

4 Versuchsmaterialien, Versuchsaufbau und Prüfverfahren

4.1 Versuchsmaterialien und Werkstoffeigenschaften

Zur experimentellen Charakterisierung der Einpressverbindung ist die Ausbildung einer gasdichten Zone bei unterschiedlichen Kombinationen zwischen Pin und durchmetallisiertem Leiterplattenloch sowie den Werkstoffsystemen beider Verbindungspartner signifikant. Um den Anforderungen nach einer hohen Stromtragfähigkeit bei gleichzeitiger Gewährleistung der geforderten Zuverlässigkeit gerecht zu werden, ist es erforderlich eine geeignete Kombination zwischen den oben genannten Parametern zu finden. Dies erfordert zunächst die Auswahl der Versuchsmaterialien.

4.1.1 Auswahl der Pins

An die Einpresszone eines Pins werden hohe Anforderungen gestellt. Die Einpresszone muss eine gasdichte Verbindung zwischen dem durchmetallisierten Leiterplattenloch und dem Pin herstellen, wobei das Leiterplattenloch nicht zu stark beansprucht werden darf. Des Weiteren darf der Pin einen maximalen Durchgangswiderstand nicht überschreiten und muss eine ausreichende Haltekraft gegenüber mechanischen Belastungen aufweisen.

Die Untersuchungen im Rahmen dieser vorliegenden Arbeit erstrecken sich auf zwei unterschiedliche massive Pin-Geometrien mit drei verschiedenen Prägungen. Die Selektion der Pins erfolgte in Abstimmung der beteiligten firmeninternen Abteilungen. Untersucht werden 2,8x0,8er-Pins, im folgenden 2,8er-Pins genannt, mit einer quadratischen und MIDI-Pins mit einer rechteckigen Einpresszone, die jeweils Prägungen von $R=0,0$ mm, $R=0,2$ mm und $R=0,3$ mm, im folgenden mit R0, R0,2 und R0,3 bezeichnet, haben. Um die Anzahl der variierten Größen für den Einpressprozess übersichtlich zu halten, wurden alle übrigen Abmessungen, wie Einlaufschräge und Pindurchmesser pro Pinart, konstant gehalten. Die Abmessungen der Pins sind in den Abbildung 4.1 und 4.2 dargestellt, wobei lediglich Ausschnitte aus der Konstruktionszeichnung für die Prägung R0,2 abgebildet sind.

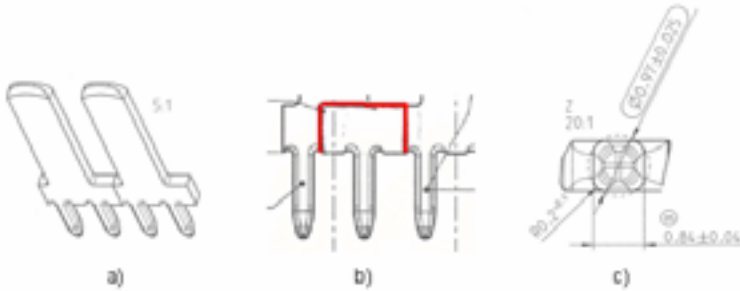


Abbildung 4.1: 2,8x0,8er-Pin: a) zwei Pins, b) ausgestanzter Pin, c) Abmessungen

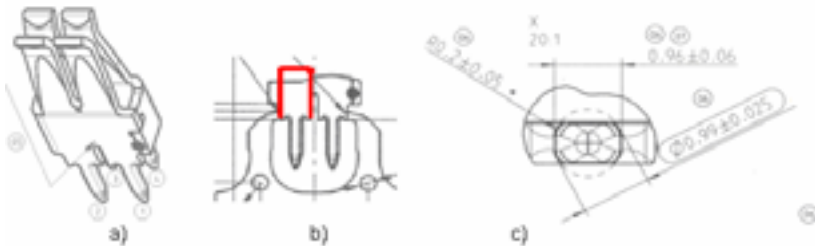


Abbildung 4.2: MIDI-Pin: a) vier Pins, b) ausgestanzter Pin, c) Abmessungen

Als Basismaterial der massiven 2,8er-Pins wird die Kupfer-Zinn-Legierung CuSn4 gewählt. Für die massiven MIDI-Pins wird die Kupfer-Nickel-Silicium-Legierung CuNiSi ausgewählt, die sich durch eine höhere elektrische Leitfähigkeit auszeichnet. Die chemische Zusammensetzung dieser Legierungen ist in der Tabelle 4.1 wiedergegeben.

