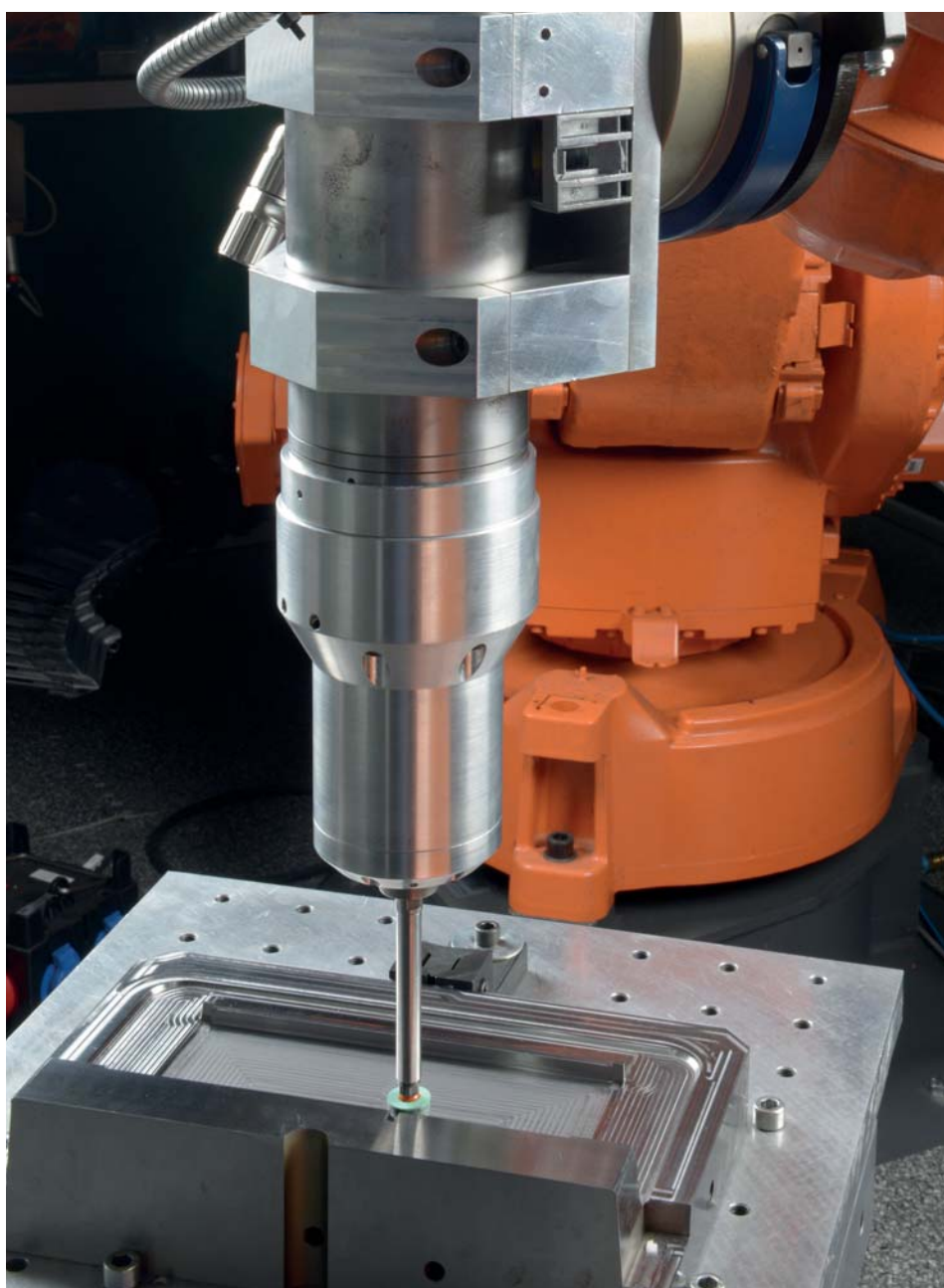




## WAD3R – FLEXIBLE FEINBEARBEITUNG IM WERKZEUG- UND FORMENBAU



# WAD3R – FLEXIBLE FEINBEARBEITUNG IM WERKZEUG- UND FORMENBAU

Im Forschungsprojekt »WAD3R« entwickelte das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT gemeinsam mit vier Industrieunternehmen intelligente Werkzeugsysteme zur vollständig automatisierten Bearbeitung komplexer Bauteiloberflächen, wie sie beispielsweise im Werkzeug- und Formenbau zum Einsatz kommen. Die drei entwickelten Werkzeugsysteme dienen mit ihren unterschiedlichen Eingriffskinetiken und Kraftregelungssystemen zur Feinbearbeitung von Bauteiloberflächen bis zum Hochglanz.



# DIE MOTIVATION

Während die formgebende Bearbeitung von Spritzgieß- und Umformwerkzeugen, beispielsweise durch NC-Fräsen oder -Erodieren, bereits in hohem Umfang automatisiert werden konnte, erfolgte die abschließende Oberflächenverbesserung bisher fast ausschließlich durch manuelles Feinschleifen und Polieren. Die manuelle Feinbearbeitung bildete dabei den letzten Prozessschritt der Werkzeugherstellung. Die Qualität und der Zeitaufwand hängen hier ausschließlich vom individuellen Geschick des Handwerkers ab und bestimmen in starkem Maße die Herstellungskosten des Bauteils.



Einen Ausweg bietet in diesem Fall die zunehmende Automatisierung der Feinbearbeitung. Allerdings können mit den herkömmlichen Lösungen bisher nur einfache, leicht gekrümmte Oberflächen geschliffen und poliert werden. Daher besteht bei Anwendern aus dem Maschinenbau, vor allem im Werkzeug- und Formenbau, ein großes Interesse daran, die bisherigen Entwicklungen der automatisierten Feinbearbeitung auch auf komplexere Geometrielemente zu übertragen.

