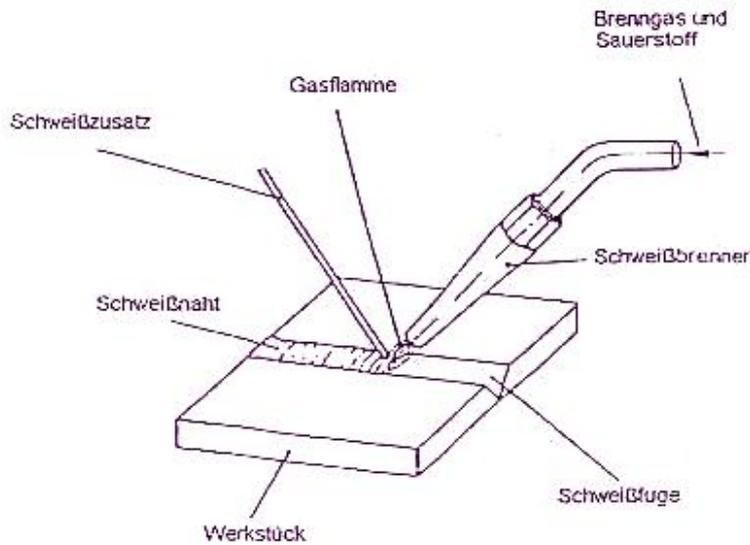


# Protokoll Fertigungstechnik Fügetechnik I

## Grundprinzip Autogentechnik

### Verfahrensprinzip des Gasschmelzschneidens

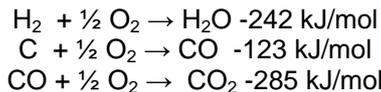


Definition des Gasschweißens zum Fügen nach DIN 1910 Teil 2 und DIN 8522:

Beim Gasschweißen entsteht der Schmelzfluß durch unmittelbares, örtlich begrenztes Einwirken einer Brenngas-Sauerstoff-Flamme. Wärme und Schweißzusatzwerkstoffe werden im allgemeinen getrennt zugeführt.

Oft wird auch der Begriff Autogenschweißen verwendet. Die Bezeichnung „autogen“ soll zum Ausdruck bringen, daß die Verbindung durch Vereinigung der schmelzflüssigen Werkstoffe gewissermaßen aus sich selbst (griech. Auto) durch Zusammenschmelzen erzeugt wird. Die grundlegende Energie ist die Reaktionswärme aus der Brenngas-Sauerstoff-Flamme, die Wärmeübertragung erfolgt durch Konvektion und Strahlung.

Reaktion zur Wärmeerzeugung:



Als Brenngase werden verwendet:

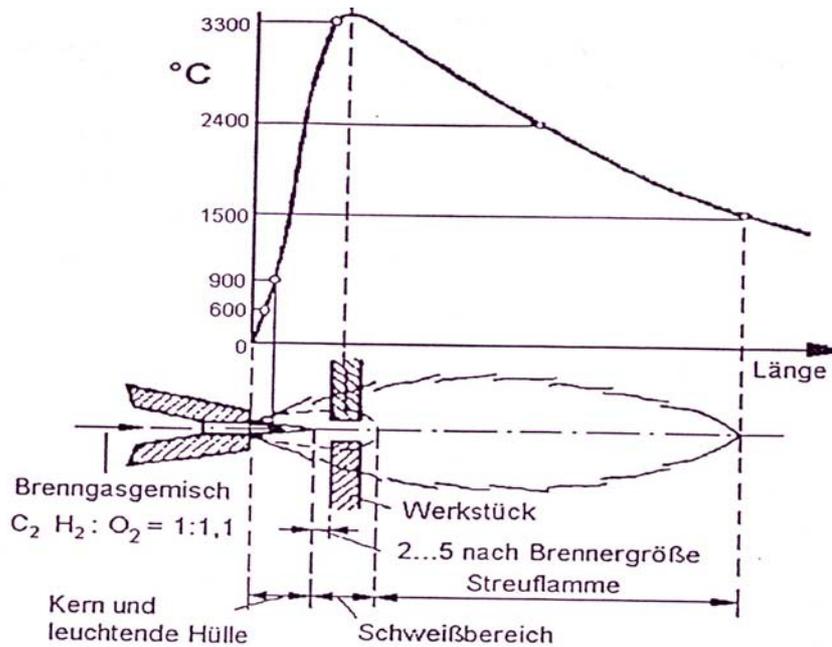
- ▶ Wasserstoff
- ▶ Acetylen
- ▶ Propan
- ▶ Erdgas

