

Präzise Handhabung mit teleoperierter Mikromontage

Mikromontage wie mit den eigenen Händen – nur ohne die unerwünschten Nebenwirkungen wie **TREMOR** oder **ERMÜDUNG**. Mit diesem Ziel hat ein Forscherteam eine Handhabungs- und Montagestation für Mikrobauteile zur Marktreife gebracht.

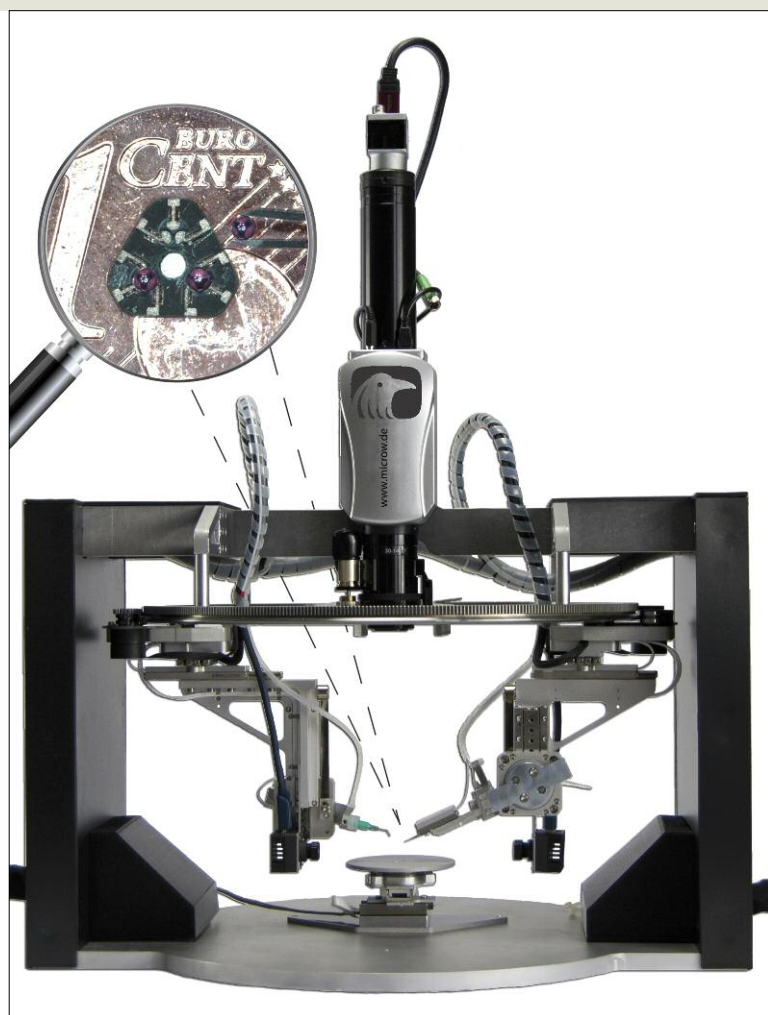


Bild 1. Die Mikromontageanlage kann sehr gut auf einem Tisch platziert werden. Der Probenraum ist leicht zugänglich, und der Bediener kann sich jederzeit ein Bild von der Lage machen

MANUEL MIKZINSKI, TOBIAS TIEMERDING UND BENNY BIERING

Heutige Sensoren bedienen sich immer mehr miniaturisierter Komponenten, die Funktionsdichte steigt rasant. Die Vorteile der vielfältigen Komponenten aus Mikroelektronik, Mikrooptik und Mikromechanik werden in hybriden Systemen kombiniert. Im Vergleich zum monolithischen Ansatz liegen den Komponenten unterschiedliche Herstellungsprozesse und Materialien

zugrunde. In optischen Sensoren werden beispielsweise Linsen mit siliziumbasierter, integrierter Auswerteelektronik verbunden. Dieses Konzept lässt sich beliebig auf andere Sensoren, Messgeräte oder Instrumente für die Prozessautomation, die Medizintechnik oder die Life-Sciences übertragen.

