

Motivation des SPP

Bereits heute werden in einer Vielzahl technischer Investitions- und Konsumgüter Mikrostrukturen, entweder als eigenständiges Mikrobauteil oder als Bestandteil von größeren Bauteilen, für den Menschen nicht sichtbar, verwendet. Unter anderem in Produkten der Mechatronik, Fluidik, (Mikro)Formen- und Werkzeugbau, Medizintechnik, Optik, Energietechnik, Biotechnik oder im Plagiatschutz sind Mikrostrukturen zu finden. Eine erhebliche Hebelwirkung für den verstärkten Einsatz von Mikrobauteilen entsteht zudem durch deren Verwendung in Produkten des Maschinen- und Fahrzeugbaus. Die benötigten Strukturen zeichnen sich typischerweise durch Kantenlängen zwischen einigen Mikrometern und wenigen Millimetern aus. Der aktuellen Entwicklung [WIC05] folgend werden die Anforderungen in den Bereichen Komplexität, Funktionalität und verwendbarer Werkstoffe bei fortschreitender Miniaturisierung weiter steigen.

Für die Herstellung der heute verwendeten Strukturen steht ein breites Verfahrensspektrum zur Verfügung. Die Verfahren der **Mikrosystemtechnik** ermöglichen es, sehr komplexe 2½ dimensionale Werkstücke der Siliziummikromechanik monolithisch aufzubauen, wobei eine hohe Funktionsdichte realisiert werden kann. Verfahrensbedingt sind hierbei die Werkstoffauswahl und die geometrische Gestaltung stark eingeschränkt. Für Mikrobauteile, die mittels angepasster **Urformverfahren** (z.B. MIM, CIM) hergestellt werden, kann auf ein breiteres Spektrum realisierbarer Geometrielemente und verwendbarer Werkstoffe zurückgegriffen werden [IFA08]. Bei diesen Verfahren amortisiert sich die benötigte Form erst bei hohen Stückzahlen. Den höchsten gestalterischen Spielraum bezogen auf die Werkstoffauswahl und die zu erzeugende Geometriekomplexität ermöglichen die **trennenden und abtragenden Verfahren**, die auf dem Einsatz mechanischer, thermischer oder (elektro)chemischer Energie basieren. Zu beobachten ist darüber hinaus ein **Verschmelzen der genannten Verfahrenswelten** zu komplexen Prozessketten.

Heute kommerziell verfügbare Werkzeugmaschinen zur Herstellung von Mikrobauteilen sind evolutionär abgeleitete Derivate der in der Makrofertigung eingesetzten Maschinen, die sich in den geometrischen Abmessungen, den verwendeten Elementen (Gestelle, Führungen, Antrieben, Steuerungen) und der Kinematik ähneln. Bezieht man wesentliche technische, ökonomische und ökologische Kenngrößen der Maschinen auf die Größe der damit hergestellten Bauteile, ergeben sich zwischen den Maschinen der Makrofertigung einerseits und denen der Mikrofertigung extreme Missverhältnisse. Diese sind heute dadurch gekennzeichnet, dass ihr Arbeitsraum oft die zu erzeugende Mikrostruktur um mehrere Größenordnungen übersteigt. In der Folge steigt damit im Verhältnis von Arbeitsraum zu Werkstückabmessungen, das Verhältnis von bewegter Maschinenmasse zu Werkstückmasse und damit sowohl der einmalige Aufwand zur Herstellung als auch der Energiebedarf während des Betriebs der Maschine. Diese Nachteile des zu großen Arbeitsraumes müssen heute in Kauf genommen werden. Neben den Auswirkung auf den Energiebedarf limitieren die oben genannten Verhältnisse ferner die auf heutiger Maschinenteknik fertigmachen Bauteilkomplexitäten. Der Hauptgrund für diese Tatsache ist dabei in den Störkonturen der Maschinenkomponenten zu sehen. So ergeben sich beispielsweise bei der 5-Achs-Bearbeitung mit heutiger Maschinenteknik suboptimale Aufspannsituationen in Verbindung mit großen Pivot-Längen, was wiederum zu großen Verfahrbewegungen und hohen erforderlichen Beschleunigungen führt.

