

**VDI-Fachtagung**

# **Wissenstransfer Zerspanung 2019**

**Düsseldorf, 12. und 13. November 2019**

Bildquelle: © ISCAR Germany GmbH



# VDI-BERICHTE

Herausgeber:

VDI Wissensforum GmbH

**Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek (German National Library)**

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at [www.dnb.de](http://www.dnb.de).

**© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2019**

Alle Rechte vorbehalten, auch das des Nachdruckes, der Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, auszugsweise oder vollständig.

Der VDI-Bericht, der die Vorträge der Tagung enthält, erscheint als nichtredigierter Manuskriptdruck.

Die einzelnen Beiträge geben die auf persönlichen Erkenntnissen beruhenden Ansichten und Erfahrungen der jeweiligen Vortragenden bzw. Autoren wieder. Printed in Germany.

ISSN 0083-5560

ISBN 978-3-18-092362-8

# Inhalt

## ► Prozessauslegung und Überwachung

Integrierte CAD/CAM Software für Industrie 4.0 . . . . .	1
R. Keiser, SolidCAM, Hörstel	

## ► Werkzeuge und Verfahren für die wirtschaftliche und innovative Zerspänung

VHM-Fräswerkzeuge zum Dynamischen Fräsen – Voraussetzungen und Besonderheiten . . . .	11
P. Binder, Walter AG, Tübingen	

Innovative Konzeptentwicklung für eine effiziente Bohrbearbeitung – Wendeschneidplattenbohrkonzept für Bohrtiefen bis zu 7xD . . . . .	15
I. Terwey, Sandvik Tooling Deutschland GmbH, Düsseldorf	

Schneidplatten – geht's noch kleiner und schneller? . . . . .	19
K. Brenner, ISCAR Germany GmbH, Ettlingen	

## ► Hochleistungs-Schneidstoffe und Beschichtungen

HiPIMS – Beschichtungen von heute und morgen – HiPIMS – Die PVD-Beschichtungstechnologie von morgen? . . . . .	31
M. Weigand, CemeCon AG, Würselen	

Hybride Beschichtungsprozesse für anwendungsbezogene PVD-Schichten. . . . .	35
H. Frank, F. Barthelmä, H. Joost, GFE – Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung Schmalkalden e.V., Schmalkalden	

## ► Zukunftsweisende Maschinenkonzepte mit intelligenten Softwarefunktionen

Produktivitätssteigerung durch innovative Werkzeugmaschinenkonzepte und intelligente Steuerungstechnologie. . . . .	47
T. Cayli, Yamazaki Mazak Deutschland GmbH, Düsseldorf	

Direct Robot Control: Zusammenspiel von Werkzeugmaschine und Roboter – einfach und intuitiv . . . . .	49
R. Gaida, Mitsubishi Electric Europe B.V., Ratingen	

Einzelteillfertigung oder Massenproduktion – Innovative CNC-Fräsfunktionen der Sinumerik als Basis für eine erfolgreiche Fertigung . . . . .	59
A. Blaschke, K. Schwarz, Siemens AG, Erlangen	

► **Herausforderungen und Chancen der digitalisierten Fertigung**

---

Errungenschaften, Rückschläge und zukünftige Anwendungen des maschinellen Lernens  
in der Zerspanung . . . . .65  
T. Bergs, D. Schraknepper, M. Schwenzer, Werkzeugmaschinenlabor WZL der  
RWTH Aachen University, Aachen

► **Alternative Fertigungsverfahren und -konzepte**

---

Laserdrehen – Innovative Hybridbearbeitung – Laserintegration in ein Maier  
Dreh-Bearbeitungszentrum. . . . .81  
M. Maier, Maier Werkzeugmaschinen GmbH & Co KG, Wehingen

## Integrierte CAD/CAM Software für Industrie 4.0

Ralf Keiser, SolidCAM, Hörstel



# SolidCAM

The Leaders in Integrated CAM

**Wer ist SolidCAM und was kann SolidCAM leisten, was andere CAM-Anbieter nicht vermögen?**

Mit über 30 Jahren Erfahrung in der Entwicklung und Anwendung von CAM-Systemen wurde SolidCAM als vollintegriertes CAD- und CAM-System entwickelt. Nach langjähriger erfolgreicher Entwicklung erkannte der Gründer von SolidCAM, Dr. Emil Somekh, dass es effizienter ist, sich auf die Entwicklung eines integrierten CAM-Systems für SolidWorks zu konzentrieren, die gesamte Kraft des Unternehmens zur Entwicklung der CAM-Funktionalität einzusetzen und dabei die große Bedeutung und die gute CAD-Leistung von SolidWorks zu nutzen. Die gleiche Architektur wurde eingesetzt, um das System später in Inventor zu integrieren.



**SolidCAM** - das integrierte CAM-System für SolidWorks und Autodesk Inventor, revolutioniert die CNC-Fertigung mit iMachining - Bis zu 70% Einsparungen bei der Fertigungszeit möglich! SolidCAM ist der führende Entwickler von integrierten CAD/CAM und CNC-Lösungen.

SolidCAMs CAM-Software, für alle CNC-Anwendungen, ist nahtlos in SolidWorks und Autodesk Inventor integriert und verknüpft die Werkzeugbahnen vollständig mit dem CAD-Modell. SolidCAM hat den SolidWorks-Partnerstatus "Certified Gold Product" SolidCAM unterstützt 2.5D Fräsen, High-Speed Flächenbearbeitung (HSS), 3D High-Speed Fräsen (HSM), Indexiale Mehrseitenbearbeitungen, Drehen und Fräsdrehen und 5 -Achsen Simultanfräsen. SolidCAMs neue, revolutionäre Frästechnologie iMachining macht bis zu 70% Ersparnisse bei der Bearbeitungszeit möglich und verlängert die Werkzeug-Standzeit erheblich! iMachining bringt jedem NC-Fertiger weltweit durch höhere Zerspanungsleistung und längerer Werkzeugstandzeit sofort mehr Ertrag und mehr Erfolg.





## 2.5D Fräsen

Die am einfachsten zu bedienende Benutzeroberfläche im SolidWorks-Stil gepaart mit der neuesten Werkzeugbahn-Technologie bietet den schnellsten, leistungsstärksten und einfachsten Weg zur Erzeugung von 2.5D Werkzeugbahnen.

SolidCAM wurde sowohl für den fortgeschrittenen Anwender als auch für Anfänger entwickelt und lässt Ihnen die Wahl zwischen automatisierter Featureerkennung und vollständig manuell definierter Auswahl von Geometrien, Parametern und Bearbeitungsstrategien.

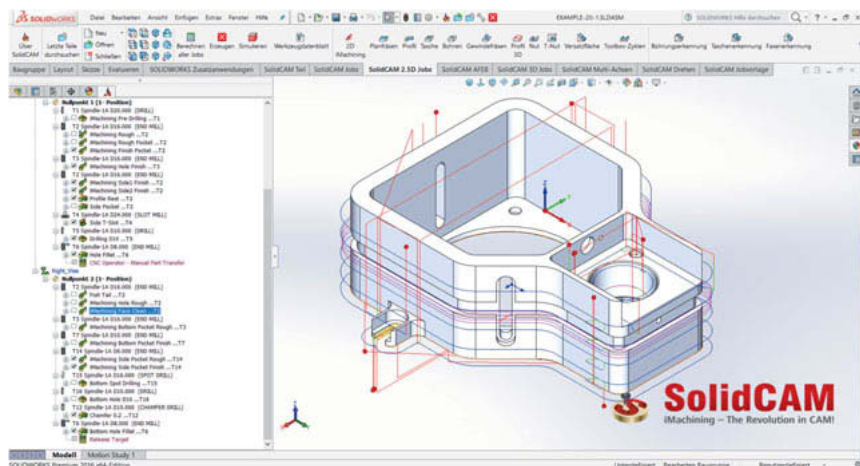
**Vereinfachte Geometrieauswahl** mittels **CAD Skizzen**, **automatischer Featureerkennung** und **Kettenauswahl-Funktionen** (Abstand, Kürzen, Verlängern). Ohne Änderung am CAD-Modell können so Fertigungsgeometrien verändert werden.

Sie arbeiten direkt auf **Teilen**, **Baugruppen** und **Skizzengeometrien** und definieren so Ihre Bearbeitungsjobs.

Automatische **Restmaterialbearbeitung** zum Entfernen überschüssigen Materials nach der Bearbeitung durch eine größere Werkzeugbahn

**Anfasen** entlang der Geometrie, die zuvor im Profil- oder Taschenjob verwendet wurde

**Gewindefräsjob** für die Bearbeitung von standard Innen- und Außengewinden

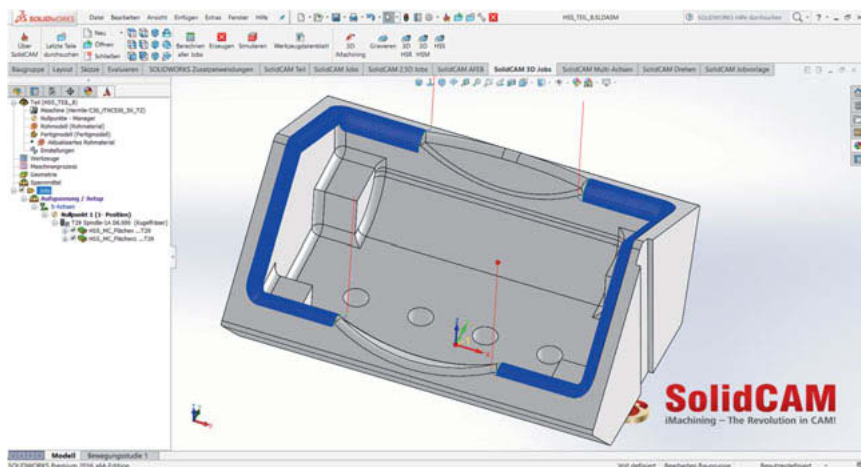


### 3D Fräsen HSS

Durch die Möglichkeit, mit dem Werkzeug entlang bestimmten Flächen von prismatischen und 3D-Teilen zu fahren werden auch Ihre Möglichkeiten der 3D Bearbeitung erweitert.

Erfahren Sie die absolute Kontrolle über das Werkzeug. Es werden nur Bereiche bearbeitet, die Sie auswählen. Arbeitsbereiche oder zeitraubende Hilfskonstruktionen werden hinfällig. Nutzen Sie die Möglichkeit, Kegelfräser, Ballfräser und Nutenfräser für die Bearbeitung von Hinterschnitten oder anderen schwierigen Bereichen einzusetzen.

Das HSS-Modul legt den Fokus auf einzelne Flächen oder einen Flächenverbund, während die anderen Jobs Volumen- oder Flächenkörperbasierend sind. HSS glänzt mit der Erzeugung von fließenden Werkzeugbahnen auf einer Fläche oder einer Gruppe von Flächen die einen komplexen 3D Radius formen.

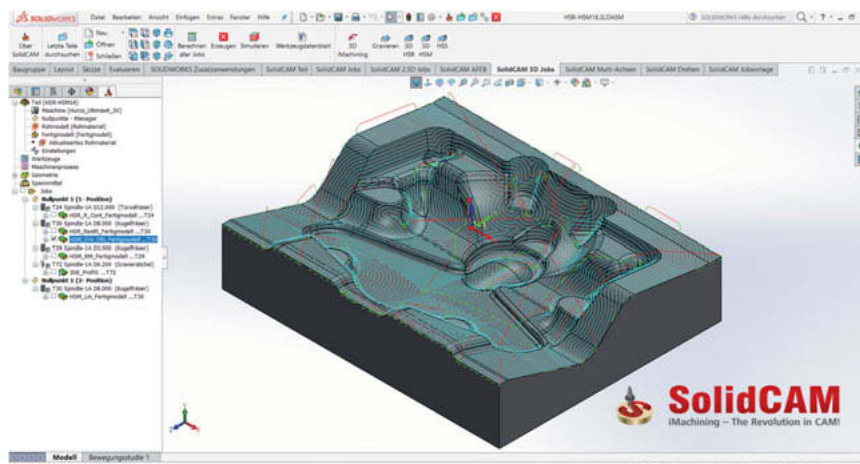


### 3D Fräsen HSM

Entdecken Sie die 3D Bearbeitung auf einer völlig neuen Ebene weicher, effizienter und smarter Werkzeugbahnen mit den besten Schlicht- und Flächentools auf dem Markt.