Mit der Anzahl der Anwendungsbereiche wachsen auch die Anforderungen an die Montage. Das liegt insbesondere an der fortschreitenden Miniaturisierung und der immer höheren Funktionsintegration auf mikroelektromechanischen und hybriden Systemen. Dabei spielt die Positioniergenauigkeit eine maßgebende Rolle. Vor allem die manuelle Fertigung stößt durch die begrenzten menschlichen Fähigkeiten an ihre Grenzen. Die Arbeit unter dem Mikroskop ist anstrengend, und die reproduzierbare Positioniergenauigkeit des Menschen liegt in der Regel bei circa 50 µm. Das Ergebnis sind lange Montagezeiten sowie hohe Ausschussraten von 80 Prozent und höher. Die Anzahl der Mitarbeiter, die solche Produkte mit einer ruhigen Hand fertigen können, ist zumeist begrenzt. Fallen diese aus, kann das hohe Verluste an Einnahmen, aber auch an Kundenvertrauen nach sich ziehen.

Daher ist es verständlich, dass der Einfluss der ›Fehlerquelle Mensch‹ im Prozess reduziert werden soll. Unternehmen, die für ihre kleinen Stückzahlen oder ihre kundenspezifischen Produkte solche Negativfolgen abmildern wollen, stehen vor einem Dilemma: Nehmen sie die flexible, dafür aber fehleranfällige Mikromontage von Hand in Kauf oder investieren sie in eine hoch spezialisierte, voll automatisierte Anlage?

Seit den 90er-Jahren sind Konzepte zur Mikromontageanlage bekannt. Maschinen, die Bauteile kleiner

> KONTAKT

HERSTELLER
OFFIS – Institut für Informatik
 26121 Oldenburg
 Tel. +49 441 798-4738
 Fax +49 441 798-4267
www.microw.de

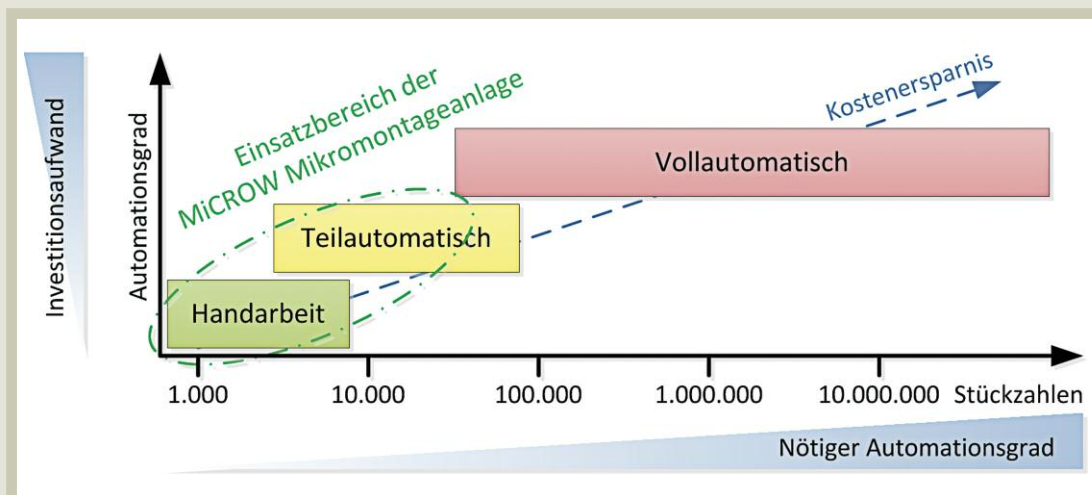


Bild 2. »Microw« schließt die Lücke zwischen der manuellen Montage und den vollautomatischen Anlagen. Mit steigenden Stückzahlen steigt der Automatisierungsgrad, aber auch der Investitionsaufwand [1]