Pinart	Material und chemische Zusammensetzung in %
2,8er	CuSn4 (Sn: 4; Cu: Rest)
MIDI	CuNiSi (Ni: 0,8 – 1,8; Si: 0,15 – 0,35; P: 0,01 – 0,1; sonstige: max. 0,5; Cu: Rest)

Tabelle 4.1: Untersuchte Pinarten und deren chemische Zusammensetzung

Zum Schutz ihrer Oberflächen vor Korrosionsvorgängen werden die Pins mit einem Oberflächenschutz versehen. Um den Einfluss verschiedener Beschichtungen zu untersuchen, werden die Einpressversuche daher neben unbeschichteten Pins mit galvanisch verzinneten, feuerverzinneten und vernickelten Pins durchgeführt. Die Beschichtungsdicken variieren je Pinart zwischen 1 bis 4 μm [Stol, Wieland]. Die entsprechenden Werkstoffeigenschaften der Pins und deren Beschichtungen werden in Kapitel 4.1.4 behandelt.

Ein wesentliches Problem bei galvanisch abgeschiedenen Reinzinnschichten ist die sog. Whiskerbildung. Whisker sind Haarkristalle, die aus der Zinnoberfläche wachsen und Kurzschlüsse auf Elektronikbauteilen verursachen können. Die Entstehungsvoraussetzungen der Whisker sind bislang noch ungeklärt [Nolde]. Ihr Wachstum erfolgt spontan und wurde bei einer Vielzahl von Metallen unter verschiedensten Bedingungen beobachtet [Buresch 2000, Buresch 2005]. Zur Vermeidung solcher Zinnwhisker sind galvanisch abgeschiedene Zinnschichten daher mit einer Unternickelung vorbehandelt, die als Sperrschicht dient. Für feuerverzinnete Pins ist eine Vorbehandlung nicht erforderlich, da durch die hohen Temperaturen bei der Feuerverzinnung innere Spannungen im Material abgebaut werden, die ein Wachstum der Zinnwhisker fördern.

Die Oberflächenbeschaffenheit der in den Versuchsreihen eingesetzten Pins ist unterschiedlich. Der feuerverzinnete Pin besitzt eine relativ raue Oberfläche, wohingegen der galvanisch verzinnete wie auch der vernickelte Pin eine glattere Oberfläche aufzeigen. Der unbeschichtete Pin weist sich durch die glatte Oberfläche des Pinmaterials aus. Im Anhang O befinden sich exemplarisch Rauheitsprofile der verwendeten Pins. Beispielsweise besitzt der feuerverzinnete Pin eine Oberflächenrauheit von $R_z = 5,21 \mu\text{m}$, der galvanisch verzinnete Pin dagegen eine Oberflächenrauheit von $R_z = 0,66 \mu\text{m}$.

Für die Dimensionierung einer optimalen Pin geometrie ist das Einpressverhalten der einzelnen Einpresszone von Bedeutung. Im Rahmen dieser Untersuchungen wird daher nur ein auf eine einzelne Einpresszone bezogenes Messergebnis für die Einpresskraft angestrebt. Würden mehrere Pins simultan eingepresst werden, wäre eine Unterscheidung von Einpresskräften bei großen und kleinen Bohrungen nicht möglich, d.h. die gemessene Einpresskraft wäre eine über alle Pins gemittelte Kraft. Daher wird der einzelne Pin, der im Anlieferungszustand als Bandware vorliegt, aus diesem Verbund ausgestanzt. Das Ausstanzen erfolgt mit Hilfe einer Kniehebelpresse und der dafür vorgesehenen speziellen Schneidengeometrie. Die Abbildung 4.3 zeigt den Stanzvorgang am Beispiel des unbeschichteten Pins.



Abbildung 4.3: Kniehebelpresse und Stanzwerkzeug

Eine zusammenfassende Darstellung der ausgewählten Pins mit ihren Geometrien und Beschichtungsarten ist in Kapitel 4.1.3 in Abbildung 4.5 wiedergegeben.