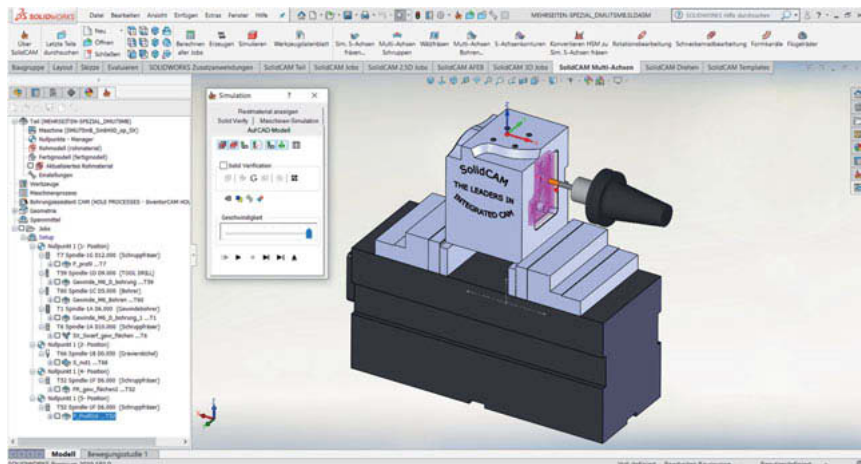
Durch das Eliminieren von ineffizienten und unnötigen Werkzeugbahnen und Luftschnitten werden langsame Werkzeugmaschinen beschleunigt und schnelle moderne CNC-Maschinen nicht ausgebremst.

Lassen Sie uns Ihnen zeigen, wie HSM die 3D Bearbeitung auf einen Level bringt, von dem Sie bisher nur geträumt haben. Und das mit Ihrer aktuellen Hardware.



## Indexiale Mehrseitenbearbeitung

Aufgrund höherer Produktion und schnellerer Durchlaufzeiten bei kürzeren Rüstzeiten sind 4- und 5-Achsenmaschinen in modernen Fertigungsbetrieben mittlerweile fast alltäglich. SolidCAM's Beitrag zur Unterstützung solcher Maschinen liegt in der klaren und effektiven Weise, mehrere Seiten an einem Werkstück zu programmieren und ein Hieb- und Stichfestes NC-Programm zu erzeugen. In SolidCAM gibt es keinen Unterschied zwischen dem Programmieren an der 4./5. Achse indexial und dem Programmieren an 3 Achsen.

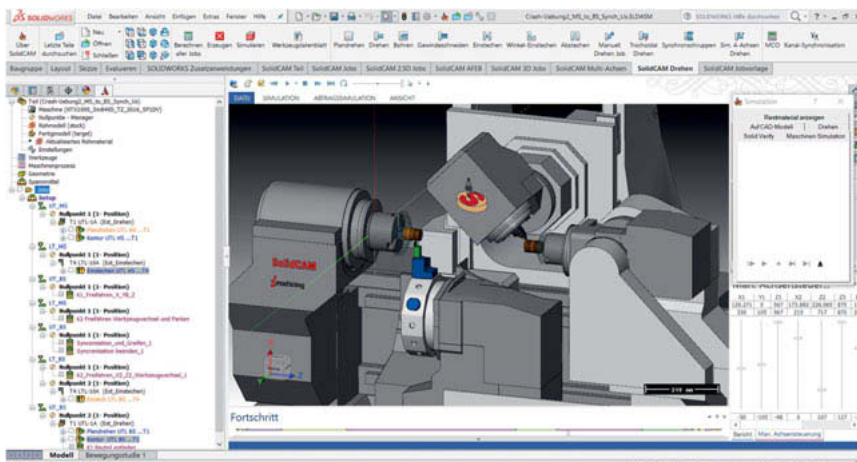


## Drehen und Fräsdrehen

Eins ist klar: Auf dem CNC-Maschinenmarkt ist der Sektor derjenigen Maschinen, die mehrere verschiedene Bearbeitungsmöglichkeiten in einem Paket kombinieren, der am schnellsten wachsende. Diese "Hol alles raus, aus dem was du hast" Philosophie entspricht genau der unseren.

SolidCAM besitzt die neueste Technologie für die Unterstützung der modernsten multifunktionalen CNC-Maschinen für kombiniertes Fräsen und Drehen. Schwelgen Sie in der Sicherheit, sich nie nach einem anderen CAM-System für eine neu angeschaffte Maschine umschauen zu müssen. Wir unterstützen umfassend Multiachsen- und Gegenspindelprogrammierung mit vollständiger Simulation, nahtlos integriert in einem einzigen, leistungsstarken Paket.

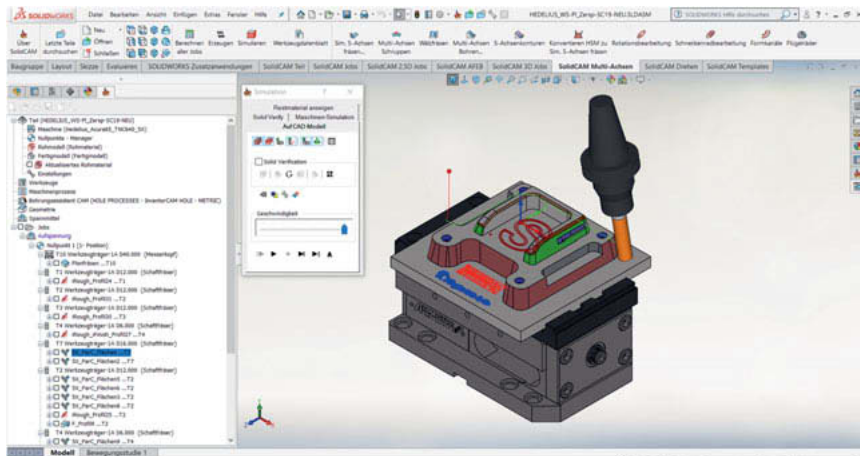
Erfahren Sie einfachstes Programmieren dieser komplexen Maschinen durch intelligentes Management von Restmaterial zwischen den Fräs- und Drehbearbeitungen, das durch Begrenzen der Luftschnitte auf ein Minimum für höchste Effizienz sorgt. Reduzieren Sie Durchlaufzeiten und stellen Sie so höchstmögliche Produktivität sicher.



## **Simultane 5-Achsbearbeitung**

Profitieren Sie von dem meistgetesteten und erprobtesten System in der Industrie.

Die intelligenten und leistungsstarken 5-Achs-Strategien, inklusive Wälzen und Säumen, ermöglichen die Bearbeitung anspruchsvollster Werkstücke mit komplexen Geometrien, wie Formkerne und Kavitäten, Luft-/Raumfahrtteile, Schneidwerkzeuge, Zylinderköpfe, Turbinenschaufeln und Impeller. Die Simulation mit Betrachtung der gesamten Werkzeugmaschine erlaubt eine zuverlässige Kollisionsbetrachtung Werkzeug/Maschine.







# VHM-Fräswerkzeuge zum Dynamischen Fräsen

## Voraussetzungen und Besonderheiten

**Philipp Binder**, Walter AG, Tübingen



### Kurzfassung

Moderne CAD/CAM-Systeme und -Werkzeugmaschinen ermöglichen immer effizientere Fräsvverfahren. Gegenüber konventionellen Verfahren wie dem High Performance Cutting (HPC) besticht das High Dynamic Cutting (HDC) durch eine niedrige, konstante, mechanische Belastung und extrem reduzierte Kontaktzeiten zwischen Schneide und Werkstoff. Ergebnis: hohe Prozesssicherheit, höhere Schnittparameter und höchstes Zeitspanvolumen – bei gleichzeitig geringerem Werkzeugverschleiß.

### Die Hauptvorteile auf einen Blick

Das Dynamische Fräsen zeichnet sich durch eine Reihe von Vorteilen aus, die es von es von gängigen Fräsvverfahren unterscheiden. Dazu zählen:

- Hohe Prozesssicherheit bei mannloser Bearbeitung
- Hohe Produktivität durch maximales Zeitspanvolumen bei reduzierten Bearbeitungszeiten.
- Maximale Standzeit durch Ausnutzen der kompletten Schneidenlänge und gleichmäßiges Verschleißverhalten
- Hohe Flexibilität bei verschiedenen Kavitäten am Bauteil durch Bearbeitung mit einem Werkzeugdurchmesser.
- Problemlöser bei schwer zerspanbaren Materialien und labilen Bedingungen (Maschine, Werkstück, Aufspannung).

## Voraussetzungen zum Dynamischen Fräsen

Die Bearbeitungs-Strategie des Dynamischen Fräsen setzt bestimmte Bausteine voraus. Neben den Werkzeugen müssen auch die Bauteile, die Maschine und die Software die erforderlichen Voraussetzungen dazu erfüllen.

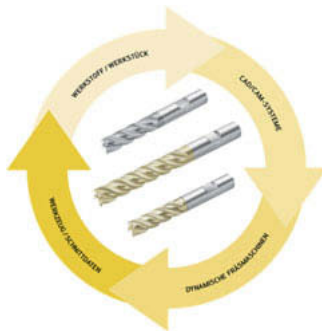


Bild 1: Die Bausteine des Dynamischen Fräsens

### Werkstoff/Werkstück

Der Werkstoff gibt die Schnittwerte für die Fräswerkzeuge vor, sprich: die radiale Schnittbreite ( $a_e$ ) und den Eingriffswinkel ( $\varphi_s$ ). Die Maße der herzustellenden Taschen und Kavitäten bestimmen die Strategie und den einzusetzenden Werkzeugdurchmesser.

### CAD-/CAM-Systeme

Die meisten CAD/CAM-Systeme bieten die benötigten Bausteine für das Dynamische Fräsen. Die Software vermeidet Vollschnitte sowie Kollisionen und berechnet alle wichtigen Parameter wie Fräsrichtung, optimale Fräsbahnen, Drehzahl ( $n$ ), Vorschub ( $v_f$ ) Einhaltung des Eingriffswinkels ( $\varphi_s$ ) und mittlere Spandicke ( $h_m$ ).

### Dynamische Fräsmaschine

Der Begriff Dynamische Fräsmaschine bezieht sich auf die Beschleunigung der Maschine: Diese muss ein ausreichend hohes Beschleunigungsverhalten sowie hohe Eilgänge und Vorschübe aufweisen und über einen breiten Drehzahlbereich sowie kurze Rechen- und Schaltzeiten verfügen.

## Werkzeug Schnittdaten

Die meisten Spannfutter sind für das Dynamische Fräsen einsetzbar, Walter empfiehlt jedoch VHM-Fräser MD133 Supreme mit Weldon-Schaft. Schneidenlänge ( $L_c$ ) und Durchmesser ( $D_c$ ) des Fräasers werden durch die Werkstückgeometrie vorgegeben. Die optimale Werkzeug- und Schnittdaten-Empfehlung für Aufgabe, Maschine und jeweiliges Bauteil kann mit Walter GPS ermittelt werden.

## Zusammenfassung/Kundennutzen

Mit der Bearbeitungsstrategie Dynamischen Fräsen profitieren die Anwender von vielfältigen Vorteilen – immer unter der Bedingung, dass alle Voraussetzungen dafür erfüllt sind. In Summe lassen sich diese wie folgt benennen:

- Sicherer Prozess, geringe Schnittkräfte
- Hohe Standzeiten, gleichmäßiger Verschleiß durch geringere thermische und mechanische Belastungen der Schneiden
- Reduzierung der Werkzeugkosten
- Reduzierung von Bearbeitungskosten durch ein hohes Zeitspanvolumen
- Hohe Produktivität
- "Problemlöser" – flexibel für unterschiedliche Bearbeitungen einsetzbar, auch bei schwer zerspanbaren Werkstoffen und labilen Bedingungen (Maschine – Werkstück – Werkstückspannung)

## Literatur

[www.walter-tools.com](http://www.walter-tools.com)





# Innovative Konzeptentwicklung für eine effiziente Bohrbearbeitung

## Wendeschneidplattenbohrkonzept für Bohrtiefen bis zu 7xD

Dr.-Ing. **Ina Terwey**, Sandvik Tooling Deutschland GmbH,  
Düsseldorf

### Kurzfassung

Bohrungen werden oft als einer der letzten Bearbeitungsschritte im Fertigungsprozess und somit bei erhöhtem Wert des ursprünglichen Rohteils durchgeführt. Entsprechend kommt der Bohrungsbearbeitung innerhalb der Wertschöpfungskette eine hohe Bedeutung zu. Die mögliche Bohrungstiefe wird häufig durch die Werkzeugauslegung begrenzt. So ist für eine Realisierung größerer Bohrungstiefen eine Anpassung des Bohrungsprozesses notwendig, wie beispielsweise durch die Einbringung von Pilotbohrungen oder die Reduzierung von Schnittwerten. Mit Entwicklung einer neuen Generation an Wendeschneidplattenbohrwerkzeugen kann die Bohrbearbeitung bis zu Bohrtiefen von 7xD trotz hoher Herausforderungen an die Werkzeugauslegung deutlich effizienter und geräuscharmer realisiert werden.

