

Lötatmosphären für das Schmelzlöten mit temporär flüssigen Loten

Flussmittellöten und flussmittelfreies Löten

Prof. Klaus Wittke, Prof. Wolfgang Scheel

1. Auflage mit 54 Abbildungen
und 27 Tabellen



Fachverlag für

- Oberflächentechnik – Galvanotechnik
- Produktion von Leiterplatten und Systemen

Vorwort

Die gute Resonanz auf unsere aktuellen Bücher „Die Lötverbindung Teil 1-3“^{*}, des „Handbuches Lötverbindungen“^{**} und „Schmelzlöten mit temporär flüssigen Loten“^{***} durch die Leserschaft, hat die Autoren veranlasst, den Themenkomplex „Lötverbindung“ mit dem vorliegenden Buch „Lötatmosphären für das Schmelzlöten mit temporär flüssigen Loten – Flussmittellöten und flussmittelfreies Löten“ abzurunden.

Es ist kein Lehrbuch, sondern vielmehr eine Zusammenfassung aus der Fachliteratur ergänzt mit den Erfahrungen und Entwicklungen der Autoren in der eigenen beruflichen Tätigkeit. Dabei wird das derzeitige Wissen um das Thema „Lötmedien“ neu strukturiert bzw. ergänzt. Der Begriff Lötmedien wird hier in Anlehnung an den allgemein bekannten Begriff Aktivierungsmedien als Oberbegriff für die Flussmittel und Lötatmosphären verwendet.

Dementsprechend wird in Kapitel 1 auch nicht die Vielzahl der heute in der Industrie verwendeten Lötverfahren für das Schmelzlöten von metallischen Baugruppen detailliert beschrieben, sondern diese werden in folgende fünf Grundvarianten eingeteilt:

- Flussmittellöten – Schmelzlöten an Luft mit Flussmitteln;
- Flussmittellöten – Schmelzlöten mit Flussmitteln und Lötatmosphären;
- Flussmittelfreies Löten – Schmelzlöten an Luft mit aluthermisch vor Ort in-situ hergestellten selbstfließenden Reaktionsloten, mit selbstfließenden Fertiglöten und mit Reiblöten;
- Flussmittelfreies Löten – Schmelzlöten in flüssigen Lötmedien wie z.B. durch Tauchen in Glycerinbäder, Ölbäder, Salzbäder, Flussmittel- oder Lotbäder ohne bzw. mit Anwendung von Ultraschall;
- Flussmittelfreies Löten – Schmelzlöten in gas- oder dampfförmigen Lötatmosphären wie z.B. in Argon, Stickstoff-Wasserstoff-Gemischen, Öldämpfen, Wasserdämpfen, Flussmitteldämpfen in Trägergasen bzw. im Vakuum oder Metaldämpfen im Vakuum.

* K. Wittke, W. Scheel: Die Lötverbindung – Buch 1. Buchreihe: Aufbau- und Verbindungstechnik in der Elektronik – aktuelle Berichte, Band 5. Verlag Dr. Markus A. Detert, Templin 2007

K. Wittke, W. Scheel: Die Lötverbindung – Buch 2. Buchreihe: Aufbau- und Verbindungstechnik in der Elektronik – aktuelle Berichte, Band 6. Verlag Dr. Markus A. Detert, Templin 2008

K. Wittke, W. Scheel: Die Lötverbindung – Buch 3. Buchreihe: Aufbau- und Verbindungstechnik in der Elektronik – aktuelle Berichte, Band 9. Verlag Dr. Markus A. Detert, Templin 2009

** K. Wittke, W. Scheel: Handbuch Lötverbindungen. Eugen G. Leuze Verlag KG, Bad Saulgau, 2011

*** K. Wittke, W. Scheel: Schmelzlöten mit temporär flüssigen Loten – Einführung in die Fertigungs- metallurgie. expert Verlag, Renningen, und Eugen G. Leuze Verlag KG, Bad Saulgau, 2012

In Kapitel 2 werden die Lötmedien in Wechselwirkung zu den metallurgischen Fertigungsprozessen betrachtet. Dabei wird herausgearbeitet, dass sich die chemische Zusammensetzung der angewendeten Lötatmosphären in der Regel während des Schmelzlötens verändert. Die Autoren schlagen deshalb vor, den Begriff Prozessgas für die veränderten Lötatmosphären (Prozessschutzgas und Prozessvakuum) zu verwenden. Dabei wird auch gezeigt, dass die in diesem System der Lötmedien ausgewiesene mögliche Anwendung des Schmelzlötens auch für andere Fertigungsaufgaben mit ihren eigenen metallurgischen Prozessen unter dem Begriff metallurgische Zusatzprozesse von besonderem wirtschaftlichem Interesse sein kann. Es handelt sich dabei beispielsweise um das Legieren des Lötgutes und/oder um das Veredeln von Lötverbindungen während der Lötfertigung***.

