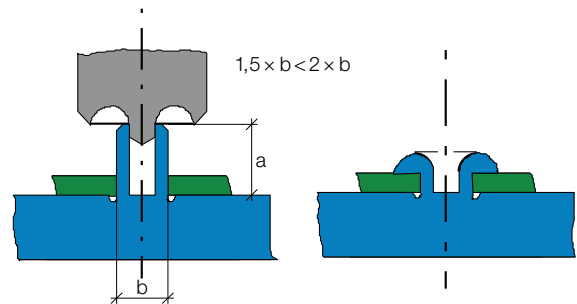
Diese Naht ist für Bauteile mit weniger als 1,5 mm Wandstärke zu empfehlen. Die gute Selbstzentrierung und die dadurch entstehende definierte Nahtauflage tragen zu hohen Festigkeiten nach dem Schweißen bei. Es gilt zu beachten, dass eine exakte Nahtabstimmung sowie präziser Spritzguss unbedingt erforderlich sind.



# Umformen mit Ultraschall. Verbindendes Element.

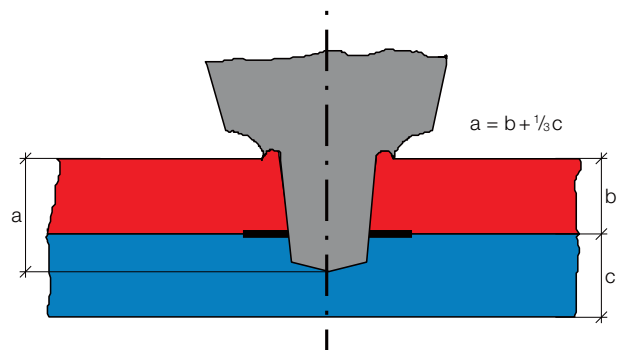
## Nieten

Das Nieten mittels Ultraschall ermöglicht eine schnelle und saubere Verbindung thermoplastischer Formteile mit metallischen oder nicht schweißbaren Bauteilen. Damit entfallen zusätzliche Verbindungselemente. Die beim Nietprozess entstehende Wärme kann über eine luftgekühlte Sonotrode rasch abgeführt werden. Nach dem eigentlichen Nietvorgang sorgt das System über eine vorgewählte Haltezeit dafür, dass die Schmelze unter statischem Druck vollständig erstarren kann. Auf diese Weise werden Rückstellkräfte eingefroren und spielfreie Verbindungen erzielt.



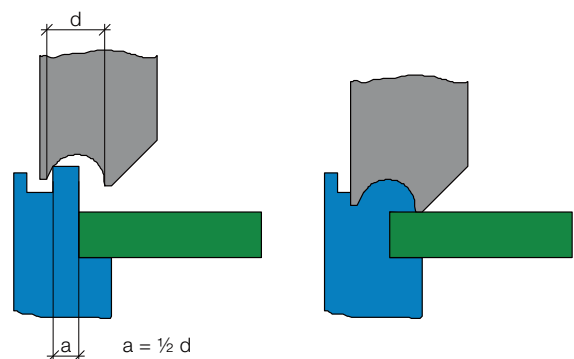
## Punktschweißen

Die zu verschweißenden Formteile liegen ohne vorbereitete Nahtstellen und ohne Energierichtungsgeber flächig aufeinander. Die Spitze der Sonotrode dringt durch die obere Platte hindurch bis in die untere und plastifiziert so den Kunststoff in beiden Bauteilen. Die entstehende Schmelze sammelt sich teilweise in der Trennfuge und führt dort zu einer lokalen, punktuellen Verbindung.



## Bördeln

Es ist nicht immer möglich, Nietzapfen an Bauteile anzuzapfen. Für solche Anwendungen ist das Bördeln eine geeignete Alternative. Für den Umbördelprozess muss die Stirnfläche der Sonotrode entsprechend ausgeformt sein. Der Ablauf des Prozesses und die Zykluszeiten entsprechen denen des Nietens. Großformatige, teilweise den kompletten Umfang des Bauteils umfassende Umformprozesse werden durch das Bördeln mit Ultraschall möglich.



# Kontinuierliche Unterstützung von Anfang an. **ULTRASONIC ENGINEERING.**

Die Expertenteams von Herrmann Ultraschall unterstützen in jeder Phase eines Projekts. Dazu gehören Nahtgestaltungsberatung, Bauteilgestaltung, Vorserien-Musterteilschweißung in den Anwendungs-laboren, Schweißparameterermittlung zur Verifizierung der geforderten Bauteileigenschaften sowie Schulungsleistungen und After-Sales-Service. Die gemeinsame effiziente Produktentwicklung steht im Mittelpunkt.



## Ultraschall-Labor Kunststoffe

### Anwendungsberatung

- Frühzeitige Beratung bei der Bauteilgestaltung
- Unterstützung bei der Auslegung der Schweißgeometrie
- Grundsatzversuche zur Machbarkeit

### Anwendungsoptimierung

- Gemeinsame Versuche mit dem Kunden
- Ermittlung und Optimierung der Werkzeugkonturen und Prozessgrenzen
- Verifizierung der Versuchsergebnisse mithilfe von Mikroskopie, Zugversuchen, Dichtheitsprüfungen, Berst-Tests, High-Speed-Kamera und Mikrotomschnitten
- Durchführung und Dokumentation von Testreihen

## Schulungen und Seminare

- Einsteiger- und Expertenseminare
- Praxisorientierte Anwenderschulungen
- Schulungen vor Ort oder in unseren Niederlassungen
- Kundenspezifische Schulungen

## Technische Projektierung

- Konsequente Umsetzung der Kundenanforderungen und Versuchsergebnisse in Konstruktionskonzepte
- 3D-unterstützte Kollisionsbetrachtung
- FEM-gestützte Sonotrodenauslegung
- Mechanische und elektrische Schnittstellendefinition
- Beratung bei Integration des Schweißprozesses

## Tech-Center vor Ort

- Kundennahe Unterstützung für Machbarkeitsuntersuchungen
- Weltweite eigene Schweißlabore in den wichtigsten Märkten
- Erfahrene Anwendungsspezialisten mit Unterstützung in Landessprache

## After-Sales-Service

- Optionale 24-Stunden-Service-Hotline
- Vor-Ort-Service in Landessprache über unsere Tech-Center
- Vorbeugende Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen



**SPITZENTECHNOLOGIE WELTWEIT. 25 STANDORTE IN 19 LÄNDERN.**



**Global Headquarters**  
**Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG**  
 Descostraße 3-9 · 76307 Karlsbad, Germany  
[www.herrmannultraschall.com](http://www.herrmannultraschall.com)



**North American Headquarters**  
**Herrmann Ultrasonics, Inc.**  
 1261 Hardt Circle · Bartlett, IL 60103, USA  
[www.herrmannultrasonics.com](http://www.herrmannultrasonics.com)



**China Headquarters**  
**Herrmann Ultrasonics (Taicang) Co. Ltd.**  
 Build 20-B, No. 111, North Dongting Road, Taicang,  
 Jiangsu Province, China · [www.herrmannultrasonic.cn](http://www.herrmannultrasonic.cn)



**Japan Headquarters**  
**Herrmann Ultrasonic Japan Corporation**  
 KOIL 503-1, 148-2 Kashiwanoha Campus, 178-4 Wakashiba,  
 Kashiwa City, Chiba 277-8519 · [www.herrmannultrasonic.co.jp](http://www.herrmannultrasonic.co.jp)