### 1. Anforderungen an die Bohrbearbeitung

Die Herstellung von Bohrungen erscheint simpel, stellt in Abhängigkeit der Randbedingungen wie die Einhaltung von Bohrungstoleranzen oder die Fertigung hoher L/D-Verhältnisse eine komplexen Fertigungsschritt dar. Anforderungen der Endanwender umfassen weiterhin u. a. eine einfache Handhabung und Auswahl von Schnittwerten, eine höhere Produktivität, die Fertigung größerer Bohrungstiefen ohne Pilotbohrungen oder ohne Bauteilumspannung sowie eine reduzierte Geräuschentwicklung. Diesen Ansprüchen kann durch die Weiterentwicklung als auch Neukonzeptionierung von Werkzeugkonzepten, Schneidstoffen und Wendeschneidplattengeometrien Rechnung getragen werden.

## 2. Wendeschneidplattenbohrkonzept der nächsten Generation

Die neue Generation an Wendeschneidplattenbohrwerkzeuge CoroDrill® DS20 ermöglicht als erstes Konzept auf dem Markt das Erreichen von Bohrungstiefen bis zum siebenfachen Wert des Bohrungsdurchmessers ohne die Einbringung von Pilotbohrungen (Bild 1). Das innovative Bohrkörper- und Wendeschneidplattendesign erlaubt eine zuverlässige und vorher-sagbare Bohroperation bei einer deutlichen Reduzierung der Geräuschentwicklung.



Bild 1: Neue Werkzeuggeneration – Wendeschneidplattenbohrkonzept CoroDrill® DS20

Zusammen mit dem neuen Bohrkonzept ist eine stabile, präzise und modulare Schnittstelle für Bohranwendungen (MDI – modular drilling interface) mit einer Doppelzentrierung für verbesserte Zentrierungseigenschaften und reduzierten Lagerbestand entwickelt worden. Die MDI-Schnittstelle bietet ein schnelles und einfaches Einrichten (Bild 2).



Bild 2: Modulare Schnittstelle (MDI-Schnittstelle) für die Bohrungsbearbeitung

Die Drehmomentübertragung und genaue Schneidkantenpositionierung wird über vier Passstifte realisiert. Die Position der Passstifte erlaubt eine Drehung des Bohrers um 180°, vorteilhaft für den Einsatz bei schwierigen Maschinenbedingungen oder instabilen Drehmaschinen.

### 3. Herausforderungen an die Werkzeugentwicklung

Auf den ersten Blick scheint der Entwicklungsschritt von 5xD nach 7xD nicht groß, wobei sich die Begriffe 5xD und 7xD auf die Länge des Bohrers beziehen, der fünf- bzw. siebenmal so lang wie sein Durchmesser ist. Das Vorgängerprodukt CoroDrill® 880 wurde 2005 für die Bohrungsherstellung in Metallbauteilen eingeführt. Der CoroDrill® 880 ist zuverlässig und effizient, aber trotz vieler Versuche, seine Stabilität und die Spanabfuhr zu verbessern, konnte die erzielbare Bohrungstiefe nicht erhöht werden. Dieser Bohrungstiefenzugewinn erforderte somit ein komplettes Neudesign von Bohrkörper und Wendeschneidplatten.

Im Jahr 2012 wurde eine Reihe von Entwicklungsprojekten in den Bereichen Werkstoff des Bohrkörpers, Produktionstechnologie, Design von Bohrkörper und Wendeschneidplatte sowie einigen anderen Parametern gestartet, um nach Wegen zur Herstellung eines Wendeschneidplattenbohrers mit einer Bohrungstiefe von bis zu 7xD zu suchen. Für die Mehrwertererschaffung ist eine einfache Handhabung des Bohrers unabdingbar, das Abdecken eines großen Anwendungsbereichs und das Erzielen einer höheren Produktivität mit längeren Standzeiten und hohen Vorschubgeschwindigkeiten. Dies bedeutete, die Werkzeugauslegung sowie die Fertigung von Bohrkörper und Wendeschneidplatten vollständig zu überdenken. Um die höchstmögliche Stabilität mit bester Prozesssicherheit, Wiederholgenauigkeit und konstanter Qualität sicherzustellen, wurde besonderes Augenmerk auf die Spanabfuhr gelegt. Mit dem Vorgänger CoroDrill® 880 hat der CoroDrill® DS20 kaum noch Ähnlichkeit. Statt des klassisch konstanten, spiralförmigen Spankanals verfügt der CoroDrill® DS20 über eine variable Helix sowie einen geraden Spankanal. Das ist nur eines von einer Vielzahl an neuen Designelementen, um die Leistungsfähigkeit zu optimieren und gleichzeitig eine hohe Stabilität und Kraftverteilung in so einem langen, asymmetrischen Bohrer zu gewährleisten. Um die Komplexität bei der Entwicklung des CoroDrill® DS20 zu verdeutlichen, ist der Vergleich zu einem Mischpult mit 50 Knöpfen vorstellbar. So sind bei den Bohrern rund 50 Parameter anzupassen, die voneinander abhängig sind und deshalb aufeinander abgestimmt werden müssen. Ändert sich ein Parameter, müssen auch die anderen 49 geändert werden. Eines der größten Probleme bei einer Verlängerung des Bohrers liegt in seiner Neigung zum Verbiegen oder zur exponentiellen Auslenkung bei hohen Drehzahlen. Eine Verdoppelung der Länge führt zu einer achtmal höheren Ablenkung des Bohrers, was sich negativ auf die Präzision auswirkt.

Der Durchbruch kam mit der Entwicklung einer Analysesoftware. Alle erwähnten Parameter konnten virtuell gesteuert, moduliert und analysiert werden. Die speziell geformten Spankanäle reduzieren eine Auslenkung des Bohrers bei auftretenden Axialkräften. Zur Gewährleistung der Stabilität sind die Spankanäle individuell auf jede Bohrergröße angepasst. Das Rechteckprofil bietet zusätzliche Stabilität, während die variable Helix eine exzellente Spanabfuhr gewährleistet, die reduzierte Vibrationen, reproduzierbare Verschleißentwicklung und längere Standzeiten zur Folge hat. Weitere Designelemente umfassen u. a. das Design der Wendeschneidplatten, die Ausführung und Positionierung des Plattensitzes sowie die Auslegung des Werkzeugeintritts und -austritts für ein perfektes Gesamtkonzept für einen deutlichen Produktivitätsgewinn bei einer prozesssicheren Bohrungsbearbeitung und minimierten Geräuschpegel (Anwendungsbeispiel, Bild 3).

**Bauteil:** Getriebering, 91 Bohrungen/Bauteil  
**Werkstoff:** 34CrMoNi4, P2.5.Z.HT, 240 HB  
**Bearbeitung:** Durchgangsbohrung, D39, Tiefe: 229 mm  
**Maschine:** Vertikales Bearbeitungszentrum, ISO 50 Kegel  
**Kühlschmierstoff:** Emulsion

**+84%**  
 Produktivitäts-  
 zuwachs

**+100%**  
 Standzeit

	Vorheriger Bearbeitungszustand	Sandvik Coromant
Werkzeug	Wendeschneidplattenbohrer	DS20-D3900L40-06
Wendeschneidplatte		DS20-0508-C-M7 1344 DS20-0508-P-M7W 4334
$v_c$ , m/min	104	160
$n$ , U/min	850	1300
$v_f$ , mm/min	108	198
$f_z$ , mm	0.127 0.08 beim Ein-/Austritt	0.152 0.11 beim Eintritt, 3 mm 0.06 beim Austritt, 5 mm
Eingriffszeit, min	127.4	69.2
MRR, cm <sup>3</sup> /min	129	237
Standzeit, Stück	Instabile Standzeit, ~ 1/4 Ring pro Schneidkante	1/2 Ring pro Schneidkante

Bild 3: CoroDrill® DS20 Einsatzbeispiel – Steigerung der Standzeit und Produktivität



## Schneidplatten – geht's noch kleiner und schneller?

Kurt Brenner, ISCAR Germany GmbH, Ettlingen

- **Downscaling von Wechselkopfbohrern**
- **Geometrien für 50 % höhere Produktivität**
- **Downscaling von Wendeplattenfräsern**
- **Hochvorschub: Fräsen mit innovativen WSP Werkzeugen**
- **Hochvorschub: Abstechen auf höchstem Niveau**

- **Downscaling von Wechselkopfbohrern**
- **Geometrien für 50 % höhere Produktivität**
- **Downscaling von Wendeplattenfräsern**
- **Hochvorschub: Fräsen mit innovativen WSP Werkzeugen**
- **Hochvorschub: Abstechen auf höchstem Niveau**

**DRILLING IN DUSTRY 4.0 INTELLIGENTLY**

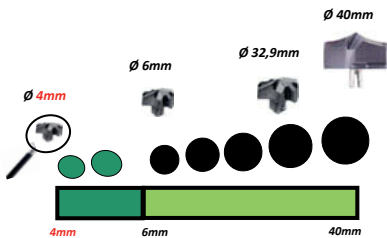
**Grundlagen:**


- Stabile Klemmung
- Keine Ersatzteile
- Gedrallte Kühlkanäle



**Downscaling von Wechselkopfbohrern**

**4 mm Bohrkopf - der kleinste auf der Welt**





**Durchmesser: 4 mm – 32,9 mm in Abstufungen von 0,1 mm**  
**ab 33 mm – 40 mm in Abstufungen von 0,5 mm**

## Downscaling von Wechselkopfbohrern





**Einfacher schneller Bohrkopfwechsel in der Maschine**  
**Kein Nachschleifen keine Rüstzeiten weniger Lager**

- Downscaling von Wechselkopfbohrern
- **Geometrien für 50 % höhere Produktivität**
- Downscaling von Wendeplattenfräsern
- Hochvorschub: Fräsen mit innovativen WSP Werkzeugen
- Hochvorschub: Abstechen auf höchstem Niveau

## Geometrien für höhere Produktivität

### HCP - IQ Bohrkopf-Geometrie

#### Merkmale:

- Toleranzklasse IT8 - IT9
- konkave Schneiden
- optimiertes Querschneiden-Design
- Durchmesserbereich 6 – 32,9 mm
- Abstufung 0,1 mm



## Geometrien für höhere Produktivität

**LOGIQ 3CHAM**  
THREE FLUTE CHAMDRILL

### Produktivitätssteigerung mit einem 3-schneidigen Bohrer



Ermöglicht extreme hohe Vorschübe für maximale Produktivität

Geometrien für höhere Produktivität





**Spezieller Schlüssel zum einfachen Klemmen und Lösen der Bohrköpfe**  
**Hervorragende Wiederholgenauigkeit beim Bohrkopfwechsel**  
**Keine Rüstzeit!**

Geometrien für höhere Produktivität





**LOGIQ3CHAM Bohrköpfe reduzieren die Gratbildung**  
**Selbstzentrierende, scharfe Schneidengeometrie für hohe Bohrungspräzision,**  
**bessere Rundheit und Konzentrität**  
**Spezielle Schneidkantenausführung für optimale Spanabfuhr**

Geometrien für höhere Produktivität





**Selbstzentrierende, scharfe Schneidengeometrie für hohe Bohrungspräzision, bessere Rundheit und Konzentrität**

**Auch bei schwierigen Bedingungen wie geneigten Flächen und unterbrochenem Schnitt**

Geometrien für höhere Produktivität


**Merkmale:**

- Durchmesserbereich 12,0 – 25,9 mm
- Bohrkörper für 1,5 / 3xD und 5xD Bearbeitungen
- Optimierte H3P-IQ Geometrien für Stahl und Guss
- Große polierte Spankammern mit variablen Spiralwinkel
- Innere Kühlmittelzufuhr an jede Schneide

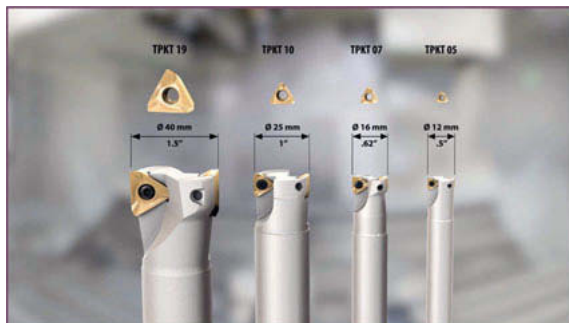
**Vorteile:**

- Bohrkopf-Klemmung ohne jegliche Ersatzteile
- Minimale Rüstzeit beim Bohrkopfwechsel
- Bis zu 100% höhere Vorschubwerte / maximale Produktivität
- Hervorragende Eigenzentrierfähigkeit / beste Qualitätsmerkmale (IT8 - IT9)



- Downscaling von Wechselkopfbohrern
- Geometrien für 50 % höhere Produktivität
- **Downscaling von Wendepplattenfräsern**
- Hochvorschub: Fräsen mit innovativen WSP Werkzeugen
- Hochvorschub: Abstechen auf höchstem Niveau

## Downscaling von Wendepplattenfräsern

**NANMILL**  
NANO ENDMILL

Downscaling von Wendeplattenfräsern
**NANMILL**  
NANO ENDMILL

NANO, der **kleinste** Schaftfräser Durchmesserbereich: 8 – 10 mm




So geht es nicht





Eine neue innovative Befestigung der Wendeplatte war notwendig, damit ein Fräser Ø 8mm realisiert werden konnte