Für das Schweißen hat sich im Allgemeinen das Acetylen als Brenngas durchgesetzt, aufgrund des Heizwertes und der Verbrennungsgeschwindigkeit. Je größer die Flammtemperatur ist, desto schneller erfolgt der Wärmeübergang zwischen Flamme und Werkstück. Die hohe Zünd- und Verbrennungsgeschwindigkeit erlaubt ein schnelles Ausströmen des Brenngas-Sauerstoffgemisches, ohne das die Flamme von der Düse abhebt. Brenngase mit einer hohen Zündgeschwindigkeit sind an dem typischen kurzen Flammenkegel zu erkennen. Der Heizwert der Brenngase ist nicht der entscheidende Wert, da dort auch die Wärmemenge aus der zweiten Verbrennungsstufe, der Streuflamme, mit einbezogen wird. Die Primärflamme ist das Produkt aus Zündgeschwindigkeit und freiwerdender Wärme der ersten Verbrennungsstufe.

*Tabelle der verschiedenen Brenngase*

| Brenngas                               | Heizwert<br>kJ/m <sup>3</sup> | Verbrennungs-<br>geschwindigkeit<br>m/s | Flammtemperatur<br>°C | Flammleistung<br>kW/cm <sup>2</sup> |
|--|-------------------------------|---|-----------------------|-------------------------------------|
| Wasserstoff H <sub>2</sub>             | 10800                         | 8,9                                     | 2500                  | 13,98                               |
| Acetylen C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 57000                         | 13,5                                    | 3150                  | 42,74                               |
| Propan C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>   | 93000                         | 3,7                                     | 2750                  | 10,27                               |
| Erdgas                                 | 36000                         | 3,3                                     | 2770                  | 8,51                                |

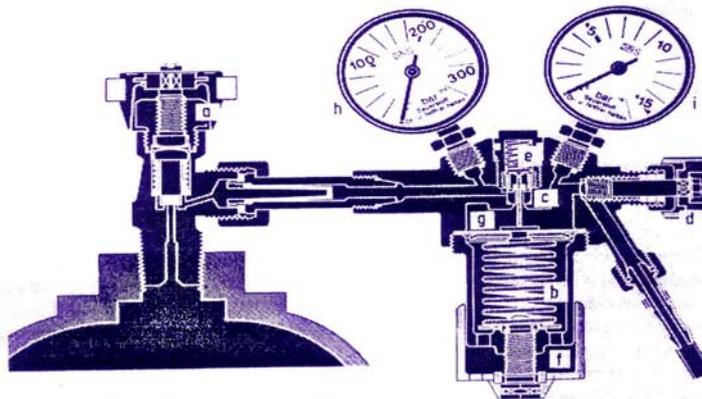
## Temperaturverlauf einer Brenngas-Sauerstoff-Flamme



