



BACHELORARBEIT

Frau

Sarina Boltz

**Untersuchung zur Bewertung
der Wärmebeständigkeit
elektronischer Bauelemente
in der Elektronikfertigung**

Mittweida, 2024

Fakultät Ingenieurwissenschaften

BACHELORARBEIT

Untersuchung zur Bewertung der Wärmebeständigkeit elektronischer Bauelemente in der Elektronikferti- gung

Autor:

Frau

Sarina Boltz

Studiengang:

Elektrotechnik-Automation

Seminargruppe:

EA20wV-BS

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. René Pleul

Zweitprüfer:

Dipl.-Ing. Arnd Heinicke

Einreichung:

Chemnitz, 13.09.2024

Verteidigung/Bewertung:

Chemnitz, 2024

Faculty Engineering

BACHELOR THESIS

Investigation to evaluate the heat resistance of electronic components in electronics production

author:

Ms.

Sarina Boltz

course of studies:

Elektrotechnik - Automation

seminar group:

EA20wV-BS

first examiner:

Prof. Dr.-Ing. René Pleul

second examiner:

Dipl.-Ing. Arnd Heinicke

submission:

Chemnitz, 13.09.2024

defence/ evaluation:

Chemnitz, 2024

Bibliografische Beschreibung:

Boltz, Sarina:

Untersuchung zur Bewertung der Wärmebeständigkeit elektronischer Bauelemente in der Elektronikfertigung. - 2024. - 7, 61, 30 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften, Bachelorarbeit, 2024

Referat:

In der Bachelorarbeit werden nach einer näheren Erläuterung des Themas die Fertigungsbedingungen im WKC näher betrachtet. Der Schwerpunkt liegt auf der Elektronikfertigung und dem Reflowlöten. Anschließend werden die im WKC verwendeten elektronischen Bauteile analysiert und schließlich eine Auswahl der im Rahmen der Bachelorarbeit zu untersuchenden Bauteile getroffen. Danach werden die Versuchsbedingungen festgelegt und ein Versuchsplan erstellt. Dieser wird im Anschluss durchgeführt und die Ergebnisse werden ausgewertet.

Inhalt

Inhalt I

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung.....	1
2 Aufgabenstellung	3
3 Fertigungsbedingungen im WKC.....	5
3.1 <i>Normen und Richtlinien</i>	5
3.1.1 IPC & J-STD Normen	5
3.1.2 Europäische RoHS-Richtlinie	6
3.2 <i>Grundlagen zum Lötprozess</i>	7
3.3 <i>Gegenüberstellung: THT und SMT.....</i>	8
3.4 <i>Das Reflowlöten</i>	9
3.4.1 SMD-Linie	9
3.4.2 Reflowofen	11
3.4.3 Lötpaste	13
4 Auswahl der zu untersuchenden Bauteile.....	15
4.1 <i>Überblick der elektrischen Bauteile im WKC.....</i>	15
4.2 <i>Analyse der Bauteile</i>	17
4.3 <i>Verknüpfung der Bauteile mit den jeweiligen Verarbeitungsbedingungen.....</i>	21
5 Versuchsplanung	24
5.1 <i>Festlegung der Temperaturen</i>	24
5.2 <i>Versuchskonzept zur Ermittlung der Zeit.....</i>	26
5.3 <i>Reduzierung der Zufallsstreuung.....</i>	27
5.4 <i>Versuchsbedingungen.....</i>	28
5.5 <i>Auswahl des Testsystems</i>	29
5.6 <i>Prüfkriterien und verwendete Messmittel.....</i>	32

6	Durchführung	35
6.1	<i>Bedienung des Rework-Systems</i>	35
6.2	<i>Messwerttabellen</i>	39
7	Auswertung	43
7.1	<i>Auswertung der Versuche mit der Steckerleiste</i>	43
7.1.1	Erster Versuchsblock	43
7.1.2	Zweiter Versuchsblock	44
7.1.3	Dritter Versuchsblock	47
7.1.4	Vierter Versuchsblock	52
7.2	<i>Auswertung der Versuche mit dem Übertrager</i>	54
7.3	<i>Auswertung der Versuche am Reflowofen</i>	58
7.4	<i>Allgemeine Auswertung des Versuchsplans und der Durchführung</i>	59
8	Fazit	61
Literaturverzeichnis		63
Anlagen 65		
Teil 1: Dokumente der Bauteile		I
8.1	<i>Datenblatt Steckerleiste</i>	I
8.2	<i>Produktspezifikation Steckerleiste</i>	VI
8.3	<i>Datenblatt Übertrager</i>	XIX
Teil 2: Dokumente der Messgeräte		XXIV
8.4	<i>Multimeter</i>	XXIV
8.5	<i>Temperatursensor</i>	XXX

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der thermischen Prozesse in der Elektronikfertigung (Quelle: eigene Darstellung)	3
Abbildung 2: Darstellung der SMD-Linie im WKC (Quelle: eigene Darstellung)	10
Abbildung 3: Übersicht der Zonen des Reflowofen: A = Einlaufbereich, B = Vorheizzonen, C = Peakzonen, D = Kühlzonen, E = Auslaufbereich (Rehm Thermal System GmbH 2024a).....	11
Abbildung 4: Lötprofil "bleifrei" (Quelle: Screenshot des Programm ‚Datapaq Insight Reflow Tracker‘)	13
Abbildung 5: Erklärung der relevanten Spalten der Datenbank "Materialstamm" (Quelle: Excel-Datei „Materialstamm“)	16
Abbildung 6: Übersichtsdarstellung der Kategorien der elektrischen Bauteile (Quelle: eigene Darstellung)	16
Abbildung 7: PivotTable-Felder zur Erstellung einer PivotTable auf Grundlage der Arbeitstabelle (Quelle: Screenshot der Stammdaten-Excel-Datei).....	19
Abbildung 8: Ausschnitt aus der PivotTable auf Grundlage der Arbeitstabelle (Quelle: Screenshot der Stammdaten-Excel-Datei)	20
Abbildung 9: Ausschnitt aus der PivotTable mit den gefilterten potenziell kritischen Bauteilen (Quelle: Screenshot der Stammdaten-Excel-Datei)	21
Abbildung 10: Fotografie der ausgewählten Bauteile, links: Übertrager, rechts: Steckerleiste (Quelle: eigene Fotografie).....	23
Abbildung 11: Versuchskonzept für die Ermittlung der Zeit, bei der die ersten Anzeichen einer Beschädigung auftreten (Quelle: Screenshot des Excel-Datei 'Versuchsplan')	27
Abbildung 12: Rework-System Expert 10.6 HXV von der Firma Martin GmbH (Quelle: https://www.martin-smt.de/wp-content/uploads/2018/10/expert-10.6-hxv-perspective01-783x491.1541780798.jpg [Stand: 12.09.2024])	30

Abbildung 13: Elektrolytkondensator aufrechtstehend im Rework-System der Firma Martin; links (Quelle: eigene Fotografie).....	31
Abbildung 14: Elektrolytkondensator querliegend im Rework-System der Firma Martin; rechts (Quelle: eigene Fotografie).....	31
Abbildung 15: Schaltplan des Übertrages (Quelle: Datenblatt des Übertrages (siehe Anhang)).....	33
Abbildung 16: Rework-System Expert 10,6 HXV der Firma Martin GmbH mit eingespannter Leiterplatte und befestigten Temperatursensoren und Software EASYSOLDER 7 auf Monitor (Quelle: eigene Fotografie).....	36
Abbildung 17: Übersicht der Software, nachdem ein Temperaturprofil durchgeführt wurde (Quelle: Screenshot der Software ‚EASYSOLDER 07‘).....	37
Abbildung 18: grafische Darstellung der Versuchsergebnisse aus Block 1 mit der Steckerleiste (Quelle: eigene Darstellung)	44
Abbildung 19: grafische Darstellung der Versuchsergebnisse aus Block 2 mit der Steckerleiste (Quelle: eigene Darstellung)	45
Abbildung 20: Fotografie des ersten Bauteils des zweiten Versuchsblock, vergrößert mithilfe des Mikroskop Mantis von Vision Engineering (Quelle: eigene Fotografie)	46
Abbildung 21: grafische Darstellung der Versuchsergebnisse aus Block 3 mit der Steckerleiste (Quelle: eigene Darstellung)	47
Abbildung 22: Fotografie des neunten Bauteils des dritten Versuchsblock, vergrößert mithilfe des Mikroskop Mantis von Vision Engineering (Quelle: eigene Fotografie)	48
Abbildung 23: grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der max. Lötgriffeltemperatur, der Haltetemperatur des Lötgriffels und der Ergebnisse der Versuche für die Temperatur 250°C (Quelle: eigene Darstellung).....	49
Abbildung 24: grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der max. Lötgriffeltemperatur, der Halte-temperatur des Lötgriffels und der Beschädigung der Bauteile für die Temperatur 255°C (Quelle: eigene Darstellung).....	50

Abbildung 25: grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der max. Lötgriffeltemperatur, der Haltetemperatur des Lötgriffels und der Beschädigung der Bauteile für die Temperatur 260°C (Quelle: eigene Darstellung)	50
Abbildung 26: Übersicht der Software, nachdem das Temperaturprofil 280°C für 60 Sekunden im ersten Block durchgeführt wurde (Quelle: Screenshot der Software ‚EASYSOLDER 07‘)	51
Abbildung 27: Übersicht der Software, nachdem das Temperaturprofil 280°C für 60 Sekunden im vierten Block durchgeführt wurde (Quelle: Screenshot der Software ‚EASYSOLDER 07‘)	52
Abbildung 28: grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der max. Lötgriffeltemperatur, der Haltetemperatur des Lötgriffels und der Beschädigung der Bauteile für die Temperatur 260°C (Quelle: eigene Darstellung)	53
Abbildung 29: grafische Darstellung der Versuchsergebnisse aus Block 4 mit der Steckerleiste (Quelle: eigene Darstellung).....	54
Abbildung 30: grafische Darstellung der Versuchsergebnisse aus Block 1 mit den Übertragern (Quelle: eigene Darstellung)	55
Abbildung 31: grafische Darstellung der Versuchsergebnisse aus Block 2 mit den Übertragern (Quelle: eigene Darstellung)	56
Abbildung 32: grafische Darstellung der Versuchsergebnisse aus Block 3 mit den Übertragern (Quelle: eigene Darstellung)	56
Abbildung 33: Fotografie des sechsten Bauteils des dritten Versuchsblock, vergrößert mithilfe des Mikroskop Mantis von Vision Engineering (Quelle: eigene Fotografie)	57
Abbildung 34: bestückte Leiterplatte mit Übertragern und Steckerleisten, Schwärzung eines Etikettes aus datenschutzrechtlichen Gründen (Quelle: eigene Fotografie)	58
Abbildung 35: verwendetes Messgerät mit gültiger Kalibrierung, Schwärzung eines Etikettes aus datenschutzrechtlichen Gründen.....	XXIV

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der im WKC verwendeten Lotpasten (Quelle: Datenblätter der Lötpasten).....	14
Tabelle 2: Übersicht der verschiedenen Vorheiztemperatur und -zeiten (Quelle: Lötprofil ‚bleifrei‘ und ‚gedreht S120‘).....	26
Tabelle 3: Technische Daten Multimeter Fluke 177 (Quelle: Datenblatt des Multimeters (siehe Anhang))	34
Tabelle 4: Transponierte Excel-Tabellenkopf mit erstem Datensatz und zusätzlicher Spalte für Erklärungen für Versuche mit der Steckerleiste (Quelle: eigene Darstellung)..	40
Tabelle 5: Transponierte Excel-Tabellenkopf mit den ersten drei Datensätzen für Versuche mit den Übertragern (Quelle: eigene Darstellung)	41
Tabelle 6: Reihenfolge der Temperaturen in den einzelnen Blöcken für die Versuche mit der Steckerleiste und dem Übertrager (Quelle: eigene Darstellung).....	42

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Langform
AOI	Automatische optische Inspektion
BGA	Ball Grid Array
IPC	Institute for Printed Circuits
SMD	Surface Mounted Devices
SMT	Surface Mounted Technology
SPI	Solder Paste Inspection (dt.: Lötpasteninspektion)
THR	Through-Hole-Reflow
THT	Through-Hole-Technology
v.a.	vor allem
Usw.	Und so weiter
WKC	Werk für Kombinationstechnik Chemnitz

1 Einleitung

Im heutigen digitalen Zeitalter ist sie nicht wegzudecken und doch sieht man sie im Normalfall nicht. Sie kommt in vielen Formen und Größen und ist meistens grün, doch es gibt sie auch in anderen Farben. Der Einsatzbereich ist vielfältig: egal ob im Handy, im Windrad, in einem Industrieroboter oder in der Bahn, ohne sie geht es meistens nicht. Die Rede ist von der Leiterplatte und den auf ihr befindlichen Bauteilen, welche entweder auf einer oder auf beiden Seiten platziert sind. Damit die Bauteile mit der Leiterplatte eine feste und elektrische leitfähige Verbindung eingehen werden die Bauteile mithilfe von Lot oder Lötpaste auf die Löt pads der Leiterplatte gelötet. Für diesen Prozess ist eine gewisse Wärmeenergie von Nöten, welche aber die Leiterplatten und die elektrischen Bauteile nicht beschädigen darf. Daher geben die Hersteller in den jeweiligen Datenblättern Hinweise zur Verarbeitung der Bauteile. Die Informationen können sehr unterschiedliche im Umfang sein. Ein Hersteller gibt die maximale Löttemperatur und Löt dauer an, ein anderer auch das Vorheizen und die Anzahl der Löt vorgänge, die das Bauteil maximal durchlaufen darf. Die maximale Löt dauer variiert je nach Bauteilart, dem verwendeten Materialien, dem inneren Aufbau und dem Löt verfahren, welches verwendet wird. Auf einer Leiterplatte befindet sich selten nur eine Bauteilart, oft sind viele verschiedene notwendig, um die gewünschte Funktion am Ende realisieren zu können. Dies kann dazu führen, dass Bauteile mit unterschiedlichsten maximalen Löttemperaturen in einem Prozess gelötet werden sollen. Um keins der Bauteile thermisch zu Überlasten ist in diesem Fall Fingerspitzengefühl bei der Einstellung des Löt ofens erforderlich. Im optimalen Fall kann man eine sehr kurze Löt dauer bei einer hohen maximalen Löttemperaturen verlängern, in dem man die maximale Löttemperatur nicht ausreizt. Um die Thematik der Wärmebeständigkeit von elektrischen Bauteilen in der Elektronikfertigung soll es in der vorliegenden Arbeit gehen.

Die Relevanz des Themas ist für die Produktion gegeben, da das Ziel in der Produktion die Herstellung qualitativ hochwertiger Produkte ist. Wenn Bauteile während der Produktion durch zu hoher thermischer Belastung beschädigt werden und durch neue ersetzt werden müssen, verursacht dies zusätzliche Kosten und einen erhöhten Zeitaufwand, insbesondere wenn es sich um eine Serie von mehreren hundert Leiterplatten handelt. Fällt das Produkt erst beim Kunden aus, ist der finanzielle Aufwand für die Reparatur noch höher. Hinzu kommt das Risiko eines Imageschadens, wenn dies häufiger vorkommt. Es ist unter anderem Aufgabe der Qualitätssicherung, dies zu verhindern bzw. qualitative Mängel in der Produktion zu beheben.

Diese Arbeit wird in Zusammenarbeit des Werks für Kombinationstechnik in Chemnitz, kurz WKC, der Siemens AG erstellt. Zuerst wird die Aufgabenstellung präzisiert, danach gibt es einen Überblick über die Fertigungsbedingungen im Elektronikbereich im WKC mit Fokus auf der SMD-Abteilung. Anschließend geht es um die Auswahl von passenden

Bauteilen und dem Erstellen eines Versuchsplan. Hierbei müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden. Wenn der Versuchsplan steht, wird dieser durchgeführt und im Anschluss werden die Daten ausgewertet. Am Ende folgt ein Fazit zu den Ergebnissen der Bachelorarbeit.

2 Aufgabenstellung

Im WKC werden Leiterplatten mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Bauteilen gefertigt. Die Leiterplatten und die Bauteile durchlaufen dabei verschiedene Fertigungsschritte, in denen sie thermischen Prozessen ausgesetzt werden. Diese Fertigungsschritte werden in der folgenden Übersicht dargestellt.

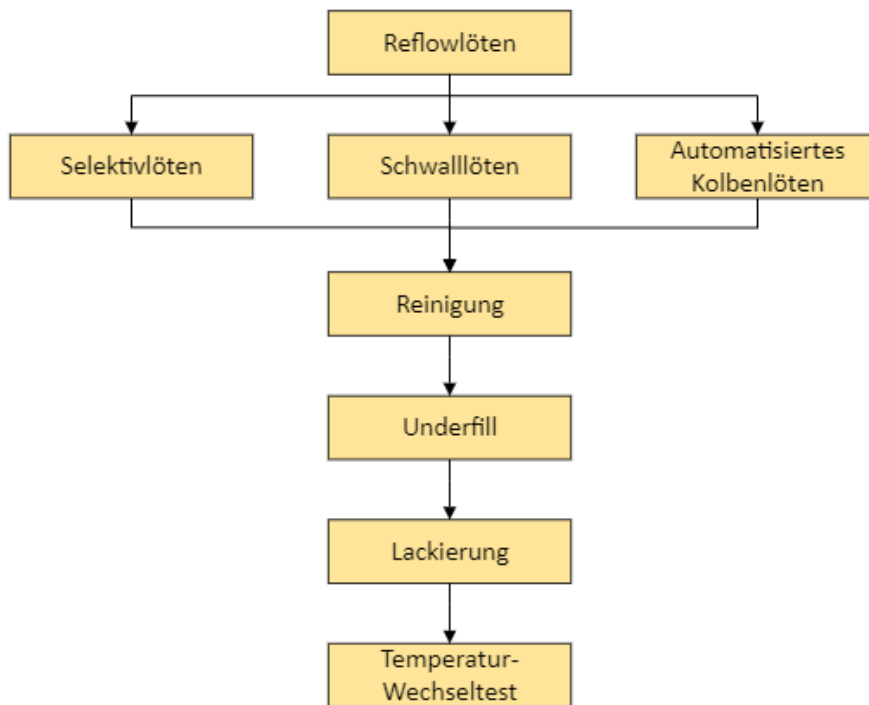


Abbildung 1: Übersicht der thermischen Prozesse in der Elektronikfertigung (Quelle: eigene Darstellung)

Der Fokus dieser Bachelorarbeit liegt auf dem Löten, und dabei insbesondere auf dem Reflowlöten. Das liegt zum einen daran, dass die thermische Belastung für die Leiterplatte und die Bauteile beim Löten am größten ist. Bei Reinigung und Lackierung ist die Leiterplatte Temperaturen bis zu 90°C und beim Underfill bis zu 160°C ausgesetzt. Beim Löten dagegen variieren die Temperaturen, je nachdem, welches Lötverfahren angewendet wird, zwischen 220°C und 300°C. Zum anderen ist das Reflowlöten der Standardlötprozess in der Elektronikfertigung. Meistens durchlaufen die Leiterplatten neben dem Reflowlöten ein weiteres der folgenden drei Lötverfahren: Selektivlöten, Schwalllöten oder automatisiertes Kolbenlöten.

Beim Reflowlöten variiert die Temperatur je nach Lötprofil zwischen 220°C und 255°C. Bei diesem Lötverfahren wird das gesamte Bauteil dieser Wärme ausgesetzt.

Beim automatisiertes Kolbenlöten sind die Temperaturen am höchsten. Jedoch wird hierbei nicht die gesamte Leiterplatte auf die Löttemperatur erwärmt, da bei Raumtemperatur punktuell durch den LötKolben gelötet wird. Durch das punktuelle Löten ist die Wärmebelastung auf die Lötstelle begrenzt und die Wärmeeinwirkung besteht nur für wenige Sekunden.

Beim Selektivlöten wird die Leiterplatte vorgewärmt, jedoch werden nur einzelne Bereiche gelötet, wodurch die Leiterplatte und Bauteile weniger durchgewärmt werden.

Beim Schwalllöten wird die Leiterplatte mit den Bauteilen vorgewärmt und läuft dann über den Lötschwall, welcher im WKC bei einer Temperatur von 260°C gehalten wird. Wie beim Selektivlöten erfolgt der Wärmeeintrag über die Pins bzw. den Anschlussdraht der Bauteile. Das Bauteil selbst ist den Temperaturen des Lotes nicht direkt ausgesetzt.

Bauteilhersteller geben meist nur eine maximale Löttemperatur und die maximale Dauer für diese Temperatur an, wie z.B. 260°C für zehn Sekunden. Durch die unterschiedlichen Lötprofile variieren die maximalen Löttemperaturen und -zeiten, sodass ein Bauteil z.B. stattdessen bei 255°C für 20 Sekunden verarbeitet wird. Ob das Bauteil dies, ohne beschädigt zu werden, aushält, ist aus der Angabe im Datenblatt nicht erkennbar. In dieser Arbeit geht es um die Frage, ob und inwieweit man diese Fragen für ausgewählte Bauteile beantworten kann und ob aus den Datenblattangaben für andere Löttemperaturen die entsprechende maximale Zeit abgeleitet werden kann.

Neben dem Reflowlöten liegt der Fokus außerdem auf „kritischen Bauteilen“. Darunter werden Bauteile verstanden, welche an oder über der oberen zulässigen Temperaturgrenze laut Datenblatt verarbeitet werden. Um diese Bauteile zu identifizieren, werden sowohl die im WKC verwendeten elektrischen Bauteile als auch die Lötbedingungen beim Reflowlöten und die dort zum Einsatz kommenden Maschinen und Stoffe analysiert. Nach der Auswahl der zu betrachtenden Bauteile soll deren Wärmebeständigkeit getestet werden. Dafür werden, unter Zugrundelegung des bereits erlangten Wissens zu den Lötbedingungen im WKC, relevante Temperaturen und für diese die maximale Zeit ermittelt, bis das Bauteil Beschädigungen aufweist. Diese Beschädigungen können z.B. optisch oder durch eine elektrische Prüfung feststellbar sein. Nach dem ein geeigneter Versuchsplan aufgestellt wurde, wird dieser durchgeführt und die Ergebnisse hinterher ausgewertet. Ziel ist neben dem Testen einiger ausgewählter Bauteile die Erarbeitung eines Leitfadens zur zukünftigen Überprüfung neuer Bauteile, welche potenziell kritisch sind. Für die Durchführung der Versuche wird nicht der Reflowofen verwendet, sondern ein Rework-System von Martin. Das Rework-System sowie die Vor- und Nachteile der Verwendung von diesem werden in einem späteren Kapitel näher erläutert.

3 Fertigungsbedingungen im WKC

Um aus der Vielzahl an Bauteilen, welche in der Elektronikfertigung im WKC verarbeitet werden, diejenigen herauszufiltern, welche an der oberen oder sogar über der oberen Temperaturgrenze verarbeitet werden, muss man die Fertigungsbedingungen bei den Lötprozessen genauer betrachten. Es gibt verschiedene Arten des Lötens, welche im WKC angewendet werden. Der Standardlötprozess in der Elektronikfertigung ist das Reflowlöten, bei dem die Leiterplatte mit Lötpaste versehen und dann mit den Bauteilen bestückt wird. Neben dem Reflowlöten gibt es noch das Wellen- oder Schwalllöten, bei dem die Leiterplatten über eine Lötwellen, auch Schwall genannt, fährt und die Bauteile auf der Unterseite gelötet werden. Das Selektivlöten ist ähnlich dem Schwalllöten, jedoch wird nicht die gesamte Leiterplatte über den Schwall gefahren, sondern der Schwall fährt festgelegte Bereiche der Leiterplatte ab. Im WKC kommt bei bestimmten Aufträgen außerdem das automatisierte Kolbenlöten zum Einsatz und zur Reparatur wird das Löten mit dem Handkolben oder der Heißluft verwendet. Neben den technischen Bedingungen im Werk werden außerdem kurz verschiedene Richtlinien, welche beachtet werden müssen, sowie die allgemeinen Grundlagen des Lötens thematisiert.

3.1 Normen und Richtlinien

Es gibt zahlreiche Normen und Richtlinien, welche man bei der Fertigung von elektronischen Baugruppen beachten muss. Die wichtigsten werden im Folgenden kurz erläutert.

3.1.1 IPC & J-STD Normen

Die IPC ist ein weltweiter Handelsverband, welcher in der Elektronikfertigung tätig ist. Sein Ziel ist die Wettbewerbsfähigkeit und den finanziellen Erfolg seiner Mitglieder zu fördern, indem er u.a. Standards für die Industrie veröffentlicht (IPC). In der IPC-A-610 ‚Abnahmekriterien für elektronische Baugruppen‘ werden elektronische Produkte in drei Klassen eingeteilt. In der ersten Klasse befinden sich allgemeine Elektronikprodukte wie z.B. Waschmaschinen oder Unterhaltungselektronik. Elektronikprodukte mit höheren Ansprüchen, weil sie z.B. im Dauerbetrieb laufen oder eine lange Nutzungsdauer vorgesehen ist, wie Industrieprodukte und Gebäudetechnik, sind in der zweiten Klasse zu finden (IPC-A-610). In der dritten Klasse ist die Hochleistungselektronik, wie z.B. Medizintechnik und Automobilsysteme, eingeordnet (IPC-A-610). Die Toleranzen für die Fertigung werden von Klasse zu Klasse strenger, da z.B. ein Ausfall von Produkten der Klasse drei gemäß IPC-A-610 nicht toleriert werden kann. Im WKC werden nur Leiterplatten der Klassen zwei und drei gefertigt.

J-STD steht für Joint Industry Standards und beinhaltet u.a. Vorgaben zu den Anforderungen der Lötpaste oder der Flussmittel (J-STD-001). Außerdem gibt es Vorgaben zu den Themen Handhabung, Verpackung, Transport und feuchtigkeitsempfindliche Bauteile.

3.1.2 Europäische RoHS-Richtlinie

„RoHS“ steht für „Restriction of Hazardous Substances“, auf Deutsch bedeutet dies so viel wie „Beschränkung der Verwendung von gefährlichen Stoffen“. Diese europäische Richtlinie trat am 1. Juli 2006 erstmals in Kraft mit dem Ziel, problematische Bestandteile aus dem Elektronikschrott zu verbannen (Voss 2023a). In der Elektrotechnik wurden bzw. werden Stoffe verwendet, welche als stark umweltgefährdend gelten, wie z.B. Blei in Lötverbindungen. Neben Blei werden im hier interessierenden Zusammenhang noch drei weitere Schwermetalle in der Richtlinie aufgeführt sowie vier Weichmacher und zwei Flammenschutzmittel, welche toxisch wirken und von der Umwelt nur schlecht abgebaut werden können (Voss 2023a). Um das Risiko für die Gesundheit und die Umwelt zu senken, sind für diese Stoffe Grenzwerte festgelegt wie z.B. für Cadmium 0,01 % des Gewichts. Für alle anderen aufgeführten Stoffe 0,1 % des Gewichts (Europäisches Parlament 08.06.2011), den alle elektrische und elektronische Geräte einhalten müssen, welche seit dem 01. Juli 2006 neu in Verkehr gebracht wurden (Stiny 2010, S. 71). Die Richtlinie gilt jedoch nicht für ortsfeste industrielle Großwerkzeuge, ortsfeste Großanlagen, Verkehrsmittel zur Personen- und Güterbeförderung oder für Ausrüstungsgegenstände für einen Einsatz im Weltraum (Europäisches Parlament 08.06.2011).

Eine Konsequenz dieser Richtlinie war der Einsatz bleifreier Lote für neue Produkte in der Elektronikfertigung. Ebenfalls davon betroffen ist die Leiterplattenbeschichtung und die Beschichtung der Bauteilanschlüsse, welche ebenfalls bleifrei ausgeführt werden müssen (Stiny 2010, S. 71). Durch die Ausnahmen, die nicht unter die RoHS-Richtlinie fallen, können bestimmte Produkte jedoch weiterhin mit bleihaltigem Lot und bleihaltiger Leiterplattenbeschichtung gefertigt werden. Dies bedeutet, dass im WKC sowohl bleihaltige als auch bleifreie Produkte gefertigt werden, je nach Anwendungsgebiet des Produktes.

Europäische Richtlinien müssen in jedem Mitgliedsstaat einzeln umgesetzt werden. Deshalb trat in Deutschland am 13. August 2005 das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) in Kraft, welches die RoHS- und die WEEE-Richtlinien umsetzt (Voss 2023a). „WEEE“ steht für „Waste Electrical and Electronic Equipment“ und befasst sich mit der ordnungsgemäßen Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten (Voss 2023b).

Zusätzlich zu den Normen und gesetzlichen Vorgaben gibt es außerdem noch werksinterne Arbeits- und Fertigungsanweisungen zu einzelnen Fertigungsschritten, welche beachtet werden müssen.

3.2 Grundlagen zum Lötprozess

Beim Löten handelt es sich um ein thermisches Verfahren, bei dem zwei Werkstoffe mit Hilfe eines geschmolzenen Lotes stoffschlüssig verbunden werden (Stiny 2010, S. 65). Im Gegensatz zum Schweißen werden die zusammenzufügenden Werkstoffe nicht aufgeschmolzen, sondern nur das Lot ist flüssig. Die formschlüssige Verbindung entsteht durch das Wandern von Teilchen des Lotes in das Kristallgitter der Werkstoffe. Aus diesen Kristallgittern wiederum bewegen sich Teilchen in die Struktur des Lotes. Diesen Prozess nennt man Diffusion (Bell und Grossmann 2012, S. 11). Auslöser für die Diffusion ist die thermische Eigenbewegung der Teilchen und das Ausgleichen von Konzentrationsgefällen einzelner Elemente, wie z.B. Zinn zwischen Werkstoff und Lot (Stiny 2010, S. 65).

Beim Löten werden neben den zu verbindenden Grundwerkstoffen noch weitere Werkstoffe benötigt, wie z.B. ein Lot und ein Flussmittel. Beim Lot handelt es sich um das Bindemittel, welches die formschlüssige Verbindung herstellt. Deshalb muss es sorgfältig ausgewählt werden, denn die Schmelztemperatur des Lotes sollte niedriger sein als die Schmelztemperatur der Grundwerkstoffe (Stiny 2010, S. 70). Ein häufig genutztes Lot in der Elektronikfertigung ist das Sn63Pb37, welches sich zu 63% aus Zinn und 37% aus Blei zusammensetzt und bei dem es sich um eine eutektische Mischung mit einem Schmelzpunkt von 183°C handelt (Stiny 2010, S. 70). Eine Eutektische Mischung hat einen Schmelz- bzw. Erstarrungspunkt, während eine nicht-eutektische Mischung einen Schmelzbereich mit einer oberen (Liquidus) und unteren (Solidus) Schmelztemperatur hat (Stiny 2010, S. 66). Während nicht-eutektische Mischungen ab der Solidustemperatur flüssig werden und mit Erreichen der Liquidustemperatur vollständig flüssig sind, schmilzt eine eutektische Mischung schlagartig beim Erreichen der Schmelztemperatur. Beim Unterschreiten der Schmelztemperatur erstarrt es ebenso schlagartig und weist dadurch gute Festigungseigenschaften auf (Stiny 2010, S. 71). Da aufgrund der RoHS-Richtlinie bestimmte Produkte bleifrei gefertigt werden müssen, gibt es neben den bleihaltigen Lotes auch bleifreie Lotes. Diese weisen einen höheren Zinnanteil auf und somit auch einen höheren Schmelzpunkt. Anstelle von Blei wird dem Zinn Silber, Kupfer und/oder Nickel beigegeben, wobei eine SnAgCu-Legierung, also eine Zinn-Silber-Kupfer-Legierung, als Standard in der Elektronikfertigung gilt (Stiny 2010, S. 75). Im WKC wird beim Schwalllöten bei bleihaltiger Fertigung das Lot Sn63Pb37 und bei bleifreier Fertigung das Lot SnAg3Cu05 verwendet. ‚SnAg3Cu05‘ steht für eine Legierung aus Zinn mit 3% Silber und 0,5% Kupferanteil. Beim Reflowlöten besteht die Besonderheit, dass hier Lötpasten verwendet werden, was in einem späteren Kapitel näher erläutert wird. Im WKC stehen hierfür eine bleihaltige und zwei bleifreie Lötpasten zu Verfügung.

Je nach Arbeitstemperatur unterteilt man in drei Temperaturbereiche: Das Weichlöten mit einer Arbeitstemperatur unter 450°C, das Hartlöten mit einer Arbeitstemperatur zwischen 450°C und 900°C und das Hochtemperaturlöten mit einer Arbeitstemperatur über 900°C (Ziemer 2018). Die Verbindungen, welche beim Hartlöten entstehen, sind aufgrund der höheren Temperaturen mechanisch belastbarer als die Verbindungen, welche beim Weichlöten entstehen. Da elektrische Bauteile jedoch empfindlich sind, wird in der Elekt-

ronikfertigung nur das Weichlöten eingesetzt, d.h. die Lote haben eine Arbeitstemperatur unter 450°C (Ziemer 2018). Als Arbeitstemperatur bezeichnet man die niedrigste Oberflächentemperatur der zu verbindenden Grundwerkstoffe, bei der eine Benetzung durch das Lot stattfindet und sich durch Grenzflächendiffusion eine flüssige Phase bildet (Stiny 2010, S. 66). Die Arbeitstemperatur ist immer höher als die Solidustemperatur und liegt etwas über oder unter der Liquidustemperatur (Stiny 2010, S. 66).

Damit eine qualitativ hochwertige Lötstelle entsteht, benötigt man neben den beiden Werkstoffen, welche verbunden werden sollen, und dem Lot noch ein Flussmittel. Dies ist nötig, da die Metalloberfläche der Leiterplatte und der Bauteile mit dem Sauerstoff aus der Umgebungsluft oxidieren. Dadurch würde die Benetzung des Lotes verhindert, d.h. das Lot kann nicht in die Oberflächenporen des Werkstücks eindringen (Stiny 2010, S. 69). Die Aufgabe des Flussmittels besteht darin, eine eventuell bestehende Oxidschicht zu entfernen und ihre Neubildung zu verhindern sowie die Oberflächenspannung des Lotes herabzusetzen, um eine gute Benetzung der Werkstoffoberfläche sicherzustellen (Stiny 2010, S. 69). Es muss abhängig von den zu lötenden Grundwerkstoffen und dem verwendeten Lötverfahren das passende Flussmittel ausgewählt werden. Eine wichtige Rolle spielt außerdem die Arbeitstemperatur des verwendeten Lotes. In der Elektrotechnik werden vorwiegend nicht korrodierende Flussmittel eingesetzt, welche nicht elektrisch leitend, nicht korrosiv und sehr mild sind und deren Rückstände nicht zwingend entfernt werden müssen (Stiny 2010, S. 69). Das Flussmittel befindet sich beim Reflowlöten in der Lötpaste mit integriert und beim Schwalllöten wird es mittels Sprühen oder als Schaum aufgebracht bevor die Leiterplatte über die Doppelwelle fährt (Bell und Grossmann 2012, S. 30).