Kapitel 3 wurde entsprechend den erforderlichen Grundprozessen für das Schmelzlöten (Oberflächenaktivierung) ausgearbeitet und von den Autoren ein Werkstoff- und Prozesssystem erarbeitet. Dieses zeigt, dass für das Flussmittelschmelzlöten und für das flussmittelfreie Schmelzlöten die notwendige Oberflächenaktivierung durch 13 elementare Aktivierungsprozesse erfolgen kann. Diese Aktivierungsprozesse wirken einzeln oder aber in Kombination in Abhängigkeit von den angewendeten Loten und Aktivierungsmitteln.

Das folgende Kapitel 4 ist den Lötatmosphären für das Flussmittel-Schmelzlöten bzw. für das flussmittelfreie Schmelzlöten gewidmet. Besondere Hinweise werden dabei dem Schmelzlöten unter Nutzung von Flussmitteldämpfen gewidmet.

In Kapitel 5 werden insbesondere neuartige Lötverfahren und die entsprechenden Lötatmosphären vorgestellt. Dazu zählen u.a. das Autovakuumlöten, das Autoschutzgaslöten und das Vakuumlöten beim Niedrigtemperaturlöten. In diesem Kapitel sind die vielen russischsprachigen Quellen ausgewertet worden.

Kapitel 6 beschreibt das so genannte Übersoliduslöten. Bei diesem Lötverfahren wird ein Grundwerkstoff in der Lötzone thermisch durch eine entsprechende Überhitzung lokal geschmolzen. Dazu kann z.B. der Lichtbogen, das Plasma, der Elektronenstrahl oder die Widerstandserwärmung genutzt werden. Als Lötatmosphären dienen die üblichen Schweißgase oder das Vakuum. Die Schmelzlötverbindungen zeichnen sich durch eine erhöhte Zuverlässigkeit sowie durch eine aufwandsarme Fertigung aus.

Das Buch ist für alle Interessierte auf dem Gebiet der Fügetechnik und Fertigungstechnik besonders empfehlenswert.

1 Lötmaterialien und schmelzlötbare Baugruppenoberflächen

Für das *Schmelzlöten** von metallischen Lötbaugruppen** mit temporär flüssigen Loten werden in der Industrie viele unterschiedliche Lötverfahren angewendet. Dabei kann man folgende fünf Grundvarianten unterscheiden:

- 1) Flussmittellöten – Schmelzlöten an Luft mit Flussmitteln;
- 2) Flussmittellöten – Schmelzlöten mit Flussmitteln und Lötatmosphären;
- 3) Flussmittelfreies Löten – Schmelzlöten an Luft mit aluthermisch vor Ort in-situ hergestellten selbstfließenden Reaktionsloten, mit selbstfließenden Fertiglöten und mit Reiblöten;
- 4) Flussmittelfreies Löten – Schmelzlöten in flüssigen Lötmedien wie z.B. durch Tauchen in Glycerinbäder, Ölbäder, Salzbäder, Flussmittel- oder Lotbäder ohne bzw. mit Anwendung von Ultraschall;
- 5) Flussmittelfreies Löten – Schmelzlöten in gas- oder dampfförmigen Lötatmosphären wie z.B. in Argon, Stickstoff-Wasserstoff-Gemischen, Öldämpfen***, Wasserdämpfen, Flussmitteldämpfen in Trägergasen bzw. im Vakuum oder Metaldämpfen im Vakuum.