4.1.2 Auswahl der Leiterplatten

Die Einpressversuche werden an 1,6 mm dicken FR4-Multilayer-Leiterplatten durchgeführt. Die Auswahl beschränkt sich auf FR4-Leiterplatten, da diese in der Elektronikbranche u.a. aufgrund ihrer Temperaturbeständigkeit überwiegend eingesetzt werden. Die Lochwände der Leiterplatte sind mit einer Kupferschicht von mindesten 25 μm durchkontaktiert. Als Oberflächen-Metallisierungen der Leiterplatten werden auf chemischen Wege abgeschiedene Zinn- und Nickel-Gold-Schichten untersucht. Bei dem chemischen Abscheiden von Zinn kann die Zinnschichtdicke zwischen 0,8 bis 1,2 μm variieren. Bei der chemischen Abscheidung der Nickel-Gold-Schicht wird in einem chemischen Prozess zuerst eine Nickelschicht aufgebracht. Diese verhindert, dass Kupfer in das auf chemischen Wege aufgebraute Gold hineindiffundiert. Die abgeschiedene Goldschicht kann eine Dicke von 0,05 bis 0,1 μm haben [Schmidt/Elkin, Schweizer2]. Auf diesem Wege ist für beide Verfahren eine ebene Fläche sichergestellt, die sich vorteilhaft auf die Verbindung auswirkt. Die im Rahmen dieser vorliegenden Arbeit eingesetzten Versuchsleiterplatten besitzen folgende Schichtdicken :

Leiterplatte	Schichtdicke in μm
LP chem. Sn	0,8 bis 1,2 für Sn
LP chem. NiAu	4 bis 7 für Ni 0,08 bis 0,12 für Au

Tabelle 4.2: Schichtdicken der Versuchsleiterplatten

Die Auswahl der Leiterplatte und seiner Beschichtungen erfolgte – wie auch bei der Auswahl der Pins – in Abstimmung mit den beteiligten firmeninternen Abteilungen.

4.1.3 Ausgewählte Leiterplatten- und Pinvarianten

In der Abbildung 4.5 sind die im Rahmen dieser vorliegenden Arbeit zu untersuchenden Leiterplatten und Pinvarianten zusammengefasst dargestellt.

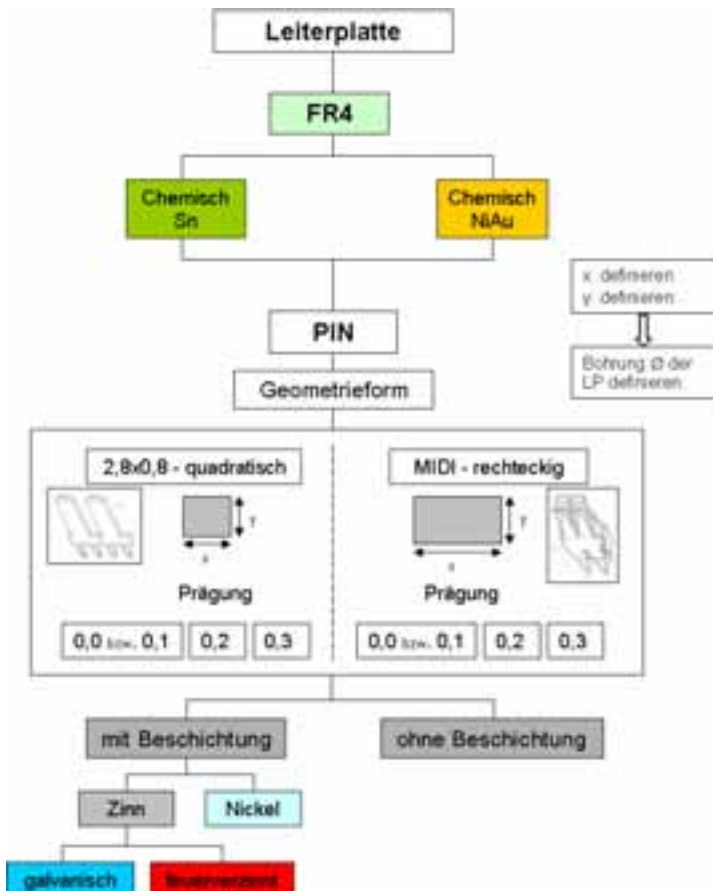


Abbildung 4.5: Ausgewählte Leiterplatten und Pins

4.1.4 Werkstoffeigenschaften

In diesem Kapitel soll kurz auf die Werkstoffeigenschaften der verwendeten Materialien eingegangen werden, da die Zuverlässigkeit der Einpressverbindungen auch entscheidend von den verwendeten Werkstoffen und von der Oberflächenbeschichtung der Pins und der Leiterplattenhülse abhängt. Vom Werkstoff für die Leiterplattenhülse wie auch für die Pins sind eine hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit gefordert, um die Stromerwärmung möglichst gering zu halten. Aus diesem Grunde werden als Werkstoffe Kupfer und seine Legierungen bevorzugt [Vinaricky]. Die Leiterplattenhülse besteht aus reinem Kupfer, wohingegen die Pins aus seinen Legierungen bestehen (2,8er-Pins: Kupfer-Zinn-Legierung CuSn4; MIDI-Pins: Kupfer-Nickel-Silicium-Legierung CuNiSi)