3.3 Gegenüberstellung: THT und SMT

Die Lötverfahren Reflow- und Schwalllöten unterscheiden sich in einigen Punkten voneinander. Beim Reflowlöten erfolgt das Löten z.B. mittels Aufschmelzen der Lötpaste, welche vor der Bestückung aufgetragen wird. Das Verfahren wird deshalb auch Wiederaufschmelzlöten genannt (igusblogs 2020). Beim Schwall- oder Wellenlöten läuft die Leiterplatte in einem Rahmen über die Schwalldüsen und das flüssige Lot wird gegen die Unterseite der Leiterplatte gepumpt (Stiny 2010, S. 76).

Außerdem werden verschiedene Montageweisen angewandt. Beim Reflowlöten werden Bauteile verwendet, welche auf der Leiterplatte liegen, ohne diese zu durchdringen. Diese Bauteile nennt man auch Surface-Mounted Devices oder kurz SMD. Im Unterschied dazu wird beim Schwalllöten vor allem die Durchsteckmontage verwendet, bei der die Bauteile von oben durch die Leiterplatte gesteckt und unten gelötet werden (Bodelier 2022). Diese Montageweise nennt man auch THT (Through-Hole-Technology). Beide Verfahren haben Vor- und Nachteile, welche im Folgenden kurz erläutert werden.

Durch die Surface-Mounted-Technology, kurz SMT, ist es möglich, Bauteile auf beiden Seiten der Leiterplatten zu platzieren, dadurch können Leiterplatten kleiner und kompakter entworfen werden, sowie Gewicht eingespart werden (Mahan 2023). Ein weiterer Vorteil ist die vollautomatische Bestückung durch spezielle Bestückungsmaschinen. Dadurch können Leiterplatten deutlich schneller und effizienter gefertigt werden, vor allem bei großen Stückzahlen (Waseem 2024). Ein Nachteil ist die geringere Robustheit der Bauteile, da diese kleiner sind und die Lötverbindung weniger Lot enthält als bei THT-Lötverbindungen. Die Reparatur von SMD-Bauteile gestaltet sich ebenfalls schwieriger, da sie kleiner sind und viel dichter zusammen liegen (Waseem 2024).

Für die Through-Hole-Technology ist es notwendig, dass die Leiterplatten mit passenden Löchern versehen werden, durch die die Bauteile gesteckt werden. Die bei diesem Verfahren entstehenden Lötverbindungen halten höhere mechanische Beanspruchung aus und zeichnen sich durch eine hohe Zuverlässigkeit aus (Mahan 2023). Durch die höhere mechanische Robustheit der Lötstellen können größere Bauteile sicher auf der Leiterplatte montiert werden (Waseem 2024). Allerdings können die Bauteile bei diesem Verfahren nicht auf beiden Seiten platziert werden, da sie auf der zweiten Seite gelötet werden. Zudem sind THT-Bauteile häufig größer als gleichartige SMD-Bauteile, d.h. das Leiterplattendesign ist größer und weniger kompakt (Waseem 2024).

Neben diesen beiden Verfahren gibt es noch eine Kombination aus beiden, welche sich Through-Hole-Reflow, oder kurz THR, nennt. Dabei handelt es sich um THT-Bauteile, welche 2 bis 2,5mm lange Kontakte besitzen und in die mit Lötpaste gefüllten Leiterplattenbohrungen durch die SMD-Bestückungsmaschinen platziert werden. Danach werden sie mit den restlichen SMD-Bauteilen im Reflowofen gelötet (Suchan 2020). Aufgrund der Pins, welche durch die Leiterplatte ragen, halten diese THR-Lötverbindungen eine höhere mechanische Beanspruchung aus als die Lötverbindungen von SMD-Bauteilen, weshalb sie sich z.B. gut für Steckerverbinder eignen (Budelmann 2021).

Im WKC werden für die Fertigung von Leiterplatten beide Verfahren eingesetzt und auch THR-Bauteile kommen zum Einsatz.

3.4 Das Reflowlöten

3.4.1 SMD-Linie

Bevor eine Leiterplatte im Reflowofen gelötet werden kann, muss die Lötpaste auf die Leiterplatte aufgetragen werden. Dies geschieht im Lötpastendrucker mithilfe einer Schablone, durch die ein Rakel die Paste drückt (Bodelier 2022). Im Anschluss werden die Bauteile in Bestückungsautomaten bestückt und danach durch den Reflowofen geführt. Hier wird die Lötpaste aufgeschmolzen und anschließend wieder abgekühlt, wodurch die Bauteile auf die Pads der Leiterplatte gelötet werden. Die an der Fertigung beteiligten Maschinen stehen im WKC direkt hintereinander und bilden zusammen eine

SMD-Linie. Die Fertigung erfolgt nach dem Einstellen der einzelnen Stationen der SMD-Linie vollautomatisch. Um eine hohe Qualität der gefertigten Leiterplatten zu gewährleisten, sind zwei Inspektionsgeräte in die Linie integriert. Nachdem die Lötpaste auf die Leiterplatte gedruckt wurde, kontrolliert die Solder Paste Inspection, kurz SPI, die Höhe und Lage der Lötpaste. Wenn Abweichungen auftreten, wird die Leiterplatte gestoppt, bis ein Mitarbeiter die Fehlermeldung kontrolliert und behoben hat oder die Leiterplatte freigibt, wenn z.B. ein Pseudofehler vorliegt. Wenn eine automatische Inspektion einen Fehler erkennt, aber es liegt eigentlich kein Fehler vor, so wird dies Pseudofehler genannt. Nach dem Reflowofen durchläuft die Leiterplatte die automatische optische Inspektion, kurz AOI, welche diese auf Fehler wie z.B. Zinnbrücken und schiefe oder fehlende Bauteile kontrolliert. Die folgende Abbildung stellt den Aufbau der SMD-Linie mit den einzelnen Komponenten dar.

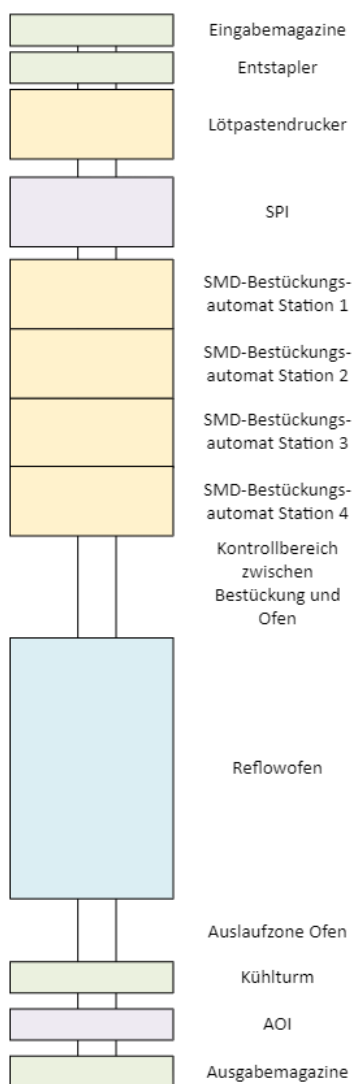


Abbildung 2: Darstellung der SMD-Linie im WKC (Quelle: eigene Darstellung)

3.4.2 Reflowofen

Im WKC wird der Reflowofen VXP+ V2 734 der Firma Rehm Thermal System GmbH verwendet, bei dem es sich um eine vollautomatische Vollkonvektions-Reflow-Anlage handelt (Rehm Thermal System GmbH 2024a, S. 54). Beim Konvektionslöten wird die Leiterplatte durch zirkulierende Heißluft erwärmt, wodurch eine Überhitzung einzelner Bauteile verhindert werden soll (Stiny 2010, S. 79–80). Dieses Verfahren ist gut für die Serienproduktion geeignet, da es bedienungsfreundlich ist und eine hohe Produktivität zulässt, jedoch benötigt es eine hohe Abluftmenge (Stiny 2010, S. 80). Neben dem Konvektionslöten gibt es noch das Infrarot-Reflowlöten, bei dem die Erwärmung mittels Infrarotstrahler erfolgt (Stiny 2010, S. 78) und das Vapor-Phase-Löten. Bei diesem Verfahren wird die Leiterplatte in den heißen Dampf einer elektrisch nichtleitenden Flüssigkeit eingetaucht und durch die Wärmeenergie des Dampfes durchwärmt (Stiny 2010, S. 82). Bei dem Reflow-Ofen VXP+ V2 734 ist es möglich unter Stickstoffatmosphäre oder unter Luftatmosphäre zu löten. Im Stickstoffbetrieb wird die Luft und somit der Sauerstoff, welcher mit den Metall- oder Löttoberfläche sowie Flussmittel oxidiert, aus der Lötanlage verdrängt. Stickstoff ist ein inertes Gas, was bedeutet, dass es keine Wechselwirkungen mit den anderen Stoffen eingeht. Dadurch kann die Oxidation verhindert werden (Bell und Grossmann 2012, S. 34).

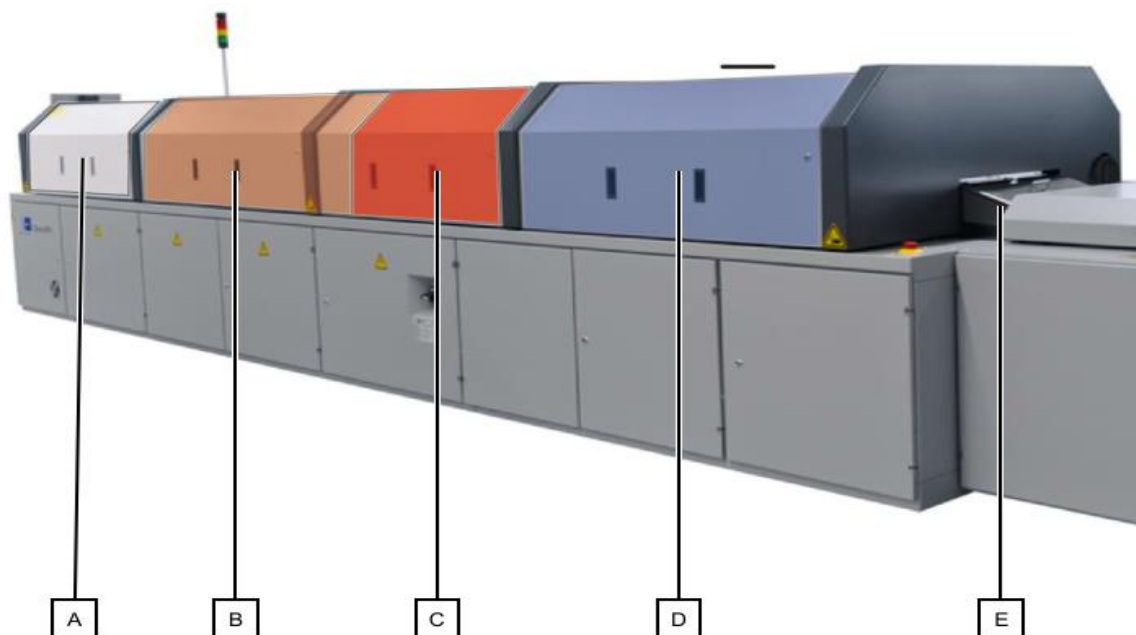


Abbildung 3: Übersicht der Zonen des Reflowofen: A = Einlaufbereich, B = Vorheizzone, C = Peakzone, D = Kühlzone, E = Auslaufbereich (Rehm Thermal System GmbH 2024a)

Der Konvektionsreflowofen besitzt drei verschiedene Temperaturbereiche: Ein Bereich für das Vorheizen, ein Bereich für das Löten, auch Peakbereich genannt, und ein Bereich für das Abkühlen, Diese Bereiche sind nochmal in verschiedene Zonen eingeteilt, welche einzeln eingestellt werden können. Der im WKC verwendete Reflowofen besitzt sieben Vorheizzone, drei Peakzone und vier Kühlzone (Rehm Thermal System GmbH

2024b). Die Vorheizzonen und die Peakzonen sind sowohl von oben als auch von unten beheizt, wodurch auch große und massenreiche Leiterplatten in der gleichen Geschwindigkeit gelötet werden können, wie kleinere Leiterplatten (Rehm Thermal System GmbH 2024a, S. 71). Das Vorheizen ist ein wichtiger Schritt, um die Komponente langsam in die Nähe der Löttemperatur zu bringen, damit sie keinen drastischen Temperaturanstieg von über 200 Kelvin von Umgebungstemperatur (ca. 25°C) zur Löttemperatur durchstehen müssen. Durch das Vorheizen, welches je nach Temperaturprofil von 60 bis 150 Sekunden dauert, werden die Komponenten langsam auf 150 bis 180°C gebracht. Dadurch ist die Differenz bis zur Schmelztemperatur der Paste und somit die thermische Belastung für das Bauteil wesentlich geringer.

Die einzelnen Zonen können für jede Leiterplatte bzw. jeden Auftrag individuell eingestellt und als Lötprofil abgespeichert werden. Die Standardlötprofile im WKC sind z.B. die Lötprofile „bleihaltig“ und „bleifrei“. Es gibt aber auch produktspezifische Lötprofile, welche nur für einzelne Produkte Anwendung finden und meistens nach dem Produkt benannt sind wie z.B. „Pluscontrol“. Je nach Größe der Leiterplatte, der zu bestückenden Bauelemente und der verwendeten Lötpaste muss der Prozesstechnologe das Lötprofil anpassen, sodass die Lötpaste richtig aufschmilzt und ein qualitativ gutes Lötgergebnis erzielt wird, die Bauteile jedoch nicht überfahren, also über der maximalen Löttemperatur verarbeitet werden. Die Dimensionen der Bauteile spielen ebenfalls eine Rolle, da zum Beispiel Kühlkörper viel Wärmeenergie aufnehmen können oder kompakte Bauteile mit viel Volumen eine gewisse Zeit brauchen, bis die Wärme an den Lötstellen ankommt, insbesondere wenn sich diese unter dem Bauteil befinden. Das heißt, die Wärme muss länger einwirken oder die Temperatur muss höher sein, damit die Lötstellen ausreichend Wärmeenergie erhalten. Andernfalls kann es passieren, dass sich die Lötstellen nicht ordentlich bilden können und kein guter elektrischer Kontakt entsteht. Um festzustellen, wie warm einzelne Bauteile auf einer Leiterplatte tatsächlich werden, kann das konkrete Temperaturprofil einer Leiterplatte aufgenommen werden, indem eine fertig bestückte und gelötete Leiterplatte mit Temperatursensoren an den relevanten Stellen bestückt wird und erneut durch den Reflowofen fährt. Im Werk wird für diese Temperaturprofilmessungen das Datapaq Reflow-Tracker-System von Fluke verwendet. Man kann bis zu sechs Temperatursensoren auf der Leiterplatte befestigen, welche den Verlauf der Temperatur aufnehmen. Mithilfe dieses Reflow-Tracker-Systems und einer Messaufnahme von Rehm Thermal System GmbH werden auch die allgemeinen Kennlinien der Lötprofile aufgenommen.

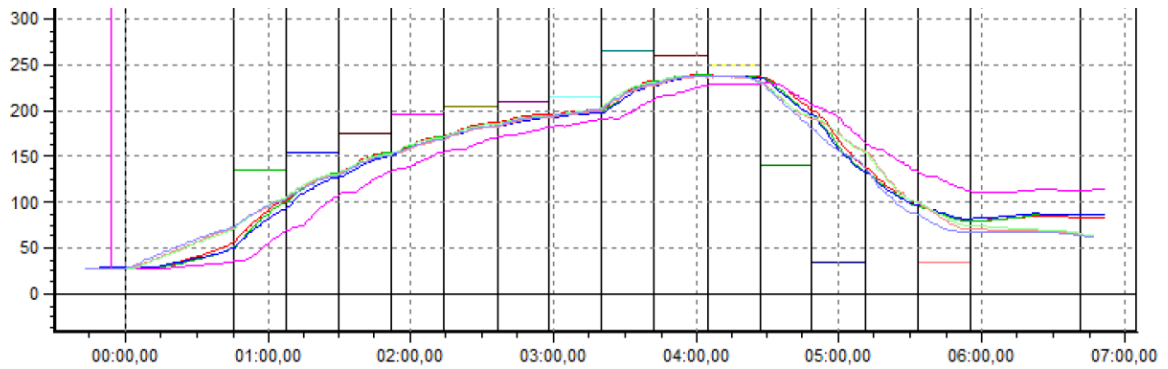


Abbildung 4: Lötprofil "bleifrei" (Quelle: Screenshot des Programm ,Datapaq Insight Reflow Tracker')

3.4.3 Lötpaste

In der SMD-Fertigung im WKC kommen drei verschiedene Lötpasten zum Einsatz. Es gibt eine bleihaltige Typ-3-Lötpaste und zwei bleifreie Lötpasten, einmal Typ 3 und einmal Typ 4. Der Unterschied zwischen der Typ-3-Lötpaste und der Typ-4-Lötpaste ist die Korngröße, welche angibt, wie groß die Kügelchen der Legierungen sind. Bei Lötpasten des Typ 3 ist die Korngröße zwischen 25 und 45 μm groß und bei Lötpasten des Typ 4 beträgt die Korngröße 20 bis 38 μm (Probst 2017). Bei kleinen Bauteilen und somit kleinen Pads auf der Leiterplatte sind die Öffnungen auf der Schablone ebenfalls kleiner, sodass mit der geringeren Korngröße der Typ-4-Lötpaste bessere Druckergebnisse erzielt werden.

Die Lötpasten haben abhängig von der Zusammensetzung des Materials unterschiedliche Schmelztemperaturen und dementsprechend unterschiedliche Verarbeitungstemperaturen. In der folgenden Tabelle werden die Lötpasten gegenübergestellt.

Lötpaste	Senju Sparkle Paste OZ AT-221CM5-42- 10 (bleihaltig, Typ 3)	Senju M31-GRN360-K-V (bleifrei, Typ 3)	Inventec Ecorel [™] Free 387-28 T4 (bleifrei, Typ 4)
Temperatur Vorheizen	135 – 165 °C	150 – 200 °C	150 – 180 °C
Zeit Vorheizen	60 – 150 sec	60 – 120	60 - 140
Schmelztemperatur	185 ± 5 °C	219 °C	217 °C
Temperatur ϑ	200°C	220°C	220°C
Zeit über ϑ (Sekunden)	30 – 120	30 – 60	45 – 100
Höchsttemperatur	235 °C	250 °C	250 °C

Zusammensetzung	Zinn: 62% Blei: 37,4% Silber: 0,4% Antimon: 0,2%	Zinn: 95,75% Silber: 3,5% Kupfer: 0,75%	Zinn: 95,5% Silber 3,8% Kupfer: 0,7%
------------------------	---	---	--

Tabelle 1: Vergleich der im WKC verwendeten Lotpasten (Quelle: Datenblätter der Lötpasten)

Die bleifreien Lötpasten haben einen höheren Schmelzpunkt als bleihaltige Lötpasten. Der Grund dafür ist der höhere Zinnanteil (Stiny 2010, S. 74). Durch den höheren Schmelzpunkt und die daraus resultierenden höheren Verarbeitungstemperaturen der bleifreien Lötpasten ist die Wärmebelastung für die Bauteile größer als bei bleihaltiger Lötpaste. Für die Ermittlung der zu untersuchenden Bauteile wird deshalb die Höchsttemperatur der bleifreien Lötpasten betrachtet. Dadurch zählen die Bauteile, welche laut Datenblatt bei einer geringeren Temperatur als 250°C gelötet werden sollen, zu den potenziell kritischen Bauteilen. Die einzelnen Schritte zur Auswahl der Bauteile werden im folgenden Kapitel erläutert.

4 Auswahl der zu untersuchenden Bauteile

Zur Auswahl der Bauteile ist es zunächst notwendig sich einen Überblick über die in der Elektronikfertigung im WKC verwendeten Bauteile zu verschaffen. Anschließend werden die relevanten Bauteile analysiert und mit ihren Verarbeitungsbedingungen in Verbindung gesetzt. Dabei werden bei den ersten Schritten sowohl die SMD-Bauteile als auch THT und THR-Bauteile betrachtet. Erst ab der Verknüpfung der Bauteile mit den tatsächlichen Verarbeitungsbedingungen liegt der Fokus nur noch auf den Bauteilen, welche im Re-flowofen gelötet werden.

4.1 Überblick der elektrischen Bauteile im WKC

Die im WKC verarbeiteten Bauteile sind sowohl im Teamcenter als auch im Programm von SAP erfasst. Das Teamcenter ist ein technisches Grunddatensystem, in welchem technische Spezifikationen der einzelnen Bauteile, wie z.B. die Kapazität bei Kondensatoren oder die Löttemperatur, erfasst werden. Man kann es auch als ‚Product Data Management‘ bzw. kurz PDM bezeichnen. Im Programm von SAP geht es um die Warenwirtschaft. Hier sind Daten u.a. zu den Bestellungen beim Lieferanten, Rechnungen und der Wareneingangsprüfung zu finden. Aus diesen Programmen kann man die benötigten Informationen zu den Bauteilen aus den Programmdatenbanken in einer neuen Datenbank ausleiten. Durch die vorherige Verbindung mit anderen Datenbanken, welche z.B. Informationen über die Hersteller und deren Kürzel beinhalten, konnte so eine Datenbank mit allen relevanten Informationen erstellt werden. Diese Arbeit mit einer Datenbank, in der alle Informationen enthalten sind, ist einfacher und schneller als die Arbeit mit vielen verschiedenen Datenbanken, die alle nur einen Teil der relevanten Informationen enthalten. Die Datenbanken wurden mittels Microsoft Access verknüpft und als Tabelle am 13.03.2024 ausgeleitet. Diese Tabelle hatte einen Umfang von 22.523 Datensätzen und wurde anschließend in Microsoft Excel überführt. In der folgenden Tabelle werden die relevanten Spalten dieser Tabelle kurz erläutert. Zur besseren Übersichtlichkeit wurden die Spalten in Zeilen transponiert.

Spalte	Erklärung
SAP-Matnr	Die Materialnummer des Bauteils
Benennung	Kurztext zum Bauteil
LOETTEMP	Löttemperatur
LOETDAUER	Lötdauer
LOETD_217C	Lötdauer über 217°C
Menge	Die Menge der seit 01.10.2022 verbrauchten Bauteile
KUERZEL	Das Kürzel des Herstellers

NAME	Der volle Namen des Herstellers
BESTBEZ	Mithilfe Bestellbezeichnung des Bauteils kann online nach dem Bauteil gesucht werden
BAUTEILKLASSE	Die Nummer der Bauteilklasse, dem das Bauteil zugeordnet ist
BTK_Bez	Die Bezeichnung der Bauteilklasse in Worten
ROHS	Information, ob das Bauteil die ROHS-Richtlinien einhält
SMD	Information, ob es sich bei dem Bauteil um ein SMD-Bauteil handelt
BAUFORM	Information, um welche Bauform es sich bei dem Bauteil handelt

Abbildung 5: Erklärung der relevanten Spalten der Datenbank "Materialstamm" (Quelle: Excel-Datei „Materialstamm“)

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über den Aufbau des im WKC verwendeten Rohmaterials.

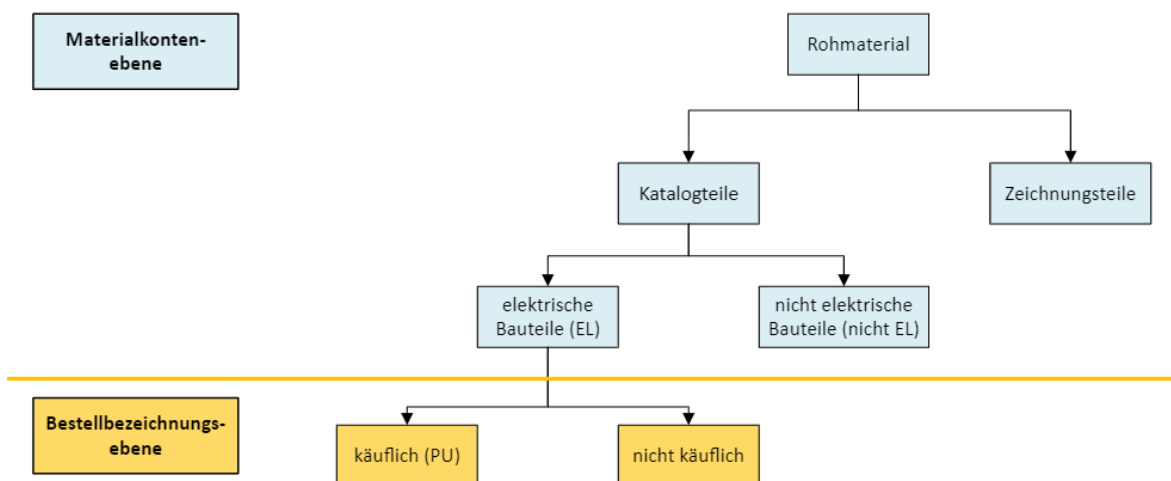


Abbildung 6: Übersichtsdarstellung der Kategorien der elektrischen Bauteile (Quelle: eigene Darstellung)

Das Rohmaterial setzt sich aus den Katalogteilen und den Zeichnungsteilen zusammen. Katalogteile werden mit den im Datenblatt ausgewiesenen Spezifikationen beim Lieferanten eingekauft. Der Hersteller erstellt bei Katalogteilen die technischen Unterlagen, wie z.B. Datenblätter. Zeichnungsteile hingegen werden auf Grundlage von technischen Zeichnungen bzw. gewünschten Spezifikationen von einer anderen Firma im Auftrag vom WKC hergestellt. Die notwendigen technischen Unterlagen dafür muss das WKC erstellen. Bei Zeichnungsteilen handelt es sich z.B. um Blechteile, welche nicht im Lötprozess der Elektronikfertigung zum Einsatz kommen. Deshalb werden sie in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet und die Informationen nicht in die Excel-Datei ausgeleitet. Das bedeutet, bei den 22.523 Datensätzen handelt es sich ausschließlich um Katalogteile.

In dem Datenauszug befinden sich nicht nur elektrische Bauteile, sondern auch mechanische, welche für diese Betrachtung nicht relevant sind. Mithilfe der Bauteilklassen kann man diese jedoch gut filtern. Die Bauteilklassen sind mit zwei Buchstaben und mehreren Ziffern gekennzeichnet. Die elektrischen Bauteile tragen alle die Bezeichnung ELxxxx, während die mechanischen Bauteile durch MMxxxx oder MExxxx gekennzeichnet sind. ‚xxxx‘ steht für die folgenden Ziffern, wobei es sich nicht immer um vier Ziffern handeln muss. Die Aufschlüsselung, was sich z.B. hinter der Bauteilkategorie ‚EL010101‘ verbirgt, lag nicht in der Datenbank vor, sondern lediglich als Aufzählung im Teamcenter. Deshalb wurde diese Aufzählung in Microsoft Access übertragen, sodass die Bauteilklassenbezeichnung ersichtlich wurde. Bei der Bauteilkategorie ‚EL010101‘ handelt es sich z.B. um Festwiderstände. Nachdem die nicht elektrischen Bauteile herausgefiltert wurden, sind noch 14.889 Materialkonten übrig.

Außerdem gibt es zwei verschiedene Ebenen, welche betrachtet werden müssen. In der Materialkontenebene werden die globalen Merkmale eines Bauteils beschrieben, wie z.B. ob es sich um ein Katalog- oder Zeichnungsteil handelt und welche elektrischen Kennwerte das Bauteil hat (Widerstandswert, Kapazität, etc.). Die Materialkonten werden durch eine SAP-Materialnummer eindeutig voneinander unterschieden. In einem Materialkonto können sich mehrere zugelassene Bauteile von verschiedenen Hersteller befinden. Jedes dieser Bauteile hat eine andere Bestellbezeichnung, weshalb auch von den ‚Orderdaten‘ bzw. der Bestellbezeichnungsebene gesprochen wird. In dieser Ebene werden Merkmale gespeichert, welche nur für das Bauteil des entsprechenden Herstellers relevant sind, jedoch nicht für alle Bauteile in dem Materialkonto. Hierzu zählen z.B. Informationen, ob das Bauteil käuflich oder aktuell nicht lieferbar ist oder Informationen zu den technischen Verarbeitungsbedingungen wie z.B. die max. Löttemperatur. In dem Datenauszug wurden nur Daten ausgeleitet, welche den Vermerk ‚PU‘ (purchasable) tragen und somit käuflich sind. Die 22.523 Bestelldatensätze entsprechen 18.224 Materialkonten.

Ein weiterer Schritt, um eine Übersicht über die relevanten Bauteile zu bekommen, ist die Mengenangabe. Diese gibt an, wie viele Bauteile seit dem 01.10.2022 von der jeweiligen Materialnummer verbraucht wurden. Es gibt Datensätze, welche bei ‚Menge‘ keine Angaben enthalten, d.h. sie wurden seit dem 01.10.2022 nicht mehr im WKC verarbeitet. Die Mengenangabe bezieht sich auf die Materialkonten, d.h. es ist aus dieser Datengrundlage nicht ersichtlich wie viel von den Bauteilen der einzelnen Hersteller verbraucht wurden. Die Datensätze, welche keine Mengenangaben enthalten, können ebenfalls herausgefiltert werden, wodurch die Materialkonten auf 9.811 reduziert wurden. In diesem Materialkonten befinden sich insgesamt 12.995 Bauteile auf Bestellbezeichnungsebene.

4.2 Analyse der Bauteile

In diesen Datensätzen befinden sich noch einige Bauteile, welche nicht gelötet, sondern durch Einpressen oder Schrauben befestigt werden. Diese Bauteile sind für die Untersuchungen im Rahmen der Bachelorarbeit ebenfalls nicht relevant, jedoch lassen sie sich

nicht ohne weiteres herausfiltern. Durch die Verbindung der verschiedenen Datenbanken gibt es eine Spalte ‚SMD‘, in welcher SMD-Bauteile mit ‚yes‘ gekennzeichnet sind. Für THT- oder THR-Bauteile gibt es eine solche Spalte nicht. Ein Indiz für das Filtern ist die Bauform. Bei ‚SMD‘ und ‚THT‘ ist es eindeutig. Bei anderen Bauformen, wie z.B. ‚RAD‘, handelt es sich hauptsächlich um THT-Bauteile. Es gibt jedoch auch Ausnahmen, wie z.B. THR-Bauteile, welche in der SMD-Linie gefertigt werden. ‚RAD‘ steht dabei für ‚radial‘ und beschreibt stehende, zylinderförmige Bauteile. Um die Bauteilarten THT und THR ebenfalls ersichtlich zu machen, wurde neben den Spalten ‚SMD‘ und ‚Bauform‘ noch die Spalten ‚THT/THR‘ und ‚VT‘ angelegt. ‚VT‘ steht dabei für Verarbeitungstechnologie. Diese Spalte enthält die Information ‚REF‘, wenn das Bauteil im Reflowofen verarbeitet wird, oder ‚SCHWALL‘, wenn es geschwallt wird. Danach wurden die Bauteile einzeln betrachtet und die Informationen in den neuen Spalten ergänzt. Die Information, ob es sich um ein SMD-, THT- oder THR-Bauteil handelt, kann häufig der Spalte ‚Benennung‘ entnommen werden. In dieser Spalte werden verschiedene Informationen zusammengetragen. Sie enthält z.B. folgendes: „STECK_LSTE_MALE_50P_GEW_THT-REF“ oder „STECK_RCK_MALE_16P_GER _THT-SCHWALL_“. ‚THT-REF‘ steht für THT-Bauteile, welche in der SMD-Linie bestückt und im Reflowofen gelötet werden, d.h. es handelt sich um THR-Bauteile. ‚THT-SCHWALL‘ sind THT-Bauteile, welche geschwallt werden. Der Suchbefehl von Excel erleichtert das Suchen nach den passenden Schlagworten. Wenn die Schlagworte ‚THT-REF‘, ‚THT-SCHWALL‘ oder ‚SMD‘ nicht in der Benennung enthalten sind, hilft ein Blick in das Datenblatt des jeweiligen Bauteiles. Nachdem die Bauteile entsprechend gekennzeichnet und gefiltert wurden, gibt es 8.345 Bauteile, welche das Reflowlöten durchlaufen und 1.383 Bauteile, welche geschwallt werden.

Um diese 9.728 Datensätze übersichtlicher dazustellen, wird die Funktion ‚PivotTable‘ von Excel verwendet. Diese Tabelle wird in einem neuen Datenblatt in der Excel-Datei geöffnet und basiert auf den Daten der zuvor ausgewählten Tabelle, hier Arbeitstabelle genannt. Wenn Daten in der Arbeitstabelle geändert werden, muss man die PivotTable aktualisieren, damit die Änderungen hier sichtbar werden. Bei der Erstellung der PivotTable liegt der Fokus auf den relevanten Informationen wie z.B. der Löttemperatur. Per ‚Drag&Drop‘ können die gewünschten Spalten in einen Bereich gezogen und abgelegt werden. Es gibt vier Bereiche: Filter, Spalten, Zeilen und Werte. Durch das ‚Drag&Drop‘ lässt sich eine PivotTable leicht erstellen und man sieht auf dem Arbeitsblatt gleich, was sich ändert, sobald man ein Feld in einem Bereich hinzufügt oder löscht.

