

Analyse von Steckkontakten – Zusammenspiel der Messmethoden

Dr. Konstantinos Panos, Wladislaw Feuchtenberger, Helmut Fischer GmbH, Sindelfingen, Deutschland

Kurzfassung

Die Energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalyse ist als Werkzeug zur Analyse von Steckverbindern während des Entwicklungsprozesses und für die produktionsbegleitende Prüfung nicht mehr wegzudenken. Neben der einfachen Ermittlung von Schichtdicke und Materialzusammensetzung wird die Röntgenfluoreszenzmikroskopie immer wichtiger. Letztere erlaubt lokale Variationen auch innerhalb des Kontaktpunktes zu quantifizieren und Aussagen über die Homogenität zu treffen. Auch mechanische Eigenschaften wie Härte und Elastizität der Kontaktoberfläche sind zunehmend gefragte Kenngrößen. Mittels Nanoindentation ist die Ermittlung solcher Kenngrößen auch bei sehr dünnen Schichten sowie tiefenabhängig möglich.



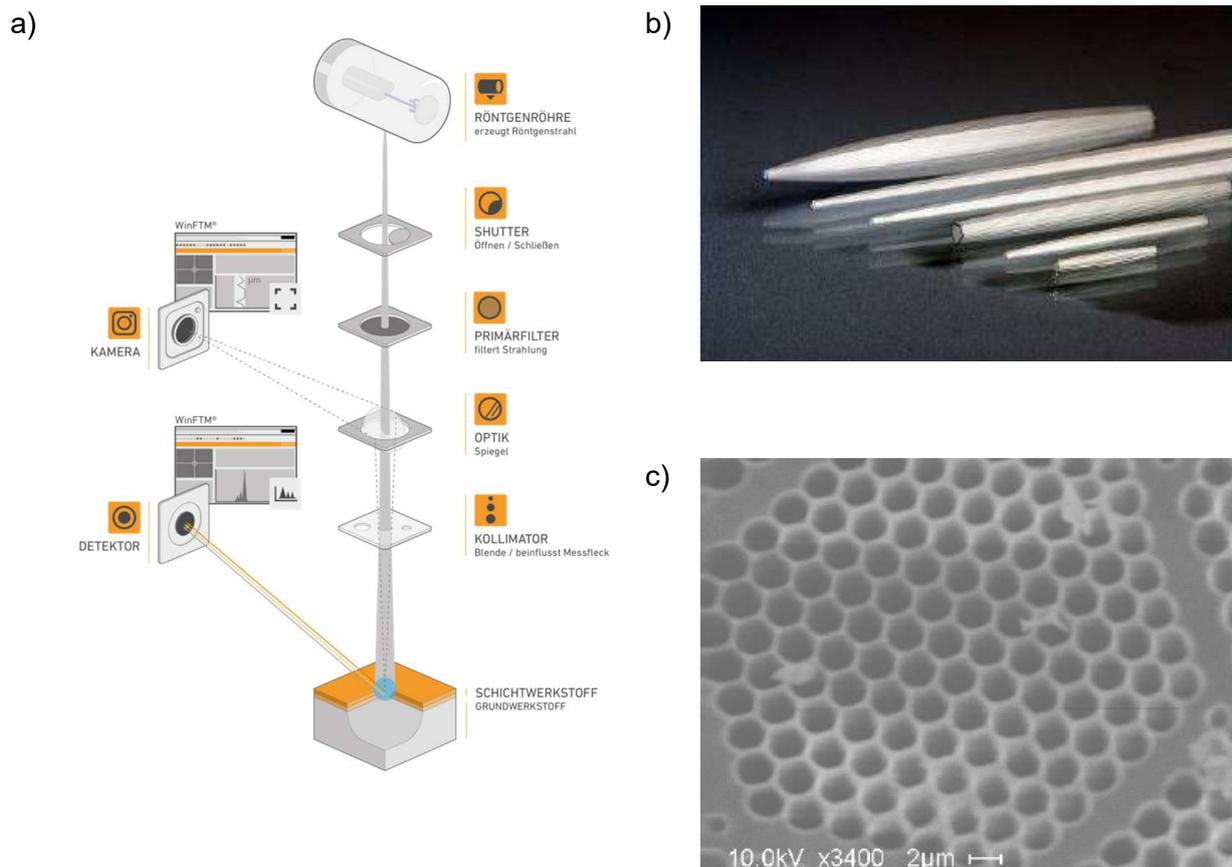


Bild 1: Aufbau eines energiedispersiven Röntgenfluoreszenzanalyse-Messgeräts mit Kollimatoroptik (a). Beispiele für Polykapillarroptiken (b). REM Aufnahme der Eintritts- bzw. Austrittsöffnung einer Polykapillarroptik (c).