Für das *aluthermische Schmelzlöten* werden z.B. in [Lebedev 2009] zum Reparatlöten von Eisengusswerkstücken die Reaktivlot-Komponenten CuO, Ni₂O und Fe₂O₃ mit Al, B, CaSi₂ als Reduktionskomponenten gemischt und dann das Thermitgemisch gezündet. Das Schmelzlöten erfolgt damit an Luft mit den CuNiSi- bzw. CuFeSi-Reaktionsloten. Zum Schmelzlöten an Luft z.B. von Cu-Lötbaugruppen mit selbstfließenden Loten werden CuP-Lote verwendet. Hier wirkt die aktivierende Funktion des Phosphors, die zur Benetzung ausreicht. Reiblote haben ein großes Schmelzintervall. Deshalb kann mit den lokal festen Komponenten eines Fertiglotes (z.B. mit dem festen Ende eines entsprechenden Lotstabes oder mit den festen Lotpartikeln in der Lotschmelze) durch Reibung mit den festen Grundwerkstoffoberflächen bei einer Temperatur zwischen der Solidus- und Liquidustempera-

* Schmelzlöten ist ein Lötverfahren zur Fertigung von Lötverbindungen über den temporär geschmolzenen Aggregatzustand im Unterschied zum Presslöten und Kondensationslöten [Wittke 2011a]

** Auch nichtmetallische Materialien wie z. B. Kunststoffe oder Keramik werden für die Fertigung von Lötbaugruppen eingesetzt [Wittke 2011a]

*** Z.B. verdampfte Primärflüssigkeit beim Dampfphasenlöten

tur des Lotes von den Oberflächenoxiden mechanisch gereinigt werden. Dann benetzt die flüssige Phase des Lotes diese aktivierten Oberflächen und bildet die Lötverbindung. So werden z.B. Al-Bauteile mit SnZn- oder ZnAl-Reibloten manuell gelötet. Für diese Art der mechanischen Aktivierung der Lötflächen können in den Lotbädern auch metallische Netze verwendet werden, z.B. Messingnetze für das Lotbeschichten von Al-Bauteilen [Laschko 1988].

In der Praxis stehen für alle diese Verfahrensvarianten spezielle und sehr unterschiedliche Lötmedien und sehr viele unterschiedliche Schmelzlötverfahren [Wittke 2011a] zur Verfügung (Tab. 1.1).

Tab. 1.1: Lötmedien zur Aktivierung und/oder Konservierung der Lötflächen

Lötmedien						
Lötflussmittel			Lötatmosphären			
flüssige		dampfförmige	gas- bzw. dampfförmige			
Flussmittel-lösungen	Flussmittel-schmelzen	Flussmittel-dämpfe	Gase	Plasmen	Dämpfe	Vakua
			chemisch inerte und/oder chemisch aktive			
Flussmittellöten mit Lötflussmitteln auch in Kombination mit Lötatmosphären			Flussmittelfreies Löten in Lötatmosphären*			

* Die Autoren meinen, dass die Untersuchung der möglichen Anwendung von flussmittelhaltigen Aerosolen insbesondere für das Niedrigtemperaturlöten von technischem Interesse wäre

Die Autoren verwenden in Anlehnung an den allgemein bekannten Begriff *Aktivierungsmedien* auch hier als Oberbegriff für die Flussmittel und Lötatmosphären den Begriff *Lötmedien*. Anstelle des Begriffs Lötatmosphären werden in der Praxis und in der Literatur aber auch solche Bezeichnungen wie z.B. für Argon und Stickstoff „Arbeitsgase“ [Lugscheider 2004], „Schutzgas“ [DIN-Begriffe 2007] oder „Schutz- und Reaktionsgase“ [Roth 1998] verwendet.

Die für die Fertigung der Schmelzlötverbindungen neben den Lötverfahren, Lötgrundwerkstoffen und Lötparametern in der Regel außerdem noch erforderlichen *Löt-Zusatzwerkstoffe*, *Löt-Füllstoffe*, *Löt-Beschichtungswerkstoffe* und/oder *Löt-Hilfsstoffe* sind in *Tabelle 1.2* zusammengestellt.

Tab. 1.2: Lötmaterialien für die Fertigung von Lötverbindungen [Wittke 2011a]

Lötmaterialien				
Löt-Grundwerkstoffe	Löt-Zusatzwerkstoffe	Löt-Füllstoffe	Löt-Beschichtungsstoffe	Löt-Hilfsstoffe
zur Fertigung von			zur Fertigung	
unmittelbaren Lötverbindungen		mittelbaren Lötverbindungen	der technologischen Eigenschaft „Lötbarkeit“ der Lötflächen	

Die Lotstopfmittel oder Distanzdrähte dienen zum Fixieren des *Montagespaltes** sowie der Einstellung des *Lotspaltes* und zählen damit zu den Löt-Hilfsstoffen.

