

Reflow-Ofen zur Herstellung bestückter Leiterplatten

- der Versuch eines Eigenbaus -

1. [Einleitung](#)
2. [Analyse bestehender Systeme](#)
3. [Konzeption eines Reflowofens im Eigenbau](#)
 - 3.1 [Grundlagen zur mechanischen Konstruktion](#)
 - 3.2 [Steuer- und Regeltechnik](#)
 - 3.3 [Realisierung](#)
4. [Meßwerte für Strahlungsversuche](#)
5. [Literaturquellen](#)

© Copyright Peter Salomon, Berlin, 2011 – 2020 (Edit)

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, Irrtum und Änderungen vorbehalten. Eine auch auszugsweise Vervielfältigung bedarf in jedem Fall der Genehmigung des Herausgebers.

Die hier wiedergegebenen Informationen, Dokumente, Schaltungen, Verfahren und Programmmaterialien wurden sorgfältig erarbeitet, sind jedoch ohne Rücksicht auf die Patentlage zu sehen, sowie mit keinerlei Verpflichtungen, noch juristischer Verantwortung oder Garantie in irgendeiner Art verbunden. Folglich ist jegliche Haftung ausgeschlossen, die in irgendeiner Art aus der Benutzung dieses Materials oder Teilen davon entstehen könnte.

Für Mitteilung eventueller Fehler ist der Autor jederzeit dankbar.

Es wird darauf hingewiesen, dass die erwähnten Firmen- und Markennamen, sowie Produktbezeichnungen in der Regel gesetzlichem Schutz unterliegen.

1. Einleitung

Bei der Herstellung bestückter Leiterplatten mit SMD-Bauelementen, d.h. oberflächenmontierbaren Halbleiter- und passiven Bauelementen ist nur noch in Ausnahmefällen eine Handlötung möglich. Diese speziellen Bauelemente werden zwar manchmal noch händisch “aufgesetzt“, aber in der Regel dann in einem so genannten “Reflow-Ofen“ verlötet. Für größere Stückzahlen bieten sich dann Bestückungsautomaten und die so genannten “Lötstraßen“ an, wo die Leiterplatten in einem Durchlaufverfahren gelötet werden.

Sollen Leiterplatten beidseitig bestückt verlötet werden, bedarf das zusätzlicher technologischer Schritte. D.h. die Bauelemente, die sich beim zweiten Durchgang dann an der Unterseite befinden, müssen vor dem ersten Lötprozess an der Oberseite der Leiterplatte zusätzlich mittels eines wärmebeständigen Klebers befestigt werden.

Bei einer gemischten Bestückung – SMD- und bedrahtete Bauelemente, oder solche, die die Wärmebelastung im Reflow-Ofen nicht aushalten (oft Steckverbinder mit Kunststoffgehäuse) - müssen diese dann auch händisch nach bestückt werden.

2. Analyse bestehender Systeme

In Vorbereitung einer professionellen Löttechnologie für einen Elektronik-Kleinstbetrieb wurden zahlreiche Versuche mit den auf dem Markt befindlichen Lösungen untersucht.

Die Spanne reichte dabei vom einfachsten Gerät – ein umgebauter Pizzaofen – bis zu professionellen Geräten, die mehr oder weniger teuer am Markt erhältlich sind.

In einer Marktübersicht der Zeitschrift SMT [1] konnten wir damals einen recht guten Überblick zu den verschiedenen Lötssystemen erhalten. Es gab auch eine Vergleichsübersicht mit Links zu den wichtigsten Herstellern in Europa mit Listenpreisen [2].

Einige Geräte wurden auch zur praktischen Erprobung vorgesehen [3] [4] [5].