- Downscaling von Wechselkopfbohrern
- Geometrien für 50 % höhere Produktivität
- Downscaling von Wendeplattenfräsern
- **Hochvorschub: Fräsen mit innovativen WSP Werkzeugen**
- Hochvorschub: Abstechen auf höchstem Niveau



Hochvorschubfräsen mit innovativen Fräsern


**NANO, der kleinste Hochvorschub-Schaftfräser** Durchmesserbereich: 8 – 10 mm




**NANO**, sehr kleine, stabile Wendeschneidplatte, ohne Klemmschraubenbohrung  
 Schaftfräser mit innovativer, 3-schneidiger WSP zum **Hochvorschubfräsen**  
 Vorschub bis zu **0,6 mm pro Zahn**. Kleinster Fräser-Durchmesser **8 mm**

Hochvorschubfräsen mit innovativen Fräsern


**NANO, der kleinste Hochvorschub-Schaftfräser** - Durchmesserbereich: 8 – 10 mm

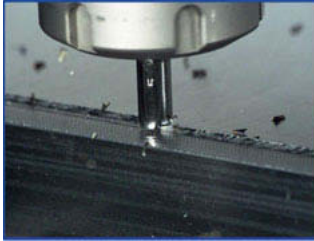



Schaftfräser mit innovativer, 3-schneidiger WSP zum **Hochvorschub-Fräsen** bis zu **0,6 mm pro Zahn**  
 Innere Kühlmittelzufuhr im Fräskörper

## Hochvorschubfräsen mit innovativen Fräsern



### NANO, der kleinste Hochvorschub-Schaftfräser



Durchmesserbereich: 8 – 10 mm




**Hochvorschub-Fräsen bis zu 0,6 mm pro Zahn.**

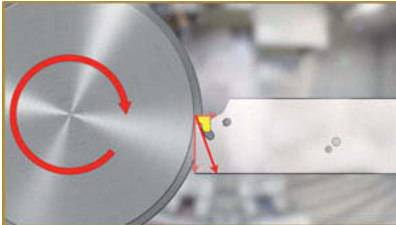
Der positive Spanwinkel reduziert die auftretenden Schnittkräfte

Die WSP-Positionierung ermöglicht große Eintauchwinkel beim **Hochvorschubfräsen**

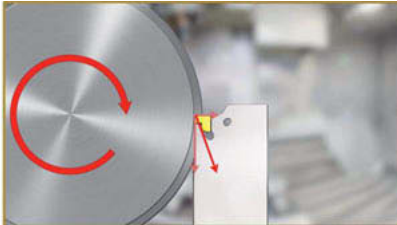
- Downscaling von Wechselkopfbohrern
- Geometrien für 50 % höhere Produktivität
- Downscaling von Wendeplattenfräsern
- Hochvorschub: Fräsen mit innovativen WSP Werkzeugen
- **Hochvorschub: Abstechen auf höchstem Niveau**

Hochvorschub - Abstechen


**Abstechen auf der X – Achsen**  
hohe Kräfte führen zur Durchbiegung



**Abstechen auf der Y– Achsen**  
Variierende Schnittkräfte erzeugen Mikrovibrationen



Hochvorschub - Abstechen


**Der Y-Achsen - Schneidenträger braucht eine Multi- Tasking - Maschine**



Multi - Tasking  
Maschinen  
18%



Drehmaschine im Markt

## Hochvorschub - Abstechen

**MULTIFGRIP**  
HIGH FEED GRIP HOLDER

- Hohe Stabilität
- Erster Auswahl für große Vorschübe
- Passt auf alle Maschinen



Drehmaschinen im Markt

# HiPIMS – Beschichtungen von heute und morgen

## HiPIMS – Die PVD-Beschichtungstechnologie von morgen?

Dr.-Ing. **Manfred Weigand**, CemeCon AG, Würselen

### Kurzfassung

Die Beschichtungstechnologie HiPIMS wird die Werkzeugbranche verändern. Sie erschließt Herstellern immer neue Anwendungsfelder und Märkte – dank ihrer enormen und einzigartigen Möglichkeiten. Von der extrem dünnen High-Performance-Schicht für Mikrowerkzeuge bis hin zur 12µm dicken Schicht für Wendeschneidplatten.

Insbesondere HiPIMS-Schichten mit 12µm ermöglichen schon jetzt Anwendungen, die bisher ausschließlich mit im CVD-Verfahren hergestellten Schichten möglich waren. Dies kann man durchaus als einen Paradigmenwechsel in der Schrupp- und Schwerzerspanung ansehen.

### 1. 12 µm dicke PVD-Schichten? Kein Problem mit HiPIMS.

Lange war es technisch undenkbar, dicke PVD-Schichten herzustellen. Mit HiPIMS sind nun erstmalig bis zu 12 µm haftfest realisierbar. Für die Bearbeitung von Guss und Stahl eröffnet das ganz neue Möglichkeiten.

Überall, wo dicke Späne fallen, so zum Beispiel bei der Schwerzerspanung und auch beim Drehen bestimmter Werkstoffe, sind schützende Beschichtungen für das Werkzeug überlebenswichtig und sorgen für eine hohe Produktivität. Sehr glatte und hafteste Schichten werden mit PVD-Beschichtungsverfahren abgeschieden. Allerdings verlangen viele Anwendungen dickere Schichten, die bislang ausschließlich im CVD-Verfahren hergestellt werden konnten.

HiPIMS ist eine Technologie, die umweltfreundlich ist und keine toxischen oder explosiven Gase nutzt. Diese PVD-Technologie vereint die Vorteile aller gängigen Beschichtungsverfahren. Die Schichten sind glatt, extrem haftfest und werden prozesssicher in sehr kurzen Beschichtungszyklen hergestellt.

HiPIMS senkt die Eigenspannungen in der Schicht deutlich. Die Arc-Technologie ist in der Massenfertigung von Wendepplatten auf ca. 6 µm Schichtdicke begrenzt, DC-Sputtern hört bei ca. 8-10µm auf – mit HiPIMS sind 12 µm möglich. Das ist ein Paradigmenwechsel bei der Schrump- und Schwerbearbeitung! Jedes µm an Schichtdicke sorgt für mehr Performance und erhöht die Standzeiten der Wendepplatten deutlich.

Damit wird erstmals auch der Beschichtungsservice von Wendeschneidplatten für bestimmte Werkzeughersteller relevant, da dicke CVD-Beschichtungen so nur sehr schwer erhältlich sind. Durch Prozesstemperaturen unterhalb von 500 Grad beim Beschichten wird das Substrat geschont und verhindert damit eine Hartmetall-Versprödung.

## **2. HiPIMS für beste Performance bei der Gewindefertigung**

Die Innengewindefertigung – ob Durchgang oder Sackloch – gehört zu den anspruchsvollsten Zerspanungsaufgaben. Als einem der letzten, wenn nicht sogar dem letzten Bearbeitungsschritt kommt ihr eine besondere Bedeutung zu. Um das fast fertige Bauteil nicht zu verausschussen, ist Prozesssicherheit oberstes Gebot. Die HiPIMS-Beschichtungstechnologie eröffnet hier enorme Möglichkeiten. Neu entwickelte Schichtwerkstoffe sind genau auf die Anforderungen der Zerspanaufgabe zugeschnitten.

Innengewinde sind in fast jedem Bauteil zu finden. Das reicht von Motorblöcken und vielen weiteren Fahrzeugbestandteilen bis zu Mobiltelefonen und Multimedia-Produkten. Sie sind so alltäglich, dass sie uns kaum noch ins Auge fallen. Dabei steckt großes Knowhow in ihrer Herstellung: Bevor sie in die Bauteile eingebracht werden, wird gefräst, gedreht, gebohrt und mehr. Erst zum Schluss kommt das Gewinde. Das macht die Gewindeherstellung zu so einem kritischen Prozess. Denn kommt es bei diesem Bearbeitungsschritt zu einem Fehler, muss im besten Fall zeitaufwendig und kostenintensiv nachgearbeitet werden, im schlimmsten Fall ist das fast fertige Werkstück Ausschuss. Prozesssicherheit ist hier also eminent wichtig.

Deswegen müssen die eingesetzten HSS-Gewindewerkzeuge nicht nur hohe Standzeiten besitzen, sondern über ihre gesamte Lebensdauer auch eine konstante Gewindegualität und -toleranz erreichen. Das stellt nicht zuletzt an die Beschichtung spezifische Anforderungen: Seit vielen Jahren sind alt hergebrachte TiN- und TiCN-Schichten die Referenzen für Gewin-

dewerkzeuge. Mit der Entwicklung von HiPIMS-Schichtwerkstoffen gibt es erstmals einen Performancesprung zu eben diesen Schichten.

Bei der Gewindeherstellung ist das Drehmoment ein entscheidender Faktor. Je niedriger es ist, umso größer ist nicht nur die Sicherheitsreserve bis das Werkzeug versagt, sondern umso besser ist im Allgemeinen die Qualität des geschnittenen bzw. geformten Gewindes. Des Weiteren müssen Materialanhaftungen an den Gewindewerkzeugen verhindert werden. Diese sind oft die Ursache für schlechte Performance. Dank der extremen Glätte und hohen Dichte sorgen HiPIMS-Schichtwerkstoffe für stabil niedrige Drehmomente und eine sichere Spanabfuhr ohne Adhäsionen. Auch das Einlaufverhalten ist dank der sehr reibungsarmen Oberfläche hervorragend. Die hohen Zähigkeiten der Schichtwerkstoffe schützen zudem die Schneiden beim Gewinden optimal. Zusammen mit der außergewöhnlichen Schichthftung ergibt sich somit ein abgestimmtes Gesamtpaket.



Bild 1: 12 µm dicke HiPIMS-Schicht auf Wendeschneidplatten



Bild 2: goldene HiPIMS-Schicht auf HSS-Gewindebohrern





# Hybride Beschichtungsprozesse für anwendungsbezogene PVD-Schichten

## Kombination unterschiedlicher Vor- und Nachbehandlungsverfahren und Beschichtungstechnologien zur Verbesserung des Einsatzverhaltens von PVD-Schichten

Dr.-Ing. **Heiko Frank**, Prof. **Frank Barthelmä**, **Hannes Joost**,  
GFE – Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung  
Schmalkalden e.V., Schmalkalden

### Kurzfassung

PVD-Hartstoffbeschichtungen werden im Bereich der Zerspanung häufig genutzt, um das Verschleißverhalten beschichteter Werkzeuge und damit deren Einsatzmöglichkeiten zu verbessern. Der jeweilige Anwendungsfall entscheidet dabei über mögliche Schichtsysteme und nutzbare Beschichtungstechnologien. Durch die Kombination verschiedener Technologien ist es möglich, die Einsatzgrenzen und Möglichkeiten durch neue Beschichtungen zu erweitern. Hierbei sind auch der Beschichtung vor- bzw. nachgelagerte Prozesse wie die Kantenpräparation der Zerspanwerkzeuge oder die Oberflächenpolitur zu berücksichtigen. Diese üben einen maßgeblichen Einfluss auf das Einsatzverhalten bei der Zerspanung aus.

Eine Kombination verschiedener Prozesse und Technologien in einem hybriden Beschichtungsprozess entscheidet über den technischen und wirtschaftlichen Erfolg der auf Zerspanungswerkzeugen abgeschiedenen Schichten. Je nach Anwendungsfall kann durch die Wahl geeigneter Parameter der jeweiligen hybriden Prozesse gezielt Einfluss auf Schicht-, Oberflächen- und Werkzeugeigenschaften genommen und so das Einsatzverhalten verbessert werden. Neben den „klassischen“ Kenngrößen einer Beschichtung wie die Schichthärte und der Verschleißwiderstand stehen auch Kenngrößen wie der Schneidkantenradius, die Oberflächenaktivierung zur Verbesserung der Haftung, die Modifizierung von Eigenspannungen, die Rauheit, der Reibkoeffizient oder die Adhäsionsneigung im Fokus bei der Entwicklung hybrider Schichtsysteme.

Der Artikel stellt verschiedene Anwendungsbeispiele und industrielle Praxisergebnisse bei der Verwendung hybrider Beschichtungsprozesse für anwendungsbezogene PVD-Schichten vor.