Kupfer verfügt über sehr günstige physikalische, mechanische und chemische Eigenschaften und ist daher ein viel verwendeter Kontaktträgerwerkstoff. Kupfer zeichnet sich durch eine sehr gute elektrische und thermische Leitfähigkeit, plastische Verformbarkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Luftfeuchtigkeit, Heißwasser und manche Säuren aus [Dubbel]. Es besitzt eine hohe Duktilität und ist sehr gut kaltverformbar [Keil et al., DKI 2000]. Kupfer ist in der Spannungsreihe elektrochemisch edel, sein Korrosionsverhalten ist entsprechend günstig [Weißbach, Wollmann]. Es lässt sich gut löten und das Schweißen ist mit allen Verfahren möglich. Reines Kupfer weist für die meisten Anwendungsfälle unzureichende mechanische Eigenschaften auf. Durch Zulegieren von metallischen und nichtmetallischen Elementen wird der Widerstand gegen plastische Verformung erhöht, d.h. Härte und Festigkeit werden erhöht [Schröder].

Kupfer-Zinn-Legierungen (Zinnbronze, z.B. CuSn4) verbinden hohe Härte und Duktilität mit sehr guter Korrosionsbeständigkeit. Sie haben hervorragende Gleit- und Verschleißigenschaften. Kupfer-Zinn-Legierungen sind nur bedingt schweißbar, d.h. sie weisen eine geringere Neigung zur Kaltverschweißung auf als Metalle [Vinaricky]. CuSn4 zeichnet sich durch günstige Kombination einer sehr guten Kaltumformbarkeit mit Festigkeit und Härte (HV 170 bis 200 [Wieland]) aus und besitzt darüber hinaus eine gute elektrische Leitfähigkeit [DKI 2006, Weißbach], was ihn als bevorzugten Kontaktwerkstoff auszeichnet [Wollmann].

Kupfer-Nickel-Silicium-Legierungen (CuNiSi-Legierungen) gehören zu den neueren Kupferlegierungen [Vinaricky]. Ihre Besonderheit liegt darin, dass sie gegenüber herkömmlichen Kontaktwerkstoffen, wie z.B. Zinnbronze, eine sehr gute elektrische Leitfähigkeit bei hoher Härte und Relaxationsbeständigkeit besitzen und dadurch zu einer Erhöhung der Stromtragfähigkeit und Grenztemperatur der Kontaktsysteme beitragen [Adler]. Ihre Festigkeit und elektrische Leitfähigkeit können durch Änderung der Legierungsanteile von Nickel und Silicium in Grenzen variiert werden. Mit höheren Gehalten an Nickel und Silicium steigt zwar die Festigkeit der Legierung, doch ihre elektrische Leitfähigkeit wird geringer. CuNiSi-Legierungen sind sehr gut kaltverformbar [Ruge]. Die in den Versuchsreihen eingesetzten MIDI-Pins weisen eine Härte von HV 125 bis 155 [Stol] aus.

Als Beschichtungswerkstoffe für die Leiterplatten im Rahmen dieser Untersuchungen werden Zinn, Nickel und Gold eingesetzt, die auf chemischem Wege abgeschieden werden. Die Pins sind unbeschichtet, verzinkt oder vernickelt. Die Eigenschaften dieser Beschichtungswerkstoffe sei an dieser Stelle ebenfalls kurz dargestellt.

Zinn mit Reinheitsgraden von 98 bis 99,9% wird wegen seines guten Korrosionsschutzes zur Herstellung von Metallüberzügen auf Kupfer und Stahl (Weißblech) sowie zur Herstellung von Loten verwandt, ist aber nur gering mechanisch beanspruchbar (Zugfestigkeit ca. 25 N/mm²) [Dubbel]. Zinn bildet bei normaler Atmosphäre eine harte Oxidschicht aus. Das darunter liegende weiche metallische Zinn kann sich bei einem relativ niedrigen Kontaktdruck plastisch verformen, so dass die isolierende Deckschicht durchbrochen wird und sich ein Metall-Metall-Kontakt ausbilden kann, was für die Kaltverschweißung zwischen Pin und Leiterplattenhülse vorteilhaft ist. Die geringe Härte des Zinns erlaubt damit, eine gute Kontaktierung [Buresch 1999]. Um in den Bereich der plastischen Deformation der Zinnschicht zu gelangen, ist ein Mindestwert für den Kontaktdruck, der etwa der Fließspannung von Zinn entspricht, erforderlich, d.h. für die sichere Funktion des verzinnten Kontaktes ist bei einer vorgegebenen Pingeometrie ein Mindestwert für die Kontaktnormalkraft notwendig [Vinaricky]. Die Zinnschicht dient zugleich als „Schmiermittel“ beim Einpressvorgang und setzt durch seine „Schmierwirkung“ die Einpresskräfte herab.