Im Forschungsprojekt »WAD3R« wurden deshalb drei modular aufgebaute Werkzeugsysteme für die automatisierte Feinbearbeitung entwickelt:

- ein 2-Achs-Kugelkopf-Werkzeugsystem für die 3-achsige Feinbearbeitung von Innenradien,
- ein radial auslenkbares, mechanisch angetriebenes Werkzeugsystem für Nuten, Bohrungen und Wände sowie
- ein translatorisches Werkzeugsystem zum Entfernen von Oberflächenwelligkeiten und Frässpuren auf planen und leicht gekrümmten Oberflächen.

Die modularen Werkzeugsysteme können an unterschiedlichen Maschinenspindeln angebracht und sowohl mit roboterbasierten als auch in 3-achsigen Maschinensystemen eingesetzt werden. Letzteres ermöglicht es auch kleinen und mittleren Unternehmen, die über keine oder nur geringe Kenntnisse komplexer CAM-Software verfügen, oder in denen wirtschaftlichen Gründen keine 5-achsigen Maschinen eingesetzt werden, konturkomplexe Bauteiloberflächen automatisiert zu bearbeiten. Außerdem entwickelten die Projektpartner für die Werkzeugsysteme neue, anforderungsgerechte Hon- und Polierwerkzeuge und qualifizierten diese erfolgreich für ihre individuellen Bearbeitungsaufgaben.



# DAS TRANSLATORISCHE UND RADIALE WERKZEUGSYSTEM

Das Spindelsystem des Projektpartners SN-Spindeltechnik Steffen Nitschke für die automatisierte Feinbearbeitung besteht aus einer speziellen Hochfrequenz-Motorspindel und den dazu passenden, automatisch einwechselbaren Bearbeitungsmodulen. Dieses Spindelsystem lässt sich sowohl in roboterbasierten als auch in 3- oder 5-achsigen Maschinensystemen einsetzen. Es bietet dem Anwender ein Gesamtsystem, mit dem komplette Bauteiloberflächen mit ihren komplexen Geometrieelementen bearbeitet werden können.