## 1. Einleitung

PVD-Hartstoffschichten sind geeignet, verschiedene Problemstellungen der Industrie bspw. hinsichtlich Verschleißminimierung, Standzeiterhöhung oder Reibwertoptimierung zu lösen. Sie können ebenso eingesetzt werden, um Temperaturbeständigkeit zu verbessern oder definierte optische Eigenschaften einzustellen [1]. Die Vielfalt der „üblichen Standard-Schichten“, wie bspw. TiN, TiAlN, TiCN oder CrN hat in den letzten Jahren enorm zugenommen. Entwicklungsschwerpunkte im Bereich der Hartstoffbeschichtung liegen dabei im Bereich hochharter sowie verschleiß- und temperaturbeständiger Beschichtungen für die Bearbeitung moderner Werkstoffe wie Titan- und Nickelbasislegierungen oder faserverstärkter Kunststoffe (CFK/GFK) [2] [3]. Durch die Kombination verschiedener funktioneller Elemente wie nanoskalige, sauerstoffhaltige oder auch diamantartige Strukturen können Schichteigenschaften zielgenau beeinflusst und mehrfach funktionalisiert werden. Durch Optimierung der Schichtwerkstoffe und Schichtstrukturen können so die Werkzeug- und Bauteiloberflächen entsprechend veredelt und an die jeweiligen Anwendungen angepasst werden [4].

Für die Schichtabscheidung üblicherweise eingesetzter „Standard“-Hartstoffschichten auf Nitridbasis wie bspw. TiN, TiAlN, TiCN oder CrN werden PVD-Verfahren (Arc, Sputtern) eingesetzt, aber auch der Einsatz von CVD- und PECVD-Verfahren ist möglich. Dabei wird im Bereich der Werkzeugtechnologie der überwiegende Anteil der Schichten (85 %) mittels Arc-PVD-Prozessen abgeschieden [5]. Durch die hybride Kombination verschiedener Technologien mit den klassischen Konzepten der PVD-Abscheidung ist es möglich, die Einsatzgrenzen und Möglichkeiten der Beschichtung zu erweitern. Die Kombination von Sputtern und Arc-Prozessen erlaubt bspw. eine definierte Einstellung der Schichteigenschaften hinsichtlich Abscheiderate, Rauheit und Dichte [6]. Weitere Möglichkeiten hybrider Prozesse zur Verbesserung der Schichteigenschaften sind eine pulsunterstützte Abscheidung, bspw. beim gepulsten Sputtern mit hohen Ionendichten (HIPMS) [7], die Kombination von Wärmebehandlung und Beschichtung oder auch die Nutzung von PVD und PECVD zur Abscheidung diamantartiger Schichten [8].

## 2. Hybride Konzepte für anwendungsspezifische Beschichtungsprozesse

Der jeweilige Anwendungsfall entscheidet über die jeweilig nutzbare Schicht und Beschichtungstechnologie. Hierbei ist die Kombination verschiedener Verfahren in einem hybriden Prozess (z.B. PVD mittels Arc und Sputter-Prozess gleichzeitig) möglich, um die jeweiligen Vorteile (bspw. hohe Ionisationsrate bei Arc-Prozessen und die glatte Oberfläche bei Sputter-Prozessen) zu nutzen. Neben dem Beschichtungsverfahren (Arc, Sputtern, PECVD) und der Schichtarchitektur (Zusammensetzung, Schichtfolge) entscheiden aber immer mehr auch die

vor- und nachgelagerten Prozesse über den Erfolg der Beschichtung. Die unterschiedlichen Vor- und Nachbehandlungsprozeduren üben ebenso einen großen Einfluss auf das Einsatzverhalten bei der Zerspanung aus. Neben den „klassischen“ Technologien sind im Bereich der Zerspanung die Reinigung, Kantenpräparation und Oberflächenaktivierung mittels mechanischer, thermischer und chemischer Verfahren sowie die Nachbehandlung und Oberflächenpolitur von Bedeutung. Je nach Anwendungsfall können damit durch die Wahl geeigneter Vor- und Nachbehandlungstechnologien gezielt Schicht-, Oberflächen- und Werkzeugeigenschaften beeinflusst und so das Einsatzverhalten verbessert werden. Neben den üblichen Kenngrößen einer Beschichtung wie Schichthärte und Verschleißwiderstand liegen dabei auch Parameter wie der Schneidkantenradius, die Oberflächenaktivierung zur Verbesserung der Haftung, die Modifizierung von Eigenspannungen, die Rauheit, der Reibkoeffizient oder die Adhäsionsneigung im Fokus bei der Entwicklung solch hybrider Schichtsysteme.

Die für den Einsatz der beschichteten Werkzeuge relevanten Prozesse und nutzbaren Technologien sind in Bild 1 dargestellt. Zu berücksichtigen sind hierbei die Reinigung, die Oberflächenaktivierung, die Kantenpräparation, die Beschichtungstechnologie, die Schichtfolge sowie die Nachbehandlungsprozedur. In Abhängigkeit der Anforderungen an die Schichten ergibt sich ein anwendungsspezifischer hybrider Prozessablauf mit den jeweils relevanten Technologien.

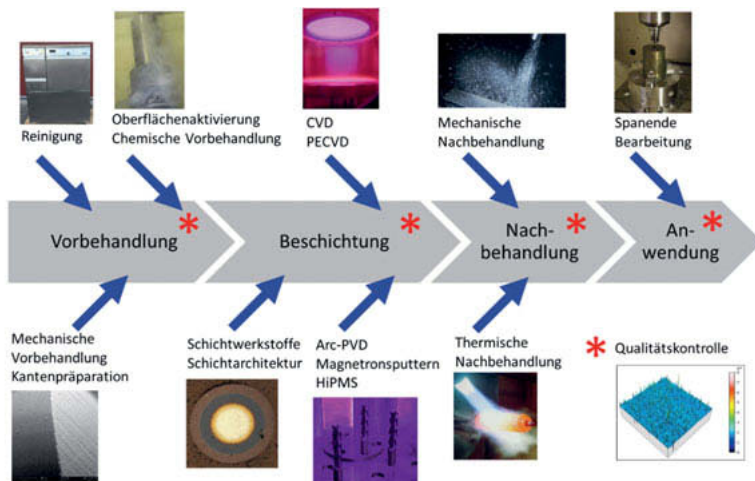


Bild 1: Anwendungsspezifischer Beschichtungsprozess

Bei der Auswahl der relevanten Prozessschritte sind die Vor- und Nachteile der jeweiligen Technologien zu berücksichtigen. In Tabelle 1 sind die Aufgaben und Vorteile sowie Nachteile verschiedener Technologien hybrider Beschichtungsprozesse zusammengefasst. Je nach Zweck der Beschichtung und dem Anwendungsfall sind relevante Prozesse stärker zu betrachten, so dass aufbauend auf den jeweiligen Randbedingungen die Auswahl einer Technologie erfolgen kann.

Tabelle 1: Zweck und Nachteile verschiedener Technologien hybrider Beschichtungsprozesse

Technologie	Aufgabe / Vorteile	Nachteile
Kantenpräparation	Modifizierung Prozesskräfte Verbesserte Haftung	Kosten
Reinigung	Saubere Oberfläche	
Chemische / thermische Vorbehandlung	Verbesserte Reinigung Oberflächenaktivierung Verbesserte Haftung	Oberflächenmodifikation Modifizierte Rauheit
Arc-PVD	Hohe Beschichtungsrate, gute Schichthaftung definierte Schichteigenschaften	Droplets
Sputtern	definierte Schichteigenschaften Geringe Rauheit	Geringe Beschichtungsrate
HiPMS	definierte Schichteigenschaften Dichte Schichten	Kosten
Plasma enhanced CVD	DLC-Schichten	Verunreinigung der Anlagentechnik
CVD	Dickere Schichten Innenbeschichtung definierte Schichteigenschaften	hohe Prozesstemperatur
Mechanische / thermische Nachbehandlung	Reduzierte Rauheit Modifizierte Eigenspannungen Verdichtung Reduzierte Reibung	Kosten Oberflächenfehler Schichtdelamination

### 3. Möglichkeiten anwendungsspezifische Beschichtungskonzepte

Im Bereich der Zerspanung ergeben sich durch vielfältige Anwendungen auch unterschiedliche Anforderungen an hybride Beschichtungsprozesse. Wesentliche Aufgabenstellungen sind dabei unter anderem

- Haftungsverbesserung,
- Reibungsreduzierung,
- Modifizierte Schichteigenspannungen,
- hohe Prozesseffizienz
- Verbesserte Schichteigenschaften (z.B. Härte, Verschleißrate)
- Kombination verschiedener Funktionen in einem Schichtsystem

Diese Zielstellungen lassen sich auf mehreren Wegen durch eine Modifizierung des anwendungsspezifischen Beschichtungsprozesses erreichen.

Um beispielsweise die Haftung von PVD-Schichten zu verbessern, können entsprechend der in Bild 1 aufgeführten Prozessschritte sowohl eine auf den Grundwerkstoff angepasste mechanische und chemische Vorbehandlung sowie eine passende Oberflächenaktivierung genutzt werden. Ebenso ist der Einsatz von Haftvermittlerschichten sowie die Nutzung spezieller eigenspannungsreduzierender Schichtwerkstoffe möglich. In Kombination dieser Möglichkeiten in einem kompletten Prozess wird es möglich, auch üblicherweise mittels PVD-Verfahren nicht oder nur schwer beschichtbare Substratwerkstoffe haftfest zu beschichten. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass eine falsch gewählte Prozedur aber auch zur Schäden am Substrat, bspw. Co-Leeching bei HM-Werkstoffen, führen kann.

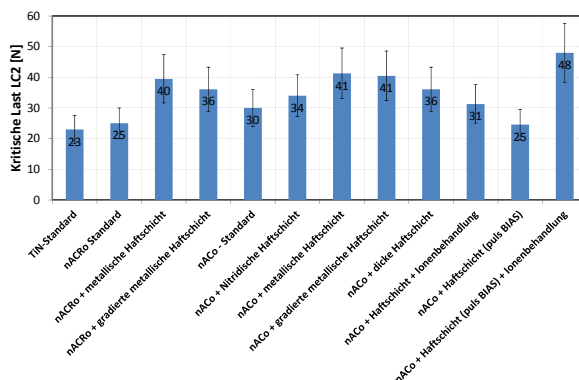


Bild 2: Haftfestigkeit von Verschleißschutzschichten auf CBN-Schneidstoffen bei verschiedenen Vorbehandlungsprozeduren und Haftvermittlerschichten

Bild 2 stellt anhand der im Ritztest ermittelten kritischen Last  $L_{c2}$  beispielhaft dar, dass durch Modifizierung von Haftvermittlerschichten und der Abscheidebedingungen eine signifikante Verbesserung der Haftung auf CBN-Schneidstoffen erreicht werden kann. In Verbindung der geeigneten Haftvermittlerschicht mit einer speziellen chemischen Vorbehandlung lassen sich so auch besonders schwer beschichtbare SiAlON-Keramiken beschichten (Bild 3).


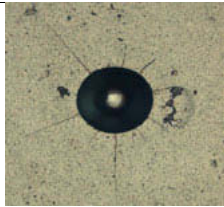
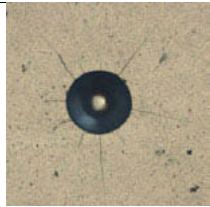
Ohne zusätzliche Vorbehandlung	alkalische Vorbehandlung	alkalische Vorbehandlung + Ionenbehandlung
HF 5	HF 3	HF 2
		

Bild 3: Rockwell-Eindruck und Haftfestigkeitsklasse (HF) von CrN-Beschichtungen auf SiAlON-Keramiksubstraten bei verschiedenen Vorbehandlungen

Auch glatte Oberflächen der beschichteten Werkzeuge können durch verschiedene Prozessmodifikationen erreicht werden. Möglichkeiten zur Reduzierung der Rauheit liegen in der Nutzung von Partikelfiltern, die größere Droplets abfangen, der Reduzierung der Dropletbildung im Beschichtungsprozess, der Nutzung von Sputterprozessen, bei denen technologiebedingt kaum Droplets entstehen sowie der Schichtnachbehandlung mittels mechanischer Verfahren. Beispielhaft sind in Bild 4 (links) Substratoberflächen bzw. Schneidkanten von Zerspanungswerkzeugen abgebildet, die mit unterschiedlichen Randbedingungen abgeschieden bzw. nachbehandelt wurden, um eine definierte Rauheit der beschichteten Oberfläche zu erhalten. Bild 4a und 4b stellen die Oberfläche einer CrN-Beschichtung dar, mit Nutzung eines Partikelfilters kann die Dropletbildung sehr stark reduziert werden.

In Bild 4 (rechts) wurden Zerspanungswerkzeuge mit einer AlTiN Beschichtung beschichtet und anschließend mit unterschiedlichen Parametern mittels Schleppscheiben nachbehandelt. Durch die Nachbehandlung lässt sich die Oberfläche sehr gut polieren, bei zu langer Bearbeitungszeit besteht die Gefahr der Schneidkantenfreilegung (Bild 4e).