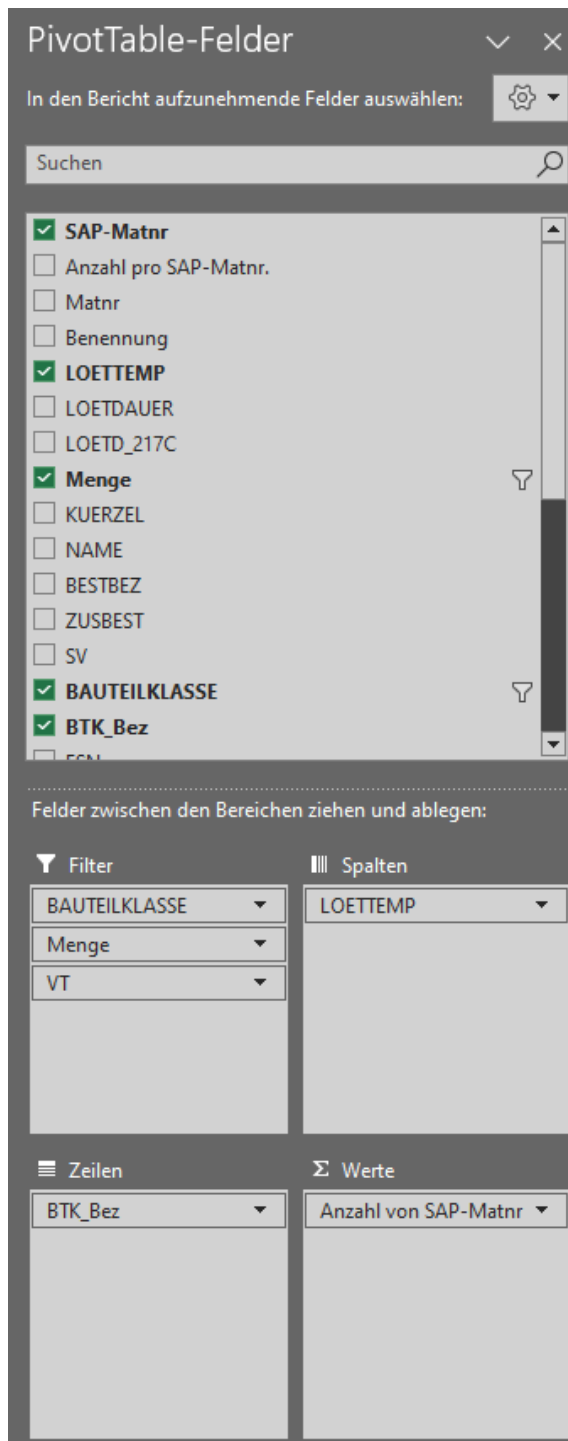


Abbildung 7: PivotTable-Felder zur Erstellung einer PivotTable auf Grundlage der Arbeitstabelle (Quelle: Screenshot der Stammdaten-Excel-Datei)

Für eine erste Übersicht der relevanten 9.728 Bauteile soll die Anzahl der SAP-Materialnummer pro Bauteilklasse und Löttemperatur dargestellt werden. Wenn man die entsprechenden Felder in die Bereiche zieht, wie im Screenshot zu sehen ist, erhält man folgende Darstellung:

5	Anzahl von SAP-Matnr	LOETTEMP															
6	BTK_Bez	0	20	26	206	210	220	230	232	235	240	245	250	254	255	260	
7	Festwiderstand	13		1	2		1						5		16	3461	
8	Kondensator	10		1				1		3	10	26	80		3	1733	
9	Verbinder auf PCB	21						6		5	17	15	20	1	41	458	
10	Zubehör für Verbindungstechnik	99														1	
11	IC Logikschaltung	2					1						6			416	
12	Zener-/Referenz-/Suppressor-Dioden	2										2	2		1	393	
13	Modul und Gerät	125										1				1	
14	IC Spannungsregler	1										16	4		2	376	
15	Diode/Array	1						1				5	5			310	
16	Klemme	63														3	32
17	Reaktor/Verzögerungsleitung	5				1			1			30	50		3	192	

Abbildung 8: Ausschnitt aus der PivotTable auf Grundlage der Arbeitstabelle (Quelle: Screenshot der Stammdaten-Excel-Datei)

Dies ist nur ein Ausschnitt der Tabelle. Die Tabelle enthält noch mehr Zeilen mit weiteren Bauteilklassen und noch weitere Spalten mit Löttemperaturen. Zur besseren Lesbarkeit wurde nur dieser kleine Ausschnitt gewählt. In der letzten Zeile und in der letzten Spalte wird jeweils das ‚Gesamtergebnis‘ angegeben, also die Summe der Werte aus der jeweiligen Spalte bzw. Zeile.

In der obersten Zeile der PivotTable stehen die verschiedenen Löttemperaturen und auffällig sind die Temperaturen von ‚20‘ oder ‚26‘ °C. Diese Temperaturen sind zum Löten deutlich zu kalt. Bei diesen Werten kann es sich nur um Datenfehler handeln, indem z.B. eine ‚0‘ vergessen wurde beim Eintragen der Daten oder Zahlen verdreht wurden, wie z.B. bei der Temperatur von ‚206‘ °C. Diese Daten werden mithilfe von Datenblättern der entsprechenden Bauteile überprüft und ggf. korrigiert. Nach der Korrektur der Daten ist die niedrigste Löttemperatur 220°C und 91,2% der 9.728 Bauteile weisen eine maximale Löttemperatur von 260°C auf.

Aufgrund der Analyse der Lötpaste im Kapitel 3.4.3 ist bekannt, dass bei beiden bleifreien Lötpasten eine Höchsttemperatur von 250°C laut Datenblatt empfohlen wird. Das bedeutet, dass Reflow-Bauteile, welche eine geringere Löttemperatur laut Datenblatt aufweisen, zu den potenziell kritischen Bauteilen gehören. ‚Potenziell kritisch‘ deshalb, weil es auf die konkreten Verarbeitungsbedingungen, d.h. die Maximaltemperatur im verwendeten Lötprofil, ankommt, ob das Bauteil oberhalb seiner Temperaturgrenze verarbeitet wird. Filtert man die PivotTable entsprechend (VT = REF und Löttemperatur < 250°C), so bleibt die folgende Tabelle übrig.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	BAUTEILKLASSE	(Mehrere Elemente)						
2	Menge	(Mehrere Elemente)				F		
3	VT	REF						
4								
5	Anzahl von SAP-Matnr	LOETTEMP						
6	BTK_Bez		230	235	240	245	Gesamtergebnis	
7	Kondensator			2	12	23	37	
8	Reaktor/Verzögerungsleitung					27	27	
9	Verbinder auf PCB		1		4	11	16	
10	IC Spannungsregler					13	13	
11	IC programmierbare Logik					7	7	
12	IC Lamp/Relay Driver					6	6	
13	(Netzwerk-)Transformator					6	6	
14	IC ASIC					4	4	
15	Netzwerkkomponenten					4	4	
16	D/A-Konverter				4		4	
17	Diode/Array					3	3	
18	Lastrelais					3	3	
19	Interface				1	1	2	
20	Feldeffekt-Transistor				1	1	2	
21	Steuerschalter/Kontrollgerät					2	2	
22	Zener-/Referenz-/Suppressor-Dioden					2	2	
23	IC Memory					2	2	
24	IC-Regler/-Prozessor/-Peripherie					2	2	
25	Impulsträger					2	2	
26	Thyristor					1	1	
27	Ferritkern					1	1	
28	Netzteil/Gleichrichter/Inverter					1	1	
29	Filter					1	1	
30	Quartz/Quarzoszillator					1	1	
31	Modul und Gerät					1	1	
32	Gesamtergebnis		1	2	22	125	150	

Abbildung 9: Ausschnitt aus der PivotTable mit den gefilterten potenziell kritischen Bauteilen (Quelle: Screenshot der Stammdaten-Excel-Datei)

Der nächste Schritt ist das Verbinden der 150 potenziell kritischen Bauteilen mit den tatsächlichen Verarbeitungsbedingungen.

4.3 Verknüpfung der Bauteile mit den jeweiligen Verarbeitungsbedingungen

Die tatsächlichen Verarbeitungsbedingungen sind nicht an die Bauteile gebunden, sondern an die sogenannte ‚Oberstufe‘. Dieser Begriff steht für die Leiterplatte, auf der das Bauteil verwendet wird. Ein Bauteil kann in nur einer Oberstufe verarbeitet werden oder in mehreren. Dadurch kann es vorkommen, dass ein Bauteil bei verschiedenen Lötprogrammen gelötet wird, wenn zum Beispiel Oberstufe A mit dem Lötprogramm ‚bleifrei‘ und die Oberstufe B mit dem Lötprogramm ‚Pluscontrol‘ gefertigt wird. Das bedeutet, der erste Schritt ist die Verbindung der potenziell kritischen Bauteile mit den entsprechenden Oberstufen, in welchen sie verwendet werden. Mithilfe der SAP-Nummern kann im Programm SAP eine Abfrage erstellt werden, auf welchen Oberstufen dieses Bauteil verwendet wird. Die daraus resultierende Tabelle mit 742 Datensätzen wurde als Excel-Datei ausgeleitet. Die Tabelle enthält Informationen wie z.B. die Materialnummer und den Materialkurztext der Oberstufe sowie die Materialnummer und den Materialkurztext des Bauteils. In der Spalte „gültig ab“ steht ein Datum, wann die Informationen das letzte Mal aktualisiert wur-

den. Es kommt vor, dass für eine Oberstufe und ein Bauteil mehrere Einträge existieren, jedoch nur der aktuelle ist von Bedeutung. Die veralteten Einträge wurden gelöscht, damit die Datensätze übersichtlicher werden. Eine andere Möglichkeit für einen doppelten Eintrag von Oberstufe und Bauteil ist, dass das Bauteil mehr als einmal auf der Leiterplatte verwendet wird. Dies erkennt man daran, dass die „Positionsnummern“ unterschiedlich sind.

Im nächsten Schritt werden die Oberstufen mit den Lötprogrammen verknüpft. Dafür wurden die entsprechenden Schablonennummern aus einer Datenbank ausgeleitet. Die Schablonennummer identifiziert die entsprechende Schablone für den Lötpastendruker und das Programm im Ofen wird ebenso benannt. Die Nummer besteht aus einem ‚F‘ gefolgt von zwei zweistelligen Zahlen, welche mit einem Bindestrich verbunden sind, z.B. F75-04. Unter dieser Nummer ist im Lötoven das entsprechende Lötprogramm und weitere Parameter wie z.B. die Bandbreite hinterlegt. Mit den entsprechenden Schablonennummern konnten die verwendeten Lötprogramme am Lötoven ermittelt und in der neuen Spalte „Lötprogramm“ ergänzt werden. Als nächstes wurden vom zuständigen Fertigungstechnologen die Temperaturverläufe der einzelnen Lötprogramme erfragt. Leider liegen diese nicht zu allen Lötprogrammen vor. Die Oberstufen, welche mit so einem Lötprogramm verarbeitet werden, wurden dunkelgrün in der Excel-Datei hinterlegt, sodass diese schnell erkennbar sind. Vereinzelt gibt es Oberstufen, deren Schablonennummern doppelt und mit verschiedenen Lötprogrammen im Ofen vorhanden waren. Diese Oberstufen wurden in der Excel-Datei ausgegraut und werden in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet. Oberstufen, denen keine Schablonennummer und somit kein Lötprogramm zugeordnet werden konnte, wurden ebenfalls ausgegraut und nicht weiter betrachtet.

Als Nächstes wurde die Maximaltemperatur der vorhandenen Temperaturverläufe der Lötprofile mit der Maximaltemperatur der Bauteile verglichen. Wenn die Maximaltemperatur des Bauteils höher als die des Lötprofils ist, so wurde dieser Datensatz dunkelblau hinterlegt. Dies bedeutet, dass das Bauteil nicht über seiner Temperaturgrenze verarbeitet wird und somit nicht als kritisches Bauteil zu betrachten ist. Dies ist z.B. bei allen Oberstufen der Fall, welche mit dem Lötprofil ‚bleihaltig‘ verarbeitet werden. Die Maximaltemperatur bei diesem Lötprofil beträgt 220°C und alle Bauteile haben eine Maximaltemperatur von mindestens 230°C. Nachdem alle unkritischen Bauteile markiert wurden, sind ca. 30 Reflow-Bauteile übriggeblieben. Im nächsten Schritt wurden diese Bauteile abgeglichen mit der Excel-Datei ‚Materialstamm‘, um diejenigen herauszufinden, welche von zwei oder mehr verschiedenen Herstellern freigegeben sind. Das Problem bei diesen Bauteilen besteht darin, dass die Bauteile von Hersteller A laut Datenblatt eine andere Maximaltemperatur haben als das gleiche Bauteil von Hersteller B. Dadurch ist z. B. das Bauteil von Hersteller A unkritisch, aber das Bauteil von Hersteller B wird überfahren. Für diese Arbeit werden die Bauteile mit zwei oder mehr Herstellern jedoch nicht beachtet. Für die restlichen Bauteile wurde mithilfe des Programms ‚Suchfenster‘ der Lagerbestand geprüft. Nach Eingabe der Materialnummer erhält man die Information, wie viele Bauteile im WKC-Lager vorhanden sind und wer der verantwortliche Disponent ist.

Mit dem Disponenten wurde abgesprochen welche Stückzahl für Testzwecke entnommen werden darf. Dadurch wurde verhindert, dass die Anfertigung der Bachelorarbeit die Produktion beeinflusst, z.B. weil die Menge im Lager genau für den nächsten Auftrag abgestimmt ist.

Neben der Anzahl der Bauteile im Lager muss auch die Dimension der Bauteile beachtet werden. Bauteile, welche eine gewisse Höhe aufweisen wie z.B. die Kondensatoren, können nicht in dem Rework-System getestet werden. Diese Problematik wird im folgenden Kapitel näher betrachtet.

Die Auswahl fiel am Ende auf eine Steckerleiste der Firma Molex und einen Impulsübertrager der Firma TDK. Beide Bauteile erfüllten die Bedingung, dass sie laut den Angaben im Datenblatt überfahren wurden und sie waren ausreichend im Lager vorhanden. Die Steckerleiste hat den großen Vorteil, dass man die Zerstörung mit bloßem Auge bzw. unter dem Mikroskop sieht und keine elektrische Prüfung notwendig ist. Der Impulsübertrager wurde in der Vergangenheit im WKC während der Produktion so beschädigt, dass die Funktion des Bauteils bzw. des Produkts in der Prüfung nicht mehr gegeben war. Eine Ursache war die Verarbeitung außerhalb der Herstellervorgaben, die nicht eingehalten werden können, ohne die Qualität der Lötverbindungen an anderen Bauteilen des Produktes zu gefährden. Die Datenblätter der ausgewählten Bauteile befinden sich im Anhang Teil 1. Das Datenblatt der Steckerleiste beginnt auf Seite A-II und das Datenblatt des Übertrages auf der Seite A-XIX. Die folgende Abbildung zeigen die beiden ausgewählten Bauteile von verschiedenen Seiten.

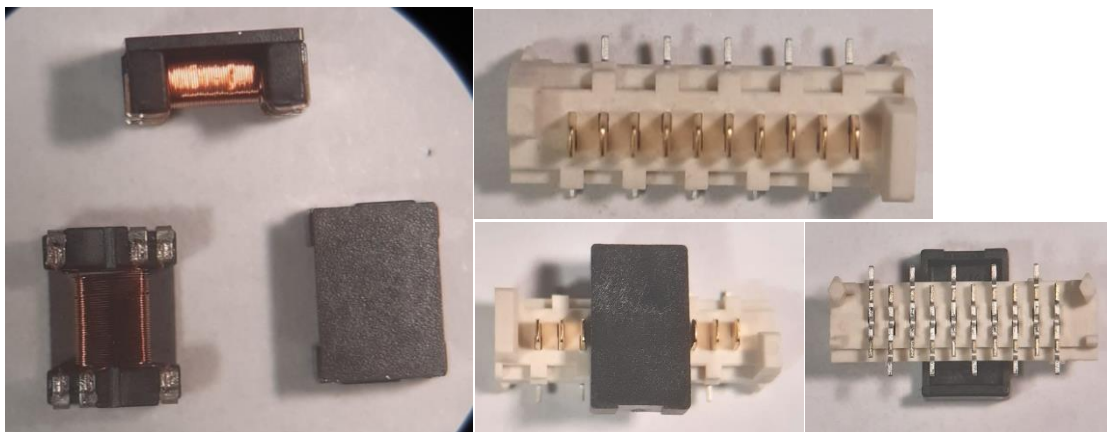


Abbildung 10: Fotografie der ausgewählten Bauteile, links: Übertrager, rechts: Steckerleiste (Quelle: eigene Fotografie)

Der Übertrager ist oben von der Seite, unten links von unten und rechts von oben zu sehen. Die Steckerleiste ist im oberen Bild von oben ohne Bestückungshilfe zu sehen. Unten links ist sie mit der Bestückungshilfe und rechts von unten zu sehen.

5 Versuchsplanung

In den Versuchen sollen zwei wichtige Faktoren getestet werden: Temperatur und Zeit. Die faktorielle Versuchsplanung mit zwei Faktoren findet in diesem Fall keine Anwendung, da ein Grenzwert und kein Optimum gesucht wird. Stattdessen wird sich der Erstellung eines Versuchsplanes schrittweise genähert. Zuerst müssen die Temperaturen festgelegt werden, welche getestet werden sollen. Danach muss ein Konzept erstellt werden, mit dem die Zeit zu der jeweiligen Temperatur effizient ermittelt werden kann. Außerdem gibt es ein paar weitere Kriterien zu beachten, um die Zufallsstreuung zu vermeiden. Die allgemeinen Versuchsbedingungen sowie die Auswahl des passenden Testsystems werden ebenfalls näher betrachtet. Zum Schluss werden die Möglichkeiten der Prüfung und die verwendeten Messmittel aufgezeigt.

5.1 Festlegung der Temperaturen

Neben der Maximaltemperatur aus dem Datenblatt bieten sich die folgenden Temperaturen zum Testen an:

- -10 Kelvin der Maximaltemperatur laut Datenblattangabe
- +10 Kelvin der Maximaltemperatur laut Datenblattangabe
- +20 Kelvin der Maximaltemperatur laut Datenblattangabe
- Maximaltemperatur des Lötprofil, welches bei der Leiterplatte verwendet wird
- Maximaltemperatur des wärmsten Lötprofiles.

Die Überprüfung einer kühleren Temperatur als der Maximaltemperatur laut Datenblatt soll zeigen, ob die Zeit bei einer niedrigeren Temperatur verlängert werden kann. Zusätzlich wird das Bauteil bei zwei Temperaturen höher als die Maximaltemperatur im Datenblatt getestet, um zu sehen, wie eine höhere Temperatur die maximale Zeit beeinflusst. Es werden außerdem die Maximaltemperaturen von zwei Lötprofilen getestet. Einmal das tatsächlich verwendete Lötprofil und einmal das wärmste Lötprofil. Das wärmste Lötprofil wird getestet, da es vorkommen kann, dass sich das Lötprofil ändert. Ein anderer Grund ist, dass das Bauteil auch auf einer anderen Leiterplatte, welche mit einem anderen Lötprofil verarbeitet wird, zum Einsatz kommt. Wenn das Bauteil bei der Maximaltemperatur des wärmsten Lötprofiles keine Beschädigungen aufweist, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass bei der Verarbeitung, gleichgültig mit welchem Lötprogramm, keine Fehler auftreten. Die konkret zu testenden Temperaturen variieren je nach Bauteil und können mithilfe des Datenblattes ermittelt werden.

Das aktuell wärmste Lötprofil, welches im WKC zum Einsatz kommt, hat eine Maximaltemperatur von 255°C. Die Steckerleiste und der Impulsübertrager werden mit verschie-

denen Lötprogrammen verarbeitet, beide weisen jedoch eine Maximaltemperatur von 240°C auf. Die Profile unterscheiden sich in der Zeit oberhalb von 230°C. Der Impulsübertrager soll laut Datenblatt für zehn bis maximal 30 Sekunden mit Temperaturen über 230°C verarbeitet werden. Diese Bedingung wird beim Lötprogramm „bleifrei“, mit welchem die Steckerleiste verarbeitet wird, nicht erfüllt. Die Zeit der sechs Messfühler über 230°C beträgt im Durchschnitt 47 Sekunden. Bei dem Lötprogramm des Impulsübertrages beträgt die Zeit über 230°C im Schnitt 23 Sekunden und erfüllt die Bedingungen des Datenblattes somit. Dies bedeutet, dass beide Bauteile sowohl bei 255°C als auch bei 240°C getestet werden. Die weiteren Temperaturen sind vom Bauteil abhängig.

Die Steckerleiste kann laut Datenblatt bei 230°C für fünf Sekunden verarbeitet werden und darf nur einmal durch den Reflowofen laufen. Auf die Frage nach weiteren Informationen zur Steckerleiste beim Hersteller Molex ergab sich, dass diese Angaben jedoch nicht korrekt sind. Die Angaben aus dem Datenblatt sind für die Steckerleiste mit langen Polarisierungswänden, auch „standard profile“ genannt. Die im WKC verarbeitete Variante der Steckerleiste besitzt kurze Polarisierungswände und somit ein „low profile“. Diese Variante kann bei 260°C für 40 Sekunden verarbeitet werden. Dadurch zählt das Bauteil nicht mehr zu den kritischen Bauteilen. Es wird dennoch im Rahmen dieser Arbeit getestet, denn im Vergleich zum Impulsübertrager ist dieses Bauteil weniger kompakt vom Design und Änderungen bzw. Anzeichen von Beschädigungen können durch eine optische Prüfung schnell erkannt werden. Die alternativen kritischen Bauteile sind ähnlich dem Impulsübertrager kompakter und Anzeichen von Beschädigungen im Inneren des Bauteils lassen sich nicht gut erkennen. Das bedeutet, die Steckerleiste wird neben den Temperaturen 255°C und 240°C noch bei 260°C (Datenblattangabe), 250°C (-10 Kelvin), 270°C (+10 Kelvin) und 280°C (+20 Kelvin) getestet. Die Differenz zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur beträgt 40 Kelvin.

Der Impulsübertrager darf laut Datenblatt mit maximal 245°C für fünf Sekunden verarbeitet werden. Das bedeutet, es kommen zu den Testtemperaturen 255°C und 240°C von den Lötprofilen noch die Temperaturen 245°C (Datenblattangabe), 235°C (-10 Kelvin), 255°C (+10 Kelvin) und 265°C (+20 Kelvin) hinzu. Die Temperatur 255°C muss nicht doppelt geprüft werden, stattdessen wird der Impulsübertrager zusätzlich bei 275°C geprüft, um auf sechs verschiedenen Temperaturen zu kommen. Außerdem wird dadurch ebenfalls eine Differenz von 40 Kelvin zwischen der höchsten und der niedrigsten Temperatur erreicht.

Neben der Maximaltemperatur spielt außerdem die Vorheizung eine Rolle. Diese soll bei allen Versuchen gleich sein, damit verschiedene Vorheiztemperaturen und -zeiten das Ergebnis nicht verfälschen. Orientiert wird sich hierfür an den Lötprofilen, welche bei den Bauteilen zum Einsatz kommen. Diese haben einen eher linearen Anstieg, welcher mit dem Rework-System in der gleichen Zeit nicht abgebildet werden kann, deshalb gibt es zwei sogenannte „Soak“-Zonen, in denen das Bauteil auf einer bestimmten Temperatur gehalten wird, damit es durchwärmen kann. Die erste „Soak“-Zone befindet sich bei 150°C und die zweite bei 180°C. Mithilfe der Lötprofile wurden die Zeiten ermittelt, wann

die Bauteile ungefähr die entsprechende Temperatur erreichen, und dementsprechend wurden die Anstiegsrampen und die Verweildauer in den „Soak“-Zonen eingestellt. In der folgenden Tabelle sind die Zeiten für das Erreichen der Temperatur in den beiden Lötprofilen mit den eingestellten Soak-Zeiten des Rework-Systems gegenübergestellt. Die Zeit, ab der die Peak-Temperatur im Rework-System erreicht wird, variiert, je nachdem, welche Temperatur erreicht werden soll. 235°C werden schneller erreicht als 280°C, da die Anstiegsrampe bei allen Temperaturprofilen 2,0 Kelvin pro Sekunde beträgt.

Temperatur	Zeit Lötprofil Steckerleiste [s]	Zeit Lötprofil Übertrager [s]	Zeit Rework-System [s]
150°C	100	120	78-138
180°C	160	180	155 - 205
Peak	240 - 265	245	Ab 235

Tabelle 2: Übersicht der verschiedenen Vorheiztemperatur und -zeiten (Quelle: Lötprofil ‚bleifrei‘ und ‚gedreht S120‘)

5.2 Versuchskonzept zur Ermittlung der Zeit

Bei den Versuchen soll die maximale Zeit für die jeweilige Temperatur ermittelt werden, bis das Bauteil Anzeichen von Beschädigungen aufweist. Um zu verhindern, dass die Versuche zeitlich ausufernd werden, wird ein Bauteil maximal 100 Sekunden lang bei der Maximaltemperatur getestet. Diese Zeit ergibt sich aus dem Datenblatt der bleifreien Typ-4-Lotpaste, welche maximal 100 Sekunden über der Liquidustemperatur von 220°C verarbeitet werden darf. Die maximale Zeit soll auf fünf Sekunden genau ermittelt werden. Während das Bauteil im Rework-System der Wärme ausgesetzt wird, kann es nicht beobachtet werden. Das heißt, man muss das Bauteil der Temperatur eine gewisse Zeit lang aussetzen und es danach kontrollieren, ob es Anzeichen von Beschädigungen aufweist. Wenn dem so ist, muss beim nächsten Versuch die Zeit reduziert werden. Wenn das Bauteil keine Beschädigungen aufweist, kann die Zeit erhöht werden. Allerdings kann ein Bauteil nur einmal verwendet werden, selbst wenn es nach dem ersten Versuch keine Anzeichen von Beschädigung aufweist. Dies liegt daran, dass das Bauteil durch den ersten Versuch bereits thermisch vorbelastet sein kann, wodurch es bei einem erneuten Versuch früher ausfallen würde als ein unbelastetes Bauteil.

Es wurde ein Konzept entworfen, um sich an die Zeit heranzutasten, ab der die Bauteile die ersten Anzeichen von Beschädigung aufweisen. Ziel des in der folgenden Abbildung zu sehenden Konzeptes ist die Reduzierung der benötigten Bauteile und Versuche pro Temperatur.

2	Versuch Nr.	Temperatur [°C]	Zeit [Sekunden]	Anmerkungen	
3	A	A	60	Testversuch A/60	positiv = Bauteil zeigt Anzeichen von Beschädigung
4	A.1	A	30	TV A/30, wenn A/60 positiv	negativ = Bauteil zeigt keine Anzeichen von Beschädigung
5	A.1.1	A	10	TV A/10, wenn A/30 positiv	
6	A.1.1.1	A	5	TV A/5, wenn A/10 positiv	
7	A.1.1.2	A	20	TV A/20, wenn A/10 negativ	
8	A.1.1.2.1	A	15	TV A/15, wenn A/20 positiv	
9	A.1.1.2.2	A	25	TV A/25, wenn A/20 negativ	
10	A.1.2	A	40	TV A/40, wenn A/30 negativ	
11	A.1.2.1	A	35	TV A/35, wenn A/40 positiv	
12	A.1.2.2	A	50	TV A/50, wenn A/60 negativ	
13	A.1.2.2.1	A	45	TV A/45, wenn A/50 positiv	
14	A.1.2.2.2	A	55	TV A/55, wenn A/50 negativ	
15	A.2	A	100	TV A/100, wenn A/60 negativ	
16	A.2.1	A	80	TV A/80, wenn A/100 positiv	
17	A.2.1.1	A	70	TV A/70, wenn A/80 positiv	
18	A.2.1.1.1	A	65	TV A/65, wenn A/70 positiv	
19	A.2.1.1.2	A	75	TV A/65, wenn A/70 negativ	
20	A.2.1.2	A	90	TV A/90, wenn A/80 negativ	
21	A.2.1.2.1	A	85	TV A/85, wenn A/90 positiv	
22	A.2.1.2.2	A	95	TV A/95, wenn A/90 negativ	
23					
24					
25	Gesamt:	20 Versuche			
26	längster Pfad:	5 Versuche (15, 25, 45, 55, 65, 75, 85, 95)			

Abbildung 11: Versuchskonzept für die Ermittlung der Zeit, bei der die ersten Anzeichen einer Beschädigung auftreten (Quelle: Screenshot des Excel-Datei 'Versuchsplan')

Der Vorteil des Konzeptes gegenüber dem Prüfen der Zeiten aller fünf Sekunden beginnend bei fünf Sekunden bis zu 100 Sekunden, ist die Tatsache, dass maximal fünf Versuche benötigt werden, um die gesuchte Zeit zu ermitteln. Dies wird erreicht, in dem nicht bei fünf Sekunden, sondern bei 60 Sekunden angefangen wird und sich dann der gesuchten Temperatur angenähert wird, je nachdem, ob das Bauteil nach dem Versuch Anzeichen von Beschädigungen aufweist oder nicht. Der kürzeste Pfad benötigt nur zwei Versuche, wenn das Bauteil sowohl nach 60 Sekunden als auch nach 100 Sekunden keine Anzeichen von Beschädigung aufweist.

5.3 Reduzierung der Zufallsstreuung

Ein wichtiger Aspekt der Versuchsplanung ist die Anzahl der Realisierungen, d.h. die Anzahl der Einzelversuche. Je mehr Einzelversuche durchgeführt werden, desto weniger stark fallen die Streuungen der Versuchsergebnisse ins Gewicht (Kleppmann 2023, S. 30). Eine Maßzahl für die Streuung ist die Standardabweichung, welche auch mittlere Abweichung genannt wird (Schiefer und Schiefer 2018, S. 28). Die Standardabweichung ist gegenüber Ausreißern empfindlich, d.h. ein Wert, der von den anderen erheblich abweicht bzw. ausreißt, hat einen großen Einfluss auf diesen Wert (Schiefer und Schiefer 2018, S. 28). Da die Standardabweichung in diesem Fall nicht bekannt ist, wird für die Anzahl der Realisierungen ein Wert von drei festgelegt. Mit diesem Wert wird begonnen und nach dem Durchführen der Versuche wird überprüft, ob die Ergebnisse ausreichend abgesichert sind. Andernfalls kann ein Schätzwert für die Standardabweichung berechnet

werden und somit die Anzahl der Realisierungen konkretisiert werden (Kleppmann 2023, S. 31).

Bei der Durchführung von Versuchen tritt immer eine Zufallsstreuung auf. Diese möglichst zu minimieren, ist das Ziel der Blockbildung, indem die Einzelversuche in Gruppen bzw. Blöcken eingeteilt werden (Kleppmann 2023, S. 31). Innerhalb jeden Blockes sollten die zu überprüfenden Merkmale, d.h. in diesem Fall die zu überprüfenden Temperaturen, gleich häufig auftreten. Alle Versuche, welche an einem Tag durchgeführt werden, werden zu einem Block zusammengefasst, wodurch die Unterschiede zwischen den Tagen aufgrund veränderter Umgebungstemperaturen oder dem Herunterfahren der Systeme über Nacht aus der Zufallsstreuung herausgerechnet werden können (Kleppmann 2023, S. 31). Dies bedeutet, dass alle sechs Temperaturen an einem Tag geprüft werden.

Ein weiterer Faktor, um die Zufallsstreuung zu minimieren, ist die Randomisierung. Hierbei wird die Reihenfolge der Einzelversuche zufällig festgelegt und z.B. nicht von der kältesten zur wärmsten Temperatur abgearbeitet (Kleppmann 2023, S. 31). Die Reihenfolge der sechs zu überprüfenden Temperaturen pro Block wurden mithilfe eines Würfels festgelegt. Jeder Temperatur wurde eine Zahl zwischen eins und sechs zugeordnet und danach wurde gewürfelt. Die Augenzahl, die der Würfel beim ersten Wurf zeigte, wird als erstes getestet, die Augenzahl vom zweiten als zweites, usw. Wenn eine Augenzahl doppelt erscheint, so wurde diese doppelte Zahl ignoriert, da jede Temperatur nur einmal pro Block getestet wird. Wenn die ersten fünf Zahlen feststanden, wurde die letzte noch fehlende Zahl ergänzt und musste nicht mehr gewürfelt werden. Auf die genaue Reihenfolge der Temperaturen in den einzelnen Blöcken wird in dem Kapitel 6.2 „Messwerttabellen“ näher eingegangen.

5.4 Versuchsbedingungen

Um die Bauteile auf ihre Wärmebeständigkeit zu prüfen, gibt es verschiedene Varianten. Optimalerweise werden die Bauteile möglichst fertigungsnah getestet, d.h. unter den gleichen Randbedingungen wie bei der Produktion. Diese Variante ist jedoch auch sehr kostenintensiv, weil die Bauteile bei dieser Variante auf die Leiterplatte gelötet werden, und somit werden neben den Bauteilen auch Lötpaste und mehrere entsprechende Leiterplatten benötigt. Außerdem ist es durch das Aufbringen der Lötpaste und Bauteile sowie dem Reflowprozess auch zeitaufwendig. Ein weiterer Punkt ist die Überprüfung der Bauteile nach dem Versuch. Wenn die Bauteile auf die Leiterplatte gelötet wurden, kann die untere Seite optisch nicht mehr inspiziert werden. Dadurch können Veränderungen am Kunststoff oder an den Löt pads nicht erkannt werden. Durch das Röntgen von Bauteilen können manche Fehler entdeckt werden, aber je nach Aufbau und Material des Bauteils besteht keine Garantie, dass alles sichtbar gemacht werden kann.

Um die Bauteile von allen Seiten nach der thermischen Belastung untersuchen zu können, dürfen die Bauteile nicht auf die Leiterplatte gelötet werden. Dies hat auch den Vor-

teil, dass die Löt pads frei liegen, sodass man z.B. mithilfe eines Multimeters eine Widerstandsprüfung durchführen kann. Bei dieser Variante wird keine Löt paste benötigt und auch keine Leiterplatte mit passenden Löt pads. Es wird lediglich eine Leiterplatte benötigt, da das Bauteil allein nicht in dem Rework-System bzw. dem Reflowofen eingespannt werden kann. Außerdem wird die Unterhitze in diesem Fall auch von der Leiterplatte aufgenommen und gelangt nur indirekt zum Bauteil, wie es auch in der Fertigung der Fall ist. Diese Variante ist kostengünstig, denn die Leiterplatte kann mehrfach verwendet werden, sodass nur die Bauteile in einer größeren Stückzahl benötigt werden. Ein Nachteil dieser Variante ist, dass das Bauteil nicht an eine Stromversorgung angeschlossen und mit Strom geprüft werden kann. Um dies zu realisieren, müssten Hilfsdrähte an die Löt pads gelötet werden, an welche die Stromversorgung und Messgeräte angeschlossen werden können. Beim Löt en der Hilfsdrähte an die Löt pads mittels eines Handlöt kolben besteht jedoch eine erneute thermische Belastung, welche je nach Können der löt enden Person länger oder kürzer auf das Bauteil einwirkt. Wenn es danach zu Ausfällen kommt, kann die Ursache nicht zweifelsfrei geklärt werden.

5.5 Auswahl des Testsystems

Um die Wärmebeständigkeit der ausgewählten Bauteile zu untersuchen, stehen verschiedene Geräte zur Auswahl. Zum einen der erwähnte Reflowofen VXP+ V2 734 der Firma Rehm Thermal System GmbH. Es gibt im WKC zwei SMD-Linien mit je einem Reflowofen. Die Verwendung eines Reflowofen bringt den Vorteil mit sich, dass die Tests fertigungsnah durchgeführt werden können. Außerdem können auf einer Leiterplatte mehrere Bauteile gleichzeitig geprüft werden. Allerdings gibt es auch mehrere Nachteile, denn die genaue Temperatureinstellung ist aufgrund der verschiedenen einstellbaren Zonen mit Ober- und Unterhitze kompliziert und erfordert mehrere Testläufe sowie eine entsprechende Einweisung durch den zuständigen Technologen. Außerdem ist der zeitliche Aufwand sehr hoch, denn ein Durchgang einer Leiterplatte benötigt zwischen sechs und achteinhalb Minuten, je nachdem, wie schnell die Transportgeschwindigkeit eingestellt ist. Zwischen den einzelnen Testläufen muss zusätzlich eine Abkühlzeit für den Temperaturlogger eingeplant werden, wodurch der Zeitaufwand noch größer ist. Es gibt zwei Temperaturlogger der Firma Fluke im Werk: einmal den Datapaq DP5 und einmal den Datapaq 9000. An beide Temperaturlogger können bis zu sechs Temperatursensoren angeschlossen werden. Diese Sensoren werden auf der Leiterplatte an den gewünschten Stellen mithilfe des Klebers Loctite befestigt. Der Temperaturlogger fährt hinter der Leiterplatte durch den Reflowofen. Damit dieser dabei nicht durch die Hitze beschädigt wird, befindet er sich innerhalb eines Hitzeschutzbehälters. Sollte der Temperaturlogger trotzdem zu warm werden, so schaltet er sich aus. Deshalb muss eine Abkühlzeit zwischen den Durchgängen eingeplant werden. Ein weiterer Aspekt ist die Koordinierung mit der Produktion, denn diese läuft an den SMD-Linien unter der Woche im Dreischichtbetrieb und somit rund um die Uhr. Das bedeutet, die Produktion an einer SMD-Linie wäre erheblich eingeschränkt, wenn die Versuche in einem der Reflowöfen durchgeführt werden würden.

Aufgrund der Veränderung der Temperaturen im Ofen, um die gewünschten Versuchstemperaturen zu erreichen, ist es nicht möglich, dass die Versuche parallel zur Produktion im selben Ofen stattfinden können.

Eine Alternative wäre die Versuche mithilfe von Heizplatten durchzuführen. Im WKC gibt es mehrere Heizplatten an verschiedenen Stationen, wie z.B. beim Underfill oder bei der Reparatur bzw. Nachbereitung von Leiterplatten nach dem Reflowlöten. Es kommen verschiedene Heizplatten zum Einsatz, jedoch wird maximal eine Temperatur von 250°C erreicht. Diese Temperatur ist nicht ausreichend für die Durchführung der Versuche, d.h. diese Alternative zum Reflowofen kommt nicht in Frage.



Abbildung 12: Rework-System Expert 10.6 HXV von der Firma Martin GmbH (Quelle: <https://www.martin-smt.de/wp-content/uploads/2018/10/expert-10.6-hxv-perspective01-783x491.1541780798.jpg> [Stand: 12.09.2024])

In der obigen Abbildung ist eine zweite Alternative zu sehen: Das Rework-System Expert 10,6 HXV der Firma Martin GmbH, welches im WKC zur Reparatur von BGAs verwendet wird. ‚BGA‘ steht für ‚Ball Grid Array‘, quadratische Bauteile, deren Kontaktstellen sich auf der Bauteilunterseite befinden. Dadurch ist eine Reparatur bzw. ein manuelles Ein- oder Auslöten schwierig, denn man kommt mit einem HandlötKolben oder mit Heißluft nicht an die Lötstellen, um diese aufzuschmelzen. Das Rework-System erleichtert diese Arbeit, denn es kann sowohl die Leiterplatte von unten als auch den BGA von oben erwärmen. Dies geschieht durch das Erwärmen der Luft mithilfe von Heizstäben auf der Unterseite der Leiterplatte und durch die Heißluft, welche durch den Lötgriffel von oben auf den BGA geleitet wird. Durch den Transport der Wärme durch den BGA bzw. die Leiterplatte werden die Lötstellen ebenfalls erwärmt und schmelzen. Durch einen passenden Lötäufsatz wird außerdem vermieden, dass die umliegenden Bauteile die Oberhitze ebenfalls abbe-

kommen. Das Rework-System kann sowohl zum Aus- als auch Einlöten verwendet werden und ist in der Lage die Bauteile zu platzieren. Dies ist bei BGAs wichtig, denn die Kontaktstellen auf der Unterseite sitzen sehr nah beieinander, d.h. die BGAs müssen genau auf die Löt pads der Leiterplatte platziert werden, damit keine Lötfehler wie z.B. Brückenbildung entstehen. Diese Funktion wird für die Durchführung der Versuche jedoch nicht benötigt. Im Gegensatz zum Reflowofen wird das Rework-System nur benötigt, wenn ein BGA repariert werden muss. Dies geschieht nicht häufig, wodurch das Rework-System meistens frei ist, weshalb die Produktion durch die Versuche nicht beeinträchtigt wird. Dies ist ein entscheidender Vorteil gegenüber dem Reflowofen. Außerdem ist das System dank einem umfangreichen Benutzerhandbuch der Software leicht zu verstehen und das Anlegen und Anpassen von Temperaturprofilen ist auch für Personen, die das Gerät nicht kennen, schnell zu erlernen. Es wird auch kein zusätzlicher Temperaturlogger benötigt, da Messeingänge für Temperatur in dem Rework-System integriert sind. Es müssen lediglich die beiliegenden Temperatursensoren angeschlossen werden.

Nachteilig muss erwähnt werden, dass das Programm des Temperaturloggers mehr Möglichkeiten bei der Analyse der Messwerte bietet. Außerdem können Bauteile, welche zu groß sind, nicht in dem Rework-System verarbeitet werden, wie z.B. Elektrolytkondensatoren. Diese sind zu hoch, sodass sie nicht von dem Löt aufsatz umschlossen werden können. Dadurch entsteht, wie in der folgenden Abbildung zu sehen, ein Spalt zwischen Leiterplatte und dem Löt aufsatz, wodurch ca. zwei Drittel des Bauteils nicht umschlossen sind. Dadurch ist der Einfluss der Umgebungsluft zu groß und die erforderlichen Temperaturen werden nicht erreicht. Wenn man den Elektrolytkondensator quer hinlegt, statt aufrecht hinstellt, ist der Spalt geringer, aber das Bauteil kann immer noch nicht vollständig umschlossen werden.

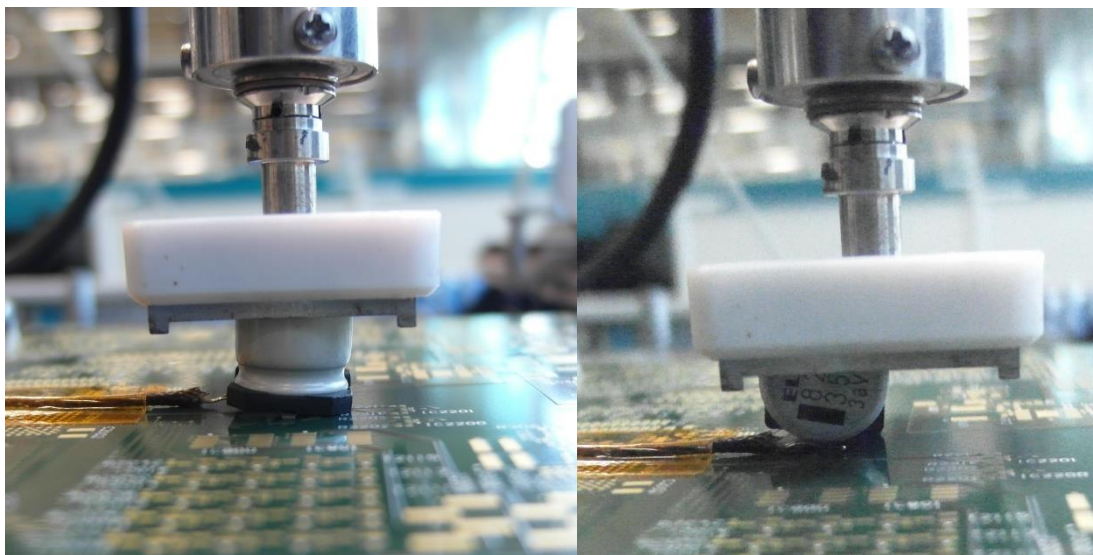


Abbildung 13: Elektrolytkondensator aufrechtstehend im Rework-System der Firma Martin; links (Quelle: eigene Fotografie)

Abbildung 14: Elektrolytkondensator querliegend im Rework-System der Firma Martin; rechts (Quelle: eigene Fotografie)

Die Versuche werden auf dem Rework-System der Firma Martin durchgeführt. Auf die Bedienung des Rework-Systems und der Software ‚EASYSOLDER 07‘ wird im Kapitel 6.1 „Bedienung des Rework-Systems“ näher eingegangen.

5.6 Prüfkriterien und verwendete Messmittel

Ein weiterer Aspekt ist die Beurteilung, ob das Bauteil Anzeichen einer Beschädigung aufweist. Dies kann auf verschiedenen Wegen erfolgen und hängt von der Art der Beschädigung ab.

Die Steckerleiste besteht zum größten Teil aus Kunststoff mit Metallpins, um den elektrischen Kontakt herzustellen. Die wahrscheinlichste Art der Beschädigung ist in diesem Fall, dass der Kunststoff bei zu hoher Wärmebelastung schmilzt und somit die Form verliert. Dies führt dazu, dass der zweite Teil der Steckverbindung nicht mehr richtig kontaktiert und somit keine sichere elektrische Verbindung hergestellt werden kann. Diese Art der Beschädigung kann mit dem bloßen Auge oder mithilfe eines Mikroskops beobachtet werden. Die Steckerleiste besitzt außerdem kein Gehäuse, welches die Sicht verdecken und somit die Prüfung erschweren würde.

Der Übertrager besteht aus zwei Spulen, welche je drei Kontaktstellen bzw. Löt pads besitzen, jeweils am Ende der Spule und einen in der Mitte. Außerdem besitzt der Übertrager ein Kunststoffgehäuse und die Wicklungen sind isoliert. Das bedeutet, es gibt verschiedene Arten der Beschädigungen, welche auftreten können. Wie bei der Steckerleiste kann der Kunststoff schmelzen, wodurch sich die Form ändern kann. Dies kann zur Folge haben, dass die Löt pads vom Bauteil nicht mehr deckungsgleich mit den Löt pads der Leiterplatte sind. Diese Art der Beschädigung lässt sich mithilfe eines Mikroskops erkennen. Eine weitere Fehlermöglichkeit ist das Schmelzen der Isolation, sodass die Spulenwicklung einen elektrischen Kontakt bilden. Dadurch wird die Induktivität der Spule beeinträchtigt oder im schlimmsten Fall komplett aufgehoben. Diese Beschädigungsart lässt sich durch eine Widerstandsmessung mithilfe eines Multimeters erkennen. Der Spulendraht besitzt einen bestimmten elektrischen Widerstand. Wenn die Isolation aufschmilzt und somit Kontakt zwischen den Wicklungen entsteht, verringert sich dieser elektrische Widerstand. Dies lässt sich mit der folgenden Formel für den Widerstand erklären:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

‚R‘ steht für den elektrischen Widerstand in Ohm. ‚ ρ ‘ steht für den spezifischen Widerstand des Materials in Ohm pro Meter. ‚L‘ steht für die Länge in Meter und ‚A‘ für die Querschnittsfläche in Quadratmeter des Drahtes. Wenn die Isolation an einer Stelle aufschmilzt und somit zwischen zwei benachbarte Wicklungen Kontakt entsteht, verkürzt sich die Länge des Drahtes, da diese Wicklung sozusagen kurzgeschlossen wird. Wenn sich ‚L‘ verkleinert, verkleinert sich auch der Widerstand R. Mithilfe des Multimeters lässt sich ebenfalls erkennen, ob die Isolation zwischen den beiden Spulen aufgeschmolzen ist. Im

unbeschädigten Zustand zeigt das Messgerät bei dieser Situation ein ‚OL‘ an, da die Wicklungen beider Spulen gegeneinander isoliert sind und der Widerstand größer als 50 M Ω beträgt. ‚OL‘ steht für ‚Overload‘ und zeigt an, dass der Messwert außerhalb des Messbereiches liegt, welches bis zu 50 M Ω geht. Wenn die Isolation zwischen beiden Spulen beschädigt ist, zeigt das Messgerät einen Messwert in Ohm an. Die letzte Beschädigungsart ist der Abriss des Spulendrahtes vom Lötpad bzw. innerhalb der Spule, sodass der Draht unterbrochen wird. Dies lässt sich ebenfalls mithilfe des Multimeters erkennen, denn in diesem Fall zeigt das Multimeter auch ‚OL‘ an. Aufgrund der drei Spulenanschlüsse lässt sich die Beschädigung des Drahtes lokalisieren. Wenn das Multimeter z.B. zwischen Lötpad eins und sechs ‚OL‘ anzeigt, aber zwischen Lötpad zwei und sechs den Widerstandswert von 1,8 Ω , muss die Beschädigung des Drahtes zwischen Lötpad eins und sechs liegen. In der folgenden Abbildung sieht man den Schaltplan des Übertrages und die Nummerierung der Löt pads.

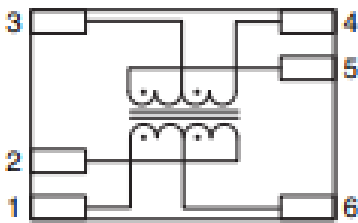


Abbildung 15: Schaltplan des Übertrages (Quelle: Datenblatt des Übertrages (siehe Anhang))

Um diese Fehler erkennen zu können und um die Temperatur während den Versuchen zu messen, bedarf es verschiedener Messmittel. Am Rework-System der Firma Martin werden Fiberglas-Tempertursensoren mit der Bezeichnung ‚KA02-V‘ des Typs K der Firma TME verwendet. Diese haben laut Datenblatt, welches sich im Anhang Teil 2 auf der Seite XXX befindet, einen Messbereich von -50°C bis $+450^{\circ}\text{C}$ bei einer Genauigkeit von $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ und $\pm 0,25\%$. Das bedeutet, wenn 250°C gemessen werden beträgt die wahre Temperatur $\pm (250^{\circ}\text{C} \cdot 0,0025 + 1,5^{\circ}\text{C}) = \pm 2,125^{\circ}\text{C}$. Die Maximaltemperatur von 450°C wird in den Versuchen nicht überschritten, daher ist der Tempertursensor für die Durchführung einsetzbar.

Zur Prüfung der Bauteile nach der thermischen Belastung wird das Mikroskop Mantis des Herstellers Vision Engineering verwendet. Bei diesem Mikroskop handelt es sich um ein okularloses Mikroskop mit einem weiten Sichtfeld, welches mit zwei Objektiven ausgestattet ist. Mit den Objektiven kann der Gegenstand um das vier- bzw. achtfache vergrößert werden. Neben dem Mikroskop kommt auch das Digitalmultimeter Fluke 177 zur Widerstandsmessung zum Einsatz. Die folgende Tabelle zeigt den Widerstandsmessbereich sowie die Auflösung und Genauigkeit für das Multimeter. Diese Daten sind aus dem technischen Datenblatt entnommen, welches sich im Anhang Teil 2 auf der Seite XXV befindet.

Widerstandsmessbereich	Auflösung	Genauigkeit
600,0 Ω	0,1 Ω	0,9% +2
6,000 k Ω	0,001 k Ω	0,9% +1
60,00 k Ω	0,01 k Ω	0,9% +1
600,0 k Ω	0,1 k Ω	0,9% +1
6,000 M Ω	0,001 M Ω	0,9% +1
50,00 M Ω	0,01 M Ω	1,5% +3

Tabelle 3: Technische Daten Multimeter Fluke 177 (Quelle: Datenblatt des Multimeters (siehe Anhang))

Laut Datenblatt gelten die Angaben zur Genauigkeit für ein Jahr ab Kalibrierung. Die Kalibrierung des verwendeten Multimeters ist bis zum 07/2025 gültig, ein Foto befindet sich im Anhang auf Seite A-XXIV, somit ist diese Bedingung eingehalten. Die Betriebstemperatur von 18°C bis 28°C mit relativer Feuchtigkeit von 0% bis 90% wird ebenfalls nicht über- bzw. unterschritten, sodass die Genauigkeitsspezifikationen als geltend angenommen werden können. Die Genauigkeit wird angegeben mit \pm (% vom Messwert + Zähl-schritte). Das bedeutet, wenn bei der Widerstandsmessung ein Wert von 50,5 Ω angezeigt wird, so beträgt der wahre Widerstandswert $\pm (50,5 \Omega \cdot 0,009 + 0,2) = \pm 0,6545 \Omega$.

6 Durchführung

6.1 Bedienung des Rework-Systems

Zuerst muss das Rework-System eingeschaltet werden. Die Bedienung erfolgt über einen angeschlossenen Computer mit der Software ‚EASYSOLDER 07‘. Wenn die Software gestartet wird, verbindet es sich automatisch mit dem angeschlossenen und angeschalteten Rework-System. Danach muss zunächst ein Projekt angelegt werden, in welchem mehrere Leiterplatten bzw. Produkte angelegt werden können. Pro Leiterplatte können mehrere Komponenten angelegt werden und für die Komponenten können mehrere Komponentenprofile angelegt werden. Damit keins der bestehenden Projekte, welche für die Reparatur von verschiedenen Leiterplatten benötigt werden, versehentlich verändert wird, wurde ein neues Projekt mit dem Namen „Bachelorarbeit_Boltz“ angelegt. Es wurde nur eine Leiterplatte mit dem Namen „Test“ angelegt, da alle Versuche auf derselben Leiterplatte durchgeführt werden können. Als Komponentenbezeichnung wurde die gerundete Abmessung des verwendeten Lötaufsatzes verwendet. Für die Steckerleiste wurde der Aufsatz mit den Abmessungen 26x26mm und für den Übertrager der 18x18mm Aufsatz verwendet. Die einzelnen Komponentenprofile sind nach dem zu testenden Bauteil und der zu testenden Maximaltemperatur benannt, wie z.B. „S120 275“. ‚S120‘ steht für den Übertrager. Das heißt, es gibt für jede Temperatur ein eigenes Profil, welches einmal erstellt, getestet und angepasst wird, bis es funktioniert. Bei der Durchführung der Versuche muss dann lediglich das entsprechende Profil geladen werden.

Um die Temperaturprofile anzulegen, werden neben dem Rework-System und dem Computer mit der Software noch eine Leiterplatte, das Bauteil sowie zwei Temperatursensoren des Typs K benötigt. Um die Leiterplatte über der Unterheizung befestigen zu können, ist das Rework-System mit Leiterplattenklammern und -magnethaltern ausgestattet. Ein Temperatursensor wird mit hitzebeständigem Klebeband an der Unterseite der Leiterplatte befestigt und der zweite Temperatursensor wird so auf der Oberseite der Leiterplatte befestigt, dass sich der Sensor unter dem Lötaufsatz befindet. Der Temperatursensor, welcher unter der Leiterplatte befestigt wurde, wird mit dem Messeingang 5 verbunden und der zweite Temperatursensor mit dem Messeingang 6. In der folgenden Abbildung ist das Rework-System mit eingespannter Leiterplatte und angeschlossenen Temperatursensoren zu sehen.

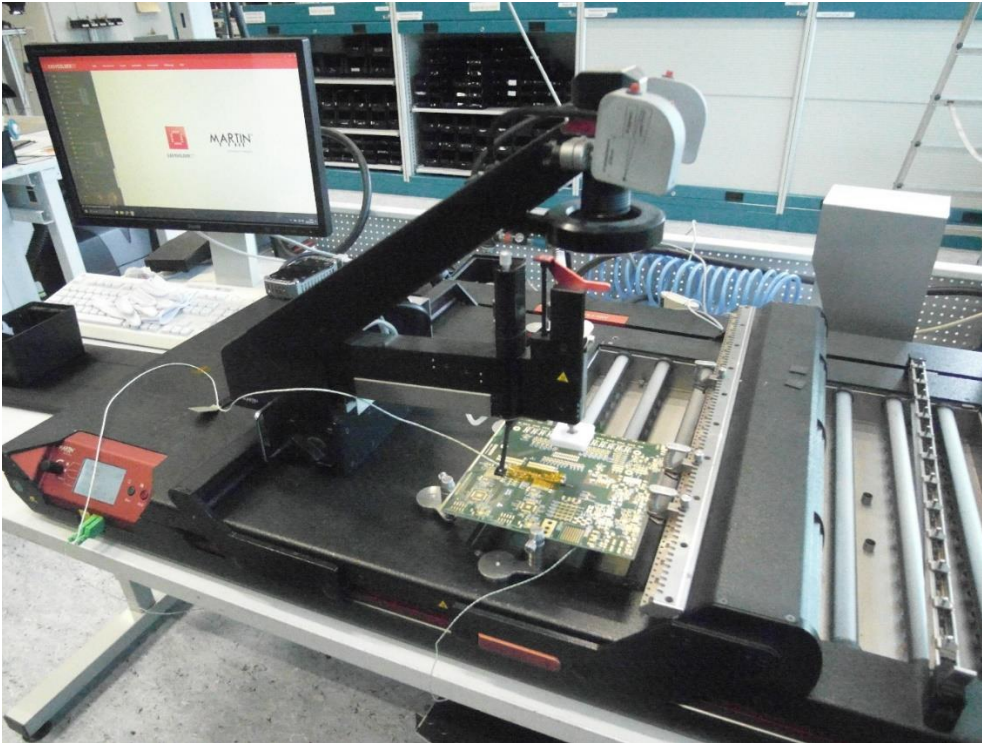


Abbildung 16: Rework-System Expert 10,6 HXV der Firma Martin GmbH mit eingespannter Leiterplatte und befestigten Temperatursensoren und Software EASYSOLDER 7 auf Monitor (Quelle: eigene Fotografie)

Die Unterheizung des Rework-Systems kann entweder in der Betriebsart ‚Temperatur‘ oder ‚Leistung‘ betrieben werden. Die Betriebsart „Temperatur“ stellt einen geschlossenen Regelkreis da, bei dem mithilfe des angeschlossenen Temperatursensors die Temperatur der Leiterplattenunterseite geregelt wird. Es wird ein Temperaturwert zwischen 50°C und 210°C vorgegeben und je nachdem, ob der Soll-Wert erreicht ist, schalten die Heizelemente zu oder ab. Bei der Betriebsart ‚Leistung‘ wird kein Temperatursensor benötigt, denn die Unterheizung wird in dieser Betriebsart durch eingegebene Parameter betrieben. Es handelt sich um einen offenen Regelkreis. Für alle Temperaturprofile wird die Betriebsart „Temperatur“ festgelegt und die Leiterplattentemperatur soll 200°C betragen. Die Hybridströmung, welche den Luftstrom für die Unterheizung einstellt, wird auf 1 eingestellt. Dies ist laut Benutzerhandbuch das optimale Niveau. Eine Vorheizung der Leiterplatte wird nicht benötigt, deshalb wird dieser Wert auf 0°C gestellt. Das Unterheizungsprofil ist für alle Temperaturprofile gleich, um zu vermeiden, dass verschiedene Einstellungen einen unerwünschten Einfluss auf die Ausfallrate der Bauteile haben.

Das Profil der Oberheizung kann aus mehreren Phasen bestehen. Für diese Versuche werden drei Phasen benötigt: Vorheizen1, Vorheizen2 und Peak. Beide Vorheizphasen sind für alle Versuche gleich eingestellt. Die Peakphase ist abhängig vom Bauteil und von der zu erreichenden Temperatur individuell eingestellt. Bei den Phasen des Oberheizungsprofil kann in der Zeile ‚SMD Temp.‘ angegeben werden, welche Temperatur erreicht und gehalten werden soll. Die Anstiegsrampe legt fest, wie schnell die Temperatur ansteigen soll. Der Minimalwert beträgt 1,0 Kelvin pro Sekunde und der Maximalwert 3,0

Kelvin pro Sekunde. In der Zeile ‚Haltezeit‘ kann angegeben werden, wie lange die ‚SMD Temp.‘ gehalten werden soll, bevor es in die nächste Phase übergeht. Der Luftstrom gibt an, wie viele Liter Luft pro Minute durch den Lötgriffel strömen. Dieser Wert ist für alle Phasen und alle Temperaturprofile auf 35 Liter pro Minute festgelegt, denn mit dieser Einstellung wurden in einem Probedurchlauf die besten Temperaturergebnisse erzielt. In der Zeile ‚Endtemp.‘ wird die maximale Temperatur des Lötgriffels und in der Zeile ‚Haltemp.‘ die Temperatur des Lötgriffels angegeben, auf welche er sich nach Erreichen der Endtemperatur einpegelt und welche bis zum Ende der Haltezeit gehalten wird. Die letzte Zeile ist die ‚Spitzenzeit‘ und hier kann angegeben werden, wie lange der Lötgriffel die Endtemperatur halten soll, bevor er sich auf die Haltetemperatur einpegelt.

Die folgende Abbildung zeigt die Ansicht in der Software, nachdem das Temperaturprofil für die Steckerleiste bei 250°C durchgeführt wurde.

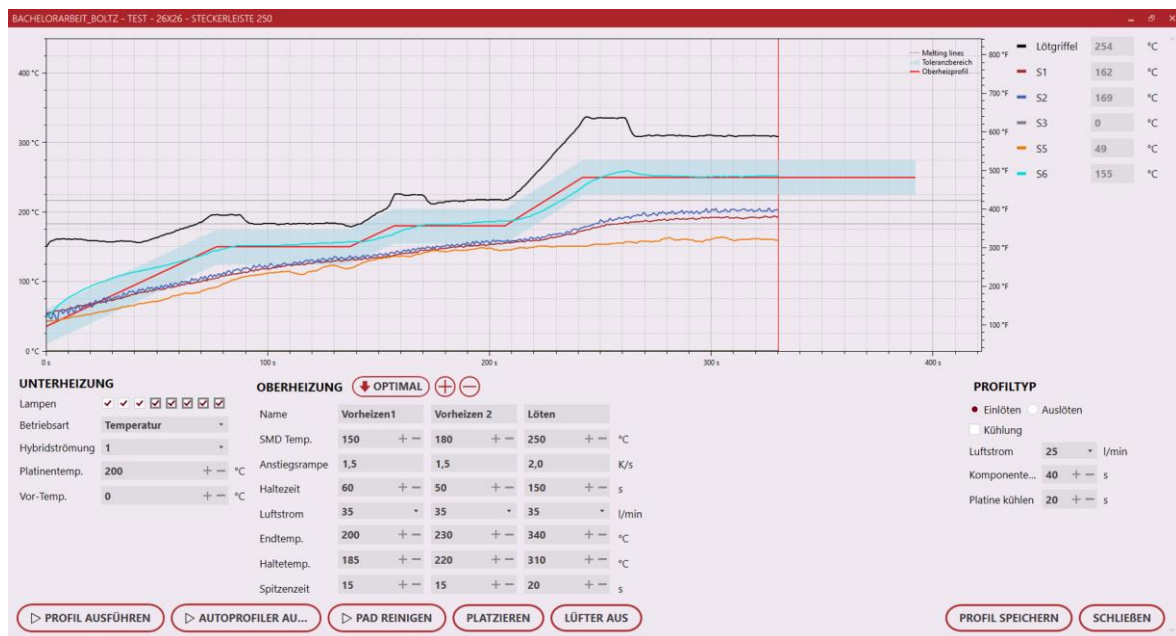


Abbildung 17: Übersicht der Software, nachdem ein Temperaturprofil durchgeführt wurde (Quelle: Screenshot der Software ‚EASYSOLDER 07‘)

Oben in der roten Zeile werden Projektname, Leiterplattenname, Komponentename und Name des Temperaturprofils in dieser Reihenfolge angezeigt. In dem Diagramm sieht man den Temperaturverlauf der einzelnen Sensoren über die Zeit. Der rote Graph mit dem blauen Toleranzbereich ist die Solltemperatur laut den Vorgaben in den Feldern ‚SMD Temp.‘ und ‚Anstiegsrampe‘. Rechts von dem Diagramm sieht man die aktuellen Messwerte der Temperatursensoren. ‚S1‘ und ‚S2‘ sind zwei Sensoren, welche die Temperatur auf der Leiterplattenoberfläche neben dem Lötanschluss messen. ‚S3‘ und ‚S4‘ sind nicht angeschlossen. ‚S5‘ ist der Sensor an der Unterseite der Leiterplatte und ‚S6‘ ist der Temperatursensor auf der Oberseite der Leiterplatte, welcher unter dem Lötanschluss neben dem Bauteil liegt. Unter dem Diagramm sind die Einstellungen für die Unter- und Oberheizung ersichtlich und rechts daneben, welcher Profiltyp ausgewählt wurde. Alle Temperaturprofile werden mit dem Profiltyp ‚Einlöten‘ und ohne Kühlung durchgeführt. Ganz unten

gibt es eine Reihe von Aktionsfeldern, um z.B. das Profil auszuführen, den Lüfter an- bzw. auszuschalten oder das Profil zu speichern oder zu schließen.

Wenn ein Temperaturprofil geöffnet wird, erscheint die gleiche Ansicht wie in der vorhergehenden Abbildung. Lediglich die Temperaturverläufe der Sensoren fehlen und es ist nur der rote Graph mit dem blauen Toleranzbereich zu sehen. Wenn man die Werte in den Zeilen ‚SMD Temp.‘ und ‚Anstiegsrampe‘ anpasst, dann verändert sich der Soll-Graph mit dem Toleranzbereich entsprechend. Wenn alle Werte eingestellt sind und das Aktionsfeld ‚Profil Ausführen‘ geklickt wurde, erscheint eine neue Ansicht, mit den aktuellen Messwerten aller angeschlossener Sensoren. Außerdem listet das Programm die zum Starten des Profils benötigten Sensoren auf und prüft, ob diese angeschlossen sind. Ist dies nicht der Fall, kann man das Profil nicht starten. Zur gleichen Zeit senkt sich der Lötgriffel auf das Bauteil herab. Wenn Sensor sechs noch eine Temperatur über 45°C misst, bringt das System einen Hinweis mit der Empfehlung, eine ausreichende Kühlung abzuwarten. Diesen Hinweis kann man jedoch wegklicken und trotzdem das Profil starten.

Wenn das Profil gestartet ist, kann man verfolgen, wie das Temperatur-Zeit-Diagramm aufgezeichnet wird. Man kann das Profil auch jederzeit abbrechen, wenn z.B. Werte nicht passen oder der Temperatursensor verrutscht. Dies kann geschehen, da das Klebeband unter der Wärmebelastung mit der Zeit seine Haltekraft verliert. Wenn das Profil nicht abgebrochen wird, arbeitet das System die einzelnen Phasen mit den entsprechenden Temperaturen und Haltezeiten ab. Sobald es damit fertig ist, wird der Lötgriffel angehoben und ein Feld mit einer Zusammenfassung der Zeit und Maximaltemperaturen erscheint. Bei diesen Versuchen ist es wichtig, dass eine bestimmte Temperatur für eine gewisse Zeit gehalten wird. Die Haltezeit gibt jedoch die Zeit an, wie lange der ‚Soll‘-Wert und nicht der ‚Ist‘-Wert gehalten wird. Der ‚Ist‘-Wert von Sensor sechs erreicht den vorgegebenen ‚Soll‘-Wert in der Regel später. Das bedeutet, wenn in der Peakzone eine Haltezeit von 60 Sekunden angegeben wird, wird der ‚Ist‘-Wert für weniger als 60 Sekunden gehalten. Um die Zeiten einzuhalten, wird deshalb die Haltezeit auf das Maximum von 150 Sekunden gestellt und die Zeit bei Erreichen der gewünschten Temperatur mit einer Stoppuhr gestoppt. Sobald die geforderte Zeit erreicht wird, wird das Profil abgebrochen. Bei Abbruch des Profils geschieht dasselbe wie bei Beendigung eines Profils vom System aus. Zusätzlich geht der Lüfter an, sodass die Leiterplatte schneller abkühlt und wieder für den nächsten Versuch einsatzbereit ist.

Um die Temperaturprofile für die Bauteile zu erstellen, wurden ein bzw. mehrere Testbauteile verwendet. Diese Bauteile werden nicht für die Versuche verwendet, weil sie während dem Einstellen der Temperaturprofile bereits thermisch vorbelastet sind. Bei der Steckerleiste wurden mehrere Testbauteile benötigt, da sie bei zu hohem Wärmeeintrag geschmolzen ist und die Form verloren hat, sodass für das nächste Temperaturprofil ein neues Testbauteil verwendet wurde. Die Steckerleiste wird auf dem Temperatursensor sechs und mittig unter der Lötgriffel platziert. Der Übertrager ist zu klein, um auf dem Temperatursensor platziert zu werden, deshalb liegt er neben diesem. Die Steckerleiste besitzt eine Bestückhilfe, mit der die SMD-Bestückautomaten in der Lage sind sie zu grei-

fen und zu platzieren. Die Bestückhilfen werden nach dem Durchgang im Reflowofen bei der Sichtkontrolle entfernt. Bei den Versuchen mit dem Rework-System muss die Bestückhilfe entfernt werden, da diese sonst am Lötgriffel kleben bleibt, wenn der Kunststoff anschmilzt.

6.2 Messwerttabellen

Um alle benötigten Werte aufzunehmen, wurde eine Excel-Datei erstellt. Zur besseren Lesbarkeit wird die Tabelle transponiert und es wird der erste Datensatz eingefügt. Zusätzlich wird eine Spalte eingefügt, in der Erklärungen zu den Messwerten ergänzt sind, wenn dies zum besseren Verständnis erforderlich ist. Die letzte Spalte ist in der Excel-Datei nicht vorhanden.

Nr.	1	Laufende Nummer
Tütennummer	1	Die Bauteile werden nach Versuch in Tüten aufbewahrt, um sie dem Versuchstag zuzuordnen zu können.
Bauteilnummer	1	Die Bauteile werden nummeriert, um sie dem entsprechenden Versuch am Tag zuzuordnen zu können.
Datum	13.08.2024	
Uhrzeit	9:26	
Temperatur Halle [°C]	25,0	
Luftfeuchte Halle [%]	56,3	
S1 - LP oben, vorne [°C]	53	Messwert von Temperatursensor 1 vor Beginn des Versuches
S2 - LP oben, hinten [°C]	36	Messwert von Temperatursensor 2 vor Beginn des Versuches
S5 - LP unten [°C]	41	Messwert von Temperatursensor 5 vor Beginn des Versuches
S6 - Bauteil [°C]	59	Messwert von Temperatursensor 6 vor Beginn des Versuches
Versuch / Zeitbereich	270	Versuch nach Versuchskonzept oder Wiederholung einer bestimmten Zeit
Temperatur [°C]	270	Solltemperatur des Versuches
Versuchs-Zeit [s]	60	Soll-Zeit, die die Temperatur auf Bauteil einwirken soll
max. Temp. [°C]	268-272	Ist-Temperatur bzw. Temperaturbereich

Zeit [s]	60	Ist-Zeit, die die Ist-Temperatur eingewirkt hat
max. Temp. Lötgriffel	345	Maximale Temperatur des Lötgriffel
Spitzenzeit	20	Zeit in der max. Temperatur am Lötgriffel anlag
Haltetemp. Lötgriffel	325	Haltetemperatur des Lötgriffels
Ergebnis	Beschädigt	
Anmerkungen	Mit bloßem Auge erkennbar	

Tabelle 4: Transponierte Excel-Tabellenkopf mit erstem Datensatz und zusätzlicher Spalte für Erklärungen für Versuche mit der Steckerleiste (Quelle: eigene Darstellung)

Die maximale Temperatur und die Haltetemperatur des Lötgriffels sowie die Spitzenzeit werden in dem jeweiligen Temperaturprofil eingestellt. Die Haltetemperatur des Lötgriffels ist 40 bis 90°C wärmer als die Temperatur, welche am Bauteil erreicht werden soll. Damit die Versuchstemperatur am Bauteil schneller erreicht wird, wird die Lötgriffeltemperatur für die Dauer der Spitzenzeit auf die ‚max. Temp. Lötgriffel‘ angehoben. Dadurch wurde die Soll-Temperatur teilweise überschritten, bevor sich der Wert dann auf diese einpegelte.

Die optische Bewertung mit bloßem Auge des Bauteils erfolgte nach dem Versuch, wenn die Temperatur des Bauteils unter 50°C gesunken war. Das Bauteil wurde zu diesem Zeitpunkt mithilfe eines wasserfesten Stiftes mit der Bauteilnummer versehen. Die optische Bewertung mithilfe des Mikroskops sowie die fotografische Dokumentation erfolgten, nachdem alle Versuche in einem Block durchgeführt wurden.