als ein Millimeter automatisch handhaben, wurden erforscht und entwickelt. Bei hohen Stückzahlen ist die Mikromontage bereits wirtschaftlich. Die heute verfügbaren Maschinen erreichen Positioniergenauigkeiten von einigen Mikrometern und integrieren verschiedene Montage- und Füge-technologien in einem Gerät. Mit Stellflächen von mehreren Quadratmetern sowie einem hohen Gewicht verlangen diese Anlagen jedoch nach einer dedizierten Fertigungsumgebung. Durch den hohen Automatisierungsgrad und die Integration solcher Anlagen in Fertigungsstraßen können hohe Stückzahlen sicher bedient werden. Gerade für Konsumgüter sind sie daher die ideale Lösung. Damit sind aber auch hohe Investitionskosten verbunden. Häufig muss zusätzlich in Mitarbeiter für die Automation der Prozesse investiert werden. Dies macht derartige Anlagen für kleine und mittelständische Unternehmen, in denen die manuelle Montage gegebenenfalls unter dem Mikroskop oder mit einer Lupe noch vorherrscht, unwirtschaftlich. Auch manuell können ähnliche Genauigkeiten erreicht werden – abhängig vom Mitarbeiter. Der menschliche Tremor oder die Ermüdung durch die Arbeit unter dem Mikroskop führen jedoch schnell zu Ausschussteilen. **Bild 2** zeigt die drei Arbeitsbereiche: Handarbeit, vollautomatische Anlagen sowie teilautomatischer Betrieb. Letzterer ist bisher kaum erschlossen, und nur wenige Anlagen bieten ausreichende Schnittmengen zu den jeweils anderen Bereichen.

Die Mikromontage von kleinen und mittleren Stückzahlen verlangt jedoch nach neuen Lösungen, die die Lücke zwischen Handarbeit und automatischen Anlagen schließen. Die ideale Anlage muss eine hohe Präzision von wenigen Mikrometern bei gleichzeitig einfacher Bedienung bieten. Bei Bedarf sollen monotone Arbeitsschritte automatisch erfolgen. Darüber hinaus müssen Produkte oder Varianten flexibel auf der Maschine gefertigt werden, was eine einfache und

schnelle Konfigurierbarkeit voraussetzt, um unterschiedliche Prozesse auf einer Maschine durchführen zu können. Dieses Spektrum an Anforderungen muss adressiert und zu angemessenen Anschaffungs-, Installations-, Wartungs- und Betriebskosten erfüllt werden.

»Microw« erweitert die menschlichen Fähigkeiten

Die neu entwickelte Mikromontageanlage »Microw-Pro« verfügt hierzu über eine einfache, intuitive Bedienung bei gleichzeitig hoher Präzision und Flexibilität. Konzipiert ist die Anlage speziell für Unternehmen, die viele Produkte manuell fertigen. Sie erzielen damit eine höhere Montagepräzision und geringere Ausschussraten, sodass weitere Miniaturisierungspotenziale der Produkte erschlossen werden können.

Die Idee hinter der Mikromontageanlage besteht darin, die menschlichen Grenzen des montierenden Mitarbeiters zu erweitern. Die Steuerung der Anlage erfolgt durch einen Operator, dessen Bewegungen durch die Kinematik in den benötigten Präzisionsbereich skaliert werden. Der Tremor der Hände wird durch die Technik unterdrückt. So kann länger und konzentrierter gearbeitet werden, da nicht mehr direkt per Hand gefertigt werden muss. Die teleoperierte Steuerung kann durch teil- oder vollautomatisierte Prozesse unterstützt werden. Das bedeutet, dass alle Prozesse intern verbleiben und nicht zur Programmierung an Externe weitergegeben werden müssen.

Bild 3. Die bereits verfügbaren Werkzeuge (v.l.): Zweibackengreifer, Vakuumgreifer, Klebstoffdispenser. Alle Werkzeuge arbeiten mit dem gleichen Werkzeugmodul zusammen und decken bereits einen großen Umfang an Montageprozessen ab

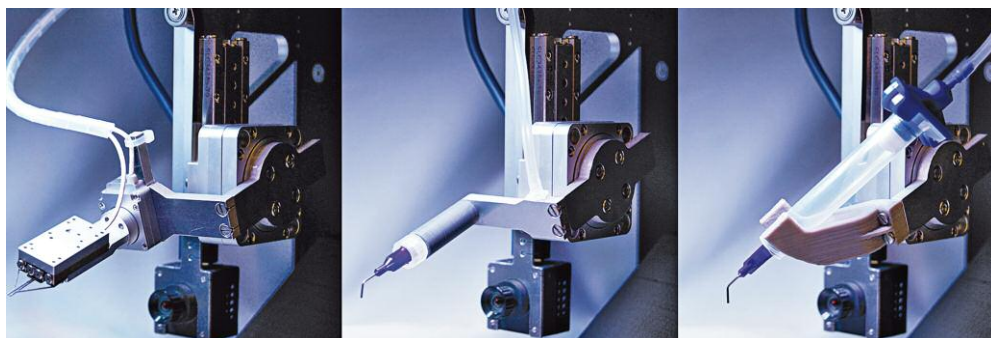
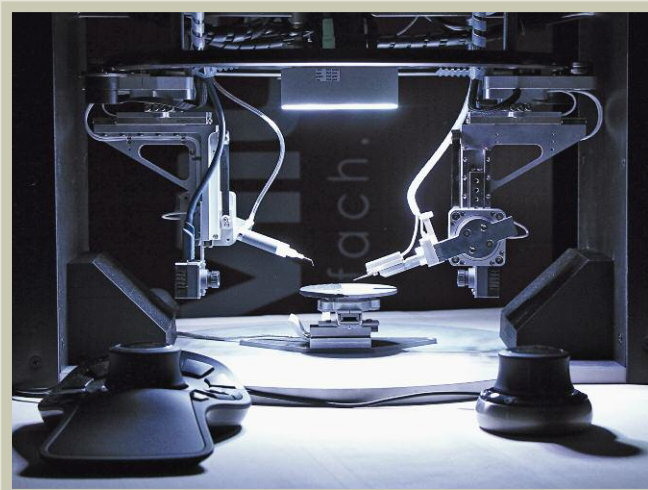


Bild 4. Kooperatives Arbeiten mit zwei Werkzeugen: Im Vordergrund sind zwei 6D-Mäuse als Eingabegeräte zu sehen, mit denen alle Komponenten von den Werkzeugarmen und der Werkstückplattform (in der Mitte, unten) bis zum Kamera-zoom gesteuert werden können



Nanotechnik für die Mikromontage

Die gesamte Mikromontageanlage hat wesentlich kleinere Abmessungen als alle bisher am Markt befindlichen Systeme. Mit Dimensionen von etwa 510 mm x 380 mm x 710 mm (B x T x H) passt die Anlage bequem auf einen Schreibtisch. Ein standardmäßiger 230-V-Anschluss genügt für den Betrieb der Anlage inklusive aller Werkzeuge und der Steuerelektronik.

Die Anlage nutzt ein Basissystem, das aus einem Grundgerüst mit einer aufgehängten, ringförmigen Linearführung und der notwendigen Infrastruktur besteht. Das Grundgerüst trägt außerdem die Kamera, die zur Überwachung des Arbeitsraums und damit der Montageszene eingesetzt wird. Auf der Führungsschiene können Schlitten unabhängig voneinander vorpositioniert werden (**Bild 1**). Am Boden des Basissystems werden kundenspezifische Halterungen oder Achsen eingesetzt, um beispielsweise palettierte Werkstücke bereitzustellen. Diese Konstruktion bildet die Grundlage für das mitwachsende Maschinenkonzept.

Jeder eingehängte Schlitten trägt einen Werkzeugarm, bestehend aus bis zu sechs hochpräzisen linearen und rotatorischen Achsen. Diese können mit sehr kleinen Schrittweiten im einstelligen Nanometerbereich oder quasikontinuierlich betrieben werden. Durch diese Achsen, die typischerweise in der Nanotechnik Verwendung finden, können extrem hohe Wiederholgenauigkeiten von circa 50 nm erreicht werden. Diese Kombination aus Werkzeugmodul zur Feinpositionierung und Schlitten zur Grobpositionierung deckt alle sechs Freiheitsgrade ab. Bis zu vier Werkzeugmodule können untergebracht werden. Stehen sich zwei eingesetzte Module beziehungsweise Werkzeugarme gegenüber, bilden sie das menschliche Arbeiten mit den Händen unter dem Mikroskop nach. Im Gegensatz zu Portalsystemen werden die Werkzeuge seitlich in den Arbeitsraum eingebracht. Abhängig von den Werkzeugen kann dadurch ein Arbeitsraum von circa 80 mm Durchmesser und 40 mm Höhe aufgespannt werden. Der Arbeitsraum wird durch die Mikroskopoptik mit hochauflösender Kamera von

oben überwacht und auf dem Monitor des Steuerungs-PCs dargestellt. So müssen die einzelnen Werkstücke nicht mehr von Arbeitsstation zu Arbeitsstation transportiert werden – das Werkzeugmodul kommt zum Werkstück. Wie bereits angedeutet, kann jedes Werkzeugmodul mit verschiedenen Tools ausgestattet werden. Die bereits verfügbaren Werkzeuge – der Zweibackengreifer, der Vakuumgreifer und das Dosiersystem (**Bild 3**) – können bereits einen großen Umfang an Transport- und Montageprozessen abbilden. Für alle Werkzeuge können angepasste Endeffektoren (Greiferformen, Pipetten) mitgeliefert werden, die auf die Bauformen und Materialien der zu montierenden Teile abgestimmt sind. Weitere Werkzeuge sind in der Vorbereitung, sodass zukünftig weitere Fügeverfahren wie Kontaktlöten oder Mikroimpulsschweißen unterstützt werden. Je nach Kundenwunsch können mit wenigen Handgriffen auch Werkzeuge gewechselt werden, was Rüstzeiten von wenigen Minuten bedeutet.

Die Steuerung der gesamten Mikromontageanlage erfolgt mit einer eigens entwickelten Steuerungssoftware (**Bild 4**). Diese Software führt die Kameraüberwachung, die Benutzereingaben und die Kontrolle der einzelnen Bestandteile zusammen. Die Fernsteuerung der Anlage gelingt durch die intuitiven Eingabegeräte spielend leicht. Verwenden lassen sich Gamepads, wie man sie von den Spielekonsolen kennt, 6D-Mäuse, wie sie in der CAD-Konstruktion eingesetzt werden, sowie haptische Eingabegeräte. Letztere sind mit einem Eingabestift ausgestattet, dessen Position und Orientierung an die Werkzeuge der Mikromontageanlage weitergegeben werden. Ergänzt durch Maus und Tastatur können alle Bestandteile der Mikromontageanlage gesteuert werden. Sämtliche Prozessparameter, zum Beispiel die Schusszeiten des Dispensers, können über die Software mit wenigen Mausklicks angepasst werden. Die Software unterstützt darüber hinaus auch die Ausführung von Automationskripten. Diese Skripte können ebenfalls alle Anlagenteile steuern und auf Bilddaten zugreifen, um beispielsweise Visual Servoing zu ermöglichen.



Bild 5. Montageszene: Rubinhalbkugeln mit einem Durchmesser von 1 mm werden mit dem Vakuumgreifer (oben) aufgenommen und auf die mit Klebstoff benetzten Elektrodenstrukturen des Nanomotors gesetzt. Der Nanomotor hat eine Größe von etwa 5 mm × 5 mm. Rechts im Bild ist die Nadel des Dispensers zu erkennen

Durch diesen Aufbau und die Steuerung unterscheidet sich die Mikromontageanlage deutlich vom aktuellen Stand der Technik.