Die unterschiedlichen Bearbeitungsmodule, die bei SN-Spindeltechnik entwickelt wurden, erlauben es, mit unterschiedlichen Bearbeitungskinematiken und Kraftregelungssystemen, jeweils spezielle Bauteiloberflächen zu bearbeiten. Jedes Bearbeitungsmodul ist ein Werkzeugsystem für sich und kann mithilfe eines Adapters auch in bereits bestehende Bearbeitungssysteme, zum Beispiel Werkzeugmaschinen, integriert werden. Die Werkzeugsysteme sind so aufgebaut, dass für das Werkzeug in einem definierten Einstellbereich eine entsprechend gesteuerte, konstante Anpresskraft gewährleistet ist. Durch den Anstellbereich werden der Werkzeugverschleiß sowie Bahnabweichungen der Maschine zur Werkstückoberfläche kompensiert. Die eingesetzten Werkzeuge können dadurch in Kombination mit dem vorhandenen Werkzeugsystem für die Fertigung ganz unterschiedlicher Oberflächenqualitäten genutzt werden.

Das translatorische Werkzeugsystem ist ein Bearbeitungsmodul zum Glätten von Oberflächen, etwa zum Entfernen von Oberflächenwelligkeiten und Bearbeitungsspuren, aber auch zum Erzeugen scharfkantiger Geometrien an planen und leicht bis mittel gekrümmten Oberflächen. Für kleine, enge Geometrien kann ein Polierhebel für kleine Werkzeuge adaptiert werden. Für das Projekt »WAD3R« wurde ein translatorisches Werkzeugsystem mit festen Hüben (2/4/6 mm), einer maximalen Anpresskraft von 180 N und einer maximalen Hubfrequenz von 100 Hz entwickelt.



Das rotatorische Werkzeugsystem mit radialer Anstellung ist ein Modul zur Bearbeitung der Seitenflächen von Vertiefungen wie Nuten und Bohrungen sowie schwer zugänglichen Flanken oder Wänden. Bei Werkzeugsystemen mit kombinierter radialer und axialer Anstellung können zusätzlich auch Grundflächen und Absätze bearbeitet werden. Die radiale Anstellung erfolgt parallel zur Drehachse und in einem Winkelbereich von 360° (ohne kraftfreien Bereich). Dies gewährleistet, dass die Werkzeugflanke unabhängig vom Anstellwinkel und Anstellweg parallel zur Werkstückfläche steht.



Außerdem wurde im Projekt ein rotatorisches Werkzeugsystem für Drehzahlen bis zu 12 000 1/min, einer radialen Anpresskraft von 75 N und einer Eintauchtiefe von 90 mm entwickelt.

Das Spindelsystem von SN-Spindeltechnik erschließt mit seiner hohen Modularität und Flexibilität ein weites Anwendungsfeld überall dort, wo hohe Oberflächenqualitäten in gleichbleibender Qualität wirtschaftlich gefertigt werden müssen, etwa im Werkzeug- und Formenbau, in der optischen Industrie, im Turbinenbau sowie in der Strömungstechnik, beispielsweise für die Luftfahrt oder im Automobilbau.

## DIE HONWERKZEUGE

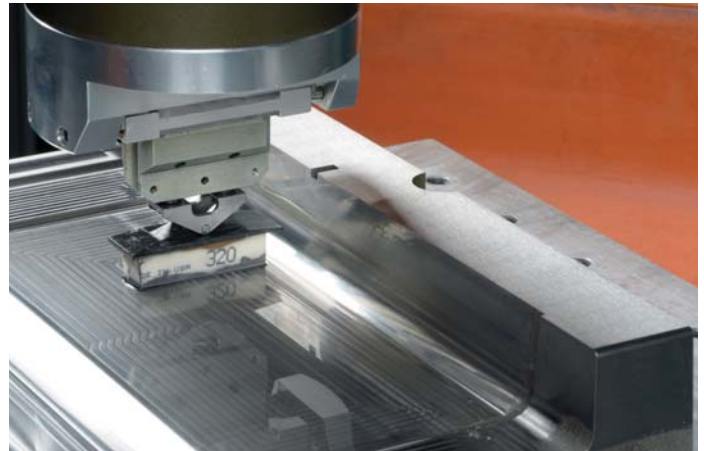
Die Atlantic GmbH in Bonn zählt weltweit zu den wichtigsten Herstellern gebundener Schleifmittel. Daraus resultiert ein mehr als 40 000 Erzeugnisse umfassendes Herstellungs-programm, das sich individuell auf die jeweiligen Produktionsbedingungen der Kunden einstellt.