Beim Schmelzlöten werden die entsprechenden Lötbaugruppen bzw. zumindest ihre Löt-oberflächen zuerst einer *Vorbehandlung* unterzogen. Dadurch erfolgt die Freilegung der Grenzflächen von den unter *irdischen Bedingungen* (Normal-Luftfeuchtigkeit, Normal-Luftdruck, Normal-Temperatur, Normal-Luftgeschwindigkeit) unvermeidbaren Fremdstoffbereichen vor und nach der Teilefertigung (*Tab. 1.3*).

Tab. 1.3: Zustand der Lötflächen vor dem Löten [Wittke 2011a]

Lötflächen vor dem Löten und nach der Aktivierung			
umweltbedingte und fertigungsbedingte	vor und nach der Teilefertigung	Vorbehandlung	Oberflächenaktivierung u./o. -konservierung
Fremdstoffbereiche	Staubschicht	▼	
	Fett-/Ölschicht	▼▼	
	Wasserschicht	▼▼▼	
	Gasschicht**	▼▼▼▼	
Grundwerkstoffbereiche	vorbehandelte Grenzfläche mit Reaktionsgefüge		▼
	Oberfläche mit Verformungsgefüge nach Aktivierung und		
	Ausgangsgefüge vor dem Löten		

** dünne Gasschicht unter irdischen Bedingungen nach Vorbehandlung erneut vorhanden

Beim Schmelzlöten mit temporär flüssigen Loten muss unter den genannten irdischen Bedingungen damit immer der Ablauf der folgenden drei Grundprozesse zuverlässig gewährleistet werden (*Tab. 1.2*):

- 1) *Vorbehandlung* zur Freilegung der Lötflächen,
- 2) *Aktivierung* der freigelegten Lötflächen und
- 3) *Konservierung* der aktivierten Lötflächen.

Damit sind die vor dem hier betrachteten Schmelzlöten mit temporär flüssigen Loten immer erforderlichen Bedingungen des Ausgangszustandes und das Fertigungsziel „Oberflächenaktivierung“ beschrieben.

Literatur

[DIN-Begriffe 2007] Schweißen und verwandte Begriffe: Weichlöten und Hartlöten – eine neue Norm (die DIN ISO 8572:2007-03) mit vielen neuen und neu definierten Begriffen. Aus der Technik-Redaktion, DVS-Verlag Düsseldorf 2007, Seite 1-7

[Laschko 1988] S. W. Laschko, N. F. Laschko: Löten von Metallen, 4. Auflage. Verlag Maschinostrojenije, Moskau 1988

* Der Montagespalt ist der Abstand zwischen den Lötflächen bei Raumtemperatur vor dem Löten und der Lötspalte ist der Abstand zwischen den Lötflächen bei Löttemperatur während des Lötens [Wittke 1980]

- [Lebedev 2009] B. W. Lebedev: Technologische Voraussetzungen zum Regenerieren von Öffnungen in gusseisernen Gehäuseteilen unter Nutzung unabhängiger Löt-Schweiß-Mittel. ПРОБЛЕМИ ТЕХНИКИ, Nr. 3, 2009. www.nbu.gov.ua/portal/...3/97-103%20.pdf
- [Lugscheider 2004] E. Lugscheider, B. Wielage: Entwicklung neuer Lote für das Hochtemperaturlöten mechanisch hochbeanspruchter Stahlkomponenten. Abschlussbericht zum AiF-Vorhaben Nr. 13.097 B, Aachen und Chemnitz, Februar 2004
- [Roth 1998] B.-F. Roth: Optimierter Ofen zum Hartlöten reduziert den Gasverbrauch. Maschinenmarkt, Würzburg 104 (1998) 39 www.maschinenmarkt.vogel.de/filesserver/vogelonline/.../039.pdf
- [Wittke 1980] K. Wittke: Löten. Wissenschaftliche Schriftenreihe der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt, 10/1980
- [Wittke 2011a] K. Wittke, W. Scheel: Handbuch Lötverbindungen. Eugen G. Leuze Verlag KG, Bad Saulgau 2011