Funktionsweise der energiedispersiven Röntgenfluoreszenzmikroskopie

Bei der Röntgenfluoreszenzmikroskopie wird die zu messende Probe mittels Röntgenstrahlung zum fluoreszenten Leuchten angeregt. Die Fluoreszenzstrahlung wird mit einem Detektor aufgezeichnet und ein Spektrum erzeugt, aus dem die weitere Auswertung erfolgt, siehe Bild 1 (a). So können Schichtdicken oder Materialzusammensetzungen berechnet werden. Dabei wird für Anwendungen aus der Galvanotechnik die Energie der Fluoreszenzstrahlung typischerweise aus der Energie eines Stromimpulses am Detektor bestimmt. Dies wird als energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (EDRFA) bezeichnet. Ist der Durchmesser der Anregungsfläche unter $100\ \mu\text{m}$, so spricht man von Röntgenfluoreszenzmikroskopie. Um solch kleine Anregungsflächen sinnvoll verwenden zu können, reicht eine einfache Lochblende nicht aus, da Messzeiten mit der inversen Fläche skalieren. Stattdessen werden Röntgenoptiken verwendet, die im Vergleich zu Lochblenden eine vielfach höhere Intensität pro Fläche aufweisen, siehe Bild 1 (b) und (c).

Röntgenfluoreszenzmikroskopie am Kontaktpunkt eines Silber-Steckkontaktes

Die Stärke der Röntgenfluoreszenzmikroskopie kommt zum Tragen, wenn beispielsweise kleinste Strukturen gemessen werden oder Informationen über Homogenität beziehungs-

weise Materialverteilung einer Probe gewonnen werden sollen. Besonders interessant sind hierbei auch die Folgen einer kurzzeitigen Überlastung eines Steckkontaktes [1]. An Proben, die uns von Dr. Michael Ludwig von TE Connectivity Germany GmbH zur Verfügung gestellt wurden, konnten die in Bild 2 gezeigten Messungen durchgeführt werden. Ideal dazu geeignet ist das leistungsstarke Röntgenfluoreszenzgerät FISCHERSCOPE® X-RAY XDV®- μ von Helmut Fischer mit 20 μm halofreier Polykapillare. Dabei wurde ein Raster von 60 mal 60 Punkten bei einer Fläche von 600 μm mal 600 μm gemessen. Um die beste Richtigkeit zu erzielen, wurde der Primärstrahl mit einer 1.000 μm Aluminium-Folie gefiltert (Al1000). Der Nachteil dieser Filterung ist eine erhöhte Messzeit von 10 Sekunden je Messpunkt.

In Bild 2 ist zu erkennen, dass Material vom Stecker auf die Buchse gewandert ist. Des Weiteren geht die Silber-Schichtdicke in der Mitte des Kontaktpunkts des Steckers nahezu auf null, während sich das überschüssige Material auf der Buchsenseite als Ring am Rand des Kontaktpunktes zeigt.