Teleoperierte Montage in wenigen Minuten

Anlass für die Entwicklung der Mikromontageanlage war der konkrete Bedarf an der Montage von Nanomotoren für die mobile Robotik. Im Rasterelektronenmikroskop werden mobile robotische Plattformen eingesetzt, die sich mittels eines Nanomotors im Slip-Stick-Betrieb vorwärtsbewegen. Die Grundlage des Motors ist eine Piezokeramik, die mittels Laser strukturiert wird. Auf die herausgearbeiteten Elektrodenstrukturen müssen Rubinhalbkugeln als Antriebs-elemente platziert werden. Letztere haben einen Durchmesser von 1 mm und sind aufgrund ihrer abgerundeten Form mit der Pinzette nur sehr schwer zu greifen. Ein weiteres Problem ist die Applizierung des Klebstoffs. Zwar können mit gezogenen Glaspipetten kleine Klebtropfen aufgetragen werden. Allerdings verschmieren diese schnell und füllen den Zwischenraum zwischen den Elektroden mit Klebstoff, was Fehlfunktionen und Ausschussteile zur Folge hat.

Die Klebstoffapplikation und die Positionierung der Rubinhalbkugeln können jetzt von der Mikromontageanlage übernommen werden (**Bild 5**). Damit wurde die Prozesssicherheit der Handhabungsschritte deutlich verbessert und die Ausschussrate nahezu auf null reduziert. Die teleoperierte Montage dauerte für eine Halbkugel circa 40 s. Das umfasst die Applikation des Klebstoffs sowie die Aufnahme und Platzierung der Rubinhalbkugeln. Damit wurde der Montagezyklus um 80 Prozent von etwa zehn auf zwei Minuten verkürzt, und das bei besserer Ausrichtung der Halbkugeln.

Auch wenn sich dieses Beispiel auf einen Antrieb bezieht, so ist das Konzept auch auf die Sensor-montage leicht übertragbar. Die Maschine erfüllt alle Anforderungen, welche an die heutige Mikromontage von Serien ab Losgröße eins gestellt werden. Die Anlage hat damit das Potenzial, sich zu einer universalen Mikromontage-Plattform zu entwickeln.

Positive Bewertungen für Microw

Die Entwicklung der vorgestellten Mikromontageanlage wird durch das Förderprogramm ›Exist-Forschungstransfer‹ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) unterstützt. Mit dem Programm werden Gründungsvorhaben aus der Forschung gefördert, die mit aufwendigen und risikoreichen Entwicklungsarbeiten verbunden sind. Der wettbewerbsintensive Exist-Forschungstransfer kann als das Premiumprogramm der deutschen Gründungsförderung angesehen werden. Eine Fachjury aus Vertretern aus Forschung, Finanzwirtschaft und des BMWi bewertet die Vorhaben nach ihrer Relevanz und ihren Erfolgsaussichten. Mit der Fördersumme von mehr als einer halben Million Euro bringt das Gründerteam des Offis – Institut für Informatik aus der Gruppe ›Automatisierte Nanohandhabung‹ ihre Innovation zur Marktreife.

Von Beginn an überzeugte die Mikromontageanlage Kunden und unabhängige Experten. Anfang September 2015 wurde Microw für seine Mikromontageanlage mit einem Hauptpreis des Gründerwettbewerbs ›IKT Innovativ‹ ausgezeichnet. Die Jury lobte vor allem die Präzision und Flexibilität der Mikromontageanlage, die zum anvisierten Preis von keinem der Wettbewerbssysteme erreicht wurde. ■

MI110402

AUTOREN

Dipl.-Ing. (FH) MANUEL MIKCZINSKI ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am OFFIS - Institut für Informatik in Oldenburg;

manuel.mikczinski@microw.de

TOBIAS TIEMERDING, M.Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am gleichen Institut; tobias.tiemerding@microw.de

Dipl.-Kfm. BENNY BIERING ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am gleichen Institut; benny.biering@microw.de

LITERATUR

- 1 R. Adamietz, S. Gerstenberg: Wirtschaftlich vom Labor bis in die Serie – Prozessmodule aus dem Baukasten für die Mikromontage. Fachtagung mikroMontage 2013, 19.-20. Juni 2013, Stuttgart