2 Stoff- und prozessspezifisches System der Lötmedien

Nach der Teilefertigung und vor dem Löten werden durch das Wirken der chemischen und/oder physikalischen Vorbehandlungsverfahren die Lötflächen freigelegt. Danach erfolgt die Aktivierung der freigelegten Lötflächen als Grundvoraussetzung für ein erfolgreiches Schmelzlöten. Wenn notwendig, erfolgt auch noch die Konservierung der aktivierten Lötflächen, die bis zum Erreichen der Arbeitstemperatur* wirken muss. Dazu werden die entsprechenden Medien (Lötflussmittel bzw. Lötatmosphären) angewendet (siehe *Tab. 1.1*). Bei erschwelter Schmelzlötbarkeit kann auch eine Kombination z.B. von Flussmitteln und ausgewählten Lötatmosphären von Vorteil sein.

Neben der Aktivierung und Konservierung der Lötflächen kann aber auch während des Lötens eine prozessbedingte Formung der erstarrenden Lötgutschmelze realisiert werden. Man spricht in diesem Zusammenhang u.a. auch vom *Formieren der Oberflächen*. Dieser Begriff wurde früher wie folgt verwendet: „Verfahren um die Oxydkathode einer Elektronenröhre emissionsfähig zu machen“ [Brockhaus 1952]. Auch heute noch wird dieser Begriff in diesem Industriezweig genutzt: „Ein Aluminium-Elektrolytkondensator, auch „Elko“ genannt, ist ein Kondensator, dessen Anodenelektrode aus dem so genannten Ventilmaterial Aluminium besteht, auf dem durch anodische Oxidation, auch *Formierung* genannt, eine gleichmäßige, elektrisch isolierende Aluminium-Oxidschicht als Dielektrikum erzeugt wird“ [Formierung 2011]. Für das Schutzgas-Schmelzschweißen von metallischen Werkstoffen werden die entsprechenden *Formiergase* verwendet, die von den Gasfirmen auf dem Markt angeboten werden. Sie dienen gleichzeitig auch zur Vermeidung der unerwünschten Verfärbungen des Grundwerkstoffs durch die prozessbegleitende Oxidation und können auch für das Schmelzlöten angewendet werden.

Dazu wird in [Wurzelschutz 2011] folgendes ausgeführt: „Der Wurzelschutz zum Formieren kommt hauptsächlich bei hochlegierten Werkstoffen wie CrNi-Stählen oder Ni-Legierungen zum Einsatz. Dabei umspülen Schutzgase die hoch erhitzten Nahtwurzel- und Nahrandbereiche und verdrängen so die Luftatmosphäre. Beim Wurzelschutz werden inerte oder wasserstoffhaltige Gase eingesetzt. Die Zugabe von Wasserstoff zum Wurzelschutzgas (Formiergas) bindet den Restsauerstoff und verbessert die Wurzelbildung.“ Die Vorteile der Anwendung von Formiergasen sind in *Abbildung 2.1* gut zu erkennen.

* Arbeitstemperatur ist die Temperatur der aktivierten Lötflächen, bei der beim Schmelzlöten die chemische Benetzung des Grundwerkstoffs und damit auch das chemische Schmelzen des Grundwerkstoffs durch die Lotschmelze beginnt [Wittke 2011a]

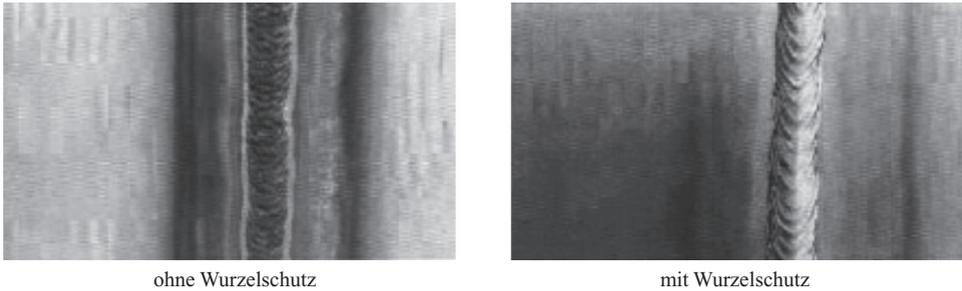


Abb. 2.1: Ausbildung der Schweißwurzeln ohne und mit Wurzelschutz durch Formiergas [Wurzelschutz 2011]