Als Hochleistungsschleifmittel dienen synthetisch hergestellte Elektro- und Sinterkorunde, Siliziumkarbide, kubisches Bornitrid sowie Diamant in keramischer oder Kunstharz-Bindung. Die Endprodukte sind Langhubhonsteine, Superfinishsteine und Honnhülsen.

Atlantic hat sich als erstes Unternehmen im industriellen Maßstab mit der Herstellung feinkörniger Schleifkörpern befasst und damit früh Expertise rund um diese schwierigen Fertigungsprozesse aufgebaut. Mit der Erkenntnis, dass genau definierte, feinste Oberflächen unter Einhaltung engster Maßtoleranzen in der Industrie immer größere Bedeutung erlangen werden, hat sich Atlantic auf dem Gebiet der Präzisionsbearbeitung eine herausragende Marktposition erarbeitet.

Für das Projekt »WAD3R« hat Atlantic auf Basis bereits existierender, im industriellen Einsatz bewährter Bindungssysteme eine grundsätzlich neue Feinkornbindung entwickelt und erfolgreich eingesetzt.

Diese neue Bindung aus keramischen Rohstoffen erzielt selbst beim Einsatz feinsten Schleifkörnungen von 320 oder 400 mesh Abtragleistungen bis zu 10 µm auf schwer zerspanbaren, hochlegierten Werkzeugstählen.



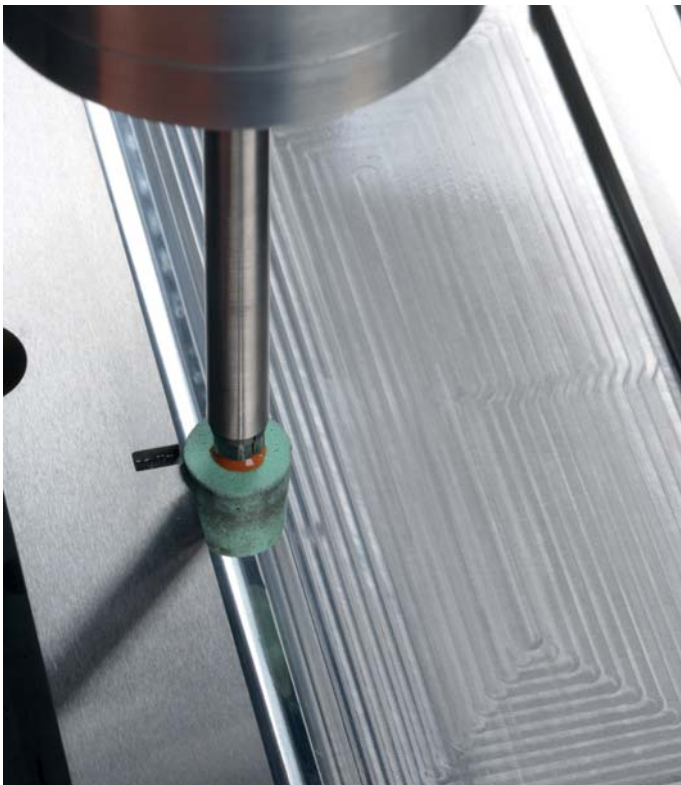
Grundlage dieser hohen Abtragraten sind die selbstschärfenden Eigenschaften des neuen Bindungssystems: Sobald ein Schleifkorn stumpf wird, gibt die Bindung dieses frei und ein neues, schneidfähiges Korn kommt an der Werkzeugoberfläche zum Einsatz.