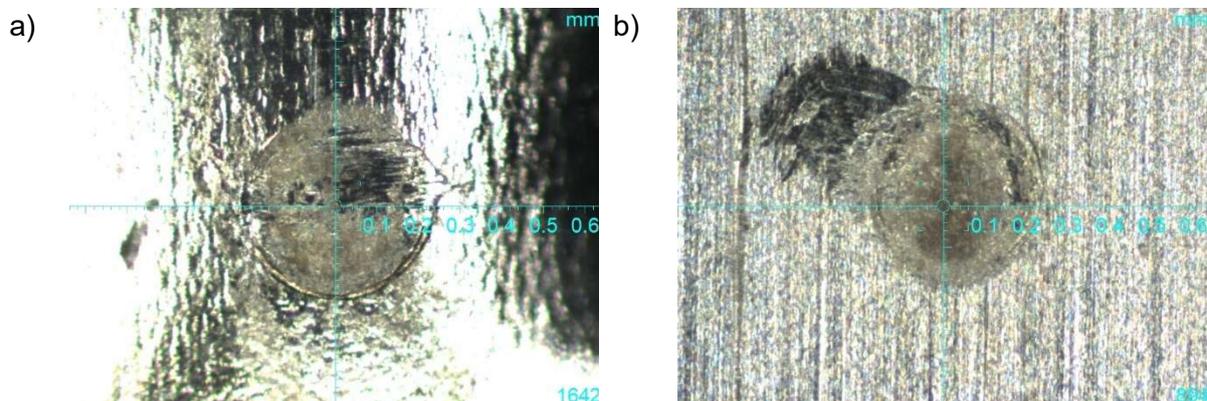
Konzentration und Einfluss von Cobalt in Goldschichten

Charakterisierung mittels Röntgenfluoreszenzmikroskopie

Durch die Röntgenfluoreszenzmikroskopie wird es möglich, Konzentration mit hoher lateraler Auflösung zu bestimmen. Das ist besonders für Legierungsschichten relevant, die aufgrund des Knocheneffektes in der Galvanik nicht nur eine andere Schichtdicke zum Rand hin aufweisen, sondern auch eine andere Konzentration. Für diese Untersuchung haben wir Cobalt in Goldschichten herangezogen.

In Bild 3 sind die Messergebnisse eines Linienscans dargestellt. Diese wurden mit dem leistungsfähigen RFA-Gerät FISCHERSCOPE® X-RAY XDV®- μ LD der Firma Fischer aufgenommen. Wie erwartet steigt die Gold-Cobalt- und Nickel-Schichtdicke zum Rand hin an. Bei Gold-Cobalt steigt die Schichtdicke von 0,84 μm auf etwa 1,16 μm . Die Cobalt-Konzentration ist in dieser Probe höher als bei üblichen Hartgoldschichten [2] und fällt von etwa 1,75 % auf 1,5 % zum Rand bzw. zur Kontaktspitze hin ab.

Cobalt wird eingesetzt, um die Härteeigenschaften der Goldschicht zu verbessern. Diese wurden mittels Nanoindentation bestimmt und werden im nächsten Abschnitt diskutiert.