Das Formiergas kann beim Schmelzschweißen gleichzeitig auch für den Nahtschutz angewendet werden. Ansonsten wird es gesondert angeboten. Zum Wurzelschutz beim Schmelzschweißen werden unterschiedliche Gase (wie z.B. Argon und Stickstoff) bzw. Gasgemische (wie z.B. Stickstoff-Wasserstoff, Argon-Wasserstoff oder Argon-Stickstoff) angeboten (Tab. 2.1).

Tab. 2.1: Anwendungsbereiche von Wurzelschutzgasen (Formiergasen) [Wurzelschutz 2011]

Anwendungsbereiche von Wurzelschutzgasen		
Wurzelschutzgase	Bezeichnung nach EN ISO 14275	Werkstoffe
Argon	I1	Alle Werkstoffe
Stickstoff	N1	austenitische CrNi-Stähle, Duplexstähle
Stickstoff / Wasserstoff	N5	austenitische CrNi-Stähle
Argon / Wasserstoff	R2	austenitische CrNi-Stähle, Nickel, Nickel-Basis-Werkstoffe
Argon / Stickstoff	N2	austen. CrNi-Stähle, Duplex- und Superduplexstähle

Zum Formiergas wird in [TiG 2005] folgendes formuliert:

„Formiergas – Anwendung

als Schutzgas mit reduzierender Wirkung zur Abschirmung gegen Luftsauerstoff und Wasserdampf beim Schweißen von CrNi-Stählen, Kesselstählen, rostbeständigen Stählen sowohl Flach- als auch Rohrprofilen:

als Schutzgas beim Glühen und Härten und

als *Schutzgas beim Löten*.

Die im Formiergas enthaltenen Wasserstoffanteile verhindern durch Reduktion das Entstehen von Metalloxiden“.

Und in [Formiergas 2012] ist wie folgt zu lesen: „Formiergas 95/5 – Schutzgas mit reduzierender Wirkung zur Abschirmung gegen den in der Luft enthaltenen Sauerstoff und Wasserdampf beim Schweißen und Löten.“

Die zum Schmelzschweißen eingesetzten Stickstoff-Wasserstoff-Gemische enthalten nach EN ISO 14175 (5, 8, 12, 20 oder 25 %) Wasserstoff – siehe eine Übersicht z.B. in [Schutzgas-Schweißen 2011]. Damit ergibt sich aber ein offensichtliches Problem, da ein und dasselbe Gas wie z.B. Argon einerseits als Schutzgas zum Schweißen und andererseits als Formiergas zum Wurzelschutz verwendet wird. Und das gleiche Problem gilt auch für das Schmelzlöten in entsprechenden Lötatmosphären. Auch hier werden z.B. das Argon, der Stickstoff (als Inert-Lötgas) oder die entsprechenden Stickstoff-Wasserstoff-Gemische (als Aktiv-Lötgas) primär zum Schmelzlöten mit temporär flüssigen Loten angewendet. Die Autoren werden deshalb die gasförmigen Lötatmosphären in *Schutzgase*, *Aktivierungsgase*, *Formiergase* und *Brenngase* unterscheiden (Tab. 2.2).

Tab. 2.2: Funktionen der konventionellen gasförmigen Lötatmosphären

Funktionen der konventionellen Lötatmosphären			
Hauptfunktion	Zusatzfunktion		Bezeichnung der gasförmigen Lötatmosphären
Oxidation vermeiden	Erwärmung realisieren		Schutzgase
Aktivierung realisieren	Erwärmung realisieren	Oxidation vermeiden	Aktivierungsgase
Formierung der Lotschmelze		Oxidation vermeiden	Formiergase
Erwärmung realisieren			Brenngase

Die Funktion Oxidation vermeiden gilt für eine mögliche *Voroxidation* und/oder *Nachoxidation*. Die Aktivierungsgase beziehen sich auf Lötatmosphären in denen zumindest eine gasförmige Komponente beim Schmelzlöten zielgerichtet chemische bzw. metallurgische Wechselwirkungen mit dem Grundwerkstoff verursacht. Dazu gehören in erster Linie Prozesse zur Reduktion der Oberflächenoxide durch Wasserstoff oder Kohlenstoffmonoxid. In der heutigen technischen Literatur werden immer öfter solche Gase als *Reaktionsgase* bezeichnet – siehe z.B. [Roth 1998], [Wandke 2012] und [Nabatherm 2012]. Dieser Begriff wird zunehmend für alle Fertigungsverfahren wie z.B. in [Dorn 1983] zur Detonationsbeschichtung, in [Gero 2012] zum Pyrolysen, Sintern, Silizieren und Graphitieren, in [Müller 2006] als Wirbelgas für die Melamin-Produktion, in [Plasma-Reinigung 1970] für das Bonden und Kleben, in [Retorte 2012] zum Glühen, in [Stapp 2012] zum magnetischen Schlussglühen, in [Wärmebehandlung 2012] allgemein zur Wärmebehandlung und aber auch für das Löten angewendet. Da beim Löten die Oberflächenaktivierung als Grundvoraussetzung für die Fertigung von zuverlässigen Schmelzlötverbindungen immer gewährleistet werden muss, erschien den Autoren für die Löttechnik der Begriff Aktivierungsgas mehr als gerechtfertigt. Eine Übersicht über die konventionellen Aktivierungsgase und handelsüblichen zeigt *Tabelle 2.3*.

Tab. 2.3: Reduzierende Lötatmosphären [Brazing 1975], zitiert in [Dorn 2007]

Reduzierende Lötatmosphären									
Nr.	reduzierende Atmosphäre	max. Taupunkt, °C	chemische Zusammensetzung, Volumen-%				Lot (Basis-elemente)	Grundwerkstoffe	besondere Merkmale
			H ₂	N ₂	CO	CO ₂			
1	Exogas	R.T.	0,5-1	87	0,5-1	11-12	Ag, Cu-P	Cu, Messing	
2	Exogas	R.T.	14-15	70-71	9-10	5-6	Cu, Ag, Cu-P	Cu, Messing, unleg. Baustahl, C-Stahl, Ni, NiCu	abkohlend
3	Exogas getrocknet	-40	15-16	73-75	10-11		wie Nr. 2 u. Cu-Zn	Ni-Legierungen, niedrig legierter Baustahl (Cr<2%), sonst wie Nr. 2	
4	Endogas getrocknet	-40	38-40	41-45	17-19		wie Nr. 3	wie Nr. 2	aufkohlend
5	Ammoniak-Spaltgas	-54	75	25			Ag, Cu-P, Cu-Zn, Cu, Ni	wie Nr. 3 und Legierungen mit mehr als 2 % Cr	
6	Wasserstoff	R.T.	97-100				wie Nr. 2	wie Nr. 2	abkohlend
7	Wasserstoff desoxidiert u. getrocknet	-59	100					wie Nr. 5 und Co, Cr, W-Leg. und Hartmetall	

Nicht angegeben ist hier das Formiergas mit seinen unterschiedlichen Gehalten von Wasserstoff und Stickstoff.

Beim Schmelzlöten mit allgemeiner Erwärmung der Lötbaugruppen (Ofenlöten) dienen die entsprechenden Lötmedien z.T. auch als Wärmequellen zur konvektiven Erwärmung auf Löttemperatur. Dieser Prozess kann mit einer zusätzlichen Erwärmung durch Strahlung kombiniert angewendet werden. Beim Vakuumlöten erfolgt die Erwärmung der Lötbaugruppen weitestgehend durch Strahlung. In der Lötammer kann aber auch zusätzlich ein lokaler Erwärmungsprozess z.B. durch das Wirken von elektrischen konvektiven bzw. induktiven Widerständen speziell vorgesehen sein.

Neben den o.a. *Grundprozessen* können aber auch zeitparallel bzw. zeitlich nacheinander entsprechende metallurgische *Nebenprozesse* (Reinigung der Prozessgase, Schutz der Oberflächen neben den eigentlichen Lötverbindungen, Abgasreinigung) und *Zusatzprozesse* (z.B. Einbringung von Lotkomponenten, Beschichtung der Oberflächen, verschiedene Wärmebehandlungsverfahren (wie z.B. Aufkohlen, Nitridieren, Glühen oder Härten) realisiert werden.