Basis der Entwicklungsarbeit waren Versuchsreihen bei denen der Einfluss unterschiedlicher keramischer Rohstoffe bei verschiedenen Brenntemperaturen und Brennkurven ermittelt wurde. Im Anschluss an die Auswahl der Rohstoffe und Brennbedingungen wurden anhand von Biegebruchversuchen und Messungen der Elastizitätsmodule verschiedener Korn-Bindungs-Mischverhältnisse die geeigneten Werkzeuge definiert.

# DIE POLIERWERKZEUGE

Elastisch gebundene Schleif- und Polierwerkzeuge übertreffen mit ihren Einsatzmöglichkeiten die Reichweite herkömmlicher Schleifmittel in vielen Aspekten. Hervorzuheben ist ihre Eigenschaft, sich an die Konturen des Werkstücks anzupassen und dabei nur die Topographie zu beeinflussen – ohne die Geometrie des Bauteils zu verändern.

Die Schleifwerkzeuge des Projektpartners Artifex Dr. Lohmann GmbH & Co. KG bestehen zunächst aus den klassischen abrasiven Stoffen wie Siliciumcarbid und Korund. Die besonderen Werkzeugeigenschaften werden durch das Trägermaterial erzielt: Bringt man das Schleifmedium in eine Matrix aus elastischen Werkstoffen wie Polyurethan, Kautschuk oder Kunstharzen ein, erhält man Schleifwerkzeuge passend für den jeweiligen Anwendungszweck.



Der chemische Aufbau der Bindung bestimmt die späteren Eigenschaften des Werkzeugs. Faktoren wie Härte, Elastizität, Kornart, Korngröße und Kornanteil lassen sich unterschiedlich kombinieren und variieren. Auf diese Weise lässt sich das Werkzeug optimal an die jeweilige Schleif- oder Polieraufgabe anpassen.

Im Projekt »WAD3R« erprobte Artifex zunächst verschiedene vorhandene Produkte anhand Werkstücken aus Stahl. Ausgehend von diesem Screening wurde ein neues Polyurethansystem als Bindungskomponente entwickelt. Im Formenbau kommen oft schwer zerspanbare Werkstoffe zum Einsatz, die konventionelle Schleifmaterialien schnell an ihre Grenzen führen. Daher wurde ein Bindungssystem gesucht und gefunden, mit dem sich das Diamantkorn so haftend einbinden lässt, dass es nicht ungenutzt aus der Bindung fällt. Mit diesem Werkzeug – Diamant in elastischer Polyurethanbindung – können nun auch Hartmetalle in automatisierten Prozessen poliert werden.

Im automatisierten Fertigungsprozess zeigt das neue Polierwerkzeug neben guten Polierergebnissen auch eine lange Standzeit. Ein gesonderter Abrichtzyklus musste am Demonstratorwerkstück aus Warmarbeitsstahl bisher nicht eingerichtet werden. Das Artifex-Werkzeug arbeitet mit jedem Kühlschmiermittel und kommt zudem ohne Zusatz von Polierpasten aus.



# DAS 2-ACHS-KUGELKOPF-WERKZEUG

Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT qualifizierte in ersten Voruntersuchungen zunächst die neu entwickelten und bereitgestellten Hon- und Polierwerkzeuge. Dafür wurden die Honsteine in der translatorischen und die Polierstifte in der rotatorischen Feinbearbeitung untersucht. Die Diskussion der Bearbeitungsergebnisse mit den Werkzeugherstellern ergab bereits wichtige Optimierungsvorschläge für die Werkzeugentwicklung.

Zur Demonstration der Machbarkeit und um einen ersten Funktionsnachweis zu liefern, entwarf das Fraunhofer IPT im Vorfeld zum Verbundvorhaben einen Prototypen des 2-Achs-Kugelkopf-Werkzeugs. Bei diesem Werkzeugsystem, das an einer konventionellen Bearbeitungsspindel genutzt werden kann, wird die Rotation der Arbeitsspindel im Werkzeug durch ein Planetengetriebe mit einer zusätzlichen Rotation des Kugelkopfes überlagert. So kann das ausgewählte Schleif- oder Polierwerkzeug ohne Anstellung, also senkrecht zur Oberfläche, geführt werden, ohne dass die Schnittgeschwindigkeit im Mittelpunkt des Bearbeitungswerkzeugs null beträgt.