Vor diesem Hintergrund sind sowohl der Wirtschaftlichkeit, als auch der Komplexität bei der Herstellung von Mikroteilen /-strukturen mit den heutigen Maschinen Grenzen gesetzt, welche nur durch eine signifikante Minimierung der Verhältnisse von Arbeitsraum zu Werkstückabmessungen und bewegter Maschinenmasse zu Werkstückmasse durchbrochen

werden können. Insbesondere im Hinblick auf die zunehmende Verbreitung der betrachteten Bauteile erscheinen die heutigen Möglichkeiten zur Herstellung unbefriedigend. Forschungseinrichtungen aus dem In- und Ausland haben diese Mängel erkannt und versuchen einzelne Fähigkeitslücken zu eliminieren. Das genutzte Werkzeug ist dabei zumeist die Skalierung bestehender Maschinenkonzepte, also vorhandener Kinematiken, Strukturen und Elemente.

Das erklärte Ziel dieses Schwerpunktprogramms ist es, dem produzierenden Gewerbe mittelfristig **Konzepte für neue Werkzeugmaschinen** für die wirtschaftliche Einzel-, Kleinserien- und Massenproduktion von komplexen Mikrowerkstücken aus einem breiten Werkzeugspektrum zur Verfügung zu stellen.

Um die vielfältigen Nachteile der heutigen Werkzeugmaschinen umfassend eliminieren zu können, ist es notwendig, fachübergreifende, interdisziplinäre Problemlösungsansätze zu verfolgen. Im Zentrum der geplanten wissenschaftlichen Arbeiten stehen dabei die Auflösung und funktionale Neuordnung der Maschinenstruktur, Maschinenelemente und - kinematik durch eine Auflösung der heute typischen Schnittstellen sowie eine Reduktion der Anzahl diskreter Maschinenelemente und die Integration aller benötigten Funktionen in wenige Module. Als Befähiger für diese Vorgehensweise ist das Unterschreiten einer maximalen Größe der Maschine oder Maschinenelemente notwendig, was durch eine konsequente Miniaturisierung aller verbleibenden Elemente und eine Anpassung der Maschinengröße und Arbeitsraum an die zu fertigenden Mikrobauteile erreicht wird. Diese Vorgehensweise stellt gegenüber der bisherigen evolutionären Weiterentwicklung von Werkzeugmaschinen einen völlig neuen Ansatz dar. So können die bisher in jeder Werkzeugmaschine einzeln vorkommenden Elemente Antrieb und Gestell technisch in einer einzigen Maschinenkomponente vereinigt werden. **Erst durch diese Integration mehrerer Funktionen und das Unterschreiten einer Maximalgröße der Maschine ist die Realisierung der vorhandenen Innovationspotentiale sprunghaft möglich.**

Diese Potentiale basieren auf neuen Entwicklungen verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen, die allerdings aus unterschiedlichen Gründen in modernen Werkzeugmaschinen noch nicht verwendet werden. Denkbar sind beispielsweise, der Einsatz neuer Materialien mit verbesserten mechanischen, thermischen und dynamischen Eigenschaften oder die Verwendung von Funktionswerkstoffen.

Die neu zu gestaltenden Maschinen ermöglichen ökonomische Vorteile. Durch die Modularität der Maschinen kann der Maschinenpark einer Fertigung stets optimal auf das aktuelle Produktionsprogramm ausgerichtet werden und ermöglicht eine atmende Fertigung. Die Kombination der zu entwickelnden Module ermöglicht, insbesondere bei mehrspindiger Anordnung, eine Erhöhung der Produktivität. Gegenüber bestehenden Fertigungseinrichtungen verfügen die Maschinen, die nach dem hier vorgestellten Konzept gestaltet sind, über wesentlich geringere installierte Leistungen und bieten daher auch ökologische Vorteile.

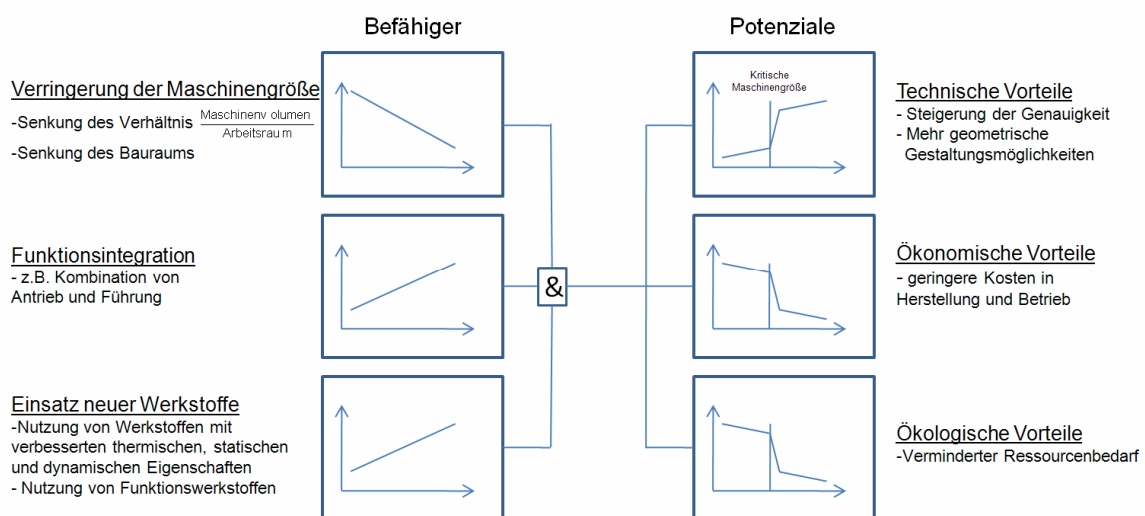
Um diese sehr breit gefächerten Herausforderungen bewältigen zu können, müssen Wissenschaftler aus den Bereichen Produktionstechnik, Mathematik, Mechanik, Mess- und Regelungstechnik, Werkstoffwissenschaften und Mechatronik zusammenarbeiten. Die Einrichtung eines Schwerpunktprogramms ist daher angebracht und notwendig, um die internationale Spitzenstellung der Bundesrepublik Deutschland im Bereich der Mikrofertigung zu festigen und auszubauen.

Die wissenschaftlichen Arbeiten zum Schwerpunktprogramm stützen sich dabei auf die folgenden **Prämissen**:

- Die zur Erzeugung der Mikrostrukturen verwendeten Fertigungsprozesse und Prozessmaschinen-Interaktionen werden als weitgehend bekannt vorausgesetzt. Das umfasst alle primären Prozessgrößen wie z.B. die Prozesskräfte [BRU07] und zum anderen die auftretenden physikalischen Größeneffekte skalierten Prozesse. Diese Parameter sind nicht Gegenstand der beabsichtigten wissenschaftlichen Forschung, müssen aber gegebenenfalls berücksichtigt werden.
- Weltweit besteht ein anerkannt wachsender Bedarf an komplexen Werkstücken der Mikrotechnik, um Produkte zu miniaturisieren und die Funktionsdichte zu erhöhen.
- Für die Geometrieerzeugung an Mikroteilen stehen heute verschiedene „Verfahrenswelten“ zur Verfügung. Diese entstammen einerseits den Verfahren der Mikroelektronik und Siliziummikromechanik und den daraus entstandenen Prozessketten. Auf der anderen Seite sind bisher die Verfahren, nicht aber die Maschinen des Maschinenbaus und der Feinwerktechnik skaliert worden. Es besteht also ein Bedarf, die Werkzeugmaschinen in ihrer Größe den Mikrowerkstücken anzupassen. Heute existieren bereits zahlreiche Anwendungen, in denen Verfahren der beiden Ursprünge zu Prozessketten der Geometrieerzeugung verknüpft werden.
- Basierend auf den heute bekannten Verfahren der Geometrieerzeugung ist die spezifische Energie, die zum Abtragen eines bestimmten Volumenelementes benötigt wird, weitestgehend unabhängig von der Größe der eingesetzten Werkzeugmaschine. Die primären mechanischen, thermischen oder chemischen Prozessgrößen, die heute bereits wenigstens phänomenologisch, teilweise auch analytisch oder durch Simulation erfassbar sind, werden als bekannt vorausgesetzt.
- Wesentliche Prozessgrößen wie z.B. Kräfte sind bei der Bearbeitung kleiner Teile niedriger als bei der Bearbeitung großer Werkstücke. Beim Mikrofräsen werden z.B. Zerspankräfte im Bereich weniger Newton gemessen, Maschinen mit kleinen, dem Werkstück angepassten, Arbeitsräumen und entsprechend kleinen Querschnitten der Strukturelemente sind also durchaus geeignet, diese Kräfte aufzunehmen. Aus dem verbesserten Verhältnis von Arbeitsraum zu Werkstückabmessungen folgt direkt eine reduzierte bewegte Masse der Maschine und damit eine höhere erreichbare Dynamik, kleinere Kragarme und damit höhere erzielbare statische Steifigkeiten sowie kleinere thermische Dehnlängen und damit eine verbesserte thermische Stabilität.
- Gleichzeitig offenbart sich allerdings auch eine der zentralen Herausforderungen der Vorgehensweise. Bedingt durch die niedrigeren Massen und höheren Steifigkeiten steigen die relevanten Eigenfrequenzen der Maschinen an. Ist es im Bereich der bisherigen Maschinenteknik in der Regel so, dass die Maschinen überkritisch betrieben werden, so werden sich die Eigenfrequenzen z.B. in Richtung der Prozessanregung beim Fräsen bewegen. Um die Potenziale des vorgeschlagenen Ansatzes ausnutzen zu können, bedarf es einer integralen Betrachtung und Abstimmung der Maschinenteknik in Verbindung mit der Erarbeitung von Auslegungsrichtlinien für Maschinen im Bereich der Mikrobearbeitung.

Abgeleitet aus diesen Prämissen können folgende **Thesen** formuliert werden:

- Aus technischen, ökonomischen und ökologischen Gründen ist es vorteilhaft für die Herstellung von kleinen Bauteilen Werkzeugmaschinen zu verwenden, die in ihrer Arbeitsraumgröße und Gesamtgröße an deren Dimensionen angepasst sind.
- Um die bestehenden Nachteile heutiger Werkzeugmaschinen für die Mikrofertigung umfassend zu eliminieren, reicht es nicht aus, heutige Maschinenkonzepte nur geometrisch zu skalieren, wie es im Abschnitt „Stand der Forschung“ beschrieben wird. Dieses Schwerpunktprogramm soll sich deshalb ausdrücklich nicht mit Fragen der Skalierung und den damit verbundenen physikalischen Effekten beschäftigen. Das schließt natürlich nicht aus, dass vorhandene Größeneffekte, die als bereits erarbeitet und erforscht gelten, bei der Entwicklung von Werkzeugmaschinen genutzt werden.
- Kleine Werkzeugmaschinen ermöglichen nach Unterschreiten einer bestimmten Größe die Einführung neuer oder bekannter aber heute im Werkzeugmaschinenbau noch nicht verwendeter Technologien und Elemente, die im Gegensatz zur heute üblichen evolutionären Weiterentwicklung der Maschinen Innovationssprünge, also revolutionäre Schritte in der Entstehung und Nutzung der Maschinen ermöglichen.
- Kleine Werkzeugmaschinen verbrauchen weniger Ressourcen zur Herstellung und im Betrieb. Die Umweltbelastung ist dadurch niedriger und die Nachhaltigkeit höher. Zudem fallen sowohl bei der Herstellung als auch im Betrieb geringere Kosten an. Die Lebenszykluskosten sinken.



Befähiger und Potentiale des Schwerpunktprogramms

Die genannten Thesen bilden die Grundlage des Schwerpunktprogramms!