Für die Versuche mit den Übertragern wurde eine eigene Messwerttabelle angelegt, um die Messwerte der Widerstandsmessung vor und nach der thermischen Belastung mit aufnehmen zu können. Außerdem gab es kein „Überschwingen“ der Lötgriffeltemperatur über die Haltetemperatur. Das bedeutet, die maximale Temperatur am Lötgriffel war gleich der Haltetemperatur und die Spitzenzeit wurde auf null gestellt. Diese Umstellung ist Teil der Auswertung der Versuche mit der Steckerleiste und wird in dem Kapitel 7 „Auswertung“ näher erläutert. Die folgende Tabelle ist die transponierte Messwerttabelle aus Excel für die Versuche mit den Übertragern sowie den ersten drei Datensätzen.

Nr.	1	2	3
Tütennummer	6	6	6
Bauteilnummer	1	2	3
Datum	21.08.2024	21.08.2024	21.08.2024
Uhrzeit	09:38	09:49	10:09
Temperatur Halle [°C]	23,7	23,9	24

Luftfeuchte Halle [%]	49,4	49,1	48,6
S1 - LP oben, vorne [°C]	27	37	34
S2 - LP oben, hinten [°C]	13	26	19
S5 - LP unten [°C]	28	39	32
S6 - Bauteil [°C]	38	47	42
Variante / Zeitbereich	255	255.2	245
Versuch-Nr./Temp.	255	255	245
Zeit [s]	60	100	60
max. Temp. [°C]	253-256	253-260	243-252
Zeit [s]	60	100	60
max. Temp. Lötgriffel	305	305	295
Widerstand 1-2/4-5 vorher [Ω]	3,4	3,4	3,5
	3,4	3,4	3,4
Widerstand 1-2/4-5 nachher [Ω]	3,4	3,4	3,4
	3,4	3,5	OI
Widerstand 2-6/5-3 vorher [Ω]	1,9	1,9	1,9
	1,8	1,9	1,9
Widerstand 2-6/5-3 nachher [Ω]	1,9	1,9	1,9
	1,9	1,9	OI
Widerstand 2-5 [Ω] vorher	OI	OI	OI
Widerstand 2-5 [Ω] nachher	OI	OI	OI
Ergebnis	nicht beschädigt	nicht beschädigt	beschädigt
Anmerkungen			ein Draht von Pad 5 oder 2 abgerissen

Tabelle 5: Transponierte Excel-Tabellenkopf mit den ersten drei Datensätzen für Versuche mit den Übertragern (Quelle: eigene Darstellung)

Die Widerstandsmessung wurde vor dem Versuch durchgeführt, um sicherzustellen, dass das Bauteil nicht vorgeschädigt ist. Die Messungen nach dem Versuch wurden erst durchgeführt, wenn das Bauteil wieder auf Raumtemperatur abgekühlt war. Wenn die Messung bei einer höheren Bauteiltemperatur durchgeführt worden wäre, hätte dies das Ergebnis verfälscht. Die Lötflächen der zwei Spulen lassen sich nicht auseinanderhalten, da beide Seiten identisch sind. Deshalb wurden die Spalten mit den Messwerten vor- und nachher nochmal unterteilt, aber nicht genauer bezeichnet. Bei der Widerstandsmessung zwischen dem Lötpad eins und zwei bzw. vier und fünf wird der Widerstand der gesamten Spule gemessen. Bei der Messung zwischen den Löt pads zwei und sechs bzw. fünf und drei wird der Widerstand der halben Spule gemessen. Die Messung der anderen Hälfte muss nicht durchgeführt werden, denn diese wird bei der gesamten Spule mit überprüft. Die letzte Messung zwischen den Pins zwei und fünf misst den Widerstand zwischen den beiden Spulen.

Nachdem die Messwerttabellen erstellt und die Temperaturprofile angelegt wurden, fehlt nur noch die Reihenfolge, in der die Temperaturen in den einzelnen Blöcken geprüft werden. Die folgende Tabelle zeigt die ausgewürfelte Reihenfolge für vier Blöcke je Bauteil.

Steckerleiste				Übertrager			
Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block1	Block 2	Block 3	Block 4
270	280	255	260	255	275	255	240
240	250	270	265	245	235	240	265
255	260	240	250	275	255	275	245
250	270	280	255	240	245	245	255
280	255	260	270	265	265	235	275
260	240	250	280	235	240	265	235

Tabelle 6: Reihenfolge der Temperaturen in den einzelnen Blöcken für die Versuche mit der Steckerleiste und dem Übertrager (Quelle: eigene Darstellung)

Wie in Kapitel 5.3 „Reduzierung der Zufallsstreuung“ erläutert wird mit einer Anzahl von drei Realisierungen angefangen, das heißt, es werden drei Blöcke benötigt. Es wurde zu jedem Bauteil noch ein vierter Block erstellt, falls dieser für weitere Tests benötigt wird. Es gibt mehr als sechs Versuche in einem Block, denn für jede Temperatur wird das Versuchskonzept für die Ermittlung der Zeit durchgeführt. Das bedeutet es gibt zwischen zwei und fünf Versuche pro Temperatur und somit zwischen zwölf und 30 Versuche pro Block.

Es wurden zuerst die Versuche mit der Steckerleiste durchgeführt.

7 Auswertung

7.1 Auswertung der Versuche mit der Steckerleiste

7.1.1 Erster Versuchsblock

Im Zeitraum des ersten Versuchstages war es in der Produktionshalle im Durchschnitt 26,8°C warm mit einer Mindesttemperatur von 25°C und einer Maximaltemperatur von 27,9°C. Die durchschnittliche Luftfeuchte betrug 49,6 % und fiel von 56,3 % beim ersten Versuch bis zu 45,8 % beim letzten Versuch ab. In dem ersten Block wurden 18 Bauteile getestet. Im optimalen Fall werden zehn bis zwölf Minuten für einen Versuch inklusive Aufwärm- und Abkühlphasen benötigt, je nachdem wie lange die Endtemperatur gehalten wird. Der Wechsel zwischen zwei Temperaturen beanspruchte jedoch mehr Zeit. Dies lag daran, dass die vorher erstellten Temperaturprofile nicht mehr die gewünschten Temperaturen erreichten und erneut eingestellt werden mussten. Die Umgebungsbedingungen, wie z.B. die Raumtemperatur sowie die Luftfeuchtigkeit scheinen einen erheblichen Einfluss auf das Rework-System auszuüben. Das erneute Einstellen der Profile kostet durch die Testläufe mit Bauteilen, welche nicht in die Wertung eingehen, Zeit. Das Problem, dass die Temperaturprofile erneut angepasst werden mussten, wurde ebenfalls zwischen den einzelnen Versuchstagen beobachtet. Die Differenz, um die die Temperaturen angepasst werden musste, war bei den Profilen ähnlich. D.h. wenn das erste Profil um 10 Kelvin erhöht werden musste, so war es sehr wahrscheinlich, dass die anderen Profile auch um diese Differenz angepasst werden mussten. Das beschleunigte das Anpassen der weiteren Profile.

Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse des ersten Versuchsblock mit der Steckerleiste.

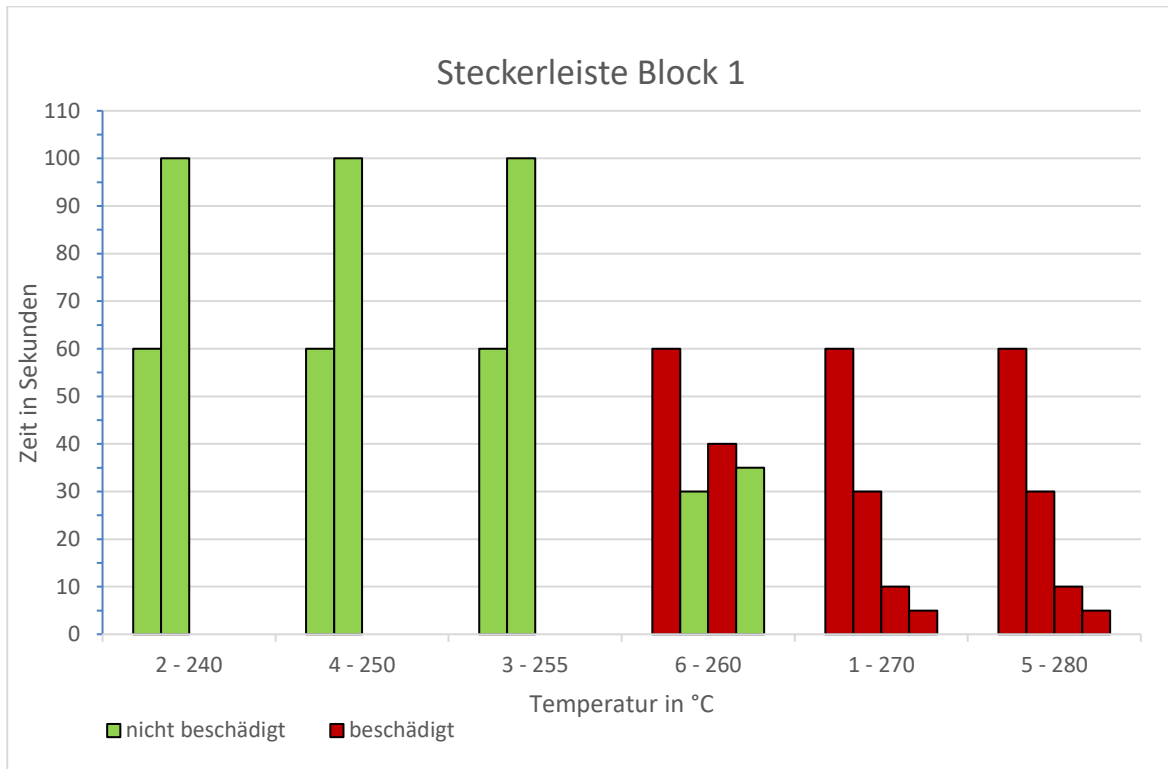


Abbildung 18: grafische Darstellung der Versuchsergebnisse aus Block 1 mit der Steckerleiste (Quelle: eigene Darstellung)

Die Balken zeigen an, bei welcher Temperatur und Zeit das Bauteil getestet wurde und die Farbe des Balkens, ob das Bauteil danach Anzeichen einer Beschädigung aufwies oder unbeschädigt war. Die Zahl vor der Temperatur steht für die Reihenfolge, in der diese getestet wurden. Die Temperatur 270°C wurde im ersten Block als erstes getestet, gefolgt von 240°C und so weiter. Die Zeiten pro Temperatur entsprechen der Testreihenfolge von links nach rechts. Bei 260°C z.B. wurde das Bauteil zuerst bei 60 Sekunden getestet. Als es danach Beschädigungen aufwies, wurde es bei 30 Sekunden getestet, was es unbeschadet überstanden hat. Beim anschließenden Versuch mit 40 Sekunden wurde das Bauteil beschädigt, weshalb der letzte Versuch bei 35 Sekunden durchgeführt wurde. Diesen überstand das Bauteil unbeschadet. Bei den Temperaturen 240°C, 250°C und 255°C zeigt das Bauteil weder nach 60 Sekunden noch nach 100 Sekunden Anzeichen von Beschädigungen. Bei den Temperaturen 270°C und 280°C weist es jedoch nach fünf Sekunden bereits Beschädigungen auf.

7.1.2 Zweiter Versuchsblock

Der zweite Block wurde am darauffolgenden Tag durchgeführt. Die Temperatur stieg von 26,6°C bis 27,7°C und fiel dann wieder auf 27,1°C. Im Durchschnitt war der Tag mit 27,2°C um 0,4 Kelvin wärmer als der erste Versuchstag. Die Luftfeuchtigkeit fiel von 50,4 % beim ersten Versuch auf 47,9 % beim zwölften Versuch und stieg danach wieder bis auf 56,1 %. Im Durchschnitt war der zweite Versuchstag um 1,1 % feuchter als der Erste. Grund für den Anstieg der Feuchtigkeit sowie den Abfall der Temperatur war ein Gewitter

mit starkem Niederschlag im dritten Drittel des Versuchszeitraumes. Im zweiten Block wurden insgesamt 20 Bauteile getestet. Der Niederschlag machte sich ebenfalls bei dem erneuten Einstellen der Temperaturprofile bemerkbar. Die Temperatur des Lötgriffels der ersten Profile, welche an dem Tag getestet wurden, musste um ca. 30 Kelvin wärmer eingestellt werden. Bei den letzten Temperaturprofilen mussten geringfügige Änderungen um fünf Kelvin oder gar keine Änderungen vorgenommen werden.

Am zweiten Versuchstag war das Ziel, die Zeiten aus den Versuchen des ersten Blocks zu bestätigen. Für scheinbar eindeutige Temperaturen und Zeiten, wie z.B. fünf Sekunden bei 280°C oder 100 Sekunden bei 240°C und 250°C sollte der Grenzbereich genauer untersucht werden, indem mehrere Bauteile bei dieser Temperatur bei 95 bis 100 Sekunden bzw. null bis fünf Sekunden getestet werden. Bei den anderen Temperaturen sollte das Versuchskonzept erneut durchgeführt werden, um im optimalen Fall auf die gleiche Ausfallzeit zu kommen.

Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse des zweiten Versuchsblock mit der Steckerleiste.

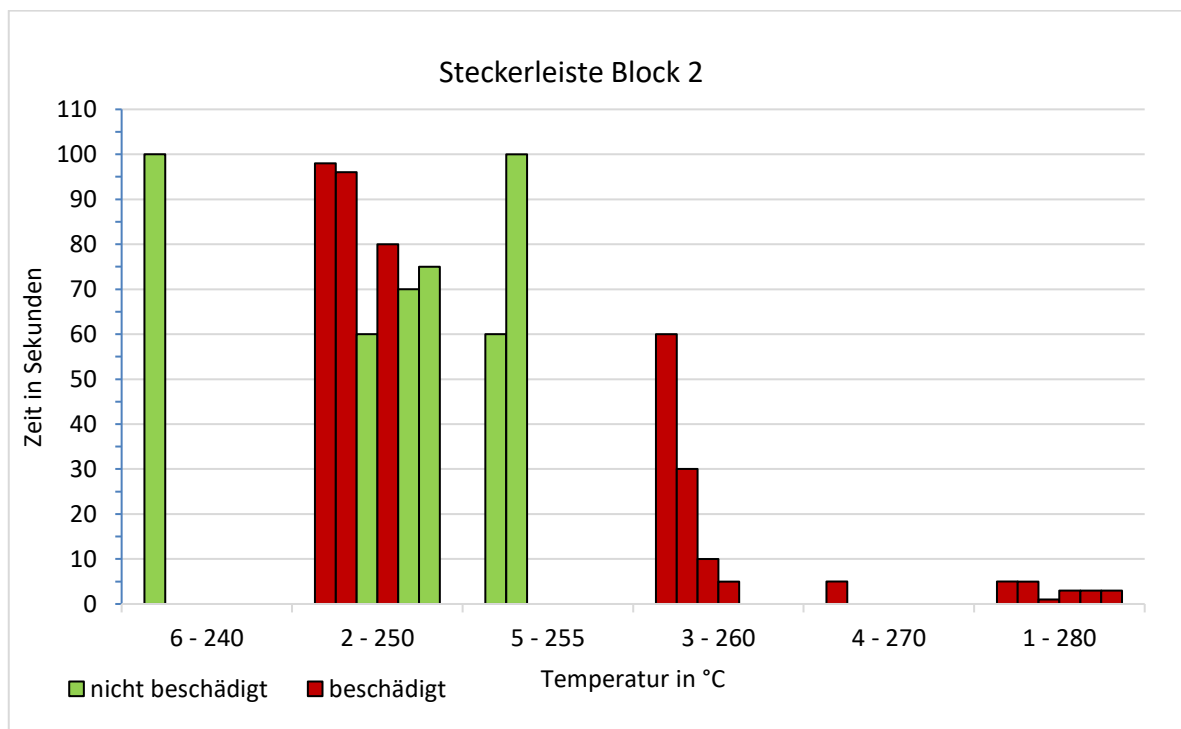


Abbildung 19: grafische Darstellung der Versuchsergebnisse aus Block 2 mit der Steckerleiste (Quelle: eigene Darstellung)

Im Vergleich zum ersten Versuchsblock sind einige Unterschiede erkennbar. Begonnen wurde der Block mit den Versuchen bei 280°C. Wie im ersten Block waren die Bauteile nach fünf Sekunden bereits beschädigt, ebenso nach drei bzw. einer Sekunde. Der Kunststoff ist geschmolzen und hat sich verformt, wie man in der folgenden Abbildung sieht.



Abbildung 20: Fotografie des ersten Bauteils des zweiten Versuchsblock, vergrößert mithilfe des Mikroskop Mantis von Vision Engineering (Quelle: eigene Fotografie)

Wenn der Lötgriffel bei Beendigung des Programms nach oben fährt, sind die Bauteile bei 280°C noch weich. Dies hat zur Folge, dass die Polarisierungswände, auf denen der Lötgriffel aufliegt, beim Aufwärtsfahren durch den Lötgriffel in die Länge gezogen werden.

Als nächstes standen die Versuche bei 250°C auf dem Plan. Nachdem die ersten beiden Bauteile nach 98 bzw. 96 Sekunden leichte Beschädigungen aufwiesen, wurde das Konzept zur Zeitermittlung erneut durchgeführt. Das Ergebnis weicht von dem aus dem ersten Block ab, ebenso wie das Ergebnis für die Versuche bei 260°C. Hier zeigt das Bauteil bereits nach fünf Sekunden Anzeichen von Beschädigung. Bei den Temperaturen 240°C und 270°C wurde aufgrund der Ergebnisse aus dem ersten Block der Grenzwert abgeprüft, ohne das komplette Konzept abzuarbeiten. Grund hierfür war das Sparen von Zeit und Bauteilen. Wären die Ergebnisse von denen des ersten Blocks abgewichen, wären weitere Untersuchungen durchgeführt worden. Auffallend ist die Tatsache, dass die Bauteile bei 250°C ab 80 Sekunden Anzeichen von Beschädigung aufweisen. Bei 255°C jedoch auch nach 100 Sekunden unbeschadet sind. Eine mögliche Ursache ist wie oben bereits erwähnt, dass das 255°C-Temperaturprofil nicht bzw. nur wenig angepasst werden musste im Vergleich zum Vortag.

7.1.3 Dritter Versuchsblock

Am darauffolgenden Tag wurden die Versuche des dritten Blockes durchgeführt. Der Tag war mit durchschnittlich 27,3°C der wärmste Versuchstag. Die Temperatur stieg von 26,2°C bis auf 27,8°C an. Mit einer durchschnittlichen Luftfeuchte von 51,3 % war die Luftfeuchtigkeit höher als an den bisherigen Tagen. Im Laufe des Versuchstages fiel sie von 56,0 % auf 49,3 %. Im dritten Block wurden insgesamt zwölf Bauteile getestet.

Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse des dritten Versuchsblock mit der Steckerleiste.

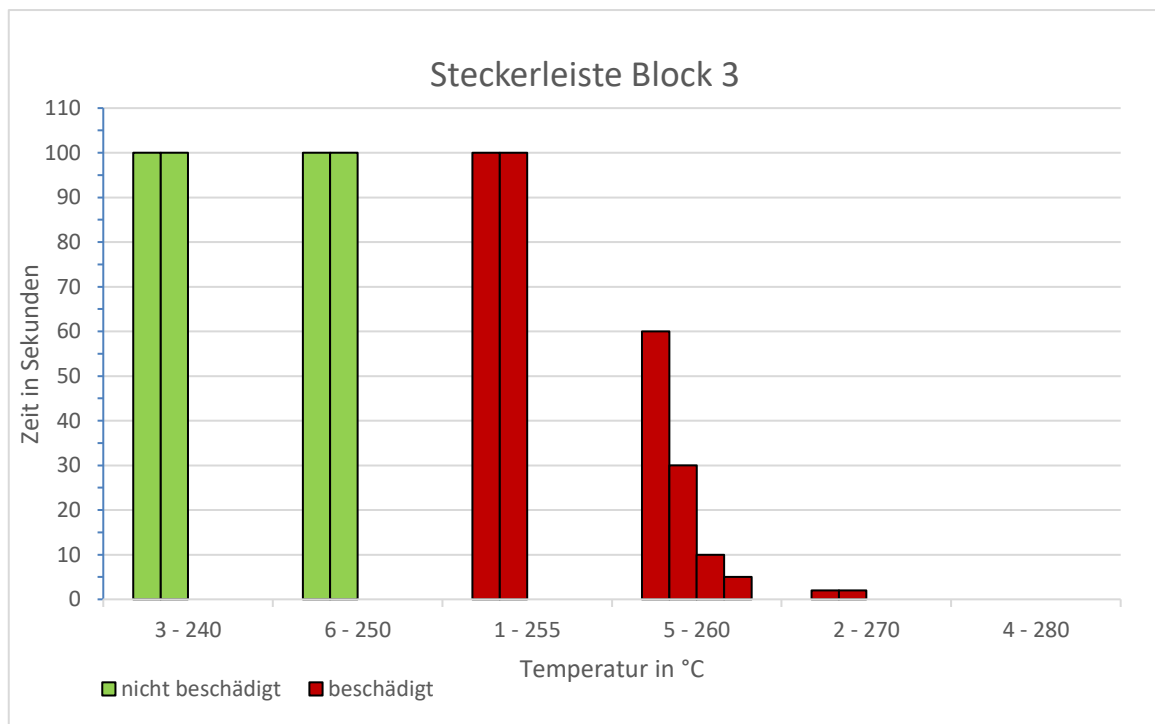


Abbildung 21: grafische Darstellung der Versuchsergebnisse aus Block 3 mit der Steckerleiste (Quelle: eigene Darstellung)

Im dritten Block wurden keine Bauteile bei 280°C getestet, da diese bisher immer ausgefallen sind und im zweiten Block mehrere Bauteile bei dieser Temperatur getestet wurden. Die Temperaturprofile mussten wieder deutlich kühler eingestellt werden im Vergleich zum zweiten Versuchsblock wie z.B. beim Temperaturprofil von 260°C. Die Temperaturprofile, welche am zweiten Versuchstag kaum angepasst werden mussten, mussten auch dieses Mal nur geringfügig angepasst werden.

Die Ergebnisse der Temperaturen 250°C, 255°C und 260°C fallen je nach Versuchsblock sehr unterschiedlich aus. Aufgrund der Fehlerbilder liegt die Vermutung nahe, dass die Beschädigungen mit der wärmeren Lufttemperatur am Lötgriffel zusammenhängen. Im folgenden Bild ist das neunte Bauteil aus dem dritten Block zu sehen, welches bei der Temperatur von 260°C für zehn Sekunden getestet wurde.

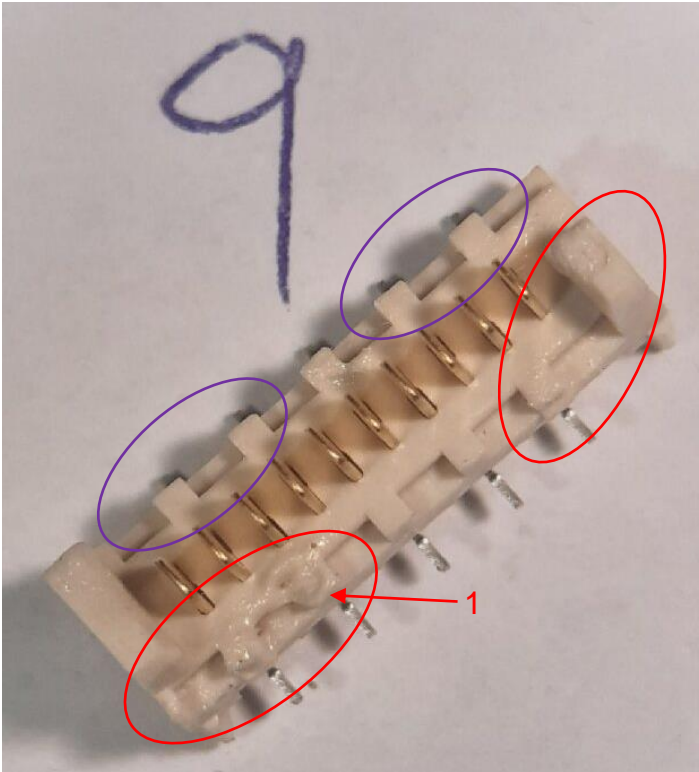


Abbildung 22: Fotografie des neunten Bauteils des dritten Versuchsblock, vergrößert mithilfe des Mikroskop Mantis von Vision Engineering (Quelle: eigene Fotografie)

In den roten Ellipsen ist der Kunststoff geschmolzen und hat sich teilweise verformt. Außerdem sieht es teilweise so aus, als hätte der heiße Luftstrom von oben eine Vertiefung in den Kunststoff geschmolzen (siehe Pfeil mit roter 1). In den violetten Ellipsen gibt es keine Anzeichen, dass der Kunststoff an diesen Stellen geschmolzen ist. Um herauszufinden, ob ein Zusammenhang zwischen der wärmeren Lufttemperatur am Lötgriffel und den Beschädigungen an den Bauteilen besteht, wurden Versuche bei den entsprechenden Temperaturen grafisch mit den Temperaturen am Lötgriffel aufbereitet.

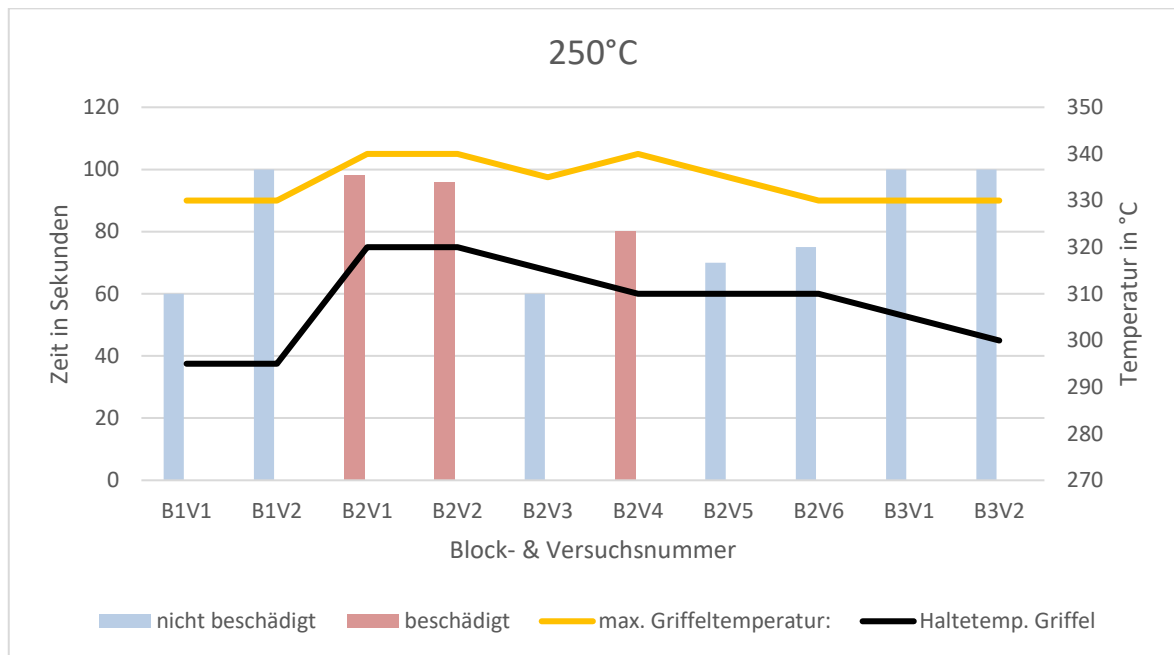


Abbildung 23: grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der max. Lötgriffeltemperatur, der Haltetemperatur des Lötgriffels und der Ergebnisse der Versuche für die Temperatur 250°C (Quelle: eigene Darstellung)

In der obenstehenden Abbildung ist der Zusammenhang zwischen der maximalen Lötgriffeltemperatur, der Haltetemperatur des Lötgriffels und der Ergebnisse der Versuche bei 250°C dargestellt. Bei den drei Versuchen, welche mit einer maximalen Lötgriffeltemperatur von 340°C durchgeführt wurden, sind die Bauteile beschädigt worden. Die Haltetemperatur ist bei zwei dieser Versuchen ebenfalls auf einem Maximum bei 320°C. Obwohl die Maximaltemperatur und die Haltetemperatur am Lötgriffel bei den Versuchen im zweiten Block (B2V1 bis B2V6) deutlich wärmer war als im ersten Block (B1V1 und B1V2), lag bei allen Versuchen am Temperatursensor und somit auch am Bauteil eine Temperatur von 250°C an.

Bei 255°C ist in der folgenden Abbildung ebenfalls zu erkennen, dass die Bauteile im Maximum des Graphen der Lötgriffeltemperatur Beschädigungen aufweisen. Die Haltetemperatur weist ebenfalls an einem der beiden beschädigten Bauteilen ein Maximum auf.

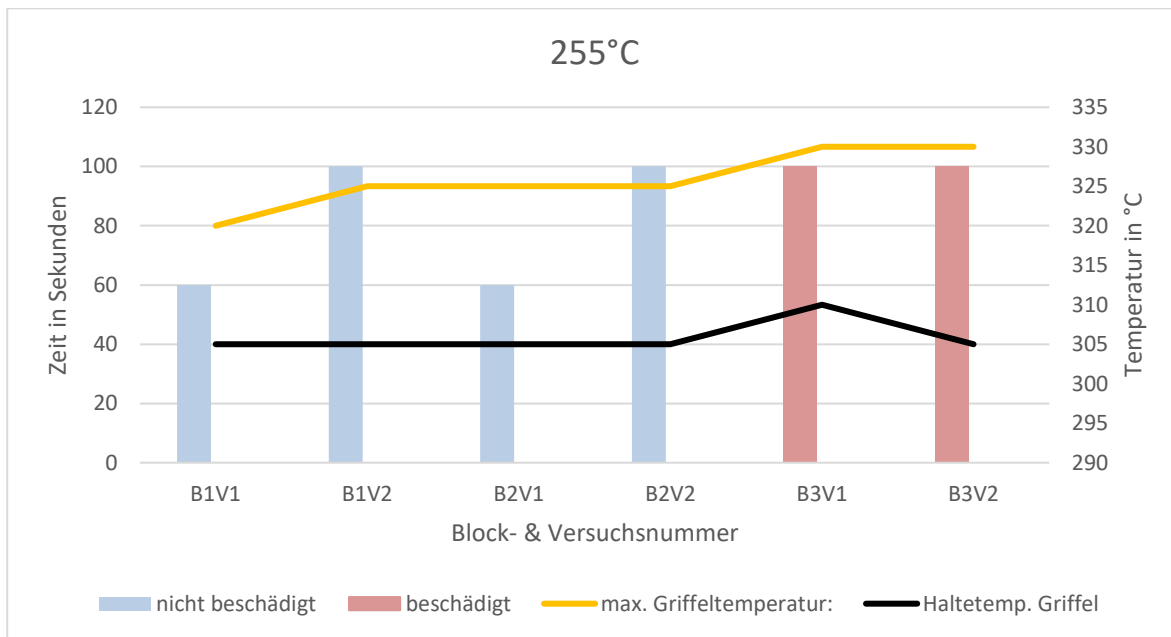


Abbildung 24: grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der max. Lötgriffeltemperatur, der Halte-temperatur des Lötgriffels und der Beschädigung der Bauteile für die Temperatur 255°C (Quelle: eigene Darstellung)

In der nächsten Abbildung sind die Zusammenhänge für die Versuche bei 260°C dargestellt.

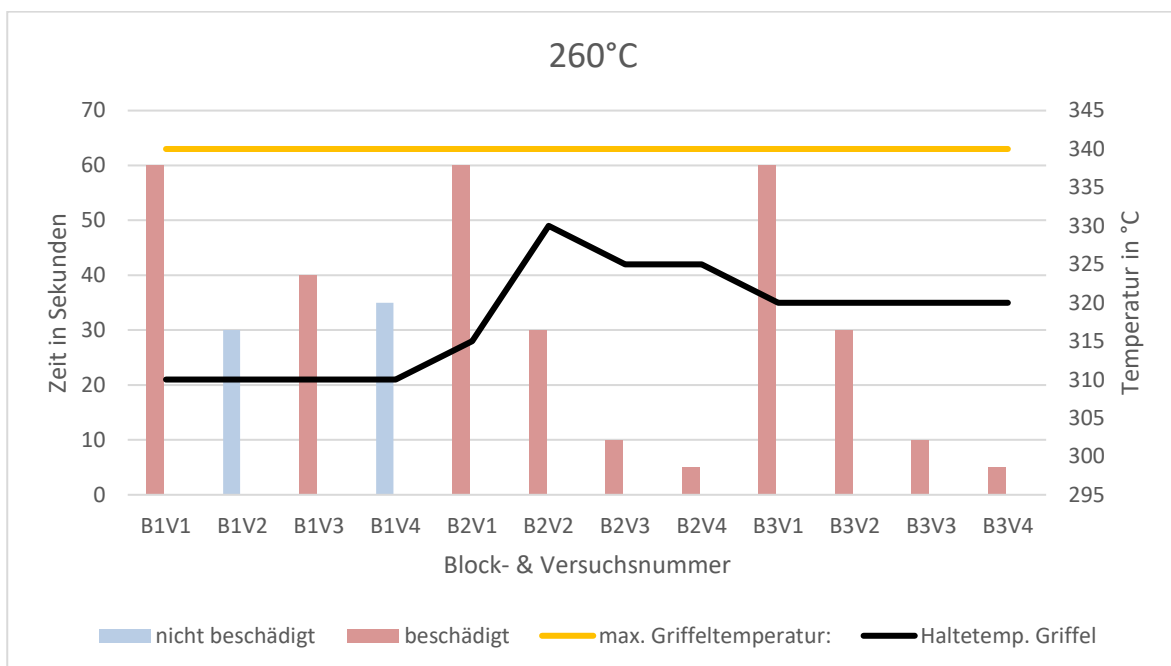


Abbildung 25: grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der max. Lötgriffeltemperatur, der Halte-temperatur des Lötgriffels und der Beschädigung der Bauteile für die Temperatur 260°C (Quelle: eigene Darstellung)

Die maximale Lötgriffeltemperatur beträgt bei allen Versuchen 340°C. Die Halte-temperatur des Lötgriffels variiert jedoch. Im ersten Block war sie mit 310°C am niedrigsten. In den

beiden anderen Versuchsblöcken ist sie mit bis zu 330°C wärmer und alle Bauteile, welche in den beiden Blöcken getestet wurden, wiesen nach den Versuchen Beschädigungen auf.

Wie im sechsten Kapitel „Durchführung“ bereits erwähnt, sind die Temperaturprofile so aufgebaut, dass die maximale Lötgriffeltemperatur höher ist als die Haltetemperatur, damit die erwünschte Temperatur schneller erreicht wird. Dadurch gibt es jedoch drei Parameter, welche die Ergebnisse beeinflussen und während den Versuchen nicht so konstant gehalten werden können, wie ursprünglich gedacht. Neben der maximalen Lötgriffeltemperatur und der Haltetemperatur gibt es noch die Spitzenzeit als dritten Parameter. Diese legt fest, wie lange die maximale Lötgriffeltemperatur anliegt, bevor sich die Temperatur auf die Haltetemperatur einpegelt. Der Einfluss der einzelnen Parameter kann mit dem Versuchsaufbau im Rahmen dieser Arbeit nicht genau bestimmt werden. Um den Einfluss zu minimieren, wurde in der Peakzone die maximale Lötgriffeltemperatur und die Haltetemperatur gleich groß eingestellt und die Spitzenzeit auf null gesetzt. Dadurch gibt es nur noch eine Temperatur am Lötgriffel. Die Erwärmung des Bauteils auf die gewünschte Temperatur dauert dadurch länger, aber wenn die Temperatur am Lötgriffel richtig eingestellt ist, kommt es nicht mehr zum Überschwingen der Temperatur.

Zum Vergleich zeigt die folgende Abbildung ein durchgeführtes Temperaturprofil bei 280°C für 60 Sekunden im ersten Versuchsblock, so wie die Versuche an den ersten drei Versuchstagen durchgeführt wurden.

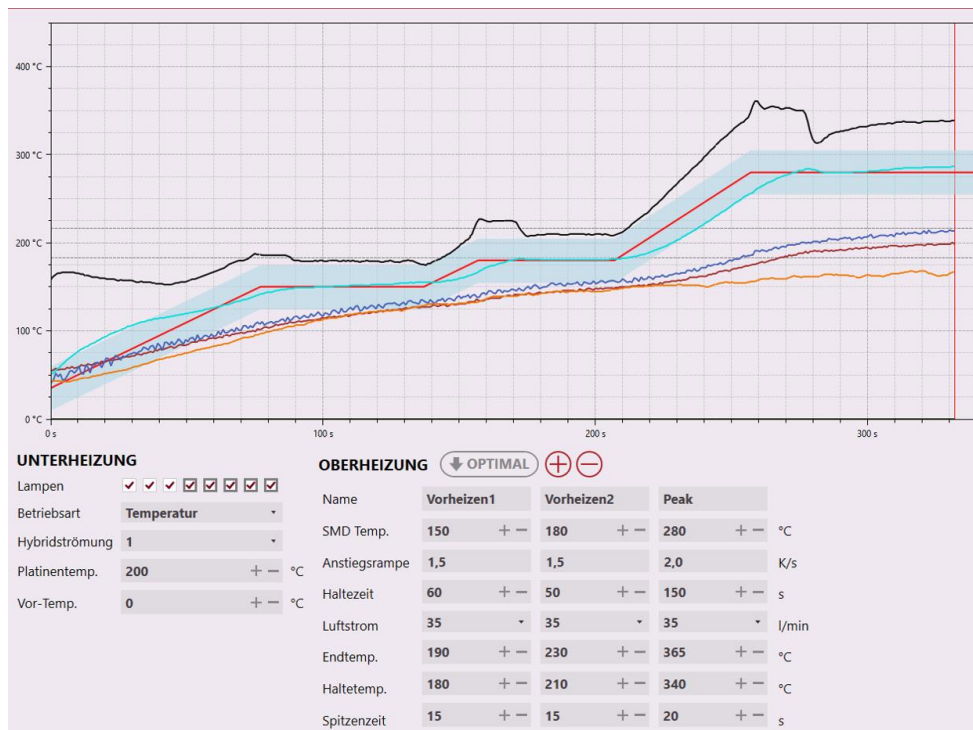


Abbildung 26: Übersicht der Software, nachdem das Temperaturprofil 280°C für 60 Sekunden im ersten Block durchgeführt wurde (Quelle: Screenshot der Software ‚EASYSOLDER 07‘)

Die 280°C werden von dem blauen Graphen (Temperatursensor am Bauteil) in der ersten Abbildung sehr schneller erreicht. Allerdings überschreitet der blaue Graph auch mehrmals die rote „Soll-Kennlinie“. Die maximale Temperatur am Lötgriffel ist mit 265°C deutlich wärmer als in der zweiten Abbildung. Man kann die maximale Griffeltemperatur, die Spitzenzeit und die Haltetemperatur deutlich für alle drei Zonen am schwarzen Graphen erkennen.

Die folgende Abbildung zeigt das durchgeführte Temperaturprofil bei 280°C, ebenfalls für 60 Sekunden, jedoch ohne Spitzenzeit und die „Endtemperatur“ ist genauso groß wie die „Haltetemperatur“.

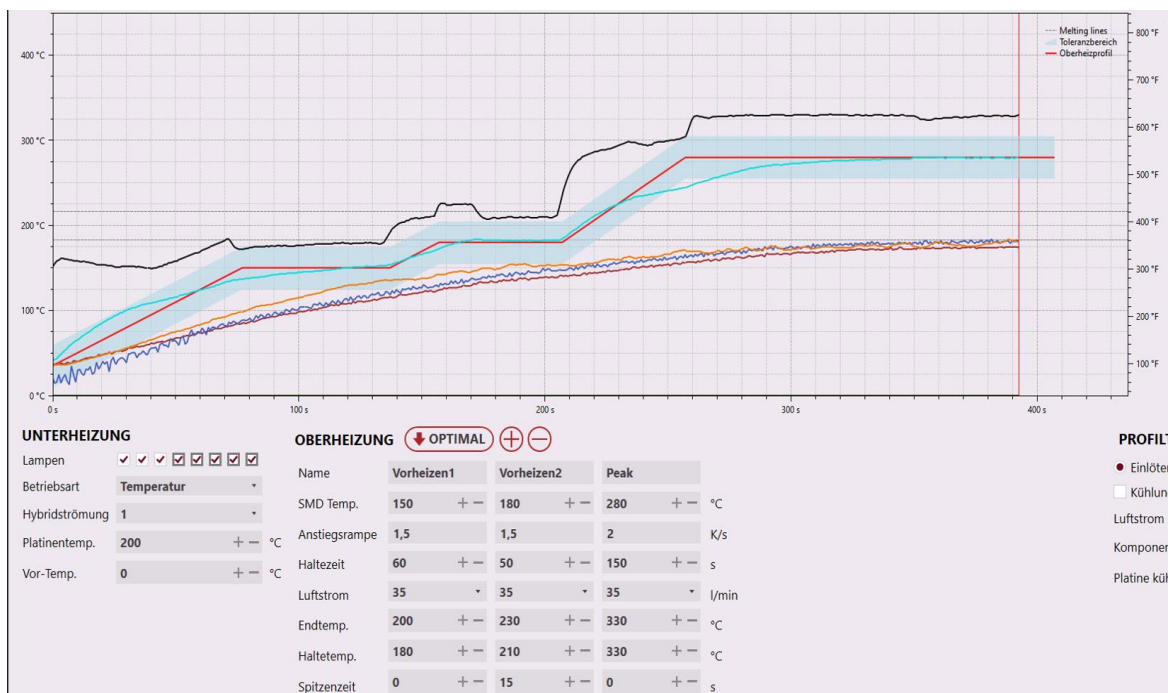


Abbildung 27: Übersicht der Software, nachdem das Temperaturprofil 280°C für 60 Sekunden im vierten Block durchgeführt wurde (Quelle: Screenshot der Software ‚EASYSOLDER 07‘)

Bis die 280°C vom blauen Graphen erreicht werden dauert es 60 Sekunden ab dem Zeitpunkt, an dem der Lötgriffel seine maximale Temperatur erreicht hat. Die rote Soll-Kennlinie wird nicht überschritten, sondern der Graph nähert sich dieser an und bleibt am Ende auf der Soll-Kennlinie.

Nachdem mit dieser Variante ein paar Testläufe durchgeführt wurde, wurde sie im vierten Versuchsblock eingesetzt.

7.1.4 Vierter Versuchsblock

Der vierte Versuchsblock fand in der darauffolgenden Woche statt. Es herrschte im Durchschnitt eine Temperatur von 26,3°C in der Produktionshalle mit einem Tiefstwert von 25,1°C und eine Höchstwert von 27,1°C. Die Luftfeuchtigkeit betrug im Durchschnitt

46,9 % und fiel von 48,5 % beim ersten Versuch auf 44,8 % im letzten Versuch. Es wurden insgesamt 16 Bauteile getestet.

Die folgende Darstellung zeigt den Zusammenhang zwischen der maximalen Lötgriffeltemperatur, der Haltetemperatur und den Ergebnissen der Versuche bei 260°C inklusive der beiden Versuche aus dem vierten Block.

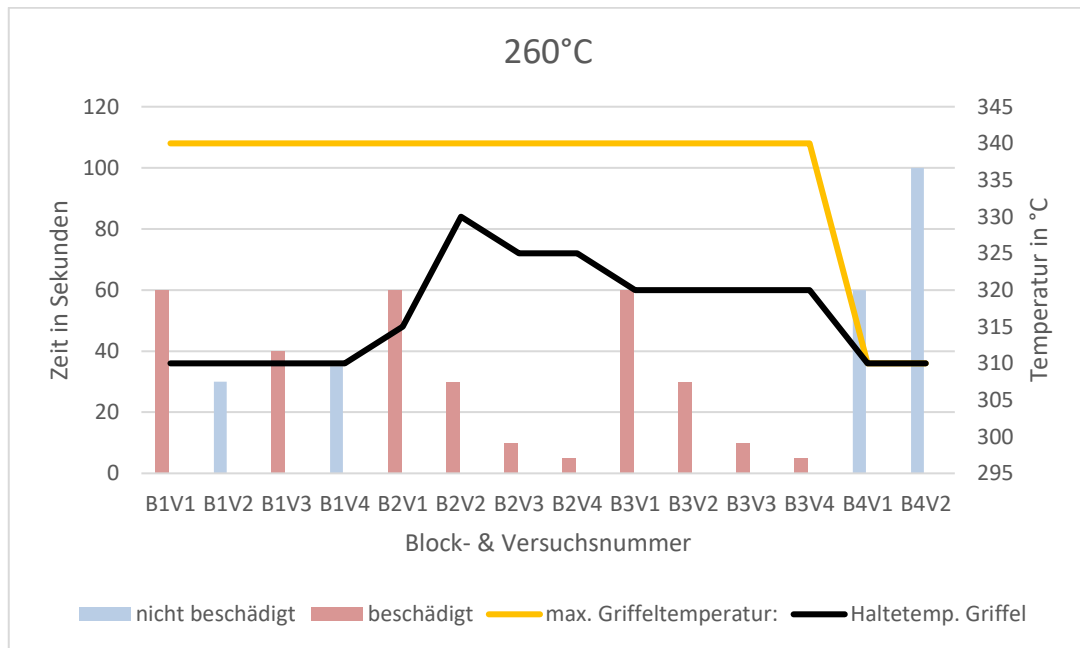


Abbildung 28: grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der max. Lötgriffeltemperatur, der Haltetemperatur des Lötgriffels und der Beschädigung der Bauteile für die Temperatur 260°C (Quelle: eigene Darstellung)

Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse des vierten Versuchsblock mit der Steckerleiste.

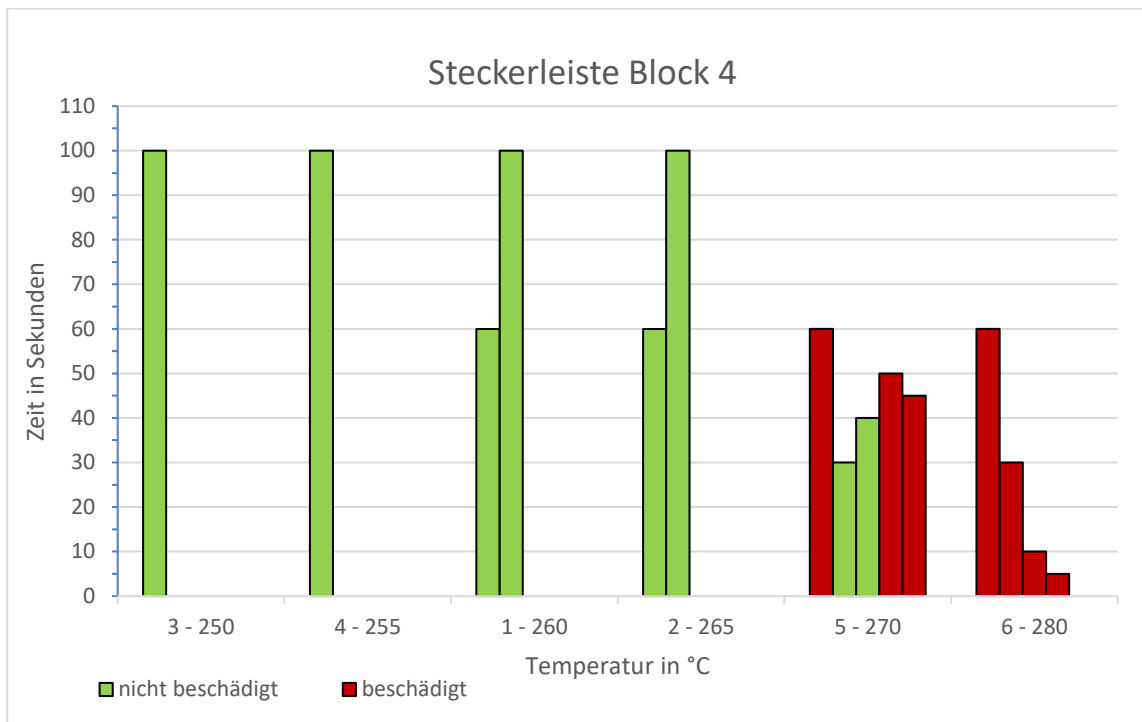


Abbildung 29: grafische Darstellung der Versuchsergebnisse aus Block 4 mit der Steckerleiste (Quelle: eigene Darstellung)

Die Temperatur 240°C wurde in diesem Block nicht getestet, da sie die bisherigen Versuche immer unbeschadet überstanden hat. Dafür wurde die Temperatur 265°C aufgenommen, um eine genauere Auflösung innerhalb des „interessanten“ Temperaturbereichs von 250°C bis 270°C zu bekommen. Mit interessantem Temperaturbereich ist der Bereich gemeint, in dem es in den vorherigen Versuchen zu beschädigten und unbeschädigten Bauteilen gekommen ist.

Die Ergebnisse der Versuche bei 280°C unterscheiden sich nicht von denen aus dem ersten und zweiten Block. Das Bauteil wies auch im vierten Block nach fünf Sekunden bei 280°C Beschädigungen auf. Die getesteten Bauteile überstanden die Temperaturen 250°C, 255°C, 260°C und 265°C für 100 Sekunden ohne Beschädigung. Für die Versuche bei 260°C stellt dies ein Unterschied zu den Versuchen in den ersten drei Blöcken dar, bei denen lediglich zwei Bauteile unbeschadet blieben. Ebenso ist ein Unterschied bei den Versuchen mit der Temperatur von 270°C zu sehen, denn erstmals überstanden Bauteile diese Temperatur ohne Beschädigung.

7.2 Auswertung der Versuche mit dem Übertrager

Die drei Versuchsblöcke mit den Übertragern wurden an drei aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt. Am ersten Versuchstag stieg die Temperatur im Laufe der Versuchszeitraums von 23,7°C auf 24,7°C und die Luftfeuchte fiel von 49,2 % auf 39,8 % ab. Insgesamt betrug die durchschnittliche Temperatur 24,3°C und die durchschnittliche Luftfeuchte war mit 45,2 % der höchste Wert an den drei Versuchstagen. Der zweite Versuchstag war

der wärmste und trockenste mit durchschnittlich $26,0^{\circ}\text{C}$ und einer Luftfeuchte von durchschnittlich $29,6\%$. Am dritten Versuchstag betrug die durchschnittliche Raumtemperatur in der Halle $24,8^{\circ}\text{C}$ und die Luftfeuchte $40,9\%$. Die Versuchszeit am zweiten Tag fing um 14:50 Uhr an und ging bis 17:30 Uhr. An den beiden anderen Versuchstagen startete der erste Versuch bereits gegen 9:35 Uhr und der letzte endete gegen 12:30. Deshalb waren die Temperaturen am ersten und dritten Tage etwas kühler und die Luft noch feuchter.

Am ersten Tag wurden zwölf Bauteile getestet und an den beiden anderen jeweils 14 Bauteile. Dies liegt daran, dass am zweiten Tag die ersten zwei Versuche für die Temperatur 275°C zu kalt waren. Es wurden lediglich 268°C erreicht. Die eigentlichen Versuche für die Temperatur von 265°C entsprechend der vorher festgelegten Reihenfolge wurden trotzdem durchgeführt. Am dritten Versuchstag liegt eine ähnliche Situation vor, denn die ersten zwei Versuche für die Temperatur von 255°C waren zu warm und erreichten bis 269°C . Deshalb gibt es auch am dritten Tage mehr getestet Bauteile bei der Temperatur von 265°C .

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der drei Versuchsblöcke.

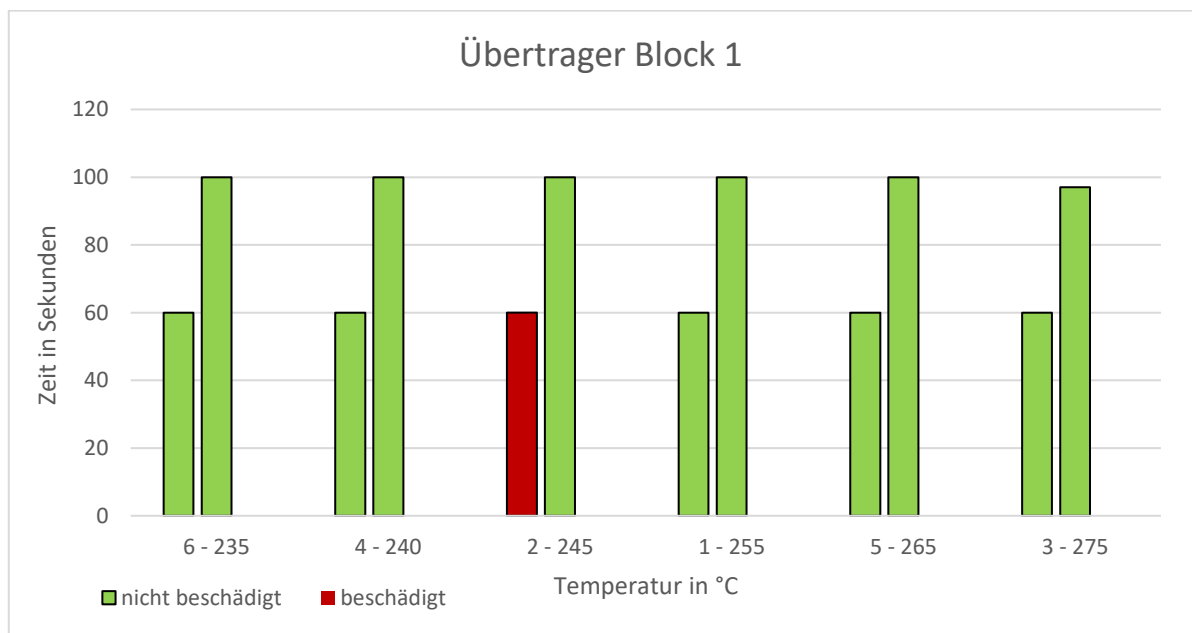


Abbildung 30: grafische Darstellung der Versuchsergebnisse aus Block 1 mit den Übertragern (Quelle: eigene Darstellung)

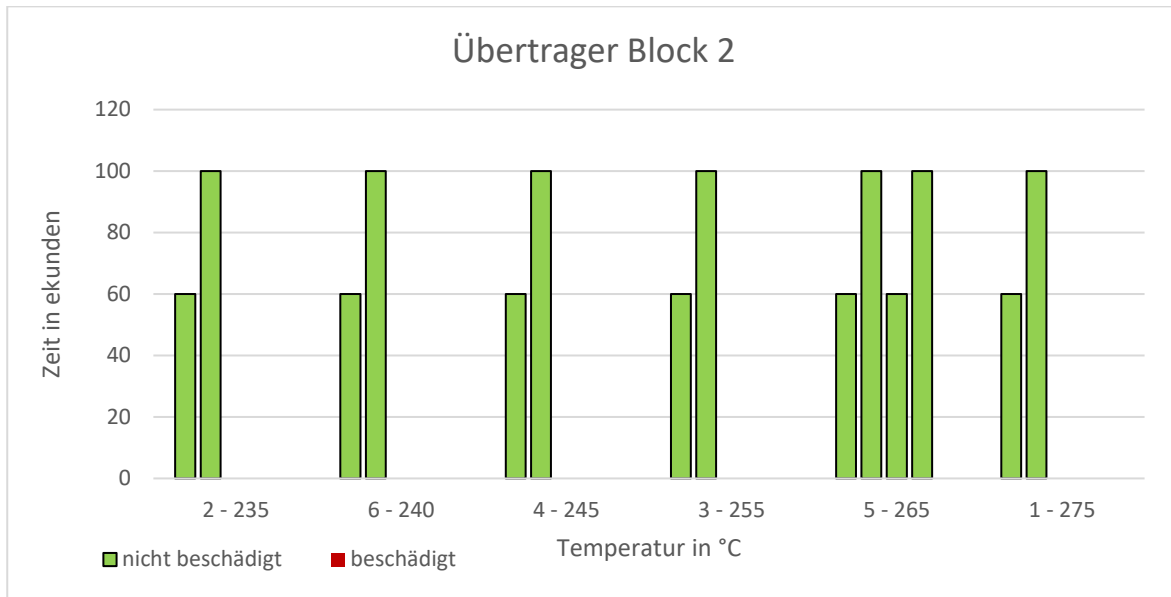


Abbildung 31: grafische Darstellung der Versuchsergebnisse aus Block 2 mit den Übertragern (Quelle: eigene Darstellung)

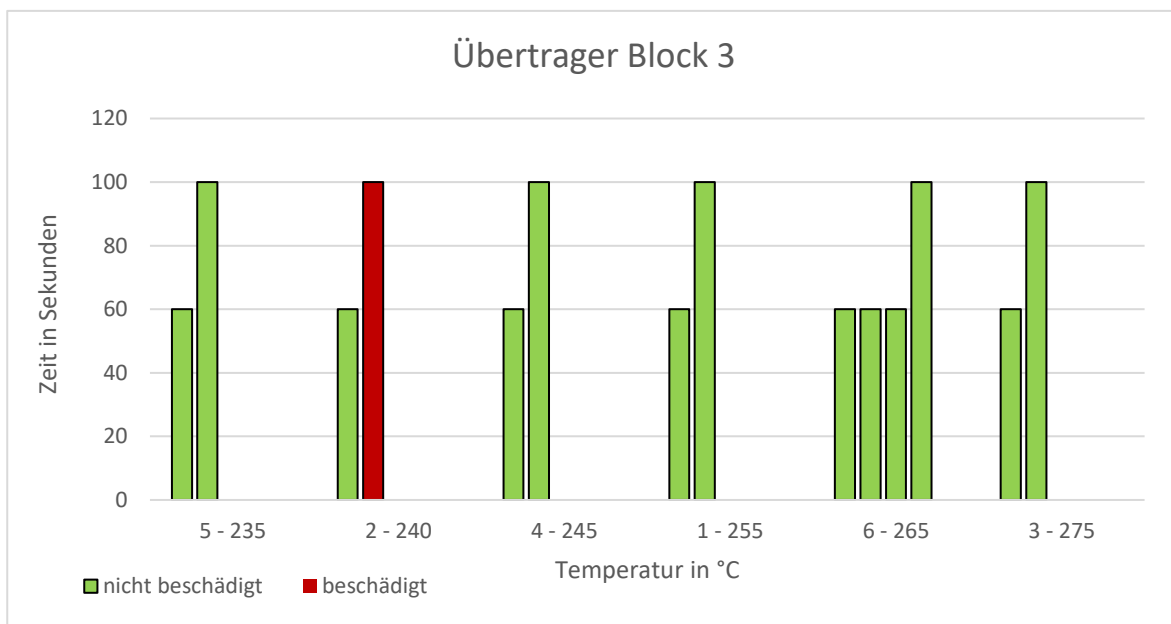


Abbildung 32: grafische Darstellung der Versuchsergebnisse aus Block 3 mit den Übertragern (Quelle: eigene Darstellung)

Es gab lediglich zwei Bauteile, welche nach dem Versuch beschädigt waren. Bei beiden Bauteilen ist ein Draht vom Lötpad abgerissen, sodass keine Verbindung mehr besteht. Das folgende Foto zeigt die Beschädigung am Bauteil aus dem dritten Versuchsblock.

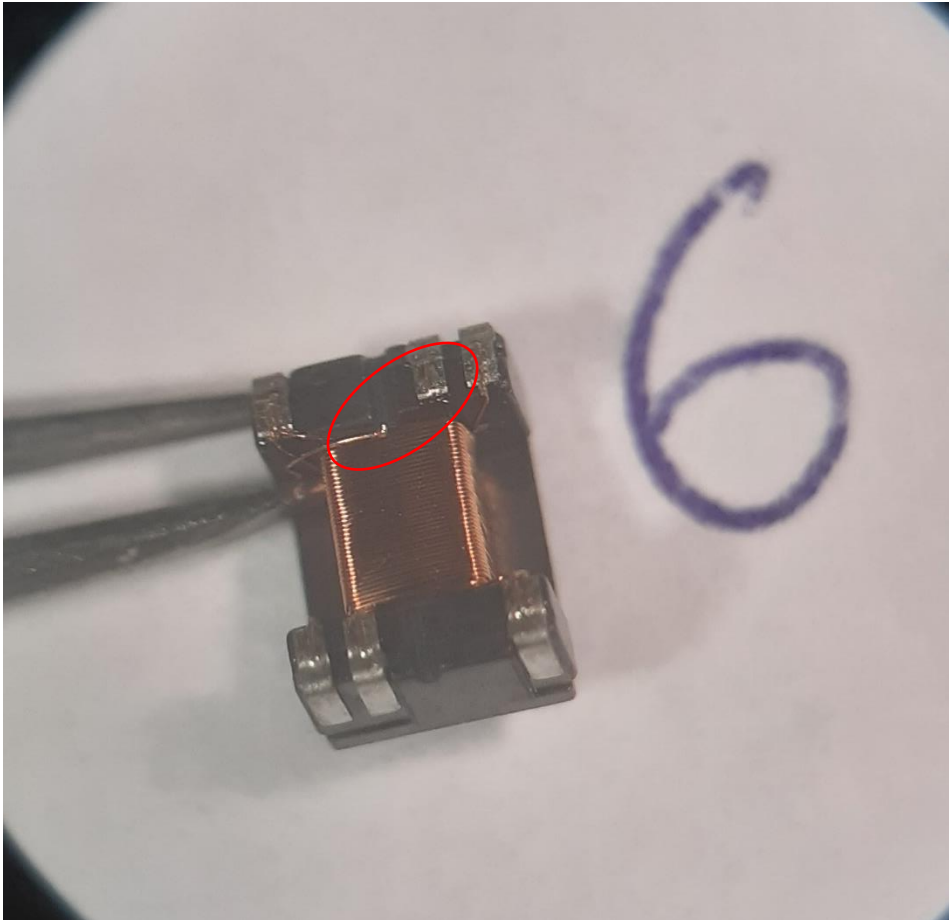


Abbildung 33: Fotografie des sechsten Bauteils des dritten Versuchsblock, vergrößert mithilfe des Mikroskop Mantis von Vision Engineering (Quelle: eigene Fotografie)

In der roten Markierung ist der abgerissene Draht zu erkennen, welcher eigentlich an dem innenliegenden Lötpad angeschlossen sein sollte. Bei dem beschädigten Bauteil aus dem ersten Versuchsblock ist der Draht ebenfalls von einem der beiden innenliegenden Löt-pads abgerissen. Die zweite Spule, welche noch komplett gemessen werden konnte, zeigte keine abweichenden Werte. Da die beiden Bauteile nicht bei den höchsten Temperaturen, sondern eher bei niedrigen Temperaturen beschädigt worden sind und die anderen 38 Bauteile weder bei der optischen noch bei der elektrischen Prüfung eine Beschädigung aufwiesen, handelt es sich bei den beiden Bauteilen vermutlich um Ausreißer. Die Bauteile könnten z.B. an der Stelle eine Vorschädigung gehabt haben, welche bei der elektrischen Prüfung im Vorfeld nicht aufgefallen ist. Unter der thermischen Belastung riss der Draht dann jedoch. Außerdem waren neben diesen beiden Bauteilen bereits vier Bauteile vor den Versuchen beschädigt. Auch bei diesen ist ein Draht vom Löt-pad abgerissen, was mithilfe der elektrischen Prüfung vor dem Versuch festgestellt wurde. Bei diesen Bauteilen waren verschiedene Löt-pads betroffen.

7.3 Auswertung der Versuche am Reflowofen

Um herauszufinden, ob die Ergebnisse, welche bei den Versuchen mit dem Rework-System erzielt wurden, auch auf den Reflowofen übertragbar sind, wurden auf eine Leiterplatte zwanzig Übertrager und sechs Steckerleisten mithilfe von hitzebeständigem Kleben aufgebracht. Die Bauteile wurden ohne Lötpaste getestet, deshalb mussten vor allem die Übertrager fixiert werden, damit sie nicht von der Luftzirkulation im Reflowofen von der Leiterplatte befördert werden. Zusätzlich wurden sechs Temperatursensoren auf der Leiterplatte befestigt, welche anschließend an dem Temperaturlogger Datapaq angeschlossen wurden. Die Temperatursensoren wurden mit einem Klebepunkt aus Loctite befestigt, damit sie nicht verrutschen. Die Leitungen wurden anschließend über die Leiterplatte geführt und mit hitzebeständigem Klebeband fixiert.

Die folgende Abbildung zeigt die Leiterplatte mit den Bauteilen.

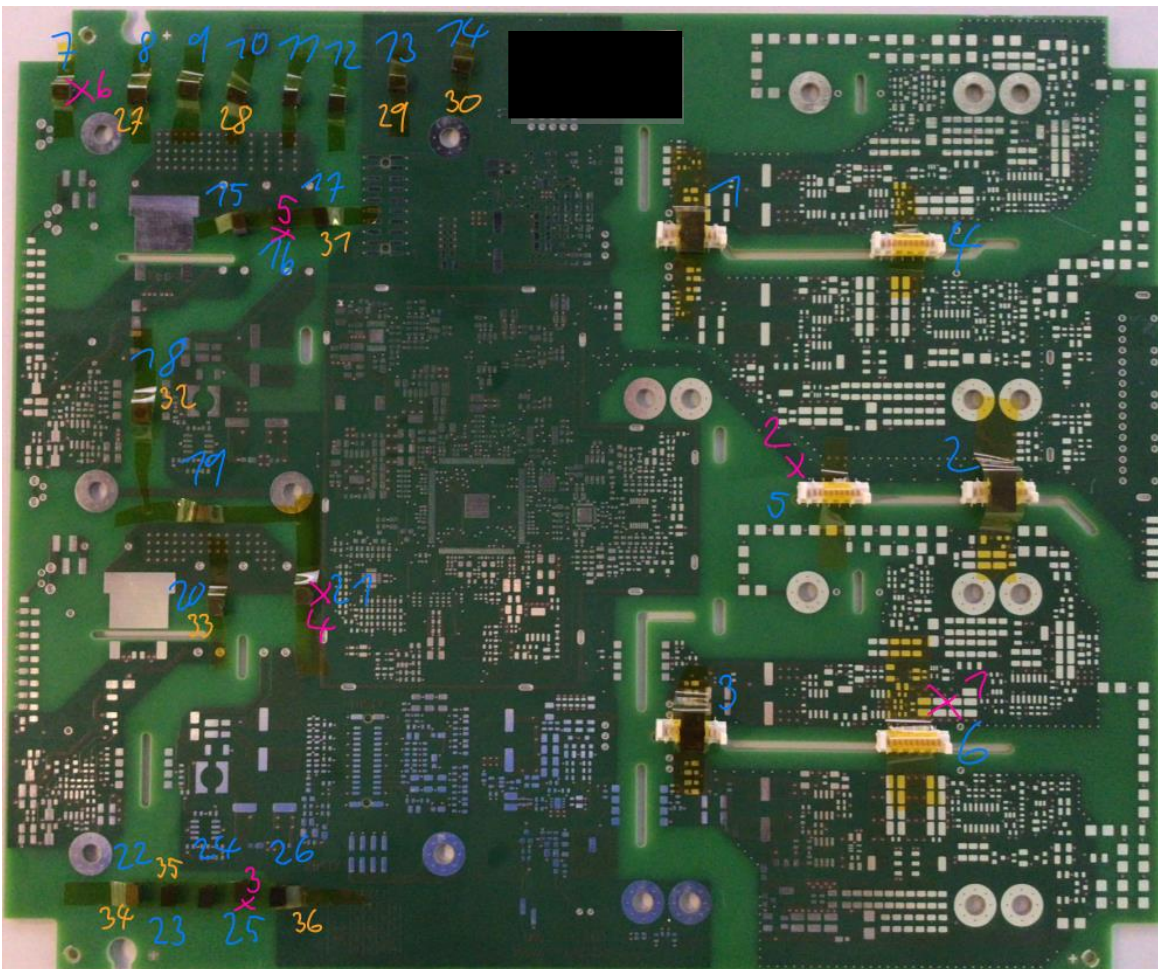


Abbildung 34: bestückte Leiterplatte mit Übertragern und Steckerleisten, Schwärzung eines Etikettes aus datenschutzrechtlichen Gründen (Quelle: eigene Fotografie)

Die pinken Kreuze und Nummern kennzeichnen die Platzierung der Temperatursensoren. Die blauen Zahlen nummerieren die Bauteile, wobei die Bauteile eins bis sechs die Steckerleisten sind und sieben bis 26 die Übertrager. Bei den Steckerleisten werden die

Nummern eins bis drei mit Bestückhilfe und die anderen drei ohne Bestückhilfe getestet. Die orangen Nummern nummerieren die neuen Bauteile, welche nach dem ersten Durchgang die vorherigen ersetzt haben. Bauteile, wie z.B. der Übertrager mit der Nummer 24, an denen keine orange Nummer steht, sind zweimal durch den Reflowofen gefahren.

Die Leiterplatte und der Temperaturlogger wurden zuerst beim wärmsten Lötprofil durch den Reflowofen geschickt. Hierbei wurden von den sechs Temperatursensoren im Peakbereich Höchsttemperaturen von 259,5°C bis 264,5°C gemessen. Die Zeit oberhalb des Höchstwert minus fünf Kelvin betrug je nach Temperatursensor 17 bis 22 Sekunden. Danach wurden zehn Übertrager mit neuen ersetzt. Die Steckerleisten wurden optisch überprüft. Mit dem bloßem Auge waren keine Beschädigungen erkennbar. Währenddessen wurden die Temperaturen an den Heizplatten im Ofen um 20 Kelvin in den Vorheizzonen und um 30 bis 40 Kelvin in den Peakzonen angehoben. Ziel dieser starken Erwärmung war die Übertrager thermisch noch etwas mehr zu belasten als mit dem Rework-System und Beschädigungen zu erzwingen. Nachdem der Ofen und die Leiterplatte bereit waren, wurden die Leiterplatte und der Temperaturlogger noch einmal durch den Reflowofen geschickt. Bei dem zweiten Durchgang wurden von den Sensoren Höchstwerte von 288,5°C bis 297,0°C gemessen. Die Zeit oberhalb des Höchstwert minus fünf Kelvin betrug je nach Sensor zwischen 15 und 22 Sekunden.

Im Anschluss wurden die Bauteile von der Leiterplatte entfernt und beschriftet und anschließend optisch geprüft. Bei den Übertragern wurde eine Widerstandsmessung durchgeführt. Die Steckerleisten waren alle beschädigt, da der Kunststoff angeschmolzen ist und die Form leicht verlaufen ist. Die Übertrager wiesen weder optische Beschädigungen noch gab es bei der Widerstandsmessung Auffälligkeiten. Lediglich ein Bauteil wies ein beschädigtes Lötpad auf, dies geschah jedoch beim Entfernen des Loctite-Klebspunktes, mit dem der Temperatursensor befestigt war. Das Loctite ist unter das Bauteil gelaufen und beim Entfernen ist das Lötpad an der Leiterplatte kleben geblieben. Dies bestätigt, dass die Übertrager gegen die Hitze allein resistent sind und die Materialien deutlich mehr Wärmeeintrag ohne Beschädigung überstehen als im Datenblatt angegeben.

7.4 Allgemeine Auswertung des Versuchsplans und der Durchführung

Ob die zu testenden Temperaturen sinnvoll festgelegt sind, lässt sich anhand der Versuche nicht abschließend bewerten. Die Ergebnisse sind dafür zu unterschiedlich. Das Versuchskonzept zum Ermitteln der Zeit hat gut funktioniert, aber es hätte bei den Versuchen mit der Steckerleiste konsequenter umgesetzt werden müssen. Die Randomisierung und Blockbildung wurden konsequent durchgeführt. Dies sollte, wenn möglich, auch beibehalten werden.

Die Versuchsbedingungen müssten angepasst werden, um die Ausgangsfrage dieser Arbeit vollumfänglich zu beantworten. Die Versuchsbedingungen waren scheinbar zu weit

von den Fertigungsbedingungen entfernt. Die Lötpaste und im optimalen Fall auch die Leiterplatte sollten bei zukünftigen Versuchen mit einbezogen werden. Dies erschwert die Prüfung, da keine 360° Anschauung des Bauteils mehr möglich ist, wenn dieses auf die Leiterplatte gelötet wurde, jedoch könnte in diesem Fall das Röntgen der Bauteile helfen, um falls notwendig zusätzliche Informationen zu erlangen. Im Falle des Übertragers scheint die Lötpaste ein wichtiger Faktor zu sein, der in zukünftigen Versuchen zum Thema Wärmebeständigkeit mit einbezogen werden sollte.

Ob mit dem Rework-System Ergebnisse erzielt werden können, welche auch auf den Reflowofen übertragbar sind, hängt vom Bauteil ab. Die Steckerleiste bzw. Bauteile, welche empfindlich gegenüber dem Heißluftstrom reagieren, sollten besser im Reflowofen getestet werden. Durch die geschlossene Luftkammern im Reflowofen gibt es dort eine andere Luftzirkulation als beim Rework-System. Bauteile wie die Übertrager, welche unempfindlich gegenüber dem Heißluftstrom sind, scheinen am Rework-System ähnliche Ergebnisse zu erzielen wie im Reflowofen. Jedoch sollte überprüft werden, ob dies auch noch zutrifft, wenn die Lötpaste und Leiterplatte mit in die Versuche einbezogen werden.

Die Versuche mit der Steckerleiste liefen weniger reibungslos als die Versuche mit den Übertragern. Dies lag zum einen daran, dass die Routine mit dem Rework-System fehlerhaft war, welche bei den Versuchen mit den Übertragern in stärkerem Maße vorhanden war. Zum anderen wird die Steckerleiste rein optisch bewertet. Dies ist auch mithilfe des Mikroskops schwieriger bzw. subjektiver als die elektronische Prüfung bei den Übertragern. Die elektronische Prüfung lieferte einen objektiven Wert, der mit dem Anfangswert verglichen werden konnte. Diese Bewertung ist weniger fehleranfällig als die rein optische Beurteilung.

8 Fazit

Die Ergebnisse der Versuche mit der Steckerleiste unterscheiden sich deutlich von den Ergebnissen der Versuche mit den Übertragern. Während das Ziel, die Steckerleisten zu beschädigen bei verschiedenen Temperaturen und Zeiten erreicht wurde, hielten die Übertrager allen Temperaturen stand. Auch der Versuch im Reflowofen bei fast 300°C konnte die Übertrager nicht beschädigen, obwohl die maximale Löttemperatur laut Datenblatt um fast 55 Kelvin überschritten wurden.

Die Versuche mit der Steckerleiste zeigten, dass niedrigere Temperaturen länger auf das Bauteil einwirken konnten, bevor es beschädigt wurde. Je höher die Temperatur wurde, desto kürzer war die Zeit bis zum Auftreten erster Schäden. Abschließend kann die Forschungsfrage für die Steckerleiste jedoch nicht beantwortet werden. Es gibt zu viele Faktoren vom Rework-System, deren genauen Einfluss nicht mit dem verwendeten Versuchsplan ermitteln werden konnte. Weitere Versuche wären nötig, um dies abschließend zu klären. Der Kunststoff der Steckerleiste hält teilweise auch Temperaturen über 260°C aus. Jedoch konnte nicht geklärt werden, inwieweit der heiße Luftstrom vom Lötgriffel Beschädigungen verursachte, welche im Reflowprozess aufgrund der anderen Luftzirkulation nicht auftreten würden.

Zusammenfassend kann zu den Versuchen mit den Übertragern gesagt werden, dass sie auch deutlich höhere Temperaturen als im Datenblatt angegeben aushalten. Aber es muss mindestens einen weiteren Faktor geben, welcher bei diesen Versuchen nicht berücksichtigt wurde, weshalb die Bauteile in der Produktion während dem Reflowprozess beschädigt werden, obwohl die Verarbeitungstemperaturen dort geringer sind als die meisten Testtemperaturen. Ein möglicher Faktor ist die Lötpaste, welche den Draht am Übergang zum Lötpad angreift und beschädigt bzw. leichte Vorschädigungen verstärkt, weshalb der Draht bei der thermischen Belastung im Reflowofen reißt. Gegenüber den Steckerleisten waren die Übertrager weniger empfindlich bzgl. des Luftstroms. Es kam zu keinen optischen Schäden, welche durch den Luftstrom der heißen Luft entstanden sein könnten.

Die Forschungsfrage kann nicht abschließend beantwortet werden, trotzdem wurden wichtige Erkenntnisse gewonnen. Die Wärmebeständigkeit eines Bauteils allein liefert keine zuverlässige Aussage darüber, ob das Bauteil während des Reflowprozesses beschädigt wird, da weitere Faktoren wie z.B. die Lötpaste einen Einfluss darauf haben. Die Luftzirkulation bzw. der Luftstrom kann ebenfalls ein Faktor für die Schädigung eines Bauteils sein.

Literaturverzeichnis

IPC-A-610, September 2020: Abnahmekriterien für elektronische Baugruppen.

Bell, Hans; Grossmann, Günther (2012): Reflow Technologie - Grundlagen des Reflowlötens. Teil 1: Werkstofftechnische Grundlagen des Löttechnologie. 2. Aufl. Germany: Rehm Thermal Systems GmbH (Reflow Technologie - Grundlagen des Reflowlötens, 1).

Bodelier, Wim (2022): Wellen- und Reflowlötens. Hg. v. PIEK. Online verfügbar unter <https://piektraining.com/de/wellen-und-reflow-loeten/>, zuletzt aktualisiert am 22.06.2022, zuletzt geprüft am 17.04.2024.

Budelmann, Christoph (2021): Automatisierungsgrad erhöhen: Vor- und Nachteile von THR-Bauteilen. Hg. v. Elektronik Praxis (Neue Serie zur Fertigungstechnik). Online verfügbar unter <https://www.elektronikpraxis.de/automatisierungsgrad-erhoehen-vor-und-nachteile-von-thr-bauteilen-a-6cc9a031f224d7099da991bb975e2f9c/>, zuletzt aktualisiert am 19.04.2021, zuletzt geprüft am 03.07.2024.

Europäisches Parlament (08.06.2011): Richtlinie 2011/65/EU zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten. Richtlinie 2011/65/EU. Fundstelle: https://www.ce-richtlinien.eu/richtlinien/RoHS/Richtlinie/RL_2011-65-EG_RoHS_Konsolidiert.pdf.

igusblogs (2020): Was ist Reflowlötens? Hg. v. igusblogs. Online verfügbar unter <https://blog.igus.de/knowledge-base/was-ist-reflowloeten/>, zuletzt aktualisiert am 25.09.2020, zuletzt geprüft am 17.04.2024.

IPC: About IPC. Mission Statement. Hg. v. IPC. Online verfügbar unter <https://www.ipc.org/about-ipc>, zuletzt geprüft am 29.04.24.

J-STD-001, Februar 2016: Joint Industry Standard - Requirements for Soldered Electrical and Electronic Assemblies.

Kleppmann, Wilhelm (2023): Versuchsplanung. Produkte und Prozesse optimieren. 10. Aufl. München: Carl Hanser Verlag.

Mahan, Josh (2023): THT vs. SMD: Knowing The Differences. Hg. v. C&C Technology Group. Online verfügbar unter <https://cc-techgroup.com/tht-vs-smd/>, zuletzt aktualisiert am 21.08.2023, zuletzt geprüft am 25.04.2024.

Probst, Michael (2017): Miniaturisierung treibt die Entwicklung von Lotpasten voran. Lotpaste im Wandel der Anforderungen. Hg. v. all-electronics.de. Online verfügbar unter

<https://www.all-electronics.de/elektronik-fertigung/miniaturisierung-treibt-die-entwicklung-von-lotpasten-voran.html>, zuletzt aktualisiert am 23.01.2017, zuletzt geprüft am 15.04.2024.

Rehm Thermal System GmbH (2024a): Original-Betriebsanleitung Vision XP+ V2. Version 1.5. Blaubeuren-Seissen: Rehm Thermal System GmbH.

Rehm Thermal System GmbH (2024b): Technisches Datenblatt VisionXP+. Blaubeuren-Seissen: Rehm Thermal System GmbH.

Schiefer, Hartmut; Schiefer, Felix (2018): Statistik für Ingenieure. Eine Einführung mit Beispielen aus der Praxis. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Stiny, Leonhard (2010): Fertigung und Test elektronischer Baugruppen. Technologie, Fertigungskonzepte, Prüftechnik. 1. Aufl.: Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH.

Suchan, Stefan (2020): Leiterplatten-Steckverbinder: Löttechniken und Einpresstechniken im Vergleich. Hg. v. ElektronikPraxis. Online verfügbar unter <https://www.elektronikpraxis.de/leiterplatten-steckverbinder-loettechniken-und-einpresstechnik-im-vergleich-a-adddaf19d0efa5609c4046d4751fc4407/>, zuletzt aktualisiert am 26.06.2020, zuletzt geprüft am 25.04.2024.

Voss, Hartmut (2023a): RoHS - Update 2023: Gesetzliche Anforderungen, aktuelle Risiken und praktische Herausforderungen der Richtlinie 2011/65/EU. Hg. v. trinasco. Online verfügbar unter <https://produkt-compliance.de/magazin/rohs-update-2023-gesetzliche-anforderungen-aktuellerisiken-und-praktische-herausforderungen-der-richtlinie2011-65-eu/>, zuletzt aktualisiert am 01.08.2023, zuletzt geprüft am 17.04.2024.

Voss, Hartmut (2023b): WEEE-Richtlinie. Hg. v. trinasco. Online verfügbar unter <https://produkt-compliance.de/glossar/weee-richtlinie/>, zuletzt aktualisiert am 05.07.2023, zuletzt geprüft am 18.04.2024.

Waseem, Umar (2024): SMT VS SMD (VS THT): A Comprehensive Guide to Electronics Assembly Techniques. Hg. v. WEVOLVER. Online verfügbar unter <https://www.wevolver.com/article/smt-vs-smd-vs-tht-a-comprehensive-guide-to-electronics-assembly-techniques>, zuletzt aktualisiert am 12.02.2024, zuletzt geprüft am 25.04.2024.

Ziemer, Tim (2018): Weichlöten vs. Hartlöten: Das ist der Unterschied. Hg. v. Focus online. Online verfügbar unter https://praxistipps.focus.de/weichloeten-vs-hartloeten-das-ist-der-unterschied_52188, zuletzt aktualisiert am 08.09.2018, zuletzt geprüft am 22.04.2024.

Anlagen

Teil 1: Dokumente der Bauteile A-I

Teil 2: Dokumente der Messgeräte A-XXIV

Teil 1: Dokumente der Bauteile

8.1 Datenblatt Steckerleiste

molex

Part Number : [908143910](#)

Product Description : Picoflex PF-50 Header with PCB Pegs, Vertical, Low Profile, Surface Mount, Selective Gold (Au) Plating, 10 Circuits, Tape and Reel, Natural

Series Number : 90814

Status : Active

Product Category : PCB Headers and Receptacles

Documents & Resources

Drawings

[Drawing 908143910_sd.pdf](#)

3D Models and Design Files

[3D Model 908143910_stp.zip](#)


Specifications

[Application Specification 908140000-AS-000.pdf](#)

[Product Specification PS-99020-0011-001.pdf](#)

Product Environment Compliance

Compliance

GADSL/IMDS	Duty-To-Declare
China RoHS	
EU ELV	Not Relevant
Low-Halogen Status	Not Low-Halogen per IEC 61249-2-21
REACH SVHC	Not Contained per D(2024)4144-DC (27 June 2024)
EU RoHS	Compliant per EU 2015/863

Multiple Part Product Compliance Statements

- Eu RoHS
- REACH SVHC
- Low-Halogen

Multiple Part Industry Compliance Documents

- IPC 1752A Class C
- IPC 1752A Class D

- Molex Product Compliance Declaration
- IEC-62474
- chemSHERPA (xml)

EU RoHS Certificate of Compliance

Part Details

General

Status	Active
Category	PCB Headers and Receptacles
Series	90814
Description	Picoflex PF-50 Header with PCB Pegs, Vertical, Low Profile, Surface Mount, Selective Gold (Au) Plating, 10 Circuits, Tape and Reel, Natural
Application	Signal, Wire-to-Board
Comments	Low Profile
Component Type	PCB Header
Product Family	Picoflex Ribbon-Cable Connectors
Product Name	Picoflex
UPC	800756883984

Agency

UL	E29179
----	--------

Electrical

Current - Maximum per Contact	2.4A
Voltage - Maximum	250V AC/DC

Physical

Breakaway	No
Circuits (Loaded)	10
Circuits (maximum)	10
Color - Resin	Natural
Durability (mating cycles max)	100
First Mate / Last Break	No
Flammability	94V-0

Glow-Wire Capable	No
Guide to Mating Part	No
Keying to Mating Part	None
Lock to Mating Part	Yes
Material - Metal	Brass
Material - Plating Mating	Gold
Material - Resin	High Temperature Thermoplastic
Net Weight	0.588/g
Number of Rows	1
Orientation	Vertical
Packaging Type	Embossed Tape on Reel
PCB Locator	Yes
PCB Retention	Yes
PCB Thickness - Recommended	1.60mm
Pitch - Mating Interface	1.27mm
Pitch - Termination Interface	1.27mm
Plating min - Mating	0.762µm
Plating min - Termination	0.102µm
Polarized to Mating Part	Yes
Polarized to PCB	Yes
Shrouded	No
Stackable	No
Temperature Range - Operating	-40° to +105°C
Termination Interface Style	Surface Mount

Solder Process Data

Max-Duration	5
Lead-Free Process Capability	REFLOW
Max-Cycle	1
Max-Temp	230

Mates With / Use With

Mates with Part(s)

Description	Part Number
-------------	-------------

Picoflex PF-50 Low Profile IDT Receptacles	<u>90327</u>
---	--------------

Application Tooling**Global**

Description	Part Number
Extraction Tool for Picoflex PF-50 Connectors, 4-26 Circuits	<u>690081070</u>

This document was generated on Jul 25, 2024

8.2 Produktspezifikation Steckerleiste

molex		PRODUCT SPECIFICATION					
TABLE OF CONTENTS							
SECTION		PAGE					
1.0 SCOPE.....		2					
2.0 PRODUCT DESCRIPTION AND APPLICABLE DOCUMENTS.....		3					
3.0 RATINGS.....		4					
4.0 ELECTRICAL PERFORMANCE.....		5					
5.0 MECHANICAL PERFORMANCE.....		6					
6.0 ENVIRONMENTAL PERFORMANCE.....		7					
7.0 PACKAGING.....		9					
8.0 TEST GROUPS.....		10					
APPENDIX A – INSERTION/WITHDRAWAL GAUGE SPECIFICATION.....		11					
APPENDIX B – RE-FLOW PROFILES.....		12					
APPENDIX C – GLOW WIRE TEST POSITIONS.....		13					
THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION THAT IS PROPRIETARY TO MOLEX ELECTRONIC TECHNOLOGIES, LLC AND SHOULD NOT BE USED WITHOUT WRITTEN PERMISSION							
REVISION DESCRIPTION	REMOVED OBSOLETE P/N SERIES AND ADDED NOTE IN SHEET 13.			PICOFLEX CONN SYSTEM PRODUCT SPECIFICATION			
CHANGE NO.	714693			DOC TYPE	DOC TYPE DESCRIPTION	DOC PART	SERIES
REVISED BY	GOVTHP	DATE	2022/07/15	PS	PRODUCT SPECIFICATION WORD	001	99020
REV APPR BY	ISHWARG	DATE	2022/07/19				
INITIAL RELEASE			CUSTOMER		DOCUMENT NUMBER	REVISION	SHEET
INITIAL DRWN	RFC_PLMIMP	DATE	2017/12/02	GENERAL MARKET	PS-99020-0011	Y2	1 OF 13
INITIAL APPR	MWILHITE	DATE	2002/08/01				

molex		PRODUCT SPECIFICATION					
<p>1.0 SCOPE</p> <p>This specification defines the performance characteristics for the PICOFLEX connector system.</p>							
THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION THAT IS PROPRIETARY TO MOLEX ELECTRONIC TECHNOLOGIES, LLC AND SHOULD NOT BE USED WITHOUT WRITTEN PERMISSION							
REVISION DESCRIPTION	REMOVED OBSOLETE P/N SERIES AND ADDED NOTE IN SHEET 13.			PICOFLEX CONN SYSTEM PRODUCT SPECIFICATION			
CHANGE NO.	714693						
REVISED BY	GOWTHP	DATE	2022/07/15	DOC TYPE	DOC TYPE DESCRIPTION	DOC PART	SERIES
REV APPR BY	ISHWARG	DATE	2022/07/19	PS	PRODUCT SPECIFICATION WORD	001	99020
INITIAL RELEASE				CUSTOMER	DOCUMENT NUMBER	REVISION	SHEET
INITIAL DRWN	RFC_PLMIMP	DATE	2017/12/02	GENERAL MARKET	PS-99020-0011	Y2	2 OF 13
INITIAL APPR	MWILHITE	DATE	2002/08/01				

molex		PRODUCT SPECIFICATION					
2.0 PRODUCT DESCRIPTION AND APPLICABLE DOCUMENTS							
Product Type	Series No.	Product Description				Sales Drawing	
PCB Headers	90325	Vertical Thru Hole Header				SDA-90325	
	90779	Vertical Thru Hole Header, High Temperature Thermoplastic				SDA-90779	
	90814	Vertical SMT Header				SDA-90814	
	90816	Vertical Latched SMT Header				SD-90816-001	
IDT Connector	90327	Insulation Displacement Connector				SDA-90327	
PCB Connectors	90584	Insulation Displacement Board-In Connector				SDA-90584	
THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION THAT IS PROPRIETARY TO MOLEX ELECTRONIC TECHNOLOGIES, LLC AND SHOULD NOT BE USED WITHOUT WRITTEN PERMISSION							
REVISION DESCRIPTION	REMOVED OBSOLETE PIN SERIES AND ADDED NOTE IN SHEET 13.			PICOFLEX CONN SYSTEM PRODUCT SPECIFICATION			
CHANGE NO.	714693						
REVISED BY	GOWTHP	DATE	2022/07/15	DOC TYPE	DOC TYPE DESCRIPTION	DOC PART	SERIES
REV APPR BY	ISHIVARG	DATE	2022/07/19	P5	PRODUCT SPECIFICATION WORD	001	99020
INITIAL RELEASE				CUSTOMER	DOCUMENT NUMBER	REVISION	SHEET
INITIAL DRWN	RFC_PLMIMP	DATE	2017/12/02	GENERAL MARKET	PS-99020-0011	Y2	3 OF 13
INITIAL APPR	MWILHITE	DATE	2002/08/01				

molex		PRODUCT SPECIFICATION					
3.0 RATINGS							
Series No.	Wire/Cable Size (AWG)	Maximum Current at 105°C	Voltage AC/DC	Operating Temperature	Storage Temperature		
90325	N/a	1.2A	250V Max.	-40°C to +105°C	-40°C to +85°C		
90779	N/a	1.2A					
90814	N/a	1.2A					
90816	N/a	1.2A					
90327	28 AWG	1.2A					
90584	28 AWG	1.2A					
THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION THAT IS PROPRIETARY TO MOLEX ELECTRONIC TECHNOLOGIES, LLC AND SHOULD NOT BE USED WITHOUT WRITTEN PERMISSION							
REVISION DESCRIPTION	REMOVED OBSOLETE P/N SERIES AND ADDED NOTE IN SHEET 13.			PICOFLEX CONN SYSTEM PRODUCT SPECIFICATION			
CHANGE NO.	714693						
REVISED BY	GOWTHP	DATE	2022/07/15	DOC TYPE	DOC TYPE DESCRIPTION	DOC PART	SERIES
REV APPR BY	ISHWARG	DATE	2022/07/19	PS	PRODUCT SPECIFICATION WORD	001	99020
INITIAL RELEASE				CUSTOMER	DOCUMENT NUMBER	REVISION	SHEET
INITIAL DRWN	RFC_PLMIMP	DATE	2017/12/02	GENERAL MARKET	PS-99020-0011	Y2	4 OF 13
INITIAL APPR	MWILHITE	DATE	2002/08/01				

molex	PRODUCT SPECIFICATION
--------------	------------------------------

4.0 ELECTRICAL PERFORMANCE

	ITEM	TEST CONDITION	REQUIREMENT
4.1	Contact Resistance	20mV maximum open circuit voltage. 100mA maximum test current	15mOhms MAXIMUM
4.2	Insulation Resistance	500V DC applied to adjacent circuits	1000 megaOhms MINIMUM
4.3	Dielectric Withstanding Voltage	750 VAC applied to adjacent circuits for 1 minute	No breakdown

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION THAT IS PROPRIETARY TO MOLEX ELECTRONIC TECHNOLOGIES, LLC AND SHOULD NOT BE USED WITHOUT WRITTEN PERMISSION

REVISION DESCRIPTION	REMOVED OBSOLETE PIN SERIES AND ADDED NOTE IN SHEET 13.			PICOFLEX CONN SYSTEM PRODUCT SPECIFICATION			
CHANGE NO.	714693						
REVISED BY	GOWTHP	DATE	2022/07/15	DOC TYPE	DOC TYPE DESCRIPTION	DOC PART	SERIES
REV APPR BY	ISHWARG	DATE	2022/07/19	P5	PRODUCT SPECIFICATION WORD	001	99020
INITIAL RELEASE				CUSTOMER	DOCUMENT NUMBER	REVISION	SHEET
INITIAL DRWN	RFC_PLMIMP	DATE	2017/12/02	GENERAL MARKET	PS-99020-0011	Y2	5 OF 13
INITIAL APPR	MWILHITE	DATE	2002/08/01				

molex		PRODUCT SPECIFICATION						
5.0 MECHANICAL PERFORMANCE								
	ITEM	TEST CONDITION			REQUIREMENT			
5.1	Insertion Force (Per individual contact, 90327 only)	Insertion force tested by inserting standard gauge blade specified in Appendix A Rate of insertion = 25 ±6 mm/minute			1.7N maximum for initial insertion of Tin contact 1.5N maximum for initial insertion of PdNi/Gold contact			
5.2	Withdrawal Force (Per individual contact, 90327 only)	Withdrawal force tested by withdrawing standard gauge blade specified in Appendix A Rate of withdrawal =25 ±6 mm/minute			Withdrawal force = 0.25N minimum			
5.3	Durability	1 durability cycle = 1 Mating & Un-mating of the connector using Picoflex extraction tool or pull-tab For Tin on Tin system number of durability cycles = 30 For Gold on Gold system number of durability cycles = 100 For 90816 Latched maximum Cycles = 5(Tin or Gold) using Latched Picoflex extraction tool.			Change in insertion force from initial value = 0.5N maximum Change in contact resistance from initial value = 10mOhms maximum			
5.4	Shock	Acceleration = 50g Duration = 11 milliseconds Per IEC 512-4, test condition 6c			Change in contact resistance from initial value = 10mOhms maximum Discontinuity = 1micro second maximum			
5.5	Vibration	Sweep = 10-55-10Hz Amplitude = 0.35mm or 5g Pulse = 1/2 Sine Duration = 2 hours in each X-Y-Z direction Per IEC 512-4, test condition 6d			Change in contact resistance from initial value = 10mOhms maximum Discontinuity = 1micro second maximum			
5.6	Terminal Retention Force in Housing (PCB Headers)	Terminal withdrawal force to be applied at the rate of 25 ± 6mm per minute			Terminal retention force = 7N minimum.			
5.8	Latched header retention force. (Reference only)	Connector retention force to be applied at the rate of 25 ± 6mm per minute. Straight and Right angle pull Minimum retention force.			Circuit Size	Straight	R/angle	
					4ckt	30N	30N	
					14 ckt	55N	115N	
					26ckt	65N	175N	
THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION THAT IS PROPRIETARY TO MOLEX ELECTRONIC TECHNOLOGIES, LLC AND SHOULD NOT BE USED WITHOUT WRITTEN PERMISSION								
REVISION DESCRIPTION	REMOVED OBSOLETE PIN SERIES AND ADDED NOTE IN SHEET 13.			PICOFLEX CONN SYSTEM PRODUCT SPECIFICATION				
CHANGE NO.	714693			DOC TYPE	DOC TYPE DESCRIPTION	DOC PART	SERIES	
REVISED BY	GOWTHP	DATE	2022/07/15	PS	PRODUCT SPECIFICATION WORD	001	99020	
REV APPR BY	ISHWARG	DATE	2022/07/19					
INITIAL RELEASE			CUSTOMER		DOCUMENT NUMBER		REVISION	SHEET
INITIAL DRWN	RFC_PLMIMP	DATE	2017/12/02	GENERAL MARKET	PS-99020-0011		Y2	6 OF 13
INITIAL APPR	MWILHITE	DATE	2002/08/01					

molex		PRODUCT SPECIFICATION											
6.0 ENVIRONMENTAL PERFORMANCE													
	ITEM	TEST CONDITION		REQUIREMENT									
6.1	Damp Heat	Mate connectors and expose to: Temperature = +40°C +3/-0°C Humidity = 90 - 95% R.H. Duration = 1000 Hours		Change in contact resistance from initial value = 10mOhms maximum No visual damage									
6.2	Dry Heat	Mate connectors and expose to: Temperature = +105°C +3/-0°C Duration = 240 Hours		Change in contact resistance from initial value = 10mOhms maximum No visual damage									
6.3	Cold	Mate connectors and expose to: Temperature = -40° C +0°C /-3°C Duration = 96 Hours		Change in contact resistance from initial value = 10mOhms maximum No visual damage									
6.4	Thermal Shock	Mate connectors and expose to 10 cycles of the following profile: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <th>Temperature °C</th> <th>Time Duration</th> </tr> <tr> <td>-40 +0 /-3</td> <td>30 minutes</td> </tr> <tr> <td>+20 ± 5</td> <td>5 minutes max</td> </tr> <tr> <td>+105 +3/-0</td> <td>30 minutes</td> </tr> </table>		Temperature °C	Time Duration	-40 +0 /-3	30 minutes	+20 ± 5	5 minutes max	+105 +3/-0	30 minutes	Change in contact resistance from initial value = 10mOhms maximum No visual damage	
Temperature °C	Time Duration												
-40 +0 /-3	30 minutes												
+20 ± 5	5 minutes max												
+105 +3/-0	30 minutes												
6.5	Corrosive Atmosphere Sulphur Dioxide (SO ₂)	Mate Connectors and expose to: Atmosphere: 10 parts per million (PPM) SO ₂ Duration: 240 hours Temperature: 25 °C Humidity: 75% R.H.		Change in contact resistance from initial value = 10mOhms maximum No visual damage									
6.6	Corrosive Atmosphere Hydrogen Sulphide (H ₂ S)	Mate Connectors and expose to: Atmosphere: 1 part per million (PPM) H ₂ S Duration: 96 hours Temperature: 25 °C Humidity: 75% R.H.		Change in contact resistance from initial value = 10mOhms maximum No visual damage									
6.7	Solder Heat Resistance 90325, 90584, 90779 and 90814 series only (*90814 standard profile parts).	Insert Terminal Solder Tails in solder bath: Solder Temperature: 230°C Duration: 5 seconds maximum		No damage that would impair normal operation									

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION THAT IS PROPRIETARY TO MOLEX ELECTRONIC TECHNOLOGIES, LLC AND SHOULD NOT BE USED WITHOUT WRITTEN PERMISSION

REVISION DESCRIPTION	REMOVED OBSOLETE PIN SERIES AND ADDED NOTE IN SHEET 13.			PICOFLEX CONN SYSTEM PRODUCT SPECIFICATION			
CHANGE NO.	714693			DOC TYPE	DOC TYPE DESCRIPTION	DOC PART	SERIES
REVISED BY	GOWTHP	DATE	2022/07/15	PS	PRODUCT SPECIFICATION WORD	001	99020
REV APPR BY	ISHWARG	DATE	2022/07/19	INITIAL RELEASE		REVISION	SHEET
INITIAL DRWN	RFC_PLMIMP	DATE	2017/12/02	CUSTOMER	DOCUMENT NUMBER	Y2	7 OF 13
INITIAL APPR	MWILHITE	DATE	2002/08/01	GENERAL MARKET	PS-99020-0011		

molex		PRODUCT SPECIFICATION					
	ITEM	TEST CONDITION			REQUIREMENT		
6.8	Resistance to Reflow Temperature 90814 and 90816 series only (* 90814 Low Profile parts only)	Subject unmated connectors to applicable re-flow profile shown in Appendix C			No damage that would impair normal operation		
6.9	Glow Wire 90779, 90814 and 90816 series only	Glow wire temperature: 750°C Test positions shown in Appendix D Per IEC 60695-2-11			Flame must extinguish within 2 seconds of removal of glow wire No ignition of wrapping tissue 200mm under test specimen		
THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION THAT IS PROPRIETARY TO MOLEX ELECTRONIC TECHNOLOGIES, LLC AND SHOULD NOT BE USED WITHOUT WRITTEN PERMISSION							
REVISION DESCRIPTION	REMOVED OBSOLETE PIN SERIES AND ADDED NOTE IN SHEET 13.			PICOFLEX CONN SYSTEM PRODUCT SPECIFICATION			
CHANGE NO.	714693			DOC TYPE	DOC TYPE DESCRIPTION	DOC PART	SERIES
REVISED BY	GOWTHP	DATE	2022/07/15	PS	PRODUCT SPECIFICATION WORD	001	99020
REV APPR BY	ISHWARG	DATE	2022/07/19	INITIAL RELEASE		REVISION	SHEET
INITIAL DRWN	RFC_PLMIMP	DATE	2017/12/02	CUSTOMER	DOCUMENT NUMBER	Y2	8 OF 13
INITIAL APPR	MWILHITE	DATE	2002/08/01	GENERAL MARKET	PS-99020-0011		

molex	PRODUCT SPECIFICATION
--------------	------------------------------

7.0 PACKAGING

Parts shall be packaged to protect against damage during handling, transit and storage. No Styrofoam shall be used in any packing that comes in direct contact with the connectors.

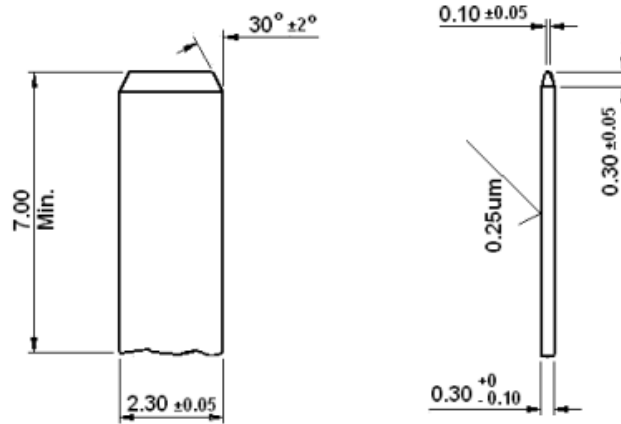
THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION THAT IS PROPRIETARY TO MOLEX ELECTRONIC TECHNOLOGIES, LLC AND SHOULD NOT BE USED WITHOUT WRITTEN PERMISSION

REVISION DESCRIPTION	REMOVED OBSOLETE PIN SERIES AND ADDED NOTE IN SHEET 13.			PICO FLEX CONN SYSTEM PRODUCT SPECIFICATION			
CHANGE NO.	714693						
REVISED BY	GOWTHP	DATE	2022/07/15	DOC TYPE	DOC TYPE DESCRIPTION	DOC PART	SERIES
REV APPR BY	ISHWARG	DATE	2022/07/19	PS	PRODUCT SPECIFICATION WORD	001	99020
INITIAL RELEASE				CUSTOMER	DOCUMENT NUMBER	REVISION	SHEET
INITIAL DRWN	RFC_PLMIMP	DATE	2017/12/02	GENERAL MARKET	PS-99020-0011	Y2	9 OF 13
INITIAL APPR	MWILHITE	DATE	2002/08/01				

molex		PRODUCT SPECIFICATION						
8.0 TEST GROUPS								
TEST REF.	TEST	A	B	C	D	E	F	G
4.1	Contact Resistance	2468	246	2469	246	246		
4.2	Insulation Resistance	9						
4.3	Dielectric Withstanding Voltage	10						
5.1	Insertion Force						1	
5.2	Withdrawal Force						2	
5.3	Durability	3	3	3	3	3		
5.4	Shock			8				
5.5	Vibration			7				
5.6	Terminal Retention Force in Housing (PCB Headers)							1
5.8	Latched header retention force.							1
6.1	Damp Heat	7						
6.2	Dry Heat	5						
6.3	Cold			5				
6.4	Thermal Shock		5					
6.5	Corrosive Atmosphere Sulphur Dioxide (SO ₂)				5			
6.6	Corrosive Atmosphere Hydrogen Sulphide (H ₂ S)					5		
6.7	Solder Heat Resistance	1	1	1	1	1		
6.8	Resistance to Reflow Temperature	1	1	1	1	1		
6.9	Glow Wire							1
THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION THAT IS PROPRIETARY TO MOLEX ELECTRONIC TECHNOLOGIES, LLC AND SHOULD NOT BE USED WITHOUT WRITTEN PERMISSION								
REVISION DESCRIPTION	REMOVED OBSOLETE P IN SERIES AND ADDED NOTE IN SHEET 13.			PICOFLEX CONN SYSTEM PRODUCT SPECIFICATION				
CHANGE NO.	714693			DOC TYPE	DOC TYPE DESCRIPTION		DOC PART	SERIES
REVISED BY	GOWTHP	DATE	2022/07/15	PS	PRODUCT SPECIFICATION WORD		001	99020
REV APPR BY	ISHWARG	DATE	2022/07/19	INITIAL RELEASE		CUSTOMER	DOCUMENT NUMBER	REVISION
INITIAL DRWN	RFC_PLMIMP	DATE	2017/12/02	GENERAL MARKET		PS-99020-0011		Y2
INITIAL APPR	MWILHITE	DATE	2002/08/01					10 OF 13

molex **PRODUCT SPECIFICATION**

APPENDIX A - INSERTION/WITHDRAWAL GAUGE SPECIFICATION



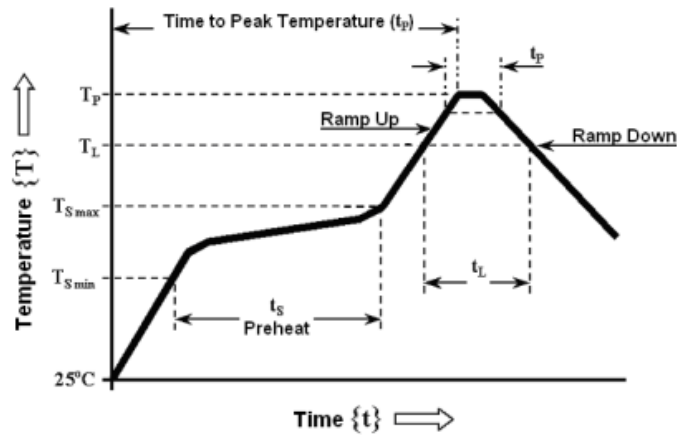
Note: Gauge weight = 25 grams minimum

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION THAT IS PROPRIETARY TO MOLEX ELECTRONIC TECHNOLOGIES, LLC AND SHOULD NOT BE USED WITHOUT WRITTEN PERMISSION

REVISION DESCRIPTION	REMOVED OBSOLETE PIN SERIES AND ADDED NOTE IN SHEET 13.			PICOFLEX CONN SYSTEM PRODUCT SPECIFICATION			
CHANGE NO.	714693						
REVISED BY	GOWTHP	DATE	2022/07/15	DOC TYPE	DOC TYPE DESCRIPTION	DOC PART	SERIES
REV APPR BY	ISHWARG	DATE	2022/07/19	PS	PRODUCT SPECIFICATION WORD	001	99020
INITIAL RELEASE				CUSTOMER	DOCUMENT NUMBER	REVISION	SHEET
INITIAL DRWN	RFC_PLMIMP	DATE	2017/12/02	GENERAL MARKET	PS-99020-0011	Y2	11 OF 13
INITIAL APPR	MWILHITE	DATE	2002/08/01				

molex		PRODUCT SPECIFICATION							
APPENDIX C – RE-FLOW PROFILES									
PROFILE FEATURE	Pb-FREE PROCESS (RoHS) COMPLIANT			Pb-FREE PROCESS (RoHS) COMPATIBLE					
Product Series	90779 and 90814. (90814 standard profile)			90814 and 90816. (90814 low profile)					
Average Ramp Up Rate	3°C/second max.			3°C/second max.					
Preheat - Temperature Min ($T_{S\ min}$) - Temperature Max ($T_{S\ max}$) - Time (t_s)	100°C 150°C 60 – 120 seconds			150°C 200°C 60 – 180 seconds					
Time over Liquidus - Temperature (T_L) - Time (t_l)	183°C 60 – 150 seconds			217°C 60 – 150 seconds					
Time from 25°C to Peak Temperature (T_p)	6 minutes max.			8 minutes max.					
Peak Temperature (T_p)	230°C max.			260°C max.					
Time within 5°C of Peak Temperature (t_p)	30 seconds max.			40 seconds max.					
Ramp Down Rate	6°C/second max.			6°C/second max.					
THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION THAT IS PROPRIETARY TO MOLEX ELECTRONIC TECHNOLOGIES, LLC AND SHOULD NOT BE USED WITHOUT WRITTEN PERMISSION									
REVISION DESCRIPTION	REMOVED OBSOLETE P IN SERIES AND ADDED NOTE IN SHEET 13.			PICOFLEX CONN SYSTEM PRODUCT SPECIFICATION					
CHANGE NO.	714693								
REVISED BY	GOWTHP	DATE	2022/07/15	DOC TYPE	DOC TYPE DESCRIPTION		DOC PART	SERIES	
REV APPR BY	ISHWARG	DATE	2022/07/19	PS	PRODUCT SPECIFICATION WORD		001	99020	
INITIAL RELEASE				CUSTOMER		DOCUMENT NUMBER		REVISION	SHEET
INITIAL DRWN	RFC_PLMIMP	DATE	2017/12/02	GENERAL MARKET		PS-99020-0011		Y2	12 OF 13
INITIAL APPR	MWILHITE	DATE	2002/08/01						

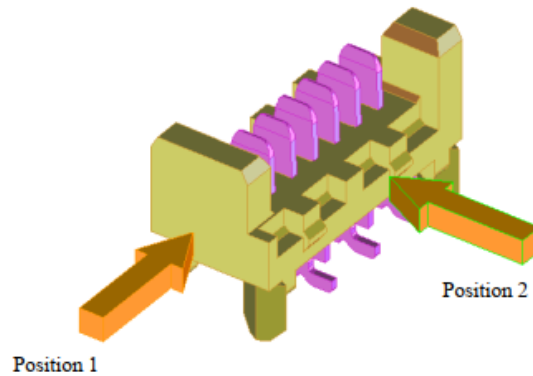
molex **PRODUCT SPECIFICATION**



Note: Please check the mount condition (reflow soldering condition) by your own devices beforehand, because the condition changes by the soldering devices, printed wiring boards (PWB), and so on. Although tail of terminal and nail may discolors, a solderability does not have a problem.

APPENDIX D - GLOW WIRE TEST POSITIONS

Series 90779, 90814 and 90816



THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION THAT IS PROPRIETARY TO MOLEX ELECTRONIC TECHNOLOGIES, LLC AND SHOULD NOT BE USED WITHOUT WRITTEN PERMISSION

REVISION DESCRIPTION	REMOVED OBSOLETE PIN SERIES AND ADDED NOTE IN SHEET 13.		PICO FLEX CONN SYSTEM PRODUCT SPECIFICATION				
CHANGE NO.	714693						
REVISED BY	GOWTHP	DATE	2022/07/15	DOC TYPE	DOC TYPE DESCRIPTION	DOC PART	SERIES
REV APPR BY	ISHWARG	DATE	2022/07/19	PS	PRODUCT SPECIFICATION WORD	001	99020
INITIAL RELEASE			CUSTOMER		DOCUMENT NUMBER	REVISION	SHEET
INITIAL DRWN	RFC_PLMIMP	DATE	2017/12/02	GENERAL MARKET	PS-99020-0011	Y2	13 OF 13
INITIAL APPR	MWILHITE	DATE	2002/08/01				

8.3 Datenblatt Übertrager

TRANSFORMERS

Pulse transformers
For LAN interface (10/100/1000BASE-T)
ALT series

ALT3232M, ALT4532M type

FEATURES

- The ALT series contains wound chip type pulse transformers developed for LANs.
- Compatible with 10BASE-T, 100BASE-TX, and 1000BASE-T.
- High-quality product that uses auto winding.
- Conforms to the RoHS directive.
- Operating temperature range: -40 to +85°C (including self-temperature rise)

APPLICATION

- LAN interfaces of various devices including network devices, communication equipment, digital consumer electronics, etc.

PART NUMBER CONSTRUCTION

ALT	3232	M	151	T	001
Series name	LxWxH dimensions 3.2x3.2x2.9mm 4.5x3.2x2.2mm 4.5x3.2x2.9mm	Product internal code	Inductance (µH min.) at 100kHz/DC bias=8mA	Packaging style	Internal code

CHARACTERISTICS SPECIFICATION TABLE

Turn ratio	Inductance (DC bias 8mA, 100kHz)	Insertion loss (0.1 to 100MHz)	Inter-winding stray capacitance [100kHz]	Thickness T	Part No.
①② : ⑤③④	①-② ⑤-④ (µH)min.	①②-⑤④ (dB)max.	(pF)max.	(mm)max.	
1CT : 1CT	150	2.5	25	2.9	ALT3232M-151-T001
1CT : 1CT	170	2.5	35	2.2	ALT4532M-171-T001
1CT : 1CT	200	1.5	35	2.9	ALT4532M-201-T001

Measurement equipment

Measurement item	Product No.	Manufacturer
Inductance	4284A	Keysight Technologies
Insertion loss	E5071C	Keysight Technologies
Inter-winding stray capacitance	4284A	Keysight Technologies

※ Equivalent measurement equipment may be used.

⚠ Please be sure to request delivery specifications that provide further details on the features and specifications of the products for proper and safe use. (1/5)
 Please note that the contents may change without any prior notice due to reasons such as upgrading.

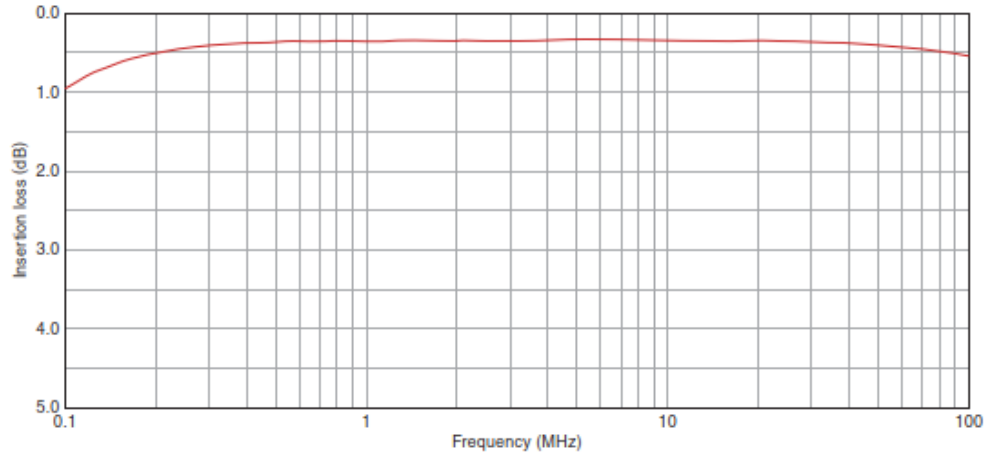
20230905
trans_alt_en

T R A N S F O R M E R S 

ALT3232M, ALT4532M type

■ INSERTION LOSS VS. FREQUENCY CHARACTERISTICS

ALT3232M type

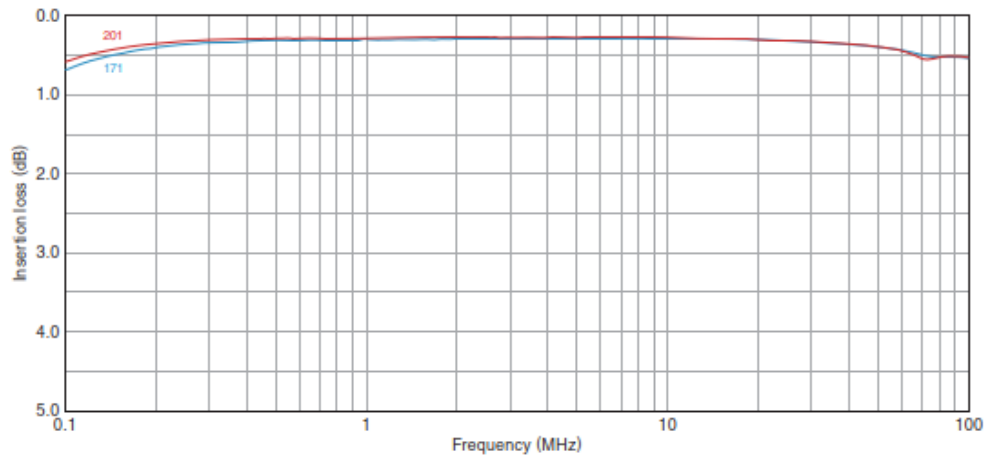


Measurement equipment

Product No.	Manufacturer
E5071C	Keysight Technologies

* Equivalent measurement equipment may be used.


ALT4532M type



Measurement equipment

Product No.	Manufacturer
E5071C	Keysight Technologies

* Equivalent measurement equipment may be used.

 Please be sure to request delivery specifications that provide further details on the features and specifications of the products for proper and safe use. (2/5)
Please note that the contents may change without any prior notice due to reasons such as upgrading.

20230905

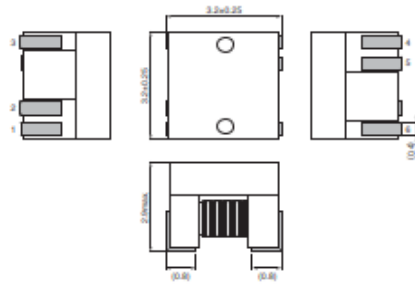
trans_alt_en

T R A N S F O R M E R S

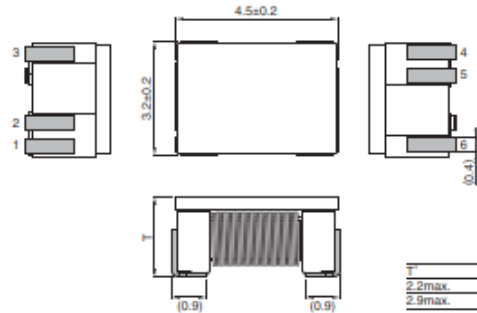
ALT3232M, ALT4532M type

■ SHAPE & DIMENSIONS

ALT3232M

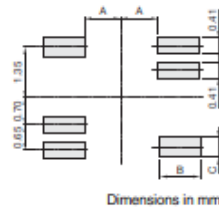


ALT4532M



Dimensions in mm

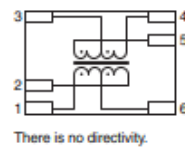
■ RECOMMENDED LAND PATTERN



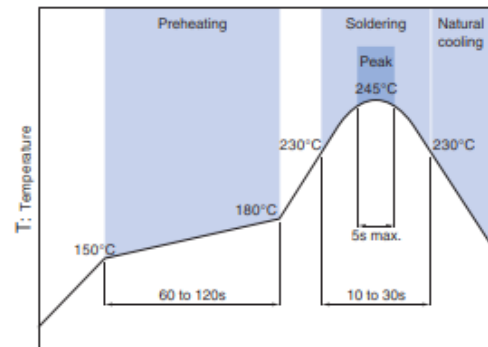
Dimensions in mm

Part No.	A	B	C
ALT3232M	0.9	1.0	0.41
ALT4532M-171	1.39	1.2	0.5
ALT4532M-201	1.39	1.2	0.5

■ CIRCUIT DIAGRAM



■ RECOMMENDED REFLOW PROFILE



*When mounting the product, use our recommended reflow profile described above.

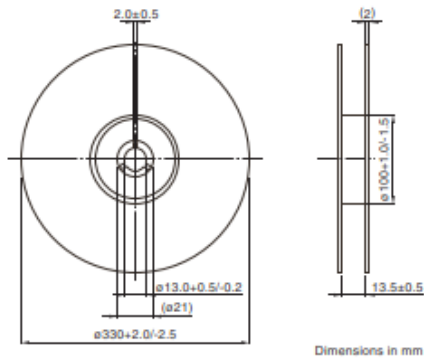
Please be sure to request delivery specifications that provide further details on the features and specifications of the products for proper and safe use. (3/5)
Please note that the contents may change without any prior notice due to reasons such as upgrading.

TRANSFORMERS **TDK**

ALT3232M, ALT4532M type

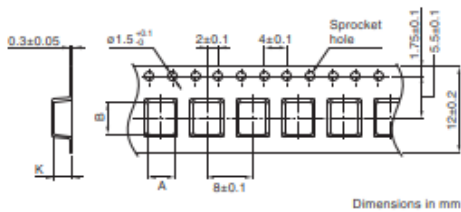
■ **PACKAGING STYLE**

□ **REEL DIMENSIONS**

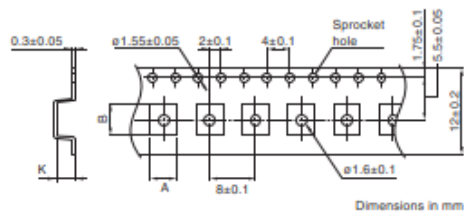


□ **TAPE DIMENSIONS**

ALT3232M



ALT4532M



Type	A	B	K
ALT3232M	(3.55)	(3.55)	(3.0)
ALT4532M-171	(3.6)	(4.9)	(3.05)
ALT4532M-201	(3.6)	(4.9)	(3.05)

□ **PACKAGE QUANTITY**

Package quantity	2,000 pcs/reel
------------------	----------------

■ **OPERATING TEMPERATURE RANGE, PRODUCT WEIGHT**

Part No.	Temperature range		Individual weight (mg)
	Operating temperature* (°C)	Storage temperature** (°C)	
ALT3232M	-40 to +85	-40 to +85	120
ALT4532M-171	-40 to +85	-40 to +85	110
ALT4532M-201	-40 to +85	-40 to +85	160

* Operating temperature range includes self-temperature rise.

** The storage temperature range is for after the assembly.

⚠ Please be sure to request delivery specifications that provide further details on the features and specifications of the products for proper and safe use. (4/5)
Please note that the contents may change without any prior notice due to reasons such as upgrading.

20230905

trans_alt_en

REMINDERS FOR USING THESE PRODUCTS

Before using these products, be sure to request the delivery specifications.

SAFETY REMINDERS


Please pay sufficient attention to the warnings for safe designing when using this products.

REMINDERS

- The storage period is within 12 months. Be sure to follow the storage conditions (temperature: 5 to 40°C, humidity: 10 to 75% RH or less).
If the storage period elapses, the soldering of the terminal electrodes may deteriorate.
- Do not use or store in locations where there are conditions such as gas corrosion (salt, acid, alkali, etc.).
- Before soldering, be sure to preheat components.
The preheating temperature should be set so that the temperature difference between the solder temperature and chip temperature does not exceed 150°C.
- Soldering corrections after mounting should be within the range of the conditions determined in the specifications.
If overheated, a short circuit, performance deterioration, or lifespan shortening may occur.
- When embedding a printed circuit board where a chip is mounted to a set, be sure that residual stress is not given to the chip due to the overall distortion of the printed circuit board and partial distortion such as at screw tightening portions.
- Self heating (temperature increase) occurs when the power is turned ON, so the tolerance should be sufficient for the set thermal design.
- Carefully lay out the coil for the circuit board design of the non-magnetic shield type.
A malfunction may occur due to magnetic interference.
- Use a wrist band to discharge static electricity in your body through the grounding wire.
- Do not expose the products to magnets or magnetic fields.
- Do not use for a purpose outside of the contents regulated in the delivery specifications.
- The products listed on this catalog are intended for use in general electronic equipment (AV equipment, telecommunications equipment, home appliances, amusement equipment, computer equipment, personal equipment, office equipment, measurement equipment, industrial robots) under a normal operation and use condition.
The products are not designed or warranted to meet the requirements of the applications listed below, whose performance and/or quality require a more stringent level of safety or reliability, or whose failure, malfunction or trouble could cause serious damage to society, person or property.
If you intend to use the products in the applications listed below or if you have special requirements exceeding the range or conditions set forth in the each catalog, please contact us.

- | | |
|---|--|
| (1) Aerospace/aviation equipment | (8) Public information-processing equipment |
| (2) Transportation equipment (cars, electric trains, ships, etc.) | (9) Military equipment |
| (3) Medical equipment | (10) Electric heating apparatus, burning equipment |
| (4) Power-generation control equipment | (11) Disaster prevention/crime prevention equipment |
| (5) Atomic energy-related equipment | (12) Safety equipment |
| (6) Seabed equipment | (13) Other applications that are not considered general-purpose applications |
| (7) Transportation control equipment | |

When designing your equipment even for general-purpose applications, you are kindly requested to take into consideration securing protection circuit/device or providing backup circuits in your equipment.

 Please be sure to request delivery specifications that provide further details on the features and specifications of the products for proper and safe use. (5/5)
Please note that the contents may change without any prior notice due to reasons such as upgrading.

20230905

trans_alt_en

Teil 2: Dokumente der Messgeräte

8.4 Multimeter



Abbildung 35: verwendetes Messgerät mit gültiger Kalibrierung, Schwärzung eines Etikettes aus datenschutzrechtlichen Gründen



TECHNISCHE DATEN

Echteffektiv-Digitalmultimeter Fluke Serie 170



AUSSERGEWÖHNLICH EINFACHE BEDIENUNG, HOHE ROBUSTHEIT UND ZUVERLÄSSIGKEIT

Fluke 175, 177 und 179 sind die perfekte Wahl für Ihre täglichen Aufgaben und professionelle Arbeit.

ERHÖHTE GENAUIGKEIT DURCH ECHTEFFEKTIVWERTMESSUNGEN

Genaue Spannungs- und Strommesswerte bei komplexen Wechselspannungssignalen.

EINFACHE BEURTEILUNG VERÄNDERLICHER SIGNALE

Ein analoges Balkendiagramm erleichtert das Erkennen von Trends bei schwankenden Signalen.

TEMPERATURMESSUNGEN AUF KNOPFDROCK (NUR FLUKE 179)

Mit dem eingebauten Thermometer können Sie die Temperaturwerte bequem erfassen, ohne hierfür ein separates Messgerät mitführen zu müssen.

Digitalmultimeter der Serie Fluke 170 sind die führenden Messgeräte bei der Fehlersuche in elektrischen und elektronischen Systemen

Digitalmultimeter der Serie Fluke 170 bieten bevorzugte Lösungen für professionelle Techniker weltweit. Sie verfügen über die Funktionen, die Sie zur Fehlersuche und Reparatur von elektrischen und elektronischen Systemen benötigen, kombiniert mit dem einzigartigen Ruf von Fluke für Robustheit, Zuverlässigkeit und Genauigkeit.

Alle Digitalmultimeter der Serie 170 arbeiten mit Echteffektivwertmessung. Bei modernen elektrischen Systemen mit Oberschwingungen und Motorantrieben mit Frequenzumrichtern liefern diese Digitalmultimeter präzise Wechselspannungs- und Strommesswerte bei komplexen, nicht-sinusförmigen Signalen.

Fluke hat die analoge Balkenanzeige für Digitalmultimeter entwickelt, die man inzwischen in vielen Multimetern findet. Für Signale, die sich im Zeitverlauf ändern, kann man mithilfe der Balkenanzeige Trends leichter verfolgen als bei sich ändernden Zahlenwerten.

Digitalmultimeter der Serie Fluke 170 verfügen über eine eingeschränkte lebenslange Gewährleistung. Wenn die Qualität Ihrer Arbeit von Ihrem Messgerät abhängt, sollten Sie ein Digitalmultimeter der Serie Fluke 170 in Ihrem Werkzeugkoffer haben.





6000 count digital display

MIN/MAX/AVG

HOLD/AutoHOLD

Backlight

Analog bar graph

°C/°F selection (179 only)

Secondary function

Manual/autorange

Function dial

400 mA, 10 A current, with fused input

Allgemeine Daten	
Umgebungsdaten	
Betriebstemperaturbereich	-10 °C bis +50 °C
Temperaturbereich bei Lagerung	-30 °C bis +60 °C
Luftfeuchtigkeit (ohne Kondenswasserbildung)	0 % - 90 % (0 °C - 35 °C) 0 % - 70 % (35 °C - 50 °C)
Sicherheitspezifikationen	
Überspannungskategorien	CAT III 1000 V gemäß EN 61010-1 CAT IV 600 V gemäß EN 61010-1
Zulassungen	CSA, CE
Mechanische und allgemeine Daten	
Abmessungen	43 x 90 x 185 mm
Gewicht	420 g
Gewährleistung	Lebenslang, eingeschränkt
Batteriebetriebsdauer	Alkali, ca. 200 Stunden typisch, ohne Hintergrundbeleuchtung



Technische Daten

Die Genauigkeit ist spezifiziert für die Dauer von einem Jahr ab Kalibrierung bei Betriebstemperaturen von 18 °C bis 28 °C mit relativer Feuchtigkeit von 0 % bis 90 %. Genauigkeitsspezifikationen werden wie folgt angegeben:
 \pm ([% vom Messwert] + [Zählschritte]) 1

Messfunktion	Bereich	Auflösung	Genauigkeit		
			Modell 175	Modell 177	Modell 179
Wechselspannung ^{2,3}	600,0 mV	0,1 mV	1,0 % + 3 (45 Hz bis 500 Hz)	1,0 % + 3 (45 Hz bis 500 Hz)	1,0 % + 3 (45 Hz bis 500 Hz)
	6,000 V	0,001 V			
	60,00 V	0,01 V			
	600,0 V	0,1 V			
	1000 V	1 V	2,0 % + 3 (500 Hz bis 1 kHz)	2,0 % + 3 (500 Hz bis 1 kHz)	2,0 % + 3 (500 Hz bis 1 kHz)
Gleichspannung mV	600,0 mV	0,1 mV	0,15 % + 2	0,09 % + 2	0,09 % + 2
Gleichspannung	6,000 V	0,001 V	0,15 % + 2	0,09 % + 2	0,09 % + 2
	60,00 V	0,01 V			
	600,0 V	0,1 V			
	1000 V	1 V	0,15 % + 2	0,15 % + 2	0,15 % + 2
Durchgangsprüfung	600 Ω	1 Ω	Signalton bei < 25 Ω ; Signalton schaltet sich aus bei > 250 Ω ; erkennt offene Schaltkreise und Kurzschlüsse von 250 μ s oder länger.		
Widerstand	600,0 Ω	0,1 Ω	0,9 % + 2	0,9 % + 2	0,9 % + 2
	6,000 k Ω	0,001 k Ω	0,9 % + 1	0,9 % + 1	0,9 % + 1
	60,00 k Ω	0,01 k Ω	0,9 % + 1	0,9 % + 1	0,9 % + 1
	600,0 k Ω	0,1 k Ω	0,9 % + 1	0,9 % + 1	0,9 % + 1
	6,000 M Ω	0,001 M Ω	0,9 % + 1	0,9 % + 1	0,9 % + 1
	50,00 M Ω	0,01 M Ω	1,5 % + 3	1,5 % + 3	1,5 % + 3
Diodenprüfung	2,400 V	0,001 V	1 % + 2		
Kapazität	1000 nF	1 nF	1,2 % + 2	1,2 % + 2	1,2 % + 2
	10,00 μ F	0,01 μ F	1,2 % + 2	1,2 % + 2	1,2 % + 2
	100,0 μ F	0,1 μ F	1,2 % + 2	1,2 % + 2	1,2 % + 2
	9999 μ F ⁴	1 μ F	10 % typisch	10 % typisch	10 % typisch
Wechselstrom ⁵ (echteffektiv) (45 Hz bis 1kHz)	60,00 mA	0,01 mA	1,5 % + 3	1,5 % + 3	1,5 % + 3
	400,0 mA ⁶	0,1 mA			
	6,000 A	0,001 A			
	10,00 A ⁷	0,01 A			
Gleichstrom ⁴	60,00 mA	0,01 mA	1,0 % + 3	1,0 % + 3	1,0 % + 3
	400,0 mA ⁶	0,1 mA			
	6,000 A	0,001 A			
	10,00 A ⁷	0,01 A			
Frequenz	99,99 Hz	0,01 Hz	0,1 % + 1	0,1 % + 1	0,1 % + 1
	999,9 Hz	0,1 Hz			
	9,999 kHz oder A2,3 Eingang)	0,001 kHz			
Temperatur	-40 °C bis +400 °C -40 °F bis +752 °F	0,1 °C 0,1 °F	nicht verfügbar	nicht verfügbar	1 % + 10 ⁶ 1 % + 18 ⁶
	Min-/Max-/ Mittelwert	Für DC-Funktionen entspricht die Genauigkeit der spezifizierten Genauigkeit der Messfunktion \pm 12 Zählschritte für Änderungen mit einer Dauer von > 350 ms. Für AC-Funktionen entspricht die Genauigkeit der spezifizierten Genauigkeit der Messfunktion \pm 40 Zählschritte für Änderungen mit einer Dauer von > 900 ms.			

¹ Alle Wechselspannungs- und Wechselstrombereiche sind von 5 % bis 100 % des Bereichs spezifiziert.

² Crestfaktor von ≤ 3 bei Bereichsendwert bis zu 500 V, linear abnehmend bis Crestfaktor $\leq 1,5$ bei 1000 V.

³ Für nicht-sinusförmige Signale mit Crestfaktoren bis zu 3 sind typisch hinzuzufügen: -2 % v. Messwert + 2 % v. Bereichsende).




⁴ Im 9999- μ F-Bereich beträgt die Genauigkeit für Messungen bis 1000 μ F für alle Modelle 1,2 % + 2.


⁵ Bürdenspannung am Stromeingang (typisch): 400 mA Eingang 2 mV/mA, 10 A Eingang 37 mV/A.

⁶ Genauigkeit im 400,0 mA-Bereich spezifiziert bis 600 mA Überlast.

⁷ > 10A un spezifiziert.



Modell	175	177	179
			
	Allgemeine Anwendungen	Fehlerbehebung Reparatur	Temperaturmessung Fehlerbehebung Reparatur
Basisfunktionen			
Anzeigeumfang	6000	6000	6000
Echtheffektivwertmessung	AC	AC	AC
Grundgenauigkeit bei Gleichspannung	0,09 %	0,09 %	0,09 %
Automatische und manuelle Bereichswahl	• / •	• / •	• / •
Stellen der Anzeige	3-1/2	3-1/2	3-1/2
Messfunktionen			
Gleich- und Wechselspannung	1000 V	1000 V	1000 V
Gleich- und Wechselstrom	10 A	10 A	10 A
Widerstand	50 MΩ	50 MΩ	50 MΩ
Frequenz	100 kHz	100 kHz	100 kHz
Kapazität	10.000 µF	10.000 µF	10.000 µF
Temperatur			(+) 400 °C
Durchgangsprüfung/Diodentest	•	•	•
Anzeige			
Analoge Balkenanzeige	•	•	•
Hintergrundbeleuchtung		•	•
Diagnose und Daten			
Min-/Max-Aufzeichnung	•	•	•
Display Hold/Auto (Touch) Hold	• / •	• / •	• / •
Weitere Funktionen			
Gehäuse mit Kunststoffschutz/integriertem Holster	•	•	•
Betriebstemperaturbereich	-10 °C, +50 °C	-10 °C, +50 °C	-10 °C, +50 °C
Gewährleistung und elektrische Sicherheit			
Gewährleistung in Jahren	Lebenslang, eingeschränkt	Lebenslang, eingeschränkt	Lebenslang, eingeschränkt
Warnung bei berührungsgefährlicher Spannung	•	•	•
EN 61010-1 CAT III	1000 V	1000 V	1000 V
EN 61010-1 CAT IV	600 V	600 V	600 V
Empfohlene Messleitungen als Zubehör	TL75, TL175	TL75, TL175	TL75, TL175

 Bezeichnete Funktionen nur bei diesem Modell verfügbar

FLUKE**Bestellinformationen**

Echtheffektiv-Digitalmultimeter Fluke 179
 Echtheffektiv-Digitalmultimeter Fluke 177
 Echtheffektiv-Digitalmultimeter Fluke 175

Lieferumfang

Eingesetzte 9-V-Batterie
 Messleitungen TL75
 Bedienungshandbuch
 80BK-A Temperaturmessfühler (nur Fluke 179)



Fluke. *Damit Ihre Welt intakt bleibt.*

Fluke Deutschland GmbH
 In den Engematten 14
 79286 Glottertal
 Telefon: 0 69 2 2222 0203
 Telefax: 0 76 84 800 9410
 E-Mail: CS.Deutschland-ELEK@Fluke.com
 E-Mail: CS.Deutschland-INDS@Fluke.com
 Web: www.fluke.de

Technischer Beratung:
 Beratung zu Produkteigenschaften,
 Spezifikationen, Messgeräte und
 Anwendungstragen
 Tel.: +49 (0) 7684 8 00 95 45
 E-Mail: techsupport.dach@fluke.com

Fluke Austria GmbH
 Liebermannstraße P01
 2345 Brunn am Gebirge
 Telefon: +43 (0) 1 928 9503
 Telefax: +43 (0) 1 928 9501
 E-Mail: roc.austria@fluke.nl
 Web: www.fluke.at

Fluke (Switzerland) GmbH
 Industrial Division
 Hardstrasse 20
 CH-8303 Bassersdorf
 Telefon: +41 (0) 44 580 7504
 Telefax: +41 (0) 44 580 75 01
 E-Mail: info@ch.fluke.nl
 Web: www.fluke.ch

©2018 Fluke Corporation. Alle Rechte vorbehalten.
 Änderungen vorbehalten.
 10/2018 6011663a-de

Dieses Dokument darf nicht ohne die schriftliche
 Genehmigung der Fluke Corporation geändert werden.

8.5 Temperatursensor

T.M. Electronics (UK) Ltd Technical Data

DATA SHEET

KA02-V FINE WIRE (Fibre Glass) THERMOCOUPLE SENSOR

TYPE 'K' IN VARIOUS LENGTHS

FINE WIRE SENSOR - Type 'K'

Description

This sensor is constructed using a 1M length Fibre Glass wire constructed as a twisted pair. The wire used is Class 1 Type K alloys (NiCr / NiAl). A weld bead is manufactured at one end of the wire whilst the other end is terminated in a moulded miniature thermocouple plug.

This probe is available in various lengths up to 20 meters.

Sensor Features

➤ **MOULDED PLUG**

The use of a moulded plug gives a robust construction as well as providing a waterproof termination.

➤ **HIGH ACCURACY THERMOCOUPLE MATERIAL THROUGHOUT**

Type 'K' Thermocouple : Class I ($\pm 1.5^{\circ}\text{C} \pm 0.25\%$)

- **WIDE AMBIENT TEMPERATURE SPECIFICATION** : -50 TO 50 °C
- **TIME RESPONSE** (*96% of value in moving gas*) : 0.1 Secs
- **MEASUREMENT RANGE** : -50 TO 450 °C

Cross-reference for compatible instruments

Suitable instruments for use with this probe

TME PART No	DESCRIPTION	APPLICATION
MM2000	SINGLE INPUT INSTRUMENT	HIGH ACCURACY TEMPERATURE MEASUREMENT
MM2010	MAX / MIN HOLD INSTRUMENT	HIGH ACCURACY INSTRUMENT WITH MAX, MIN AND HOLD FEATURES
MM2020	DIFFERENTIAL INSTRUMENT	DUAL INPUT INSTRUMENT FOR DIFFERENTIAL MEASUREMENTS
MM2030	THERMOCOUPLE SIMULATOR	HIGH ACCURACY SIMULATOR WITH MEASUREMENT FACILITY

Please note that the cable may become discoloured and brittle if exposed to high temperatures. This is perfectly normal and will not affect the performance of the temperature probe. Additional care should be taken when handling the probe under these circumstances.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Chemnitz, den 13. September 2024

Sarina Boltz