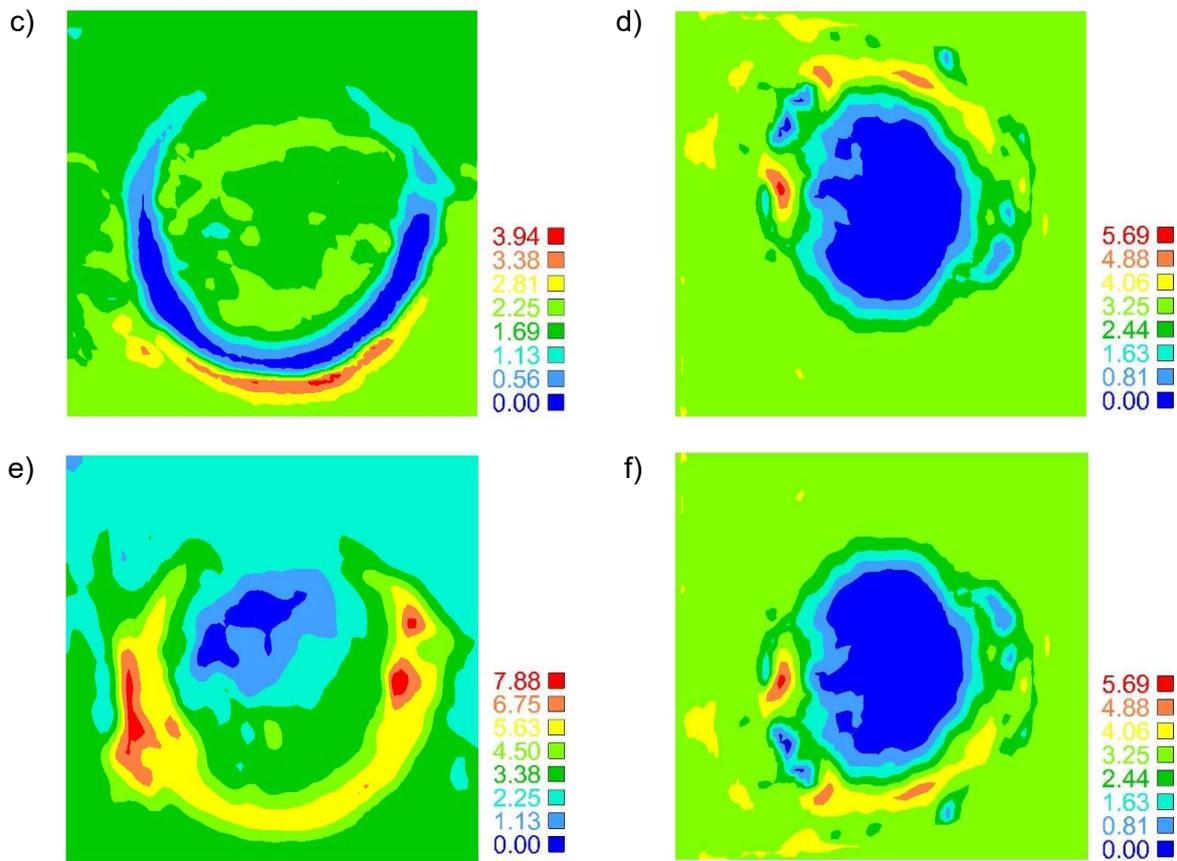
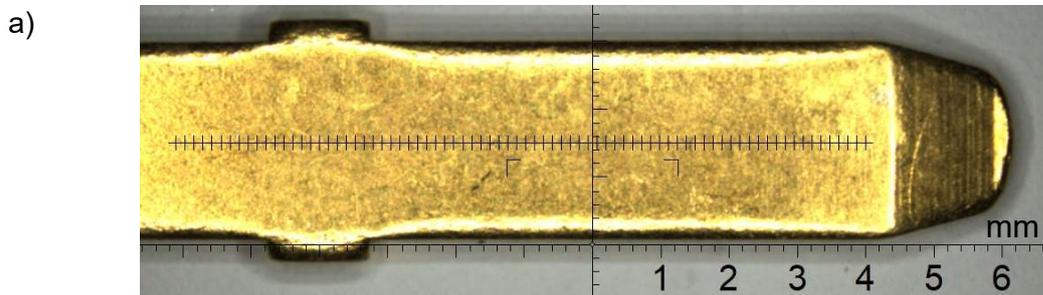


Bild 2: Flächenrasterungen an einer Buchse (a), (c), € und einem Stecker (b), (d), (f). Übersichtsbilder (a) und (b). Der Buchsenkontakt hatte eine Nickel-Zwischenschicht (c), die beim Stecker fehlt. Die Silberschicht des Steckers in (d) wurde in (f) gespiegelt, damit übereinander liegende Punkte während des Kontaktes dieselben Koordinaten haben wie bei der Silberschicht der Buchse €.



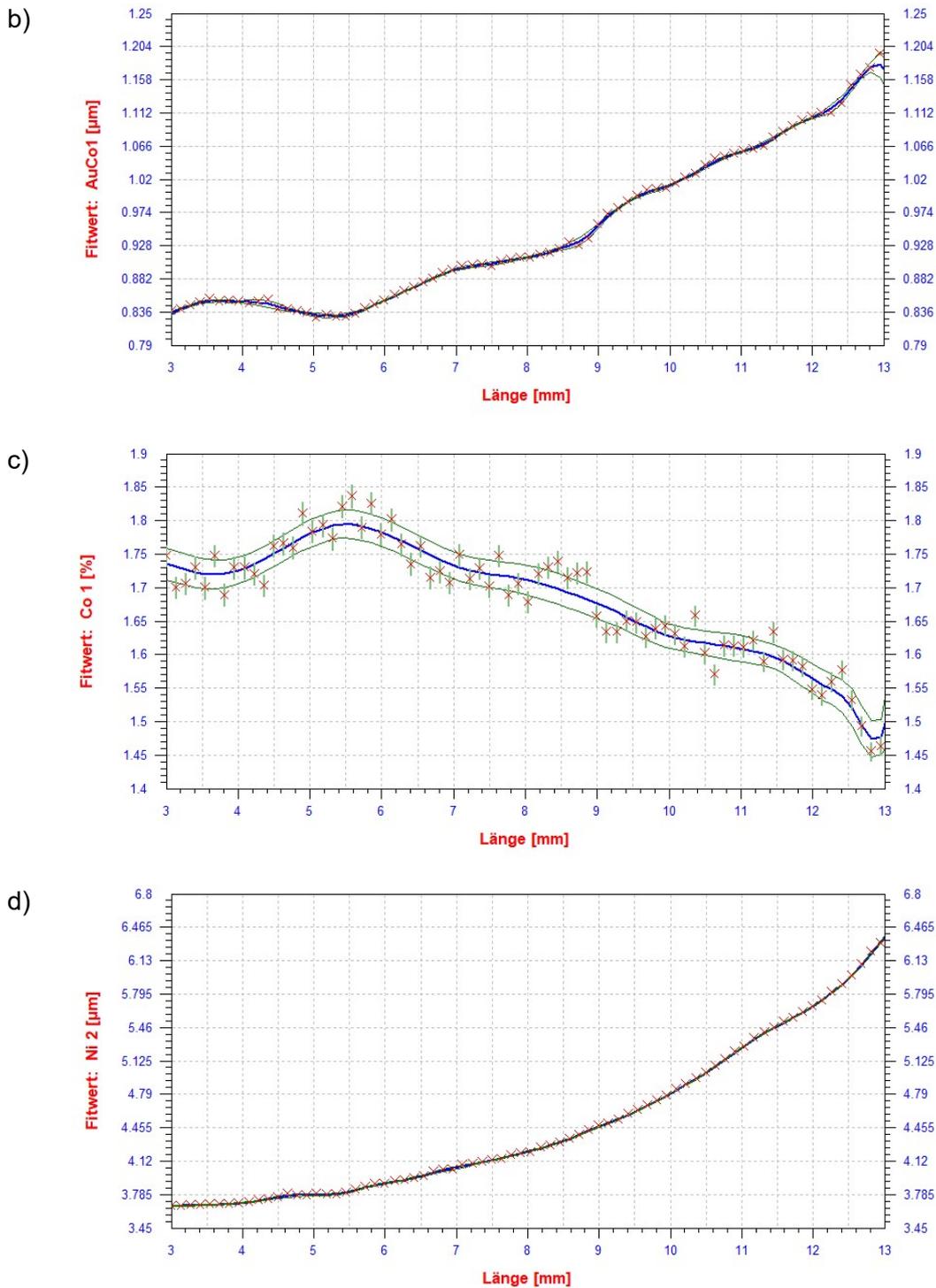


Bild 3: Positionen auf der gemessenen Probe (a). Ergebnisse für Gold-Cobalt-Schichtdicke (b), Cobalt-Konzentration (c) und Nickel-Schichtdicke (d).

Ergebnisse der Nanoindentation in Relation zur EDRFA

Die Nanoindentation bzw. instrumentierte Eindringprüfung nach DIN EN ISO 14577 stellt eine sehr gute Ergänzung zur Röntgenfluoreszenzmikroskopie dar, da mit diesem Verfahren auch eine direkte Analyse von mechanischen Eigenschaften der angewendeten Schichten und Werkstoffe der Steckerkontakte zugänglich ist. Beim Verfahren der Nanoindentation wird

ein Eindringkörper verwendet, der mit definierten Parametern bezüglich der Kraft (F) und Zeit (t) in die Probe eingebracht bzw. eingedrückt wird, siehe Bild 4. Daraufhin wird mit definierten Parametern der Eindringkörper wieder aus der Probe entnommen bzw. der Eindringkörper entlastet. Die wirkenden Kräfte bei diesen Vorgängen liegen im μN - bis mN -Bereich, die angewendeten Zeiten bei wenigen Sekunden. Während dieses Belastungs- und Entlastungsvorgangs wird der Weg des Eindringkörpers in der Probe aufgezeichnet. Die Eindringtiefe während der Belastung und Entlastung dient hierbei als Basis für die Berechnung unterschiedlichster Kenngrößen.

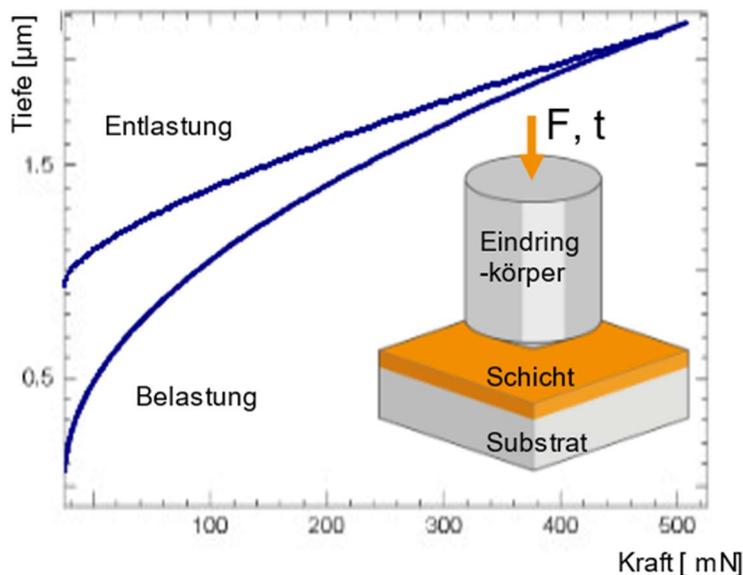


Bild 4: Schematische Darstellung einer Kraft-Eindringtiefen-Kurve die mittels der Nanoindentation bei der Belastung und Entlastung mit definierten Parametern aufgezeichnet wird.

Aus dem Kurvenanteil der Belastung kann die Martenshärte HM berechnet und tiefenabhängig dargestellt werden. Die elastischen Eigenschaften werden wiederum aus der Entlastung nach der Methode von Oliver und Pharr über das sogenannte Eindringmodul EIT bestimmt. Beide Eigenschaften sind für die Auslegung von Steckersystemen von Relevanz.

Mit dem EDRFA Verfahren wurde gezeigt, dass Eigenschaftsunterschiede in der Konzentration und auch in der Schichtdicke erfasst werden können. Die Probe wurde ebenfalls an der Spitze (Ergebnisse der roten Kurven in Bild 5) und in der Mitte (Ergebnisse der blauen Kurven in Bild 5) des goldbeschichteten Steckerkontaktes mit einem PICODENTOR® HM500 von Helmut Fischer untersucht. An der Spitze wurde mit EDRFA eine Gold-Cobalt-Schichtdicke von $1,16 \mu\text{m}$ und eine Cobalt-Konzentration von $1,5 \%$ gemessen. In der Probenmitte lag die Gold-Cobalt-Schichtdicke bei $0,9 \mu\text{m}$ und die Cobalt-Konzentration bei $1,7 \%$. Es ist anhand Bild 5 (a) an der maximalen Eindringtiefe zu erkennen, dass sich diese geringfügig unterscheiden und die Probe einen statistisch nicht relevanten Unterschied in der Härte aufweist. Dabei ist die Härte in der Mitte (bei der ein höherer Co-Gehalt gemessen wurde) geringfügig höher als an der Spitze des Steckkontaktes bzw. der Probe. Dies ist anhand des tiefenabhängig dargestellten Kennwerts

HM, siehe Bild 5 (b), für die Härte ersichtlich. Zudem ist anhand von HM zu erkennen, dass die geprüfte Goldschicht keine markanten Gradienten in der Tiefe über die gesamte Schichtdicke aufweist. Die Vickershärte zeigt bei üblichen Hartgoldschichten mit geringeren Cobalt-Gehalten von unter 1 % einen HV-Wert von bis zu 200 HV [2], während die hier gemessene Gold-Cobalt-Schicht einen Wert von ca. 250 HV aufwies.

Allerdings zeigt sich ein deutlicher Unterschied im elastischen Verhalten, der über den Kennwert Eindringmodul $EIT/(1-\nu_s^2)$ beschrieben wird. In der Mitte des Steckkontaktes wurde ein Wert von $93 \pm 4,3$ GPa und im Bereich der Spitze ein Wert von $79 \pm 2,8$ GPa festgestellt.

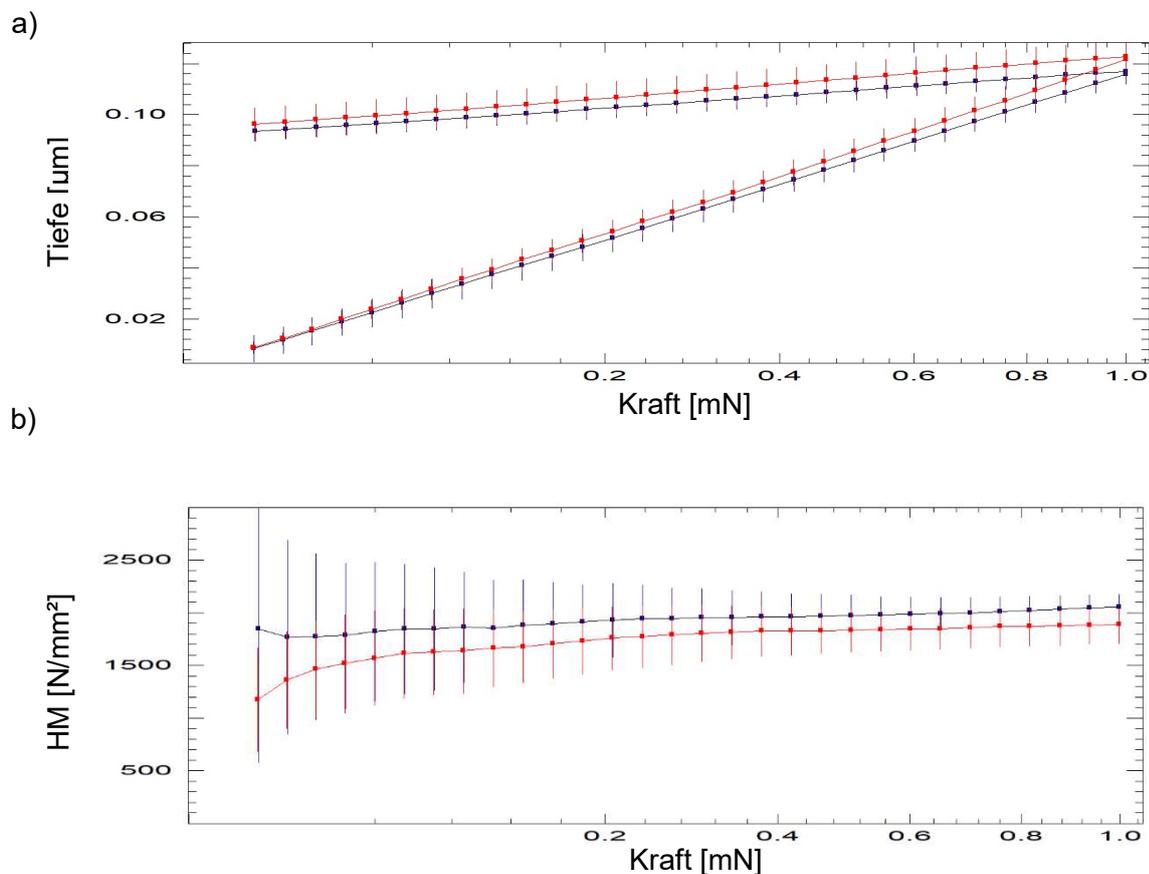


Bild 5: Gemittelte Kraft-Eindringkurven (a) sowie tiefenabhängige Martenshärte HM (b). In Rot: Messwerte an der Kontaktspitze, in blau: Messwerte in der Kontaktmitte.

Danksagung

Wir möchten uns herzlich bei Herrn Dr. Michael Ludwig von TE Connectivity Germany GmbH für die Bereitstellung der Kurzschlussproben zur Röntgenfluoreszenzmikroskopie bedanken.

Weitere Informationen zur Helmut Fischer GmbH finden Sie unter www.helmut-fischer.com

Literatur

- [1] M. Ludwig, H. Schmidt, M. Hottes, K. Panos, F. Ostendorf: Metallische Phasenwandlungen im Kontaktpunkt bei Strombelastung im Milli- bis Mikrosekunden-Bereich. 26. Albert-Keil-Kontaktseminar, Karlsruhe 2022.
- [2] H. Enders (Hrsg.), Praxishandbuch Steckverbinder. Vogel Fachbuch Verlag. 2. Auflage 2021. Seite 248.