Wegen der geringen Schichtdicke der chemischen Verzinnung kann dessen Härte nicht gemessen werden [Schweizer]. Daher wird die Härte des Kupfers von ca. HV 150 als Oberflächenhärte der Beschichtung herangezogen. Für die galvanisch verzintten Pins kann eine Härte von HV 50 bis 90, für die feuerverzintten Pins von HV 400 bis 450 [Vinaricky] angenommen werden, da die Pinhersteller keine Angaben machen konnten.

Nickel ist mit Kupfer in jedem Verhältnis legierbar und besitzt technologische Eigenschaften, die seinen Einsatz im Bereich elektrischer Kontakte interessant macht. Nickel und Nickellegierungen sind sehr duktil und weisen sehr gute Plattier- und Schweißereigenschaften auf [Dubbel]. Dieser Werkstoff ist mit einer stets vorhandenen Oxidschicht bedeckt, was ihm dadurch besonders korrosionsfeste Eigenschaften verleiht. Durch eine Vernickelung werden Metalloberflächen korrosionsbeständig. Bereits bei Schichtdicken von 1 bis 3 µm wirkt Nickel als Diffusionssperre zwischen Träger- und Aufagewerkstoff [Keil et al.]. Nickelbäder haben eine einebnende Wirkung, so dass die entstandenen Oberflächen eine geringe Rauigkeit aufweisen. Nickelschichten haben eine verhältnismäßig hohe Härte von HV 300 bis 400 [Vinaricky]. Für die Härte der vernickelten Pins wird von diesen Werten ausgegangen, da die Hersteller keine Werte angeben konnten.

Gold ist sehr weich. Als Goldauflage werden in der Regel hochkarätige Hartgoldschichten angewendet. Eine Härtesteigerung ist jedoch mit einem Anstieg des elektrischen Widerstandes verbunden [Großmann/Merl, Raub et al.], was sich für

elektrische Verbindungen nachteilig auswirkt. Hartgoldschichten weisen gute Reibverschleißeigenschaften auf. Ihre Ursache liegt in der verhältnismäßig hohen Eigenhärte der Schichten und der Inkorporation sog. Polymere wie Kohlenstoff-, Stickstoff-, Sauerstoff-, Kaliumverbindungen in das Gefüge. Diese verursachen eine Art Trockenreibung [Vinaricky]. Die als Polymer bezeichneten Einschlüsse wirken sich zwar günstig auf den Reibverschleiß der Goldschichten aus, setzen aber ihre Neigung zur Kaltverschweißung herab [Keil et al].

Aufgrund der geringen Schichtdicke des Goldes kann dessen Härte nicht gemessen werden [Schweizer]. Für die Nickel-Gold-Beschichtung wird daher die Härte des Nickels, die mit ca. HV 420 von dem Leiterplattenhersteller angegeben wird, herangezogen.

4.2 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Das Ein- und Auspressen der Pins in die Leiterplatten wird auf einer Druckzugmaschine der Firma Zwick halbautomatisch ausgeführt (Abbildung 4.6).



Abbildung 4.6: Zwick Z010 Druckzugmaschine [Zwick]

Um die Einpressverbindung herzustellen, wird der einzelne Pin in das speziell angefertigte Einpresswerkzeug eingesetzt und in das zuvor definierte Leiterplattenloch eingepresst, wobei der zu fahrende Weg und damit die Einpresstiefe fest definiert ist. Während der Ein- und Auspressvorgänge werden die entsprechenden Kraft-Weg-Verläufe pro Pin aufgezeichnet. Als Messwerteaufnehmer wird eine Messdose mit einer Belastbarkeit von bis zu 10 kN verwendet.