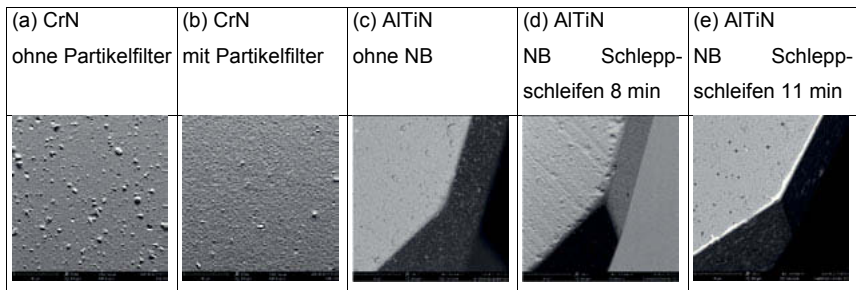


Bild 4: Links: Abscheidung einer CrN-Schicht mit und ohne Dropletfilter; rechts: Schneidkanten eines Zerspanungswerkzeuges bei Variation der Nachbehandlung (NB)

Eine Kombination verschiedener Funktionen in einem Schichtsystem ist bei Modifikation der Schichtarchitektur, der Zusammensetzung und der Abscheideprozedur ebenfalls möglich. So lassen sich durch freie Wahl der Lagenfolge verschiedene Funktionsschichten mit verschiedenen Eigenschaften integrieren, ebenso ist die Kombination von verschiedene PVD-Technologien (z.B. Arc-PVD+ Sputtern, Arc-PVD+PE-CVD) möglich. Zur Reibungsreduzierung können dabei DLC-Decklagen genutzt werden.

Ebenso sind durch Wahl geeigneter Schichtzusammensetzungen die Schichteigenschaften wie z.B. die Härte und die Eigenspannungen modifizierbar. In Bild 5 sind beispielhaft die Kaltenschliffe zweier multifunktionaler Schichten dargestellt. Durch Variation der Zusammensetzung und der Struktur der Kernschicht sowie insbesondere der Decklage können die Schichten bei einem definierten Si-Anteil bei höheren Prozesstemperaturen (Bild 5, links), oder bei Legierung mit B bei höheren mechanischen Belastungen der Werkzeuge (Bild 5, rechts) eingesetzt werden.

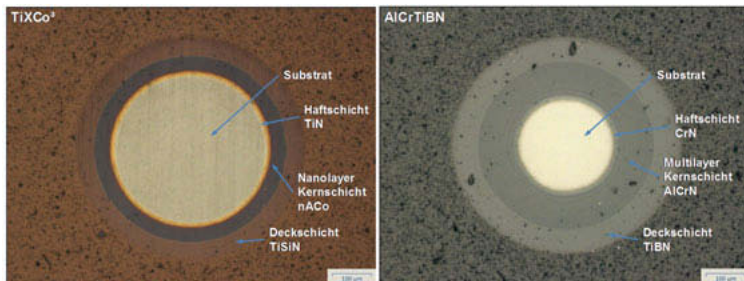


Bild 5: Beispiele multifunktionaler Schichtsysteme, links:  $\text{TiXCo}^3$  für hohe Einsatztemperaturen; rechts:  $\text{AlCrTiBN}$  mit geringen Eigenspannungen für hohe Belastungen

#### 4. Beispiele aus der industriellen Praxis

Im Bereich der Zerspaltung wird die Beschichtung der Werkzeuge üblicherweise auf der Grundlage einer „einfachen“ Prozesskette durchgeführt. Allerdings erfolgt in zunehmenden Maße der Übergang zu komplexen hybriden Systemen, um PVD-Schichten und deren Ein-satzverhalten speziell an die jeweilige Anwendung anzupassen.

##### 4.1 Beschichtung von schwer beschichtbaren Werkstoffen

Neben der Entwicklung von Schichten mit für die jeweilige Anwendung geeigneten Eigenschaften wie bspw. hohe Verschleißbeständigkeit, hohe Härte, geringe Reibung liegt die Aufgabenstellung in der industriellen Praxis vor allem in der Gewährleistung der Haftfestigkeit der Schichtsysteme. Hierbei können mechanische (Strahlen, Schleppscheiben) und chemische (Ätzen) Methoden sowie spezielle Schichtstrukturen eingesetzt werden, um insbesondere schwer beschichtbare Werkstoffe (CBN, PKD, Keramik) haftfest zu beschichten.

In Untersuchungen zum Drehen von 100Cr6 (60 HRC) konnte nachgewiesen werden, dass sich durch eine Kombination von Haftvermittlerschichten und angepassten Abscheidebedingungen PCBN-Schneidstoffe haftfest beschichten lassen. Bei der Bearbeitung mit konventionellen Parametern ( $v_c=100 \text{ m/min}$ ,  $f=0,08 \text{ mm}$ ,  $a_p=0,25 \text{ mm}$ ) zeigt sich, dass insbesondere nanolagige ( $\text{AlTiCrN}^3$ ) und nanostrukturierte ( $\text{nACo}^3$ ) Schichten mit gutem Abrasionswiderstand und geringer Wärmeleitfähigkeit zu einer signifikanten Standzeiterhöhung bei der Bearbeitung mit PCBN-Schneidstoffen führen (Bild 6).



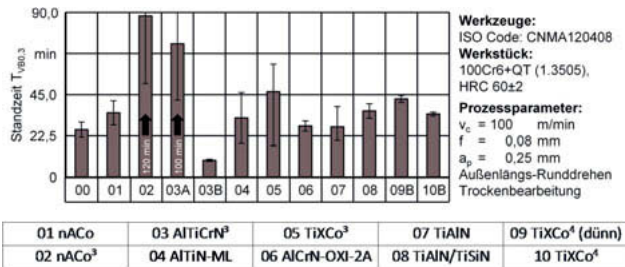


Bild 6: Standzeit beim Drehen gehärteter Werkstoffe mit unterschiedlich beschichteten PCBN-Schneidstoffen

Werden diese Konzepte von Haftvermittlerschichten und angepassten Abscheidebedingungen um geeignete Vorbehandlungsprozeduren ergänzt, lassen sich sonst auch nicht beschichtbare keramische Schneidstoffe haftfest beschichten. In Verschleißuntersuchungen beim Zerspanen von Inconel 718 konnte mit PVD-beschichteten SiAlON-Schneidplatten eine deutliche Erhöhung des Standweges gegenüber unbeschichteten Schneidplatten erreicht werden. (Bild 7). Mit der entsprechenden Vorbehandlung ist eine Steigerung des Standweges gegenüber unbeschichteten Schneidplatten auf mehr als das 3fache möglich. Hierbei korreliert der erreichbare Standweg mit der auf keramischen Schneidstoffen erzielbaren Haftfestigkeit.

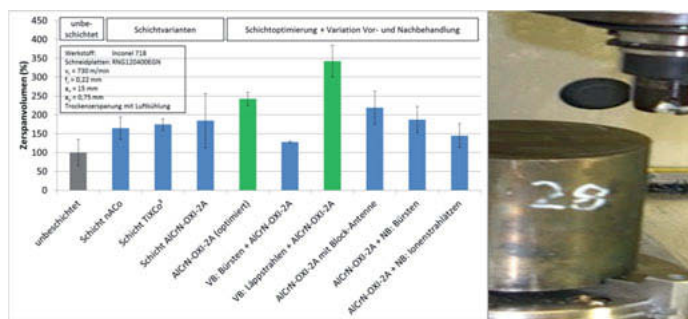


Bild 7: Einfluss der Vorbehandlung auf das Trockenfräsen von Inconel 718 mit Keramik-Schneidplatten; erreichtes Zerspanvolumen (links) und Versuchsaufbau (rechts)

Die Lösungsansätze zur Beschichtung schwer beschichtbarer Werkstoffe lassen sich auch auf die Beschichtung von PKD-Schneidstoffen anwenden. Beim Zerspanen von EN-GJS-600-3 erlauben PVD beschichtete Diamantschneidstoffe eine deutliche Steigerung des Standweges im Vergleich zu Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Keramik (Bild 8).

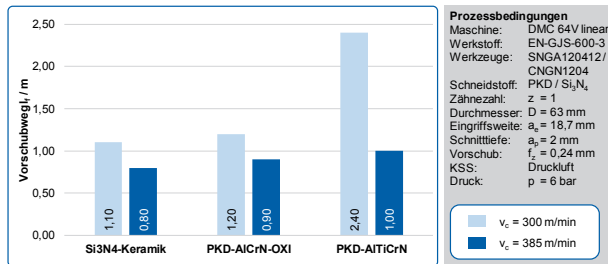


Bild 8: Standweg beim Fräsen von Gusswerkstoffen mit Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Keramik und beschichteten PKD-Schneidstoffen

#### 4.2 Bearbeitung schwer spanbarer Werkstoffe

Sollen schwer spanbare Werkstoffe wie die Nickelbasislegierungen Inconel 718 bei höheren Schnittgeschwindigkeiten bearbeitet werden, ergeben sich auf Grund höherer thermischer und mechanischer Belastungen während der Zerspanung höhere Anforderungen an die Verschleißfestigkeit der Schichten. Dabei ist neben der genutzten Schicht, dem Schneidkantenradius (ca. 4  $\mu\text{m}$ ), dem Schneidstoff (Ultrafeinstkorn-Hartmetall, 12% Co) vor allem die Nachbehandlung von entscheidender Bedeutung. Gegenüber der Referenzbeschichtung lässt sich bei vergleichsweise hohen Schnittgeschwindigkeiten von 125m/min durch Schichten mit Si-haltiger Deckschicht (TiXCo<sub>4</sub>) die Standzeit um 40 % und mit einer entsprechenden Nutzenpolitur-Nachbehandlung (NP) um ca. 75 % erhöhen (Bild 9). Bei Einsatzuntersuchungen im industriellen Umfeld, z.B. bei der Bearbeitung von Blisks, konnten diese Ergebnisse bestätigt werden.

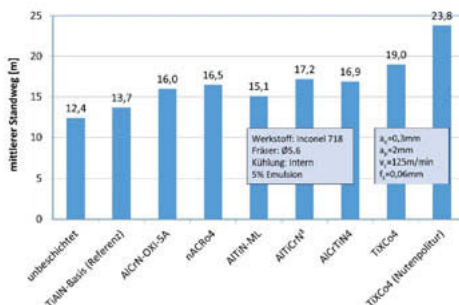


Bild 9: Standweg beim Fräsen von Inconel 718 mit unterschiedlich beschichteten Werkzeugen (links) sowie ein industriell bearbeitetes Bauteil (rechts)

Bei Verwendung kleinerer Werkzeuge ( $\varnothing$  0,5-2,0 mm) führen nanolagige und nanoskalige Schichten wie AlTiCrN<sup>3</sup> bzw. nACRo<sup>3</sup> zur Verbesserung der Werkzeugstandzeit gegenüber derzeit unbeschichtet eingesetzten Werkzeugen (Bild 10). Allerdings entscheidet im Bereich von Kleinst- und Mikrowerkzeugen vor allen die Werkzeug- und Schneidkantengeometrie und die Schichtnachbehandlung. Nur unter Berücksichtigung einer speziell angepassten Nachbehandlung mittels Polierstrahlen und nanostrukturierten Schichten konnte die Werkzeugstandzeit leicht erhöht werden. Hierbei besteht noch deutlicher Entwicklungsbedarf hinsichtlich einer weiter optimierten Nachbehandlungstechnologie.

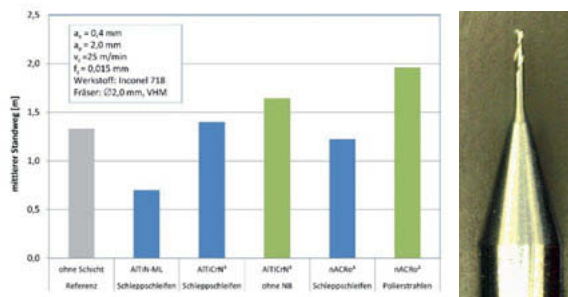


Bild 10: Standweg (links) bei der Zerspangung von Inconel 718 mit Klein- und Mikrowerkzeugen (rechts)

#### 4. Zusammenfassung

PVD-Hartstoffbeschichtungen werden im Bereich der Zerspangung genutzt, um das Verschleißverhalten beschichteter Werkzeuge zu verbessern. Durch die Kombination verschiedener Beschichtungstechnologien ist es möglich, die Einsatzgrenzen und Möglichkeiten durch neue Beschichtungen zu erweitern. Hierbei sind vor- bzw. nachgelagerte Prozesse wie die Kantenpräparation der Zerspangwerkzeuge oder die Oberflächenpolitur zu berücksichtigen. Je nach Anwendungsfall können in einem hybriden Beschichtungsprozess durch die Wahl geeigneter Parameter bei den relevanten Prozessen gezielt Einfluss auf Schicht-, Oberflächen- und Werkzeugeigenschaften wie z.B. der Haftung, der Rauheit, der Reibung oder die Schichteigenspannungen genommen und so das Einsatzverhalten verbessert werden.