## Fertigungsmittel

### ► Druckminderer:

Da beide Schweißgase unter erhöhtem Druck stehen (Acetylen etwa 20 bar, Sauerstoff unter 20 oder 150 bar), muß der Druck auf den für den Schweißbrenner vorgesehenen Arbeitsdruck gebracht werden. Bei Verwendung von Batteriem und Bündeln werden an die Versorgungseinheiten Hauptdruckregler (Batteriedruckminderer nach DIN 8545) angeschlossen. Sie haben die Aufgabe, im Versorgungsnetz den vorgesehenen Leitungsdruck konstant zu halten, unabhängig vom Vordruck in der Batterie oder im Bündel und unabhängig von der jeweiligen Entnahmemenge. Werden Schweißbrenner von Einzelflaschen versorgt, dann wird der Flaschendruck auf den für den Brenner vorgesehenen Druck (meistens 2,5 bar) gemindert. Druckminderer für Gasflaschen in DIN 8546 genormt. Auch von ihnen wird konstanter Arbeitsdruck (Hinterdruck) und Lieferung der erforderlichen Verbrauchsmenge bei veränderlichem Flaschendruck (Vordruck) gefordert.



- a) Flaschenventil b) Einstellfeder c) Drosselventil geschlossen d) Ausgangsventil e) Schließfeder  
f) Stellschraube g) Membran h) Vordruckmanometer i) Hinterdruckmanometer

### ► Rückschlagsicherung:

Zur Verminderung von Flammrückschlägen in die Gasflasche bzw. Rückströmung von Sauerstoff in die Brenngasleitung werden meist federbelastete Ventile verwendet.

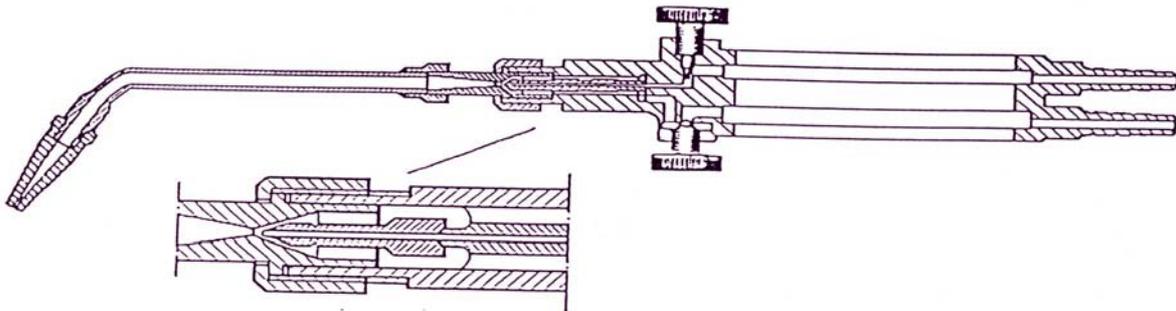
► Schläuche:

Von den Druckminderern werden Acetylen und Sauerstoff in flexiblen Schläuchen dem Brenner zugeführt. Die Forderungen, die an diese Schläuche gestellt werden, sind in DIN 8541 festgelegt. Der Brenngas Schlauch hat die Farbe rot, der Sauerstoffschlauch blau. Sie müssen aller 3 Meter mit einem Herstellerzeichen und mit dem zulässigen Betriebsdruck gekennzeichnet sein. Dabei bedeutet ein Stern 10 bar zulässiger Betriebsdruck, zwei Sterne 20 bar, entsprechend den Klassen A und B. Die Schlauchenden sind mit Schlauchanschlüssen nach DIN 8542 versehen. Sie bestehen aus der Schlauchtülle und der Überwurfmutter. Die Gewinde der Brenngasanschlüsse sind Linksgewinde in Zollteilung, die für Sauerstoff Rechtsgewinde.

► Schweißbrenner:

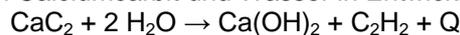
Die Mehrzahl der in Deutschland verwendeten Schweißbrenner sind Wechselbrenner. Sie bestehen aus einem Griffstück und mehreren auswechselbaren Schweißeinsätzen. Das Griffstück wird mit den Schlauchanschlüssen an die Schläuche angeschlossen. An dem Griffstück befinden sich zwei Handventile, welche die Gasmenge von Sauerstoff und Acetylen steuern. An dem Griffstück können wahlweise die Schweißeinsätze angeschraubt werden. In ihnen werden der Sauerstoff und das Acetylen gemischt. Das Gemisch strömt durch das Mischrohr der Schweißdüse zu und wird am Austritt gezündet. Die üblichsten Brenner, die Injektorbrenner, arbeiten nach dem folgenden Prinzip: der Sauerstoff steht vor der Druckdüse unter einem Druck von 2,5 bar, tritt mit hoher Geschwindigkeit aus der Düse aus, dadurch erzeugt er einen Unterdruck, mit welchem das Acetylen angesaugt wird. In Mischdüse und Mischrohr werden die beiden Gemische homogen gemischt und treten an der Schweißdüse mit einer Geschwindigkeit aus, die von der Brennergröße abhängt, sie beträgt zwischen 80 und 160 m/s.

*Aufbau eines Saugbrenners*



► Gasbereitstellung:

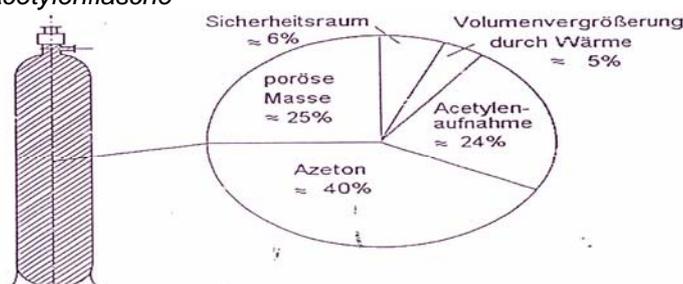
Acetylen wird aus der Reaktion von Calciumcarbid und Wasser in Entwicklern gewonnen:



Aus einem Kilogramm Calciumcarbid können 250 bis 300 Liter Acetylen gewonnen werden. Die Bereitstellung von Acetylen aus Entwicklern ist kaum noch üblich. Bei der Bereitstellung in Flaschen ist zu beachten, das Acetylen sehr Druck- und Temperaturempfindlich ist. Bei einem Druck über 0,15 MPa kann ein Zerfall oder eine Explosion auftreten. Darum wird Acetylen in Aceton gelöst.

Acetylenflaschen sind mit Kieselgur, Bimsstein oder Holzkohle als poröse Masse gefüllt. Die Kennzeichnung der Flasche ist gelb. Die Entnahme aus der Flasche sollte nicht 800 l/h überschreiten, da sonst das Aceton durch den Gasstrom mitgezogen wird. Bei größeren Entnahmemengen sind Flaschenbatterien anzuwenden. Moderne Flaschen enthalten eine monolithische Masse wie Calciumsilikate mit eingelagertem Faserasbest und einer Porosität bis 93 %. Diese Flaschen sind mit einem roten Ring am Flaschenhals gekennzeichnet und dürfen auch waagrecht liegend entleert werden.

*Volumenanteile in einer Acetylenflasche*



Der Sauerstoff wird nach einem Verfahren von Linde gewonnen, durch Destillation aus der flüssigen Luft mit einer geforderten Reinheit von 99,5 %. Die Bereitstellung erfolgt in Flaschen mit blauer Kennzeichnung oder bei einer Entnahmemenge von mehr als 300 m<sup>3</sup>/Monat über Flüssigtankanlagen.

## Wichtige Gase

| Brenngas                               | Heizwert<br>kJ/m <sup>3</sup> | Verbrennungs-<br>geschwindigkeit<br>m/s | Flammtemperatur<br>°C | Flammleistung<br>kW/cm <sup>2</sup> |
|--|-------------------------------|---|-----------------------|-------------------------------------|
| Wasserstoff H <sub>2</sub>             | 10800                         | 8,9                                     | 2500                  | 13,98                               |
| Acetylen C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 57000                         | 13,5                                    | 3150                  | 42,74                               |
| Propan C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>   | 93000                         | 3,7                                     | 2750                  | 10,27                               |
| Erdgas                                 | 36000                         | 3,3                                     | 2770                  | 8,51                                |

Acetylen wird am häufigsten eingesetzt, weil die Flammleistung, die Verbrennungsgeschwindigkeit und die Flammtemperatur am höchsten sind. Die anderen Gase werden entweder für das Brennschneiden benutzt oder zum Schweißen für spezielle Metalle, z.B.: Propangas für Blei und Wasserstoff für Leichtmetalle. Die Sicherheit ist bei allen in der Tabelle stehenden Gasen gleich einzuschätzen (Arbeitsschutz) und daher sind alle mit größter Vorsicht zu behandeln.

## Anwendungsmöglichkeiten und Unterschiede der verschiedenen Fertigungstechniken

Das Gasschweißen wird meist mit Handschweißgeräten durchgeführt, in handwerklichen Betrieben, oder dann, wenn die Vorteile die Nachteile überwiegen.

### Vorteile:

- ▶ geringe Investitionen
- ▶ unabhängiger Einsatz von der örtlichen Energieversorgung
- ▶ Flamme brennt unabhängig von Werkstoff
- ▶ Wärmezufuhr zum Werkstück veränderbar, durch Abstand und Neigung der Flamme
- ▶ wirksame Abschirmung der Erwärmungszone gegenüber der Atmosphäre
- ▶ Beobachtung und Kontrolle des Erwärmungsvorganges gut möglich
- ▶ Fertigungsmittel können für andere Fertigungsaufgaben ohne große Investitionen und Umrüstungen eingesetzt werden (Brennschneiden, Flammen, Richten....)

### Nachteile:

- ▶ hoher Aufwand zur Herstellung von Sauerstoff und Brenngas
- ▶ Erfordernis hoher Arbeitssicherheit am Arbeitsplatz
- ▶ Zünden und Regulieren der Flamme umständlich
- ▶ Wärmeintensität der Flamme kann nicht verändert werden
- ▶ geringe Wärmeausnutzung der Flamme (ca. 50%)
- ▶ Flamme ist für die Mechanisierung des Gasschmelzschweißens nicht geeignet

### Fertigungstechniken

Gasschmelzschweißverbindungen werden in der Regel in einer Lage geschweißt, um die Wärmeeinflusszone zu begrenzen. Im Vergleich zu anderen Schmelzschweißverfahren ist die eingebrachte Wärmeintensität gering. Das Gasschmelzschweißen wird meist manuell ausgeführt und erfordert eine gewisse Geschicklichkeit.

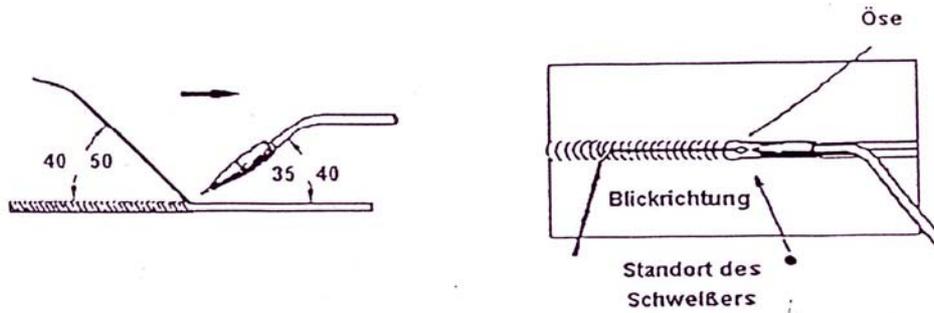
Der Schwierigkeitsgrad nimmt mit zunehmender Werkstückdicke und ungünstiger Schweißposition zu. In der Autogentechnik gibt es das Nachlinks – und das Nachrechtsschweißen, je nach der Dicke des zu schweißenden Bleches. Diese beiden Möglichkeiten sind insgesamt als Vorteil zu sehen, da durch sie eine kontrollierte Wärmeeinbringung möglich ist.