Der Einpressvorgang beginnt mit der Zentrierung des Pins in dem durchmetallisierten Loch der Leiterplatte. Dazu wird der Pin zunächst mit einer Vorkraft von 5 N belastet. Anschließend wird mit dem eigentlichen Einpressen des Pins begonnen. Die Pins werden über einen Einpressweg von 2,4 mm in das Leiterplattenloch eingepresst. Dieser Einpressweg entspricht aus der experimentellen Erfahrung

heraus einer ausreichenden Kontaktierung. In der Abbildung 4.7 ist beispielhaft eine Messgraphik des Einpressvorganges mit den entsprechenden Kurvenzuständen dargestellt. Mit zunehmendem Einpressweg steigt die Einpresskraft zunächst linear an. In diesem Bereich liegt eine elastische Formänderung des Hülsenmaterials vor. Bei einem weiteren Eindringen des Pins wird die Elastizitätsgrenze des Werkstoffs überschritten und er beginnt sich plastisch zu verformen. Nach Überschreiten einer maximalen Einpresskraft fällt die Kraft wieder ab, da das an der Verformung beteiligte Volumen ständig abnimmt.



Abbildung 4.7: Kraft-Weg-Verlauf des Einpressvorganges

Um die Haltekraft zu beurteilen, wird der Pin über ein speziell angefertigtes Werkzeug ausgespresst. Der Auspressvorgang soll nach einer Dauer von mindestens 24 h nach dem Einpressen stattfinden, damit sich die Verbindung in dieser Zeit erholen kann [DIN 2003]. Im Rahmen dieser Arbeit werden zunächst alle Pins in die Leiterplatten eingepresst. Erst nach einer Zeitdauer von ca. 240 h nach dem Einpressen werden diese nach dem Prinzip first-in first-out wieder ausgespresst. Für das Auspressen der Pins wird der Auspressstempel über den entsprechenden Pinfuß zentriert, der Auspressvorgang gestartet und die Kraft-Weg-Messung nach einer Vorkraft von 2 N begonnen. Die Krafteinleitung erfolgt dabei entgegengesetzt zur Einpressrichtung. Der charakteristische Kurvenverlauf für die Auspresskraft wird in Kapitel 5.2.1 erläutert.

Um eine Durchbiegung der Leiterplatte während der Pressvorgänge zu verhindern, wird die Versuchsleiterplatte auf einer speziellen Stützhalterung fixiert. Sie ermöglicht eine genaue Zentrierung der Pins zu den Presswerkzeugen und ist für eine gleichmäßige Aufzeichnung der Kraft-Weg-Verläufe unerlässlich.

4.3 Prüfverfahren

Zur Beurteilung der Qualität der Einpressverbindung wurden im Rahmen dieser vorliegenden Arbeit verschiedene Untersuchungsverfahren herangezogen. Die Untersuchungen erstreckten sich auf die Charakterisierung der Verformungen der Leiterplattenhülse und seiner Oberflächentopographie nach dem Auspressen der Pins. Des Weiteren wurde die Zuverlässigkeit der elektrischen Verbindung über die Messung des Durchgangswiderstandes geprüft.

4.3.1 Optische Messungen

Vor Beginn der Versuche wurden die Endlochdurchmesser der Leiterplatten auf die Einhaltung ihrer Toleranzvorgaben optisch vermessen. Gleiches trifft auch auf ausgewählte Pins und die Prägungen der Pinkanten zu.

Das Messprinzip der Optische Messungen besteht darin, dass das Licht über einen teildispersiven Spiegel senkrecht auf die Probenoberfläche gebracht wird. Das nach der Reflexion an der Probenoberfläche senkrecht in das Objektiv zurückgeworfene Licht wird zur Abbildung der Probe genutzt. Die Messungen erfolgten auf der Anlage der Firma Mitutoyo [Mitutoyo] mit einem Auflösungsvermögen von $0,1 \mu\text{m}$ und einer Genauigkeit von $1,5 \mu\text{m}$.

4.3.2 Lichtmikroskopie

Lichtmikroskopische Untersuchungen dienen der optischen Darstellung der Verformung der Kupferhülse und des Leiterbildes des durchmetallisierten Loches nach dem Einpressvorgang. Zu diesem Zweck wurden metallographische Schlitte erstellt. Die Probenentnahme dafür erfolgte spanend durch Trennschleifen. Zur besseren Handhabung wurde die Probe in Einbettmasse eingebettet und durch Schleifen und anschließendes Polieren eine spiegelblanke Oberfläche erzeugt, die der Lichtmikroskopie unterzogen wurde. Es wurde ein Lichtmikroskop der Firma Leica Microsystems [Leica] verwendet.

4.3.3 Rasterelektronenmikroskopie

Die Rasterelektronenmikroskopie (REM) basiert auf dem Prinzip der rasterförmigen Abtastung von Oberflächen mit einem feingebündelten Elektronenstrahl. Wechselwirkungen des Elektronenstrahls mit der Probenoberfläche werden zur Erzeugung des Bildes genutzt. Mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie wurden die Oberflächentopographien bei größerer Schärfentiefe und höheren Vergrößerungen im Vergleich zur Lichtmikroskopie begutachtet und eine qualitative Elementanalyse vorgenommen. Darüber hinaus wurden mittels REM die Bruchflächen möglicher Kaltverschweißungen auf der Leiterplattenhülse nach dem Auspressen der Pins beurteilt.

Das Prinzip der REM besteht darin, dass ein Elektronenstrahl beschleunigt und auf der Probenoberfläche fokussiert wird. Anhand der dabei auftretenden Wechselwirkungen des Elektronenstrahls mit der Probe lassen sich Rückschlüsse auf die Probenbeschaffenheit ziehen. Als Elektronenquelle dient eine Wolfram-Glühkathode. Die austretenden Elektronen werden von der Anode durch eine Potentialdifferenz beschleunigt und über ein elektromagnetisches Linsensystem auf der Probenoberfläche gebündelt. Beim Eindringen der Elektronen in die Probe kommt es zu elastischen und unelastischen Streuprozessen, die zur Emission von elektromagnetischer Strahlung, wie auch von Elektronen führen können.

Bei den austretenden Elektronen werden Sekundär-, Rückstreu- und Auger-Elektronen unterschieden. Sekundärelektronen entstehen durch unelastische Streuung von Primärelektronen an den Elektronenhüllen der Probenatome. Aus diesen werden Elektronen herausgelöst, die die Probe mit einer geringeren Energie verlassen und daher nur aus oberflächennahen Schichten stammen können. Sie eignen sich aus diesem Grund zur Bestimmung der Festkörperoberflächen. Rückstreu-elektronen sind Elektronen, die an den Atomkernen der Probe elastisch gestreut werden und nahezu ohne Energieverlust wieder aus der Probe austreten. Das Rückstreu-elektronensignal dient in erster Linie dazu, Probenbereiche mit unterschiedlicher Kernladungszahl darzustellen. Daher eignen sie sich zur Darstellung von Phasenkontrasten. Auger-Elektronen werden bei der oberflächenanalytischen Methode benutzt. Sie sind Elektronen des sog. Auger-Effektes. Der Auger-Effekt ist ein strahlungsloser Übergang eines Elektrons in der Elektronenhülle eines Atoms. Ein ionisiertes Probenatom kann seine Energie auch dadurch wieder abgeben, dass ein Elektron der äußeren Schalen freigesetzt wird.

Die elektromagnetische Strahlung wird in die charakteristische Röntgenstrahlung, die Röntgenbremsstrahlung und Kathodolumineszenz unterteilt. Letzteres entsteht, wenn einfallende Elektronen Elektronen der Probenatome aus dem Valenzband ins Leitungsband heben. Es entsteht eine Strahlung im sichtbaren Bereich. Diese kann spektral zerlegt werden und gibt daher Aufschluss über Bereiche unterschiedlicher Wellenlänge. Die Röntgenbremsstrahlung entsteht durch die Abbremsung der einfallenden Elektronen durch das Coulombfeld der Probenatomkerne. Sie kann Energien zwischen Null und der einfallenden Elektronen annehmen. Die charakteristische Röntgenstrahlung entsteht infolge der Ionisation durch eine unelastische Streuung der einfallenden Elektronen. Durch den Übergang von Elektronen aus höheren Schalen in eine tiefere wird dabei Röntgenstrahlung freigesetzt. Die Energie der charakteristischen Röntgenstrahlung ist elementspezifisch und ermöglicht somit die Ermittlung der qualitativen und quantitativen Elementzusammensetzung. Darüber hinaus lassen sich über eine Linie als Line-Scan oder über eine Fläche als Mapping die Elementverteilung darstellen. Im Rahmen dieser Arbeit werden zur Analyse der Leiterplattenhüllen Sekundärelektronen wie auch die Röntgenstrahlung genutzt. Die Aufnahmen erfolgen mit einem Raster-elektronenmikroskop des Typs LEO 1430, das mit einer EDX-Analyseeinrichtung

(Energy-Dispersive X-Ray Analysis, Energiedispersive Röntgenstrahlen-Analyse) ausgestattet ist (Abbildung 4.8).



Abbildung 4.8: Rasterelektronenmikroskop des Typs LEO 1430

4.3.4 Elektrische Prüfung

Die elektrische Prüfung der Einpressverbindung erfolgt über die Messung des Durchgangswiderstandes nach der Prüfung 2a „Durchgangswiderstand-Millivoltmethode“ der IEC 60512-2 [IEC 1985]. Der Durchgangswiderstand ist ein Maß für die elektrische Zuverlässigkeit wie auch für die Festigkeit und Stabilität der Einpressverbindung. Sie wird direkt beeinflusst durch die Auspress- bzw. Haltekraft des Pins. Je höher die Haltekraft des Pins ist, desto geringer ist der Durchgangswiderstand.

Für eine elektrische Beurteilung der Einpressverbindung ist es wichtig, definierte Abgriffspunkte zu wählen, da die gemessene Spannung zur Ermittlung des Durchgangswiderstandes abhängig ist von der Messstelle, an der sie abgegriffen wird. Die dem Strom abgewandten Bereiche weisen ein niedrigeres Potential auf als solche im Bereich der Stromeinleitung [Erdogan]. Daraus folgt, dass in den abgewandten Bereichen eine geringere Potentialdifferenz gegenüber der Pinoberseite gemessen wird als in den übrigen Bereichen.

Vor diesem Hintergrund wird die Messung des Durchgangswiderstandes nach der Prüfanordnung nach Abbildung 4.9 durchgeführt. Bei dieser Prüfanordnung wird der Spannungsabfall über die Kontaktstelle zwischen Pinspitze und dem auf der Leiterplattenunterseite liegenden Ösenstück auf der dem Strompfad gegenüberliegenden Seite gemessen. Hierfür wird der Strom mit einer Stromstärke I von 100 mA auf der Stirnseite der Leiterbahn eingeleitet, wobei er durch den Pin abfließt. Die Potentialdifferenz ΔU zwischen Pinfuß und Durchkontaktierung (Kupferhülse) wird über ein Voltmeter ermittelt und der Durchgangswiderstand R über die Beziehung $R_D = \frac{1}{2} \Delta U / I$ berechnet.

Die prinzipielle Prüfanordnung zu dieser Meßmethode ist in der Abbildung 4.9, der komplette Adapteraufbau nach der 4-Punkt-Messung in der Abbildung 4.10 visualisiert.

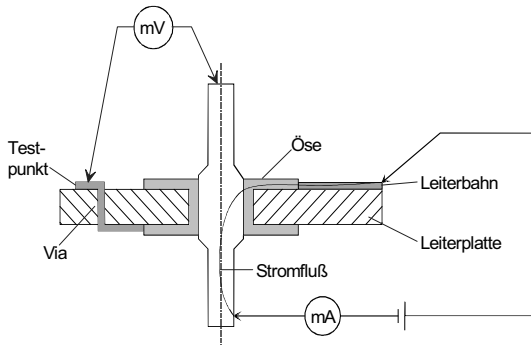


Abbildung 4.9: Prinzipielle Prüfanordnung für den Durchgangswiderstand

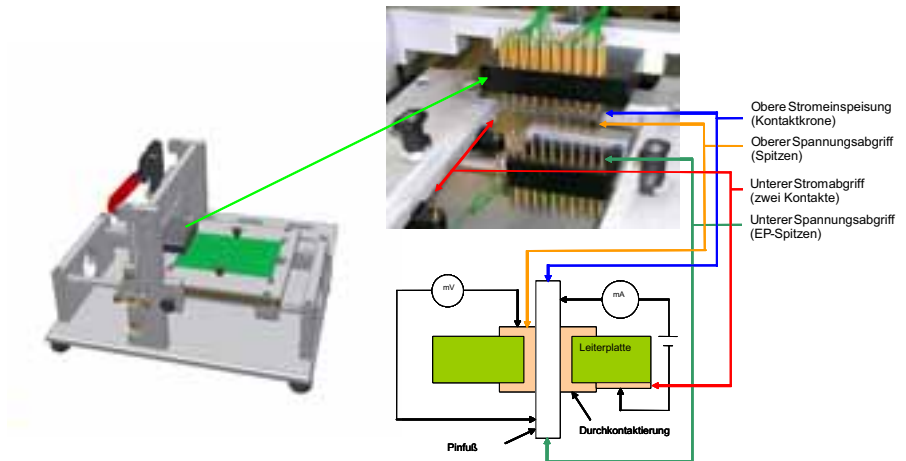


Abbildung 4.10: Adapteraufbau für die Messung des Durchgangswiderstandes