Im Rahmen verschiedener Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass durch geeignete Vorbehandlungsprozeduren und spezielle Abscheidebedingungen die Haftfestigkeit verbessert und so auch schwer beschichtbare Schneidstoffe haftfest beschichtet werden können.

Ebenso wurde gezeigt, das durch Modifizierung der Beschichtungsprozedur bzw. neue anlagentechnische Konzepte und die Schichtnachbehandlung Einfluss auf die Rauheit und damit das Reibverhalten abgeschiedener Schichten genommen werden kann. In Zerspanungsuntersuchungen mit verschiedenen schwer beschichtbaren Schneidstoffen (CBN, SiAlON, PKD) sowie der Bearbeitung schwer spanbarer Werkstoffe (Inconel718) erfolgte der Nachweis der Anwendbarkeit der verschiedenen hybriden Technologien.

Durch Integration neuer Technologien in den hybriden Beschichtungsprozess wie z.B. gleichzeitige Nutzung von Sputter- und Arc-PVD-Prozessen, gepulste Abscheidung, erhöhte Ionisierungsraten, lassen sich die Einsatzgrenzen beschichteter Oberflächen deutlich erweitern. Hier gilt es, in zukünftigen Untersuchungen die Zusammenhänge zwischen realisierbaren Schichteigenschaften sowie den geeigneten Parametern der jeweiligen Prozesse zu ermitteln.

- [1] F. Barthelmä; H Frank; P. Preiß: Neuartige Beschichtungen mit optimaler Schichtvor- und Schichtnachbehandlung von Präzisionswerkzeugen; Spanende Fertigung; Prozesse, Innovationen, Werkstoffe, 7. Ausgabe (2017); Vulkan Verlag, ISBN 978-3-8027-2989-8; S. 220-228
- [2] T. Cselle and andre, "Rotating PVD Cathodes with Lifetime Guarantee or Current New Developments in the  $\pi$ -Technology," Werkzeug Technik, 25 August 2014.
- [3] VDI-Technologiezentrum Physikalische Technologien, Beschichtungen mit Hartstoffen, Springer Verlag, 2013.
- [4] V. Dalbauer, J. Ramm, S. Kolozsvári, C. N. Koller and P. H. Mayrhofer, "On the phase evolution of arc evaporated Al-Cr-based intermetallics and oxides," Thin Solid Films, vol. 644, pp. 120-128, 2017.
- [5] T. Cselle, A. Lümekemann, M. Jilek, Hybrid-Beschichtung für Zerspanung, dihw 11, Diamant Hochleistungswerkzeuge; 03/2019
- [6] A. Lümekemann, R. Zemlicka, T. Cselle, D. Blösch, M. Jilek (Jr), M. Jilek (Sr.), V. Krsek and B. Torp, "Introduction of LACS Technology – Hybrid Process: Lateral Arc & Central Sputtering," in ICMCTF 2019, San Diego, 20.05.2019.
- [7] S. Schmidt, T. Hänninen, J. Wissting, L. Hultman, N. Goebbels, A. Santana, M. Tobler and H. Högberg, "SiNx coatings deposited by reactive high power impulse magnetron sputtering: Process parameters influencing the residual coating stress," Journal of Applied Physics, vol. 121, no. 171904, 2017.
- [8] Tsuchiya, Masato, et al. Structural and electrical properties and current–voltage characteristics of nitrogen-doped diamond-like carbon films on Si substrates by plasma-enhanced chemical vapor deposition. Japanese Journal of Applied Physics. Number 6, 2016, Volume 55.

# Produktivitätssteigerung durch innovative Werkzeugmaschinenkonzepte und intelligente Steuerungstechnologie

Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. **Tolga Cayli**,  
Yamazaki Mazak Deutschland GmbH, Düsseldorf

## Kurzfassung

Die Künstliche Intelligenz (KI) ist in unserem Alltag schon längst Realität. Kommerzielle Produkte wie Cortana, Siri und Alexa funken permanent unsere Anwendungsdaten in die Cloud und lernen dank den ausgeklügelten Algorithmen ständig dazu. Auch in der zerspanenden Industrie gibt es erste industrielle Anwendungen der Künstlichen Intelligenz. Hierbei steht eine selbstlernende Maschine in einer automatisierten Fertigung im Fokus, die die Fähigkeit besitzt, Prozessentscheidungen bei unvorhersehbaren Änderungen der Fertigungsbedingungen zu treffen.

## Künstliche Intelligenz in der Werkzeugmaschine

In diesem Zusammenhang hat der internationale Werkzeugmaschinenhersteller Mazak eine Reihe von einzigartigen KI-Algorithmen entwickelt, die die Produktivität und Prozesssicherheit der Werkzeugmaschinen signifikant erhöhen. So überwacht beispielsweise Mazak's intelligente Technologie „Smooth AI Spindle“ die Bearbeitungsvibrationen mit einem in die Spindel integrierten Sensor und passt die Zerspanparameter automatisch an, um Vibrationen zu unterbinden (Bild 1).



Bild 1: Künstliche Intelligenz zur Vermeidung von Ratterschwingungen

Falls es bei der Bearbeitung zu Prozessinstabilitäten kommt, sieht die übliche Vorgehensweise so aus, dass der erfahrene Maschinenbediener die Prozessparameter und somit die Materialabtragsrate durch Anpassung am Potentiometer verringert, was allerdings auch dazu führt, dass sich die Fertigungszeiten und -kosten signifikant erhöhen. Insbesondere in Unternehmen mit einem hohen Automatisierungsgrad und einer damit einhergehenden Mehrmaschinenbedienung spielt die Reaktionszeit des Maschinenbedieners eine sehr wichtige Rolle, um katastrophale Werkzeugausbrüche und Maschinenbeschädigungen zu vermeiden.

Um den negativen Effekt der Vibrationen auf die Qualität der erzeugten Werkstückoberfläche zu reduzieren, sucht der KI-Algorithmus nach den optimalen Bearbeitungsbedingungen. Durch die sukzessive Optimierung der Zerspanbedingungen wird sowohl eine qualitativ hochwertige Werkstückoberfläche als auch eine erhöhte Produktivität erreicht (Bild 2).

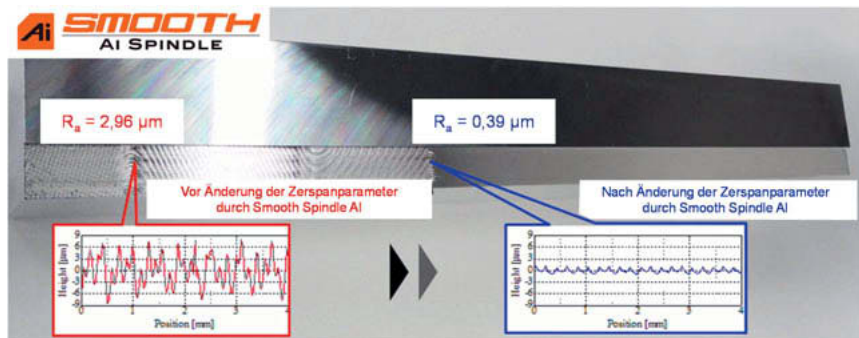


Bild 2: Erhöhung der Bearbeitungsqualität bei gleichzeitiger Erhöhung der Produktivität

## **Direct Robot Control: Zusammenspiel von Werkzeugmaschine und Roboter – einfach und intuitiv**

### **Direct Robot Control: Interplay of machine tool and robot – simple and intuitive**

Wirt.-Ing., MBA **Roman Gaida**, Mitsubishi Electric Europe B.V., Ratingen

#### **Kurzfassung**

Mit weniger Fachkräften effizienter und lösungsorientierter arbeiten – vor dieser Herausforderung stehen immer mehr Unternehmen. Darüber hinaus werden flexible Produktionen und schnellere Taktzeiten zu immer präsenteren Themen.

Die Nachfrage nach Lösungen mit einem hohen Automatisierungsgrad steigt, die größte Herausforderung ist der Integrationsaufwand für derartige Lösungen. Mit der CNC Funktionalität Direct-Robot-Control von Mitsubishi Electric können Industrieroboter von Mitsubishi Electric und Kuka in die aktuelle CNC Steuerungsserie integriert werden. Durch die neue Funktion können Inbetriebnahmen deutlich schneller durchgeführt werden, außerdem werden Schulungs- und Fachkräftebedarf erheblich gesenkt. Unternehmen können auch bei kleinen Losgrößen von der neuen Flexibilität für die eigene Produktion profitieren.

## 1. Einleitung

Damit Roboter und Werkzeugmaschinen in Zukunft noch enger zusammen arbeiten können und die Produktivität dadurch steigen kann, wurde die CNC Funktionalität „Direct Robot Control“ entwickelt. Werkstücke beladen und entladen, Werkzeuge einsetzen oder auch Bearbeitungsaufgaben die bisher nur unter enormen Zeit- und Personalaufwand umzusetzen waren, sind mit der neuen Funktion nun realisierbar. Der Steuerungstechniker kann wie gewohnt auf seiner CNC Oberfläche den Roboter verfahren und kann zusätzlich den Roboter über G-Code programmieren. Aus zwei Steuerungen für die Werkzeugmaschine bzw. Roboter ist eine geworden. In den folgenden Abschnitten wird die Funktion „Direct Robot Control“ ausführlich erklärt, es werden Bedienung / Programmierung erläutert und welche Vorteile in der Praxis durch die neue CNC Funktionalität gegeben sind.



Bild1: Direct Robot Control

## 2. Direct Robot Control: Zusammenspiel von Werkzeugmaschine und Roboter

In diesem Abschnitt wird zunächst die Funktion „Direct Robot Control“ vorgestellt, anschließend werden technische Details von der Bedienung bis zur Programmierung besprochen. Die Vorteile dieser Funktion werden am Schluss noch einmal ausführlich erklärt.



### 3.1 Direct Robot Control

Direct Robot Control wurde entwickelt, um einen Roboter einfach und intuitiv über die Oberfläche einer Mitsubishi Electric CNC Steuerung zu bedienen. Dazu wird der Roboter Controller über ein Ethernet Kabel direkt an die CNC Steuerung angeschlossen. Im 2. Schritt wird der Roboter Controller gestartet, zu diesem Zeitpunkt muss er sich im „Automatik Modus“ befinden. Im letzten Schritt wird die CNC Steuerung gestartet. Durch einen Initialisierungsbefehl der von der CNC gesendet wird starten die Servos des Roboters und der Roboter kann von der CNC aus gesteuert und programmiert werden.

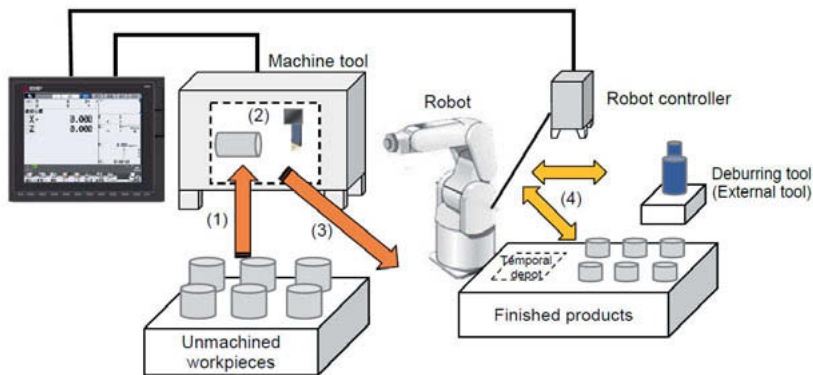


Bild 2: Konfiguration CNC und Roboter

In der Konfiguration die auf Bild (1) zu sehen ist, läuft die Werkzeugmaschine im ersten Kanal und der Roboter im 2. Kanal [1]. Durch „Direct Robot Control“ können nun umfassende Funktionen über die HMI der CNC gesteuert werden, der Roboter wird in den Arbeitsbereich der Werkzeugmaschine optimal integriert. Ohne „Direct Robot Control“ kam es nicht zur Verknüpfung zwischen Werkzeugmaschine und Roboter. In der Standardkonfiguration mussten 2 unabhängig voneinander stehende Systeme programmiert werden, um eine möglichst effektive Produktion zu garantieren.

### 2.1 HMI

Die Bedienung des Roboters erfolgt nicht mehr über die Teaching Box bzw. über das Smart Panel, sondern direkt über die Oberfläche der aktuellen M8 Steuerungsserie. Der Anwender kann verschiedene Displaygrößen wählen, bis hin zu einem 19" Touchscreen. Der Screen des

Roboters zeigt alle grundlegenden Informationen an, zum Beispiel den Status des Roboters oder auch in welchem Koordinatensystem sich der Roboter gerade befindet.