- ▶ Beim Nachrechtsschweißen (NR) wird der Schweißzusatz hinter dem Brenner zugeführt. Die Flamme ist auf die fertige Schweißnaht gerichtet. Die Wärmeeinbringung ist relativ groß, so daß diese Art des Schweißens bei Wanddicken über 3 mm eingesetzt wird.
- ▶ Beim Nachlinksschweißen (NL) wird der Schweißzusatz vor dem Brenner zugeführt. Die Flamme ist in die offene Fuge gerichtet, daher ist die Wärmeeinbringung geringer → für geringere Wanddicken.

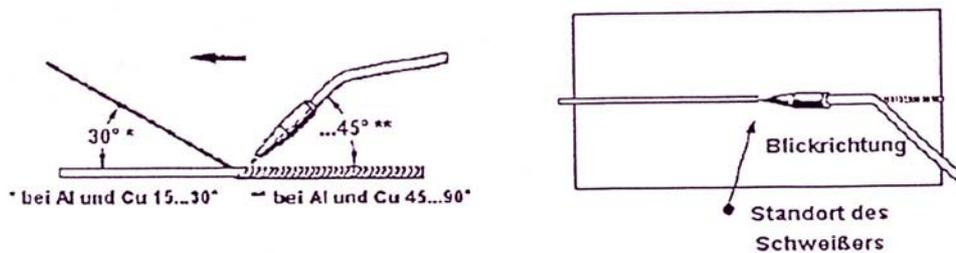
## Vorteile Nachrechtsschweißen:

- ▶ Einwandfreies Anschmelzen der Fugenflanken und sicheres Durchschweißen
- ▶ poren- und schlackefreie Schweißnähte, da das Schweißgut durch die Bewegung des Schweißdrahtes gut durchmischt wird
- ▶ sicheres Arbeiten, bei Quer- und Überkopfnähten, da der Draht nicht aus dem Schweißbad entfernt wird
- ▶ guter Schutz des Schweißgutes vor Sauerstoff
- ▶ höhere Geschwindigkeit durch geradlinige Bewegungen
- ▶ geringere Verwerfungen durch höhere Schweißgeschwindigkeiten

### *Nachrechtsschweißen (NR)*



### *Nachlinksschweißen (NL)*



## **Versuchsdurchführung**

### Gasschmelzschweißen

Flammeinstellung und Entfernung des Werkstücks zum Brenner:

- ▶ Entsprechend der Fügeaufgabe können durch die Variation des Gas-Sauerstoff-Mischungsverhältnisses Flammen mit unterschiedlichen Eigenschaften eingestellt werden.

| Flammbild | Einstellung                     | Folge   | Anwendung                                |
|-----------|---------------------------------|---|--|
|           | Sauerstoff : Wasserstoff<br>1:1 | • reduzierend   | Schweißen von<br>Stahl                   |
|           | Sauerstoffüberschuß             | • oxydierend,<br>• spritzend,<br>• Ausbrand von Legie-<br>rungselementen,<br>Versprödung der Naht   | Schweißen von<br>Gußeisen und<br>Messing |
|           | Acetylenüberschuß               | • reduzierend,<br>• Gefahr der Aufkohlung<br>(bei hochlegierten<br>Stählen führt die Auf-<br>kohlung zu interkri-<br>stalliner Korrosion) | Schweißen von<br>Aluminium               |

Auf die Schweißgeschwindigkeit wirkt sich die Flammeinstellung wie folgt aus; je mehr man in den oxidierenden Bereich gerät, wird man langsamer, weil mit zunehmender Entfernung vom oxidierenden Bereich die Temperatur und damit auch die Abschmelzleistung geringer wird. Dasselbe passiert, wenn man in den Kegel mit der leuchtenden Hülle hinein gerät. Die Wirkung auf die Schweißgüte kann man aus der obigen Tabelle entnehmen.

### Flammlöten

Beim Flammlöten wird die Erwärmung durch die Verbrennungswärme eines Brenngases erzielt. Die Flamme darf jedoch nicht direkt auf die mit Flußmittel versehene Lötstelle gerichtet sein, da sonst eine Flußmittelschädigung erfolgt. Das Lot wird eingelegt oder bei Erreichen der Löttemperatur hinzugefügt. Flammlöten kann sowohl für Weichlöten als auch für Hartlöten benutzt werden. Einflüsse auf das Fließen des Lotes sind:

- ▶ wie widerstandsfähig ist die Oxidschicht des zu lötenen Werkstoffes
- ▶ wie stark ist das Flußmittel
- ▶ wie ist das Lot beschaffen
- ▶ wie gut ist die Diffusion des Lotes mit dem zu lötenen Werkstoff

Beschreibung des Vorganges: das Lot diffundiert mit dem Werkstoff → dadurch entsteht eine feste Verbindung.

Die Voraussetzungen sind:

- ▶ Lötbarkeit des Werkstoffes
- ▶ Schmelzbarkeit des Lotes
- ▶ Diffusion möglich zwischen Werkstück und Lot
- ▶ gutes Flußmittel (wenn benötigt)

Voraussetzungen für das Benetzen des Werkstoffes durch das Lot:

- ▶ Erwärmung der zu fügenden Teile auf eine Temperatur unterhalb ihrer

Schmelztemperatur

- ▶ Kapillarkwirkung muß gegeben sein, d.h. das flüssige Lot muß durch den Lötspalt gezogen werden können
- ▶ Wechselwirkung zwischen dem Werkstoff und dem geschmolzenen Lot
- ▶ Erstarrung der flüssigen Phase, welche sich zwischen den Oberflächen befindet

Das Fließverhalten des Lotes, d.h. das Ausbreiten auf der Grundwerkstoffoberfläche und das Eindringen in den Spalt wird hauptsächlich:

- ▶ durch die Reaktion des flüssigen Lotes und seiner dampfförmigen Phasen mit dem zu lötenen Grundwerkstoff
- ▶ durch die Oberflächendiffusion des flüssigen Lotes
- ▶ durch die nachfolgende Kapillarkwirkung bestimmt.

Folgende Prozesse sind beim Fließen des Lotes zu beachten:

- ▶ beim Fließen des Lotes im Lötspalt kommt es durch die Reaktionen mit dem Grundwerkstoff zu einer Vergrößerung der Viskosität der Schmelze. Dadurch werden die Bedingungen für das Fließen des Lotes beeinträchtigt.
- ▶ während des Ausfüllens des Spaltes durch das Lot tritt eine Temperaturänderung im Lot ein, was auch bei einer ungleichmäßigen Erwärmung der Fügeteile zu beobachten ist. Dadurch werden die Voraussetzungen für Reaktionen zwischen Lot und Grundwerkstoff und damit auch die Fließbedingungen verändert. Eine ähnliche Erscheinung kann durch eine ungleichmäßige Lösung des zu lötenen Werkstoffes im Lot entstehen.
- ▶ Beim Fließen im Spalt hat das Lot eine komplizierte chemische Zusammensetzung, wobei die Komponenten getrennt in Wechselwirkung mit der Oberfläche der zu lötenen Werkstoffe treten, was zu einer Umverteilung der Löteteilchen in senkrechter Richtung zum Strom führt. Durch die Temperaturverringerung des flüssigen Lotes und durch die Reaktion mit den Grundwerkstoffen kommt es im flüssigen Lot und an der Grenze zum Grundwerkstoff zur Bildung von Kristallen. Dadurch werden die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten des Fließens im Lötspalt verletzt.

### Brennschneiden

Die Schneidbarkeit von Stählen wird durch ihre Legierungsbestandteile bestimmt.

Mit neuen Düsen lassen sich an unlegierten Stählen z.B.: bei 20 mm Blechdicke, Schnittgüte I nach DIN 2310, Schneidgeschwindigkeiten von 550 mm/min erreichen. Für einwandfreie Schnittkanten ist eine maschinelle Führung des Brenners erforderlich. Die Steuerung kann hierbei von Hand (Fadenkreuz auf Zeichnung), durch Magnetrollen (Stahlschablone), lichtoptisch (Photozelle nach Zeichnungskontur, auch nach bis 1:100 verkleinerter Zeichnung) oder numerisch (rechnergesteuert) erfolgen. Für eine rationelle Fertigung ist die Aufstellung eines Schneidplans mit Zuordnung der auszuscheidenden Teile in der Blechtafel zur Vermeidung unnötigen Abfalls erforderlich. Nicht brennschneidbare Werkstoffe (z.B.: Cr-Ni-Stähle; Kupfer, Nickel, Aluminium) lassen sich mit dem Plasma-Lichtbogen schneiden, wobei der durch die hohe Energie nur in einer schmalen Zone geschmolzene Werkstoff durch den Gasstrahl aus der Fuge herausgedrückt wird. Im Gegensatz zum Brennschneiden ist zwar meist eine nachträgliche Bearbeitung der Fugenflächen erforderlich, aber das Verfahren erspart die hohen Kosten eines mechanischen Trennens. Bei unlegierten Stählen lässt sich das Plasmaschneiden auch ohne Nachbearbeitung mit bis zu vierfacher

Schneidgeschwindigkeit gegenüber dem üblichen Brennschneiden anwenden. Dünne Stahlbleche lassen sich sehr wirtschaftlich mit dem Laser schneiden.

### Schneidbedingungen

Das Metall muß im Sauerstoffstrom verbrennen, die Entzündungstemperatur muß unter der Schmelztemperatur liegen, die Oxidschmelztemperatur unter der Schmelztemperatur des Werkstoffes. Die Bedingungen werden erfüllt bei un- und niedriglegierten Stählen, Titan und Molybdän, nicht erfüllt bei Aluminium, Kupfer, Grauguß und im allgemeinen bei hochlegierten Stählen. Vorwärmung ist bei Kohlenstoffgehalten erforderlich wegen Aufhärtung. Formteilgenauigkeit (A,B) und Schnittflächengüte (I,II) sind nach (DIN 2310) abhängig von Brennschneidmaschine, Führungseinrichtung, Schneidgeschwindigkeit und -bedingungen (Senkrecht-, Schräg-, Gerad-, Kurven-, Hand- und Maschinenschnitt mit Ein- oder Mehrfachbrenneranordnung). Maschinenformschnitte erfolgen nach Blechschablone mit Magnetrollenführung, photoelektrischer Abtastung von Vorlagen im Maßstab 1:1 oder kleiner sowie auf NC-Maschinen.

### Flammrichten

Da das Ausgangsmaterial der Bleche und Profile oft nicht so plan bzw. gerade angeliefert wird wie es für die Weiterverarbeitung notwendig ist, treten Richtprobleme auf. Gleiches gilt auch für thermisch geschnittene und geschweißte Teile. Selbstverständlich ist zu versuchen durch Liefervorschriften und durch richtige Beherrschung der Arbeitsvorgänge die notwendige Richtarbeit in Grenzen zu halten. Ist sie nicht vermeidbar, sollte wegen der dadurch verursachten Lärmemission nicht versucht werden, entstanden Verzug durch Schlagen zu beseitigen. Es ist nahezu immer möglich, entweder durch hydraulisches Pressen oder durch Flammrichten die richtige Form zu erreichen. Beim Bearbeiten des Werkstoffes ist auf die Materialeigenschaft zu achten, um Werkstoffschädigungen zu vermeiden. Für Bleche mit z.B.: Wärmeverzug stehen Richtmaschinen zur Verfügung, bei diesen werden die Verwerfungen durch Kaltverformen beseitigt.