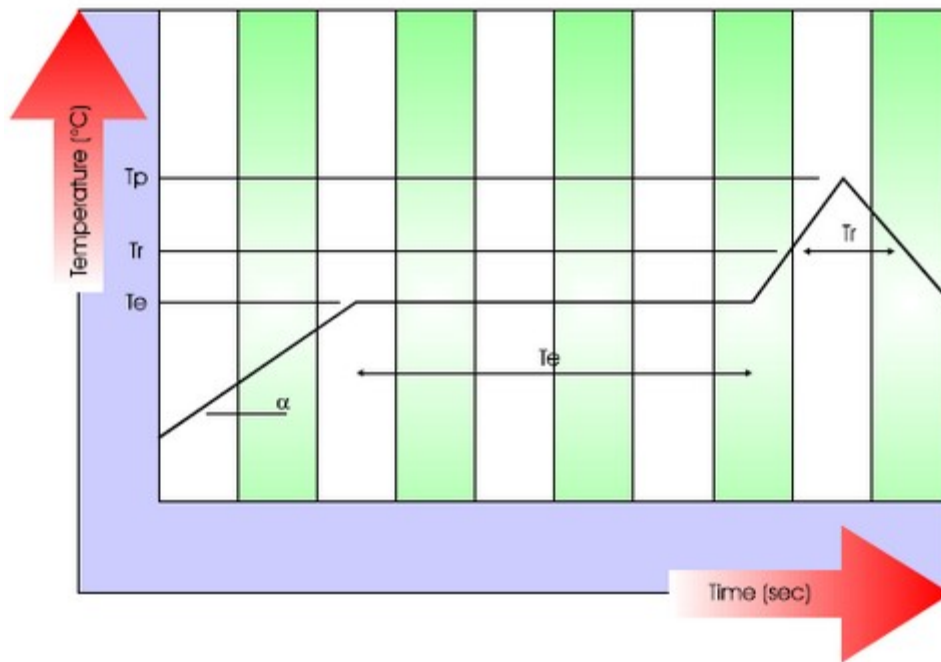
Es zeigte sich jedoch bald, dass auch Geräte im höheren Preissegment ihre Schwächen - um nicht zu sagen Mängel - hatten. Bei einem Gerät aus dem mittleren Preissegment, was in den höchsten Tönen in der Fachpresse und im Internet beworben wurde, wölbte sich sogar im Laufe des Lötprozesses der Auflageboden für die zu lötenden Leiterplatten derart, dass diese zusammen rutschten und somit unbrauchbar geworden sind. Das war dann auch der Hauptgrund das Gerät reklamierend zurück zu geben.

Bei anderen Geräten war die Wärmeverteilung über eine Leiterplatte von z.B. 100x100mm so ungleichmäßig, dass auch dort die Lötergebnisse unbefriedigend waren. Obwohl in diesem Reflow-Ofen Platz genug gewesen wäre, mehrere derartige Leiterplatten gleichzeitig zu löten, wurde in Anbetracht der vorher erzielten Ergebnisse auf solche Versuche verzichtet.

Schließlich ist der Ausschuss bei der Herstellung von bestückten Leiterplatten nicht ohne finanziellen Verlust möglich.

Ein besonders effektives Verfahren ist das Dampfphasen-Lötverfahren [6], insbesondere für die Verlötung von modernen Schaltkreisen im BGA-Gehäuse. Das "MiniLab" der Fa. IBL [7] hätten wir auch gern noch ausprobiert, aber die dafür notwendigen Gerätschaften sind sehr teuer und außerdem ist die Handhabung der zu verdampfenden Flüssigkeit – z.B. "Galden" – nicht ganz unproblematisch [8].

Ein weiteres Problem war die exakte Einhaltung der so genannten Lötcurve, die von den Bauelemente-Herstellern vorgeschrieben wird. Hier das prinzipielle Beispiel einer solchen Lötcurve (aus [9]):



Die Erwärmung muß gleichmäßig und relativ langsam erfolgen bis zum Temperaturniveau T_e . Dieses muß für eine bestimmte Zeit gehalten werden, damit Leiterplatte und Bauelemente sich auf das gleiche Temperaturniveau einstellen können. Erst am Ende dieser Zeitspanne wird mit einem "Peak" die Temperatur kurzzeitig auf T_p hoch gefahren, so daß bei der Temperatur T_r sicher alles Zinn geschmolzen ist und anschließend wird die Temperatur wieder langsam herunter gefahren, ohne daß sich dabei weder in der Leiterplatte, noch in den Bauelementen Materialspannungen ergeben.

Die absoluten Werte von T_e , T_r und T_p sind im Wesentlichen von den Bauelemente-Herstellern vorgegeben, aber auch von den verwendeten Leiterplattenmaterial und vor allem davon abhängig, ob noch verbleites Zinn oder nur noch das nach RoHS zugelassene bleifreie Zinn verwendet wird. Da dieses einen höheren Schmelzpunkt hat, sind dann die Ansprüche an den präzisen Temperaturverlauf weit aus höher, weil insbesondere Halbleiter-Bauelemente eigentlich keine so hohen Umgebungstemperaturen vertragen.