Die rechte Seite von Bild 3 zeigt den ersten Teil der Roboter HMI. Ein Zugriff auf den Roboter kann nur erfolgen, wenn die obere Statusleiste grün ist und „Connected“ angezeigt wird. Im „Drv Sys Status“ wird der Status des Antriebssystems des Roboters angezeigt [2]. Damit der Roboter ein NC Programm ausführt, muss dieser in der „Robot OP Mode“ auf „Auto“ stehen. Im Status „Manual“ kann der Roboter programmiert werden und im JOG bzw. Handle Modus verfahren werden. Auf der rechten Seite kann der Maschinenbediener das jeweilige Koordinatensystem (Achsspezifisches Koordinatensystem / Welt - Koordinatensystem / Base Coordinate System Mode / Tool Coordinate System Mode) auswählen.

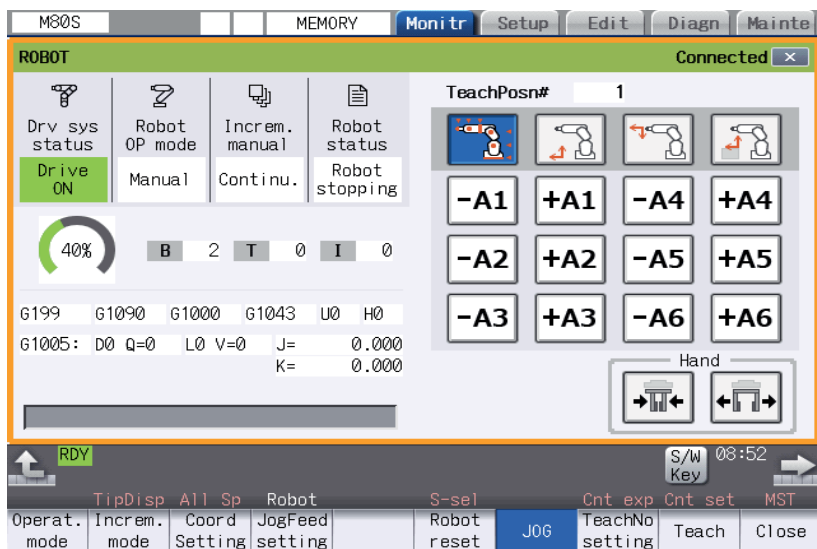


Bild 3: HMI (1)

Es lässt sich beispielsweise im achsspezifischen Koordinatensystem jede Achse in negativer bzw. positiver Richtung bewegen (A1 – A6) [3].

## 2.2 Programmieren

„Direct Robot Control“ ermöglicht das Programmieren des Roboters über die CNC-basierte Programmiersprache G-Code. Dadurch kann der Steuerungstechniker an der Maschine den Roboter steuern beziehungsweise programmieren und befindet sich gleichzeitig auf seiner gewohnten Oberfläche und Sprache.

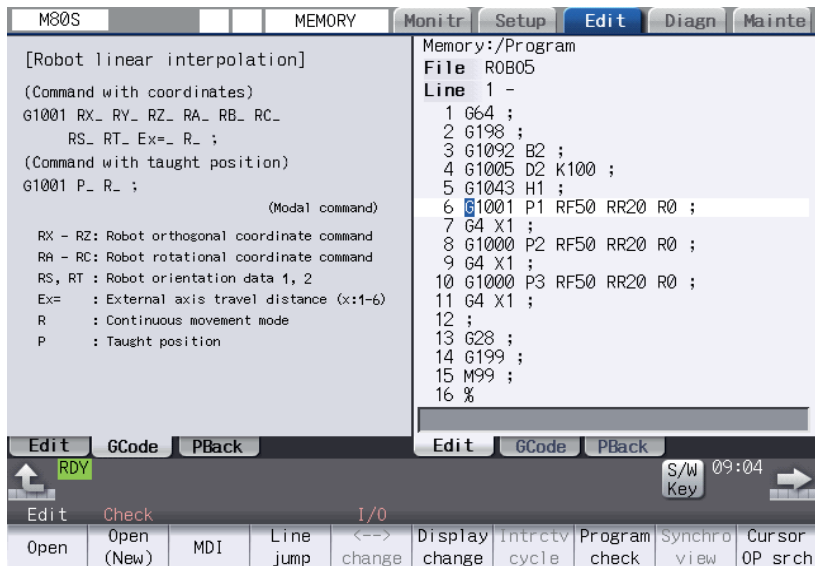


Bild 4: Generierter G-Code

Außerdem besteht die Möglichkeit den Roboter über die HMI zu teachen. Dazu werden die gewünschten Punkte Manuell angefahren und jeder Punkt eingespeichert. Im nächsten Schritt kann automatisch ein G-Code basiertes Programm aus den „Teaching“ Punkten generiert werden [4].

Das „Teaching“ setzt sich aus folgenden Punkten zusammen [5]:

1. Anwählen des „JOG“ Modus
2. Anfahren einer Position
3. Auswählen einer „Teaching“ Positionsnummer über „TeachNoSetting“
4. „Teach“ auswählen

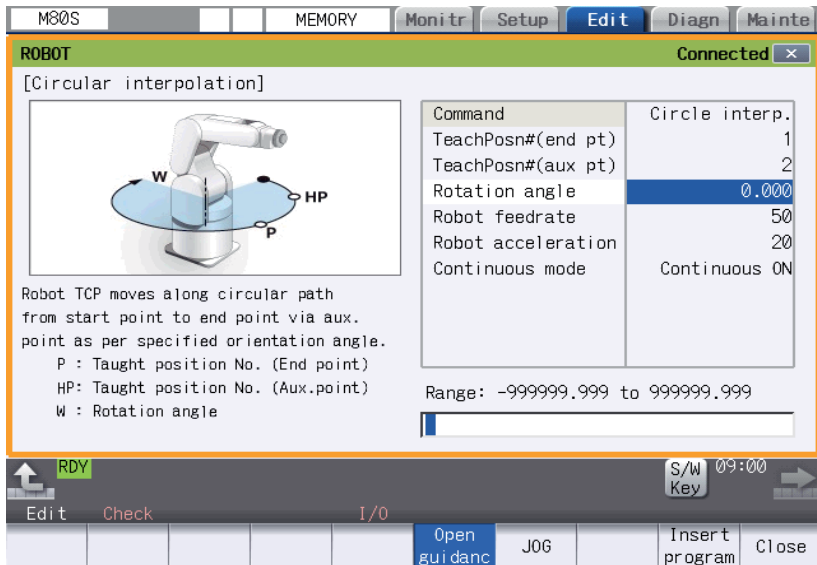


Bild 5: HMI(2)

Eine weitere Hilfestellung für den Anwender befindet sich in den Roboter Einstellungen. Dort können verschiedene Parameterwerte gesetzt werden. Es können beispielsweise Werte für die Beschleunigung oder Vorschubgeschwindigkeit des Roboters eingestellt werden (Bild 5) und jedem einzelnen „Teaching“ Punkt zugeordnet werden.

## 2.3 Bewegungsarten

Es gibt drei unterschiedliche Interpolationsarten den Roboter zu verfahren [6]:

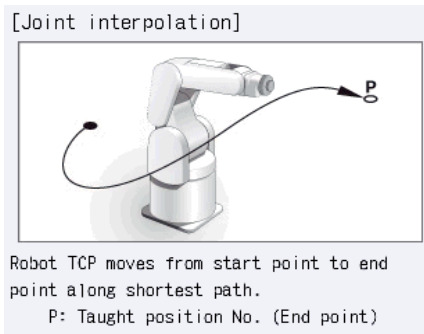


Bild 6: Joint Interpolation

Die gängigste Variante ist die „Joint Interpolation“ (Bild 6). Der Roboter bewegt sich so, damit die Achse mit dem größten Verfahrweg so schnell wie möglich verfahren wird. Der Pfad wird durch den Roboter bestimmt. Diese Interpolationsart ist die schnellste Möglichkeit einen Roboter von dem Startpunkt zum Zielpunkt zu bewegen.

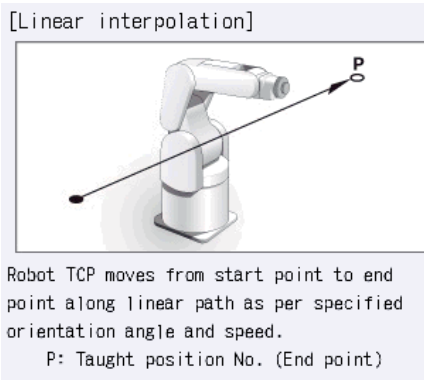


Bild 7: Linear Interpolation

In der „Linear Interpolation“ (Bild 7) verfährt der Roboter mit einer definierten Geschwindigkeit einer Geraden entlang. Diese Art erfordert eine hohe Rechenleistung, da alle Achsen aufeinander abgestimmt sein müssen. Diese Art wird häufig in engen Arbeitsräumen genutzt, da eine bessere Abschätzung der Bewegung möglich ist [7].

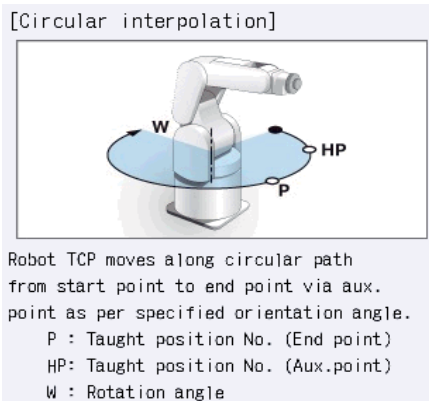


Bild 8: Circular Interpolation

Bei der 3. Art handelt es sich um die „Circular Interpolation“ (Bild 8). Der Roboter verfährt in einer Kreisbewegung mit einer definierte Geschwindigkeit zum Ziel [8].

### 3. Anwendungen

In der Praxis ergeben sich zwei Hauptanwendungsfelder:

1. Handling-Aufgaben
2. Bearbeitungsaufgaben

Die verschieden einsetzbaren Robotertypen erlauben ein besonders breites Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten im Zusammenspiel mit einer Werkzeugmaschine. Zu den Handling-Aufgaben gehören das Be- und Entladen der Werkzeugmaschine oder auch die Bereitstellung von neuen Werkzeugen um den Materialfluss zu erhöhen und um eine maximale Produktionsflexibilität zu erreichen. Besonders bei großen Drehmaschinen haben sich in diesem Feld neue und vielfältige Anwendungsmöglichkeiten ergeben.

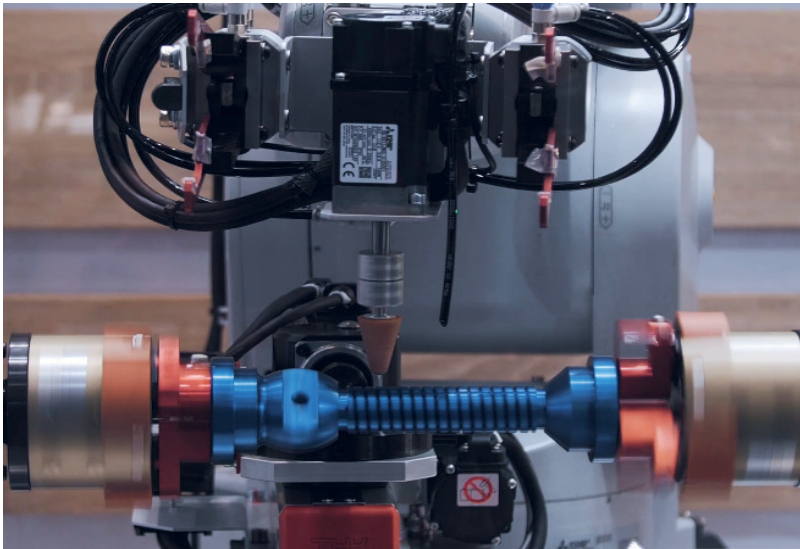


Bild 9: Beispielapplikation mit „Direct Robot Control“

Zu den Bearbeitungsaufgaben gehören entgraten und schleifen eines Bauteils. Das Bild 9 zeigt eine Applikation mit einem Roboter der Handling-Aufgaben und Bearbeitungsaufgaben durchführen kann.

#### 4. Zusammenfassung

Die neue CNC Funktionalität Direct-Robot-Control von Mitsubishi Electric macht die Automatisierung von Werkzeugmaschinen zukünftig viel einfacher: Ohne den hohen Integrationsaufwand der zuvor notwendig gewesen ist, kann der Roboter verschiedene Aufgaben wie das Be- und Entladen oder Bearbeitungsaufgaben übernehmen. Roboter werden künftig eine immer höhere Bedeutung in der modernen Fertigung bekommen. Diese Funktion ist die Grundlage für neue Anwendungsmöglichkeiten in der Welt der Werkzeugmaschinen.

## Literatur

- [1 bis 6] Direct Robot Control, Specifications Manual, Mitsubishi Electric Corp., Tokyo 2018
- [7 bis 8] Heim, A: Modellierung, Simulation und optimale Bahnplanung bei Industrierobotern. München: Herbert Utz Verlag 1999



# Einzelteillfertigung oder Massenproduktion

## Innovative CNC-Fräsfunktