

APPLIKATIONSBERICHT

Topographien von Oberflächen für Drahtbondanwendungen und deren Oberflächenparameter



Ganz allgemein wird beim Drahtbonden die Verbindungsbildung, ebenso wie auch bei einigen anderen stoffschlüssigen Fügeverfahren, in drei sich zeitlich überlappende, aber prinzipiell zu unterscheidende Phasen (Reinigungs-/Aktivierungsphase, Annäherungsphase, Interdiffusions-/Volumenwechselwirkungsphase) eingeteilt, denen eine Phase der Vordeformation vorausgeht. Auf Basis dieser grundlegenden Annahmen der Verbindungsbildung beim Drahtbondprozess kann davon ausgegangen werden, dass gleichförmig „glatte“ Bereiche einer Oberfläche den Verbindungsbildungsprozess eher begünstigen. Lokale Erhöhungen (z. B. mit lateralen Ausdehnungen von 5–10 μm und einer Höhe von einigen hundert nm bis zu 1–2 μm) behindern die Verbindungsbildung eher als ähnliche Strukturen, die als Vertiefungen ausgebildet sind (vgl. Abbildung 1). Abbildung 1 zeigt Knospenstrukturen (Erhöhungen, links) und deren invertiertes Abbild (Näpfchenstrukturen, rechts). Als gängige Praxis bei Anwendern der Drahtbondtechnik werden die drei Kennwerte R_a , R_z und R_t aus derartigen Topographieprofilen extrahiert und mit der Bondqualität korreliert. Seit Veröffentlichung der DIN EN ISO 25178 sind u.a. die Parameter S_a und S_z dazu gekommen. Am Beispiel von Abbildung 1 zeigt sich, dass sich hier identische Werte für S_a und S_z ergeben, obwohl für erfahrene Bondanwender ersichtlich ist, dass die Bondbarkeit vermutlich unterschiedlich ausfallen wird. Dieses Beispiel zeigt, dass die Kennwerte S_a und S_z (demnach auch R_a und R_z) nicht hinreichend dazu geeignet sind, die für das Drahtbonden wesentliche Funktion einer Oberfläche vollständig zu beschreiben – nämlich ob diese eine die Verbindungsbildung unterstützende oder behindernde Topographie aufweist. Der Grund, dass nach wie vor auf diese Art und Weise vorgegangen wird liegt darin, dass bisher schlicht keine ausreichend gesicherten Erkenntnisse vorliegen, die eine geänderte Vorgehensweise rechtfertigen.

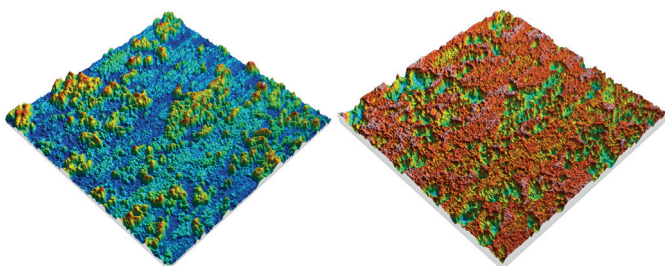


Abbildung 1: Zwei Oberflächen mit identischen Kennwerten für S_a (0,24 μm) und S_z (2,06 μm)

Mit den heutzutage zur Verfügung stehenden optischen Messmethoden kann die 3-dimensionale Struktur einer Oberfläche digitalisiert werden. Dadurch lassen sich, wesentlich besser als bei Linienmessungen, übergeordnete Strukturen (wie z.B. gerichtete Riefenstrukturen von Schleifprozessen oder zerkratzte Flächenbereiche) identifizieren und quantifizieren. Für Drahtbondanwendungen müssen demnach Oberflächenkennwerte mit den nun zur Verfügung stehenden verbesserten Messmethoden ermittelt werden, die diejenigen Topographieeigenschaften besser als bisher quantifizieren, die sich auf die Verbindungsbildung auswirken (sog. verbindungsrelevante Strukturen/Flächenanteile).

Dieser Applikationsbericht beschreibt die Erfahrungen der Bond-IQ GmbH bei der Vermessung von Oberflächen und Bestimmung von Oberflächenparametern, die darüber Auskunft geben, ob eine Oberfläche für das Drahtbonden geeignet ist oder nicht.

1. Auswahl und Untersuchung des Messsystems

Die Kontaktflächen von Bondverbindungen liegen typischerweise im Bereich von 50x50 μm^2 bis 250x250 μm^2 für Dünn Drahtanwendungen und im Bereich von 200x400 μm^2 bis 800x1.600 μm^2 für Dickdrahtanwendungen. Das gängigste Hilfsmittel bei der Bewertung des Erscheinungsbildes von Bondoberflächen ist das Metallografie-Mikroskop. Die genutzten Vergrößerungen liegen typischerweise im Bereich von 100–1.000x. Jahrelange industrielle Praxis hat gezeigt, dass optische Prüfsysteme, die die o.g. Analysebereiche bzw. Vergrößerungen anbieten, ideal zur Bewertung von Bondoberflächen und -verbindungen sind. Typische Bondoberflächen weisen Erhöhungen und Vertiefungen im Bereich von wenigen 100 nm (z.B. Halbleiter, Dünnschicht-Oberflächen) bis zu 20 μm (z.B. Leiterplatten, DCB-Substrate) auf. Dabei können vereinzelt Strukturen auf den Oberflächen vorhanden sein, die steile Flanken von bis zu 60° aufweisen. Messsysteme für Bondoberflächen müssen daher die Anforderungen an den o.g. Analysebereich und die zu vermessenden Topographien erfüllen.

Konfokale Messsysteme erfüllen die notwendigen Voraussetzungen zur Vermessung von Bondoberflächen. Neben einem Falschfarbenbild, welches die Höheninformation wiedergibt, ist mindestens ein Intensitätsbild oder auch ein Farbbild verfügbar. Die Bildinformation kann so sehr gut mit Erfahrungswerten aus einer lichtmikroskopischen Prüfung abgeglichen werden. Im Rahmen von Voruntersuchungen wurden Messsysteme von drei Herstellern bewertet. Hierbei zeigte sich, dass grundsätzlich alle drei Messsysteme in der Lage sind, die Topographie der Oberfläche 3-dimensional so abzubilden, dass diese für den Betrachter plausibel erscheint.

Insbesondere unerfahrene Anwender waren aufgrund der aus den Messdaten erzeugten 3D-Bilder schnell von der Leistungsfähigkeit und der grundsätzlichen Vergleichbarkeit der Messergebnisse der drei untersuchten Systeme überzeugt. Bei der Berechnung von Kennwerten, z.B. Ra, Rz, Sa, Sz, Spk und Sdr, zeigten sich allerdings deutliche Unterschiede, obwohl die Messbereiche auf wenige Mikrometer genau abgeglichen wurden. Da keine vertrauenswürdigen Referenzdaten für die vermessenen Oberflächen vorhanden waren, konnten die Unterschiede zwischen den Messdaten weder bewertet, noch eine Entscheidung darüber getroffen werden, welches der Messsysteme denn nun die reale Oberfläche genauer wiedergibt. Hier zeigt sich also ein grundsätzliches Problem.

Wenn Oberflächenparameter bestimmt werden sollen, die die funktionalen Eigenschaften einer Oberfläche für ein Verarbeitungsverfahren widerspiegeln, muss die Korrelation potentiell geeigneter Oberflächenparameter zu einem Funktionsparameter geprüft werden. Im Fall von Drahtbondanwendungen ist ein in Frage kommender Funktionsparameter z.B. die Pullkraft. Diese wird anhand einer zerstörenden mechanischen Prüfung ermittelt und ist ein Maß für die Güte der Verbindungsbildung. Die mittleren Pullkräfte von Bondstellen auf Oberflächen mit optisch unterschiedlichem Topographieeindruck werden daher mit vorausgewählten Oberflächenparametern aus der DIN EN ISO 25178, wie z.B. Sa, Sz, Sdr, Str und Spk, auf eine mögliche Korrelation untersucht. Unterschiedliche Messsysteme werden voneinander abweichende Oberflächenparameter ermitteln. Zwangsläufig werden sich unterschiedliche Erkenntnisse zu möglichen Korrelationen ergeben. Der Anwender kann nun nicht einschätzen, welchen Ergebnissen er glauben soll und folglich keine bzw. nur sehr unsichere Schlüsse ziehen. Hierfür braucht es eine vertrauenswürdige Referenz, die darüber Auskunft gibt, ob die errechneten Oberflächenparameter auch tatsächlich der vorliegenden Oberfläche entsprechen oder stark durch das Messsystem verzerrt sind. Für eine Topographiemessung an Bondoberflächen gibt es, außer den eingangs beschriebenen ungeeigneten Kennwerten Rz und Ra, keine erprobte Praxis und Referenz. Daher kann für einen solchen Anwendungsfall nur auf allgemeingültige und vertrauenswürdige Referenzquellen zurückgegriffen werden.

Im Bereich der Messtechnik ist es üblich, Prüfnormale heranzuziehen, um Messsysteme zu charakterisieren. Der Fachbereich 5.1 der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt bietet derartige Prüfnormale für Oberflächen, sog. Raunormale an. Von den drei untersuchten konfokalen Messsystemen hatte nur eines die Fähigkeit, anhand seiner Messergebnisse ein kalibriertes Rauheitsnormal nachzubilden – das Messsystem TOOLinspect der Firma confovis. Das confovis System, war daher als einziges System geeignet, eine vertrauenswürdige (da mit Rauheitsnormalen abgeglichene) Untersuchung von Oberflächenparametern zu ermöglichen.

Abbildung 2 zeigt eine Gegenüberstellung der 3-dimensional visualisierten Messdaten von 3 verschiedenen Messsystemen. Jede der drei Visualisierungen ist für sich betrachtet und gemessen an Erfahrungswerten zum optischen Eindruck dieser Oberfläche am Lichtmikroskop glaubhaft. Erst ein detaillierter Vergleich der Messdaten offenbart eine

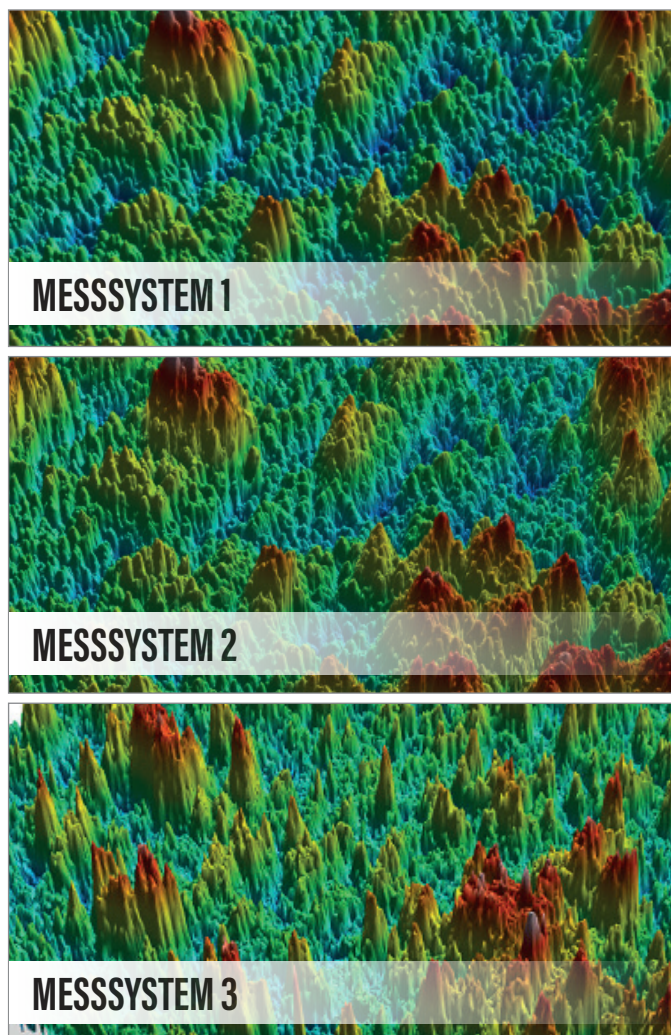


Abbildung 2: 3D-Visualisierung einer Oberfläche aus den Messdaten verschiedener Messsysteme

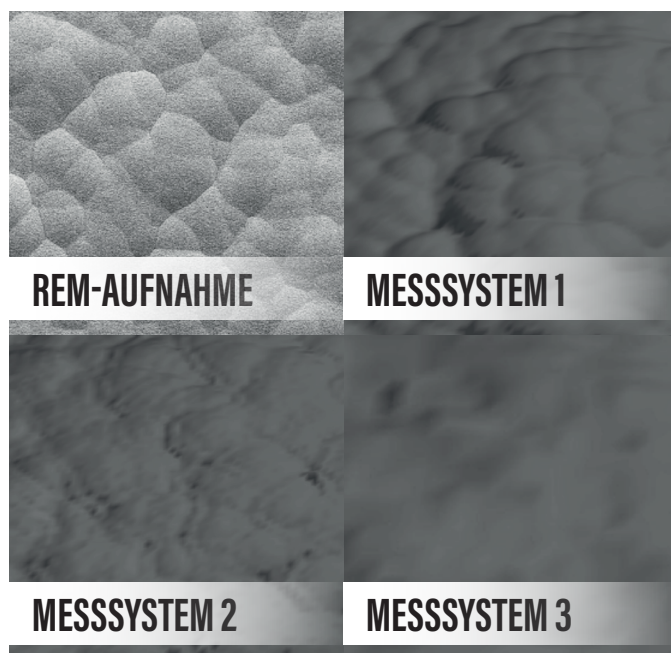


Abbildung 3: Detailanalyse der visualisierten Messdaten in vergrößerter Darstellung

signifikante Abweichung bei Messsystem 3. Trotz vergleichbarem Messbereich weichen die dargestellten Topographien deutlich ab. Unterschiede zwischen den Messsystemen 1 und 2 zeigen sich erst bei starker Vergrößerung der Ansicht (siehe Abbildung 3). In Abbildung 3 sind Ausschnitte aus den Messdaten im Vergleich zu einer REM-Aufnahme der Oberfläche dargestellt (Achtung: Der REM-Analysebereich entspricht nicht exakt dem Messbereich!). Messsystem 1 gibt den Bildeindruck des REM sehr vergleichbar wieder. Bei Messsystem 2 zeigen sich Artefakte, die wie Doppelbilder wirken. Messsystem 3 kann die Strukturen nicht abbilden, da die laterale Auflösung des Messsystems nicht ausreichend ist. Aus diesem Vergleich der Messsysteme lassen sich nun folgende Erkenntnisse ziehen:

- Die Fähigkeit des Messsystems, eine Oberfläche grundsätzlich 3-dimensional zu erfassen und abzubilden, sagt noch nichts darüber aus, wie realitätsgetreu das System diese Oberfläche abbilden kann.
- Ohne eine vertrauenswürdige Referenz lassen sich Topographiemessdaten nicht sicher bewerten, da der Anwender nicht zuordnen kann, ob die Daten eine reale Struktur oder ein Artefakt abbilden.
- Oberflächenparameter zu ermitteln und diese mit Funktionsparametern zu korrelieren ist nicht sinnvoll, solange nicht zweifelsfrei belegt wurde, dass das Messsystem diese Oberfläche auch korrekt abbilden kann.

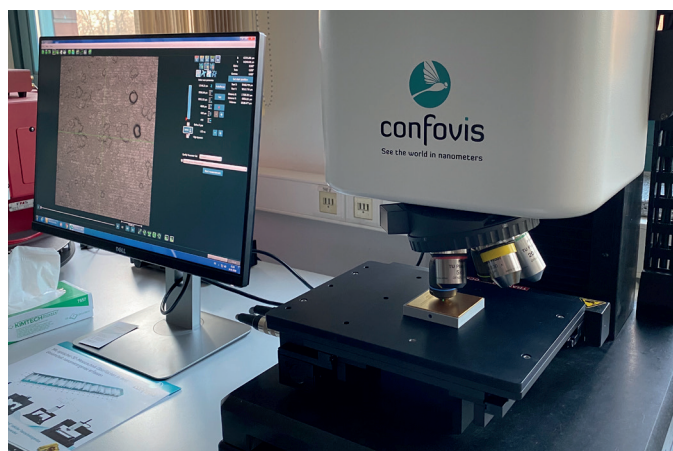


Abbildung 4: Das für die Topographieuntersuchungen verwendete Messsystem TOOLSPECT der Firma confovis.

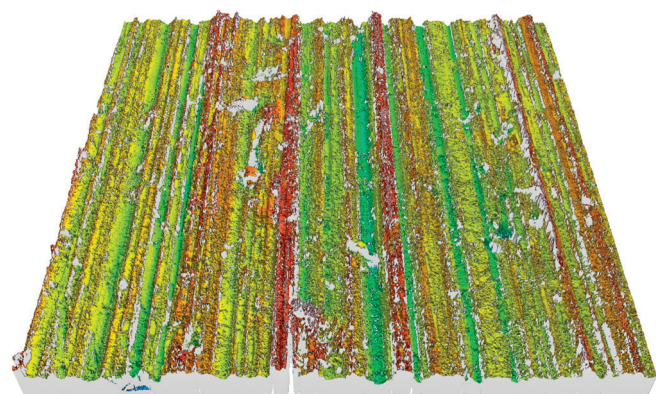


Abbildung 5: Messung ohne Artefakte (Confovis Messsystem)

2. Bestimmung der Oberflächenkennwerte

Wie bereits eingangs dargestellt, reichen Kennwerte wie z.B. Sa und Sz nicht aus, wenn damit Oberflächen nicht voneinander differenziert werden können, die sich im Drahtbondverhalten unterscheiden. Für Bondoberflächen sind die in Tabelle 1 zusammengefassten Oberflächenparameter mögliche Kandidaten für eine wesentlich geeignetere Beschreibung des Bondverhaltens.

Tabelle 1: Potentiell geeignete Oberflächenparameter

PARAMETER	KURZBESCHREIBUNG
S10z	Zehn-Punkt-Höhe der Oberfläche (ten-point height), Summe auf S5p und S5v
S5p	Fünf-Punkte-Spitzenhöhe (five-point peak height)
S5v	Fünf-Punkte-Muldenhöhe/Talhöhe/Senkenhöhe (five-point pit height)
Sdr	Verhältnis gestreckte Oberfläche zur projizierten Messfläche (developed interfacial area ratio)
Str	Isotropiemaß für die Oberfläche (Texture Aspect Ratio)
Sz(5x)*	Maximale Höhe (maximum height, Mittelwert aus mindestens 5 Messungen als Alternative zum S10z)
Sp(5x)*	Maximale Spitzenhöhe (maximum peak height, Mittelwert aus mindestens 5 Messungen als Alternative zum S5p)
Sv(5x)*	Maximale Muldenhöhe/Talhöhe/Senkenhöhe (maximum pit height, Mittelwert aus mindestens 5 Messungen als Alternative zum S5v)
Spk	reduzierte Spitzenhöhe
Sk	Kernrauheit
Svk	reduzierte Riefentiefe

Von den in Tabelle 1 aufgeführten Parametern sind drei Parameter besonders anfällig für Artefakte in Topographiemessungen. Es handelt sich um den Sz-, den Sp- und den Sdr-Wert. Sz- und Sp-Wert zeigen die höchsten Messwerte einer Topographie an. Einzelne Ausreißer, die auf Messfehler zurückzuführen sind (z.B. Kanteneffekte, Fehler an zu steilen Flankenwinkeln) führen zu einer starken Veränderung der beiden Werte. Dies kann z.T. durch Filtereinstellungen in der Analysesoftware (z.B. Ausreißer- und Schnittlinienfilter in MountainsMap) bereinigt werden. Besser ist allerdings immer eine korrekt durchgeführte Messung mit der zusätzlichen Angabe, welche Bereiche der Oberfläche nicht ausreichend sicher gemessen werden konnten (Abbildung 5). Beide Fähigkeiten hat das confovis-Messsystem.

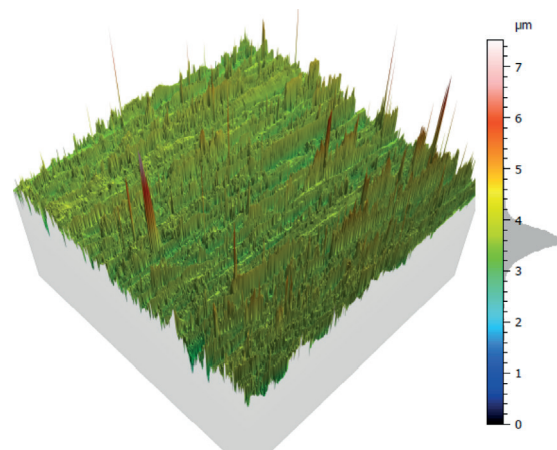


Abbildung 6: Topographiemessung mit auffälligen Messartefakten eines eher ungeeigneten Messsystems

Gängige Praxis – auch deswegen, weil durch Normen vorgeschrieben – ist die Filterung der Messdaten. Für Rauheitskennwerte werden typischerweise Welligkeit und Rauheit über die Grenzwellenlänge separiert. Nach dieser Filterung werden für die kurzwelligeren Signale (Rauheit) die R-Werte und für die langwelligeren Signale (Welligkeit) die W-Werte bestimmt. Bei noch unbekanntem Zusammenhang zwischen Oberflächenparameter und Funktionsparameter, also z.B. dem Gegenstand dieses Applikationsberichtes zum Zusammenhang von Bondbarkeit und Oberfläche, wäre eine starke Filterung der Daten kontraproduktiv. Die Filterung von Daten setzt immer voraus, dass bekannt ist, welche Anteile von Oberflächendaten der Filter selektiert und dass diese gefilterten Anteile für die weitere Analyse nicht relevant sind. Bei unbekanntem Zusammenhang liegt dieses Wissen nicht vor. In den Untersuchungen zum vorliegenden Applikationsbericht galt es daher, Filterung zunächst zu vermeiden. Dazu zählt auch die Filterung potentieller Messwertausreißer, die allerdings nur dann auftreten, wenn das Messsystem und dessen Einstellung nicht passend ausgewählt wurden.

In Drahtbondprozessen treten neben Diffusionsprozessen auch tribologische Prozesse auf. Es ist daher vorstellbar, dass die zwischen Draht und Bondpad vorliegende reale Kontaktfläche mitbestimmend für die Verbindungsbildung ist. Diese reale Fläche wird über den Sdr-Wert ausgedrückt. Der Sdr-Wert bildet das Verhältnis aus der gestreckten Gesamtfläche der vermessenen Topographie zur projizierten Messfläche (vgl. Abbildung 7). Allgemein gilt, dass glatte Oberflächen (geringer Sdr-Wert) in Bondanwendungen besser zu verarbeiten sind als rauere Oberflächen (hoher Sdr-Wert). Je höher der Sdr-Wert ist, umso höher ist das Risiko, dass stark ausgeprägte Hügel und Täler auf der Oberfläche vorhanden sind, die das Deformationsverhalten während des Bondvorgangs verändern und die Ausformung geschlossener Bindungsgebiete behindern.

$$Sdr = \frac{\text{Gestreckte Gesamtfläche}}{\text{projizierte Messfläche}} * 100\%$$

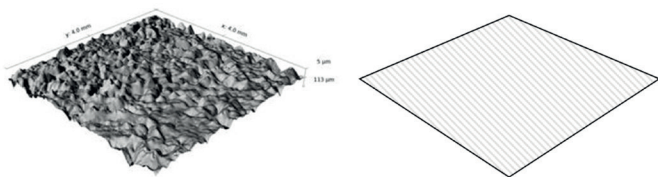


Abbildung 7: Totale Oberfläche (links), projizierte Oberfläche (rechts)

Zur Bestimmung des Sdr-Wertes muss ein Datensatz mit einer geschlossenen Oberfläche vorliegen. Einzelne nicht gemessene bzw. als nicht zuverlässig messbar gekennzeichnete Bereiche verhindern die Bestimmung des Sdr-Wertes. Daher muss die Analysesoftware in der Lage sein, nicht gemessene Bereiche durch Interpolation aufzufüllen. Dadurch entsteht ein Fehler bei der Wiedergabe der Oberfläche, der in der Regel aber zu vernachlässigen ist, wenn die Anzahl nicht gemessener Punkte gering ist. Ein entsprechender Zahlenwert zum Anteil nicht gemessener Punkte in der gesamten Messfläche ist demnach ein guter Anhaltspunkt für die Vertrauenswürdigkeit der Messung und Bedingung für ein robustes Messsystem.

Wie bei allen technischen Messungen auf Basis von Stichproben steigen Aussagekraft und Vertrauen in die Messung mit dem Umfang der gewählten Stichprobe. Bei noch unbekanntem Oberflächen ist die Streuung der daran ermittelten Messwerte nicht bekannt und damit ist die nötige Stichprobengröße nicht vorhersagbar. Daher wäre eine pauschale Stichprobengröße von 20-30 Messungen zu empfehlen, um sich ein robustes Bild zu machen. Unter der Annahme, dass eine typische Einzelmessung zwischen 30 s bis zu 1 min dauert, beläuft sich die Messzeit für alle Messungen zusammengenommen auf maximal 30 min. Stehen Messungen für mehrere unbekannte Oberflächen an, summiert sich diese reine Messzeit schnell auf mehrere Stunden. Eine passende Automatisierung ist also auch für einfache Messaufgaben an Oberflächen zu empfehlen, wenn anschließend detaillierte Datenanalysen stattfinden sollen. Kleinere Abschnitte aus z.B. 3x3 Messfeldern verteilt auf 2-3 Regionen einer Probe geben einen guten Überblick zur vorliegenden Topographie. Mit Hilfe von passender Software, wie z.B. Mountains-Map, lassen sich solche Messdaten dann auch im Batchprozess auf Basis eines vorher definierten Templates automatisiert auswerten.

Im Text genannte Lösungsanbieter:

Confovis – konfokale Messsysteme (www.confovis.com)
MountainsMap – Analysesoftware (www.digitalsurf.com)

Seminare zum Drahtbenden, rund um Prozessoptimierung und Technologie unter:
www.bond-iq.de

ENHANCE WIRE BONDING