Es ergibt sich somit ein sehr schmaler Grad zwischen Bauelemente-Tod und einwandfreier Lötung.

Diese Ansprüche muß ein Reflowofen in jeder Situation erfüllen.

Eine der wichtigsten Aufgaben dabei ist die exakte Temperatur in unmittelbarer Nähe von Halbleiter-Bauelementen zu messen. Und damit fangen dann die Probleme schon an. Wie soll man wissen, ob die – mit welchem Meßgerät auch immer – gemessene Temperatur auch die ist, welche das Halbleiter-Bauelement auch wirklich ausgesetzt ist.

Und dann soll ja die Temperaturverteilung über die gesamte Leiterplatte so gleichmäßig sein, daß davon ausgegangen werden kann, daß alle sich auf der Leiterplatte befindlichen Bauelemente dem gleichen Lötprozess unterworfen sind.

Eine zugegebenermaßen nicht einfach zu lösende Aufgabe!

3. Konzeption eines Reflow-Ofens im Eigenbau

Nachdem die Konstruktionen vieler kommerzieller Reflowöfen eingehend untersucht worden sind, konnte ausgehend von der Vermeidung bekannter Fehler ein eigenes Realisierungskonzept entworfen werden.

Dabei war von vorn herein klar, daß noch einige Unklarheiten bestehen und Probleme auftauchen werden, die erst durch möglicherweise langwierige Versuche und Messungen beseitigt werden können.

Aus den Erfahrungen mit den getesteten Reflowöfen sollte die technologisch-konzeptionelle Grundlage zur Erwärmung der zu lötenen Leiterplatte im Eigenbau-Reflowofens eine Kombination von Strahlungswärme und Heißluftherwärmung sein.

Reine Strahlungswärme führt durch die unterschiedliche Wärmeabsorption der verschiedenen Bauelemente auf der Leiterplatte und auch durch die Leiterplatte selbst wegen mehr oder weniger großen Kupferflächen, oder ggf. vorhandenen Aufdruck zu unterschiedlichen Temperaturverhältnissen.

Ein Kriterium ist auch die Einstrahlrichtung – eine nur senkrecht zur Leiterplatte gerichtete Strahlung von oben ist zwar als günstige Variante anzusehen, verhindert aber nicht evtl. vorhandenen Abschattungszonen durch überstehende Bauelemente.

Mehrstrahlige Einstrahlrichtungen sind daher zu bevorzugen.

Des Weiteren wurde darauf orientiert mit einer zusätzlichen Heißluftströmung die Wärmeverteilung auf der Leiterplatte zu egalisieren. Die Heißluftströmung darf dabei nicht so groß sein, daß die kleinen SMD-Bauelemente von der Leiterplatte geweht werden.

Ein weiteres Kriterium sollte die Vermeidung schwer beschaffbarer und demzufolge teurerer Spezial-Komponenten sein, wie z.B. die Strahlungsquellen. Hierzu war die Idee leistungsstarke Halogen-Stubstrahler (300 – 500W) einzusetzen, die auf entsprechend temperaturstabilen Fassungen aus Keramik den Zweck (wahrscheinlich) genauso gut erfüllen, wie die kommerziellen IR-Strahler.

3.1 Grundlagen zur mechanischen Konstruktion

Die mechanische Grundlage des Eigenbau-Reflowofens sollte ein zweischaliges Gehäuse sein, in dessen Innenraum aus Edelstahl der eigentliche Lötprozess stattfindet.

An der Frontseite befindet sich eine zu öffnende Glastür (aus einem Pizzaofen).