Auf Basis dieser Vorarbeit wurde ein weltweit neues Werkzeugsystem entwickelt und erfolgreich zur automatisierten Feinbearbeitung von Sphären und Radien eingesetzt. Ebenso wie das translatorische und das radiale Werkzeugsystem kann das 2-Achs-Kugel-Werkzeug mit nur geringfügigen Modifikationen an unterschiedlichen Werkzeugspindeln in Betrieb genommen werden. Die überlagerte Bewegung erfolgt bei diesem System durch die Hauptspindel und einen zusätzlichen elektrischen Direktantrieb des Werkzeuggehäuses. Damit gelingt es, die jeweiligen Rotationen stufenlos einzustellen. Außerdem erlaubt das System einen schnellen Wechsel des Polierkopfes.



Im weiteren Projektverlauf wurden die Hon- und Polierwerkzeuge auf den neu entwickelten Werkzeugsystemen in umfangreichen Parameterstudien qualifiziert. Ausgehend von der gefrästen Bauteiloberfläche konnten die unterschiedlichen Geometrielemente des Demonstrators in mehreren Bearbeitungsschritten bis auf Hochglanz gehont und poliert werden.



# DIE ANWENDUNG

Die TechniForm GmbH ist ein mittelständisches Unternehmen, das neben Kunststoffbauteilen und kompletten Bauteilgruppen auch Werkzeugsätze im Spitzgießverfahren fertigt.

Bei TechniForm wurden Werkzeugformen nach der Fräsbearbeitung bisher sehr kosten- und zeitaufwändig von Hand feinbearbeitet. Mit den Werkzeugsystemen, die im Projekt »WAD3R« entwickelt wurden, kann das Ziel, tagsüber zu fräsen und nachts automatisiert zu schleifen und zu polieren, nun umgesetzt werden.

Im Projekt stellte das Unternehmen zunächst verschiedene Geometrielemente für die prozesstechnischen Untersuchungen mit den entwickelten Werkzeugsystemen zur Verfügung. Die finale Qualifizierung erfolgte anhand eines Demonstrators, der aus dem Gehäusedeckel eines Receivers bestand und bei dem ein Teil des abgeformten Bauteils hochglänzende Flächen aufweist.



Bearbeitungsvideo:



## DIE PARTNER



Artifex Dr. Lohmann GmbH & Co. KG  
Feldstraße 8  
24568 Kaltenkirchen

Ansprechpartner

Jens Brodbeck  
brodbeck@artifex-abrasives.de  
Telefon +49 4191 9350



Fraunhofer-Institut für  
Produktionstechnologie IPT  
Steinbachstraße 17  
52074 Aachen

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Olaf Dambon  
olaf.dambon@ipt.fraunhofer.de  
Telefon +49 241 8904-233



TechniForm GmbH  
Konrad-Zuse-Straße 1  
54552 Nerdlen

Ansprechpartner

Marco Weiler  
m.weiler@techniform.de  
Telefon +49 6592 984690



Atlantic GmbH  
Gartenstr. 7-17  
53229 Bonn

Ansprechpartner

Lars Junghanns  
l.junghanns@atlantic-bonn.de  
Telefon +49 228 408210



SN-Spindeltechnik  
Gutenbergstraße 1  
01623 Lommatzsch

Ansprechpartner

Steffen Nitschke  
sn@sn-spindeltechnik.de  
Telefon +49 35241 81740

# FÖRDERUNG

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept »Forschung für die Produktion von morgen«

und in der Fördermaßnahme »KMU-innovativ: Produktionsforschung« gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

BETREUT VOM



**PTKA**  
**Projektträger Karlsruhe**  
Karlsruher Institut für Technologie