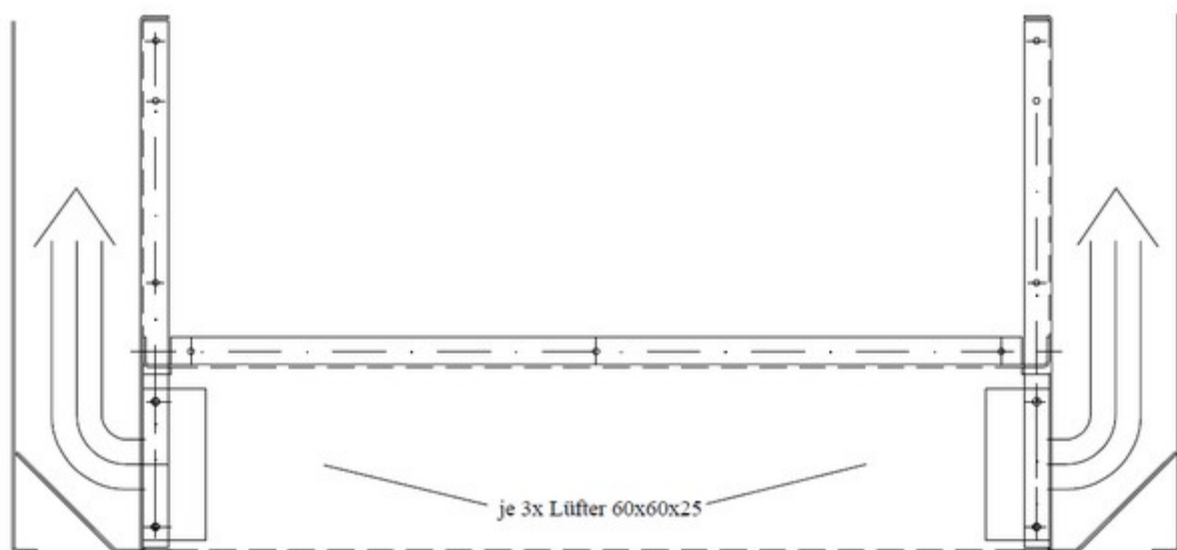
Deckenseitig sind insgesamt 10 Halogen-Stabstrahler angebracht, die mit einer Gesamtleistung von 3 bis 5kW (je nach Bestückung) genügend Strahlungswärme erzeugen sollten, dass im Abstand von ca. 100mm das Lötinn zum Schmelzen kommt.

Durch die mehrfach parallel angeordneten Strahler und die Reflexionen an den Edelstahlflächen wird eine mehr oder weniger diffuse Strahlung erzeugt.

Zusätzlich sind in der Deckenplatte der Innengehäuseschale mehrere Löcher vorgesehen, durch die vorgewärmte Heißluft senkrecht auf die Leiterplatte strömt.

Die Luftströmung wird durch insgesamt 6 Lüftermotore erzeugt, die im unteren Teil der rechten und linken Innenseitenwände eingebaut sind. Es wird die Luft unterhalb der Auflagefläche für die zu lötenden Leiterplatten abgesaugt, durch den Zwischenraum zwischen Innengehäuseschale und Außengehäuse geblasen, dort an den durch Strahlungswärme erhitzten Innenblechteilen erwärmt und dann durch die Löcher der Deckenplatte in das Innengehäuse geblasen.

Ein- und Austritt der Luftströmung ist jeweils an der Rückseite des Gerätes. Inwiefern und in welchem Anteil Umluft-Betrieb wirtschaftlicher sein könnte, sollten noch weitere Versuche ergeben.



Prinzip der Luftströmung im Gerät

3.2 Steuer- und Regeltechnik

Für die Elektronik der Steuer- und Regeltechnik gab es viele fertige Lösungen, z.B. [20].

Ob eine dieser mit den aus den Erfahrungswerten postulierten Ansprüchen realisierbar gewesen wäre, ist eine noch weit offene Frage.

Da die gesamte Lösung der Temperaturmessung und –Regelung noch ungewiss war und auch die Leistungssteuerung als Dimmersteuerung zwar vorstellbar, aber bei Weitem noch nicht erprobt und untersucht war, ist das Gesamtkonzept der Steuer- und Regeltechnik noch offen, d.h. z.Zt. ungelöst.

Angedacht war aber vorzugsweise der Einsatz einer μC -Variante hervorgehend aus der Entwicklung des AVRLab – siehe da [21].

3.3 Realisierung

Für einen Versuchsaufbau und zur Durchführung notwendiger Messungen wurde ein vorläufiges Gehäuse mittels CAD konstruiert, um die einzelnen Blechteile von einem Blechverarbeitungsbetrieb in Edelstahl [17] herstellen zu lassen.

Die Halogen-Strahlröhren sind handelsüblich, ebenso die dazu notwendigen Keramikfassungen.

Als Lüftermotore wurden kleine 60x60x25-Radiallüfter eingesetzt, wie sie vielfach auch anderen elektronischen Geräten verwendet werden.

Das Außengehäuse wurde aus 10mm-Sperrholz hergestellt, was zwei Gründe hatte:

- einerseits sollte eine gewisse Isolation zur Außenwelt ermöglicht werden, was mit einer weiteren Blechumhüllung nicht gegeben wäre,
- die Kosten einer weiteren Edelstahl-Umhüllung standen in keinem Verhältnis zu den Notwendigkeiten für einen Versuchsaufbau.

Unter den Bedingungen dieses Versuchsaufbaues wurden bereits erste Versuche und Messungen durchgeführt.

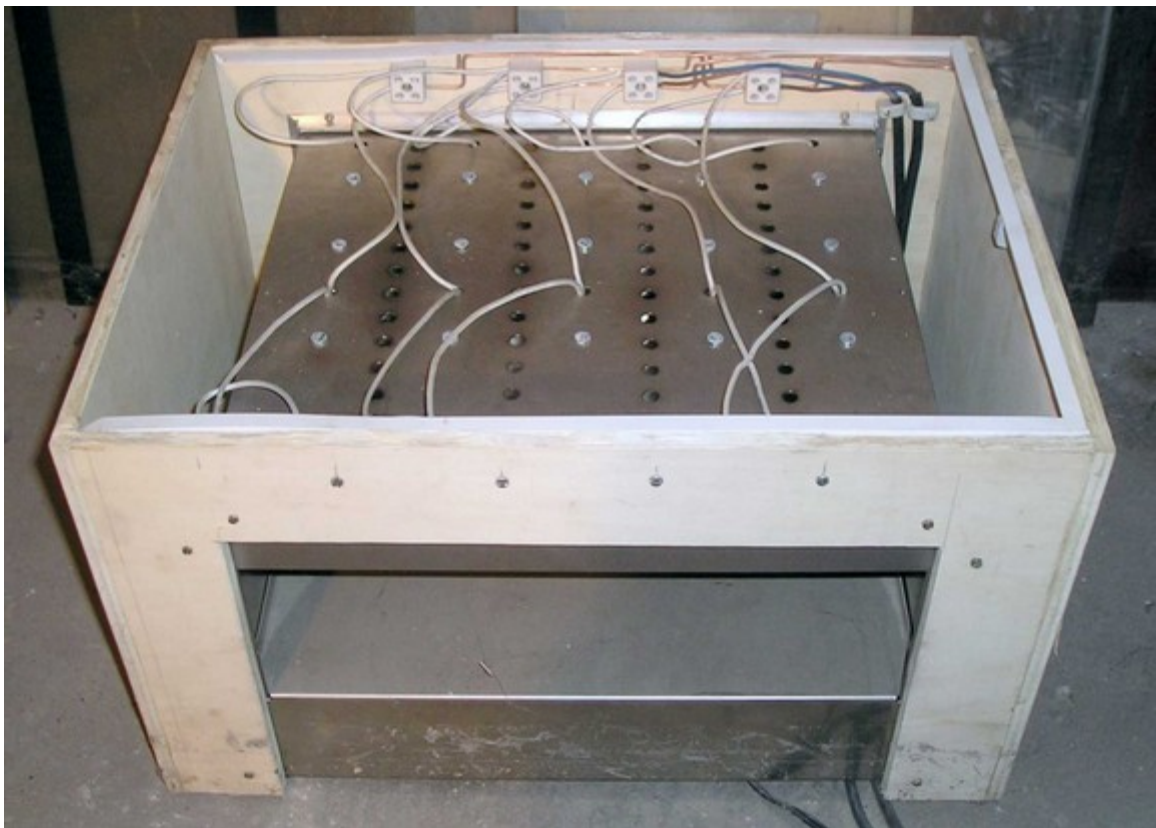
Um überhaupt einen Anhaltspunkt darüber zu gewinnen, ob die Anordnung mit der installierte Strahlungsleistung ausreichend ist das Lötzinn (auch "bleifrei") zum Schmelzen zu bringen, wurden verschieden große, fertig bestückte Leiterplatten in den Reflow-Ofen getan.

Schon nach wenigen Minuten konnten insbesondere auch "vielbeinige" SMD-ICs ohne sichtbare Beschädigungen mit einer Pinzette einfach von der Leiterplatte genommen werden.

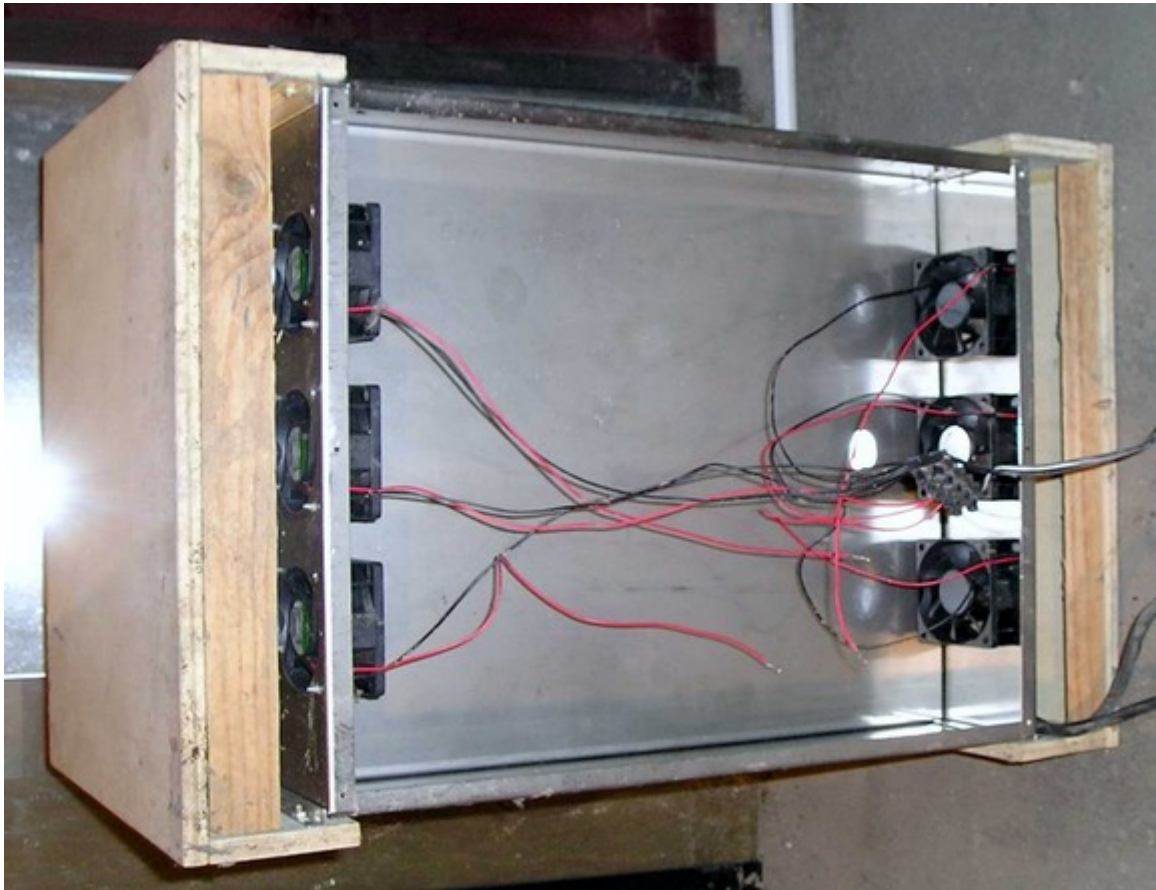
Damit war schon mal der Beweis erbracht, dass die notwendig hohen Temperaturen (>240°C) erreicht werden können. Für eine detailliertere Untersuchung des Temperaturniveaus über die Zeit und die räumliche Temperaturverteilung sollten allerdings erst entsprechende Messungen Klarheit bringen. Siehe dazu 4. "Messwerte für Strahlungsversuche".

Andere Bauelemente, insbesondere Steckverbinder, haben dieses Prozedere nicht so einfach überlebt. Damit wurde auch die Annahme bestätigt, dass solcher Art Bauelemente nicht im Reflow-Ofen gelötet werden können, d.h. eine nachträgliche Handlötung notwendig ist.

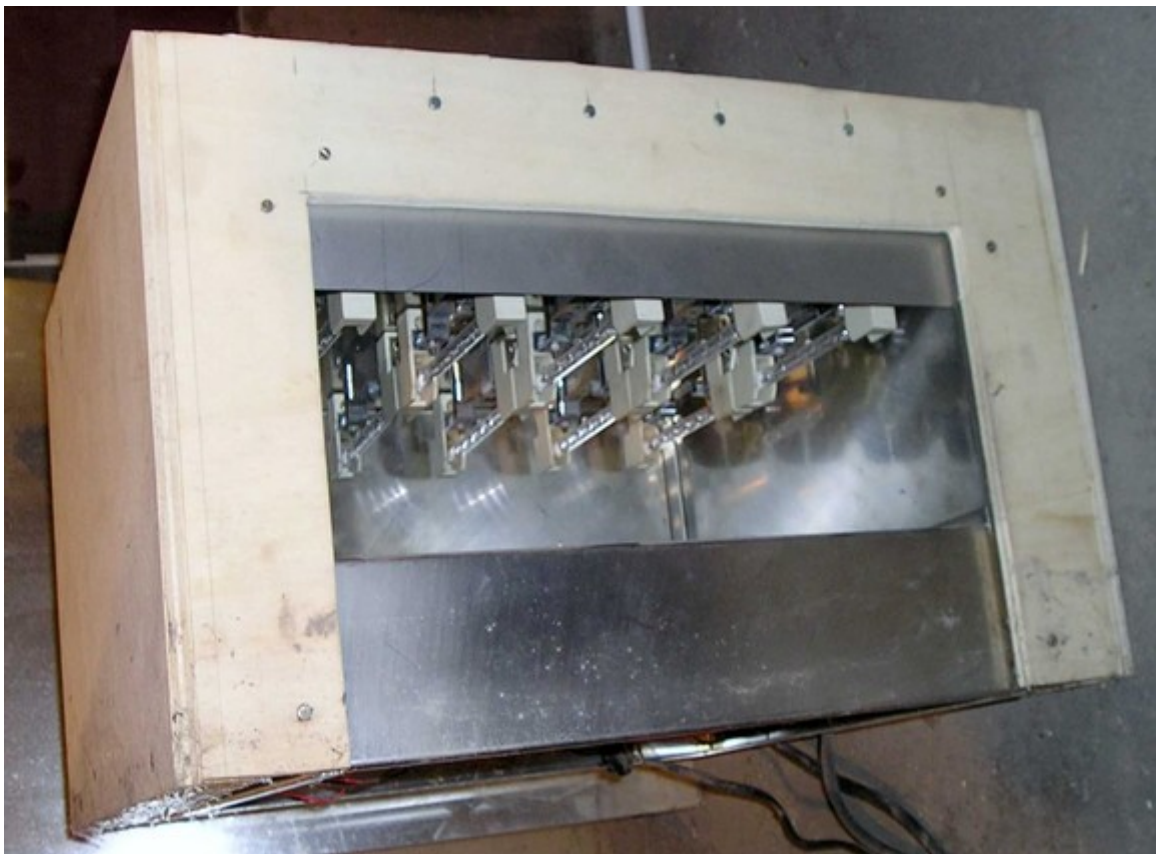
Hier ein paar Bilder vom Versuchsaufbau (etwas eingestaubt vom langen Stehen im Keller):



Die Fronttür existiert noch nicht.



Das Gerät von unten.



Von hier sind gut die Halogen-Stabstrahler zu sehen.

Insgesamt sind für den Versuchsaufbau max. 300.- Euro an Materialkosten angefallen.

Die weitere Bearbeitung dieser Entwicklung wurde dann aber abgebrochen, weil zu diesem Zeitpunkt die Nachfrage zur Leiterplattenbestückung solche Dimensionen angenommen hatte, dass die Anschaffung einer Lötstraße notwendig geworden war.

4. Erste Messwerte für Strahlungsversuche

Strahler: Halogen 500W (117mm) – nach unten
Abstand: 200mm
Target: grüne Lp braune Lp
Fühler: Tauch-, (festgerödelt, Oberseite)
Zeit: 5 Min 5 Min
 Δt 110K 100K

Fühler: Thermoelement
 Δt 80K

Abstand: 100mm
Zeit: 3 Min
 Δt 180K

Strahler: Flächenstrahler 750W - nach oben
Abstand: 100mm
Target: grüne Lp
Zeit: 5 Min
 Δt 115K

Warum die hier gemessenen Werte eigentlich nicht erwarten lassen, dass damit ein Lötprozess stattfinden könnte, aber andererseits die Praxis (s.o) beweist, dass es trotzdem geht – müsste mit anderen Messmethoden weiter untersucht werden.

Literaturquellen

- [1] Marktübersicht "Lötsysteme", Zeitschrift "SMT", 2009, H4-5, S26-31
- [2] SMD_Ofen_Vergleich
- [3] SMD—2000A TABLE TOP REFLOW OVEN, Madell Technology Corp., <http://www.madelltech.com>
- [4] Reflow-Systeme Fokus 180 ep, Fokus 350 pc, www.methotec.com
- [5] Reflow-Lötsysteme der Fa. SEF, www.sef.de
- [6] "Dampfphasenlöten" – ein Vortrag der Fa. IBL von 2004
- [7] Dampfphasenlötanlage "MiniLab", Fa. IBL, www.ibl-loettechnik.de
- [8] SICHERHEITSDATENBLATT GALDEN(R) LS
- [9] SMT-Notes, Walsin Technology Corp., Taiwan 2002
- [10] Dipl.-Ing. Lothar Oberender: "Professionelle Beschaffung von Leiterplatten", FED-Konferenz 2007
- [11] Generic Standard on Printed Board Design, IPCIPC-2221, 1998
- [12] Acceptability of Printed Boards, IPC-A-600F, 1999
- [13] IPC-Richtlinien – was jeder wissen sollte (german), IPC European Representative, www.ipc.org
- [13] James Colotti: "Analog, RF & EMC Considerations in PWB Design, Telephonics - Command Sys. Div.
- [14] David L. Jones: "PCB Design Tutorial", www.alternatezone.com, 2004
- [15] Dr. Hartmut Poschmann: "IPC-Richtlinien Design & Fertigung hochdichter Leiterplatten-Baugruppen
- [16] SMD-Bestückungssysteme, Fa. Mechatronic, 2007
- [17] Merkblatt MB 822: "Die Verarbeitung von Edelstahl rostfrei"
- [18] Quarz-Halogen-Strahler, Fa. Elektrowärme Gabbey, <http://www.egabbey.de>
- [19] Rohrheizkörper, Fa. Türk+Hillinger GmbH, www.tuerk-hillinger.de
- [20] Regelungsplatine für den Reflow OfenT962, Fa. Josef Bernhardt, www.bernhardt.de
- [21] AVRLab, Basis-Board vom AVR-Development.System, http://www.ps-blndk.de/AVR_DevBoard.htm
- [22] SIEMENS-Firmenschriften:
 - Einführung in die Oberflächenmontage SMD, S3d7/86,
 - Empfehlungen für das Layout von Leiterplatten SMD, Sep. 1986,
 - Bauelemente für die Oberflächenmontage SMD, S4d10/86,
 - Teststrategie und Prüfverfahren für SMD-Baugruppen SMD, S3d10/86,
 - Mikropack – eine kompakte IC-Bauform SMD, S3d7/86,
 - SOT-23 Halbleiter SMD, Best.-Nr. B3-B3342,
 - MKT-Kondensatoren in tauchlötbarer Chip-Bauform SMD, Best.-Nr. B4-B3409,
 - MKT-Chip-Kondensatoren SMD, S3d7/86, Best.-Nr. B4-B3253,
 - Keramik-Chip-Kondensatoren SDM, S4d10/86, Best.-Nr. B4-B3514,
 - SIMID Chip-Induktivitäten SMD, S3d7/86,
 - Elektromechanische Komponenten SMD, Best.-Nr. A23999-A310-A995-*-04,
 - SMD-Bestückungsautomat MS-72 SMD, B9-M035-866,
 - SMD-Bestückungsautomat HS-180 SMD, dito
- [23] Erste Erfahrungen mit SMD-Bauelementen im ZEG der IH Mittweida, Appl.-Inform. 1989, H3, S34-37,
- [24] Göllner, Waldmann: SMD-Technik,
 - T1, rfe 1988, H4, S231-234,
 - T2, rfe 1988, H5, S299-302,
 - T3, rfe 1988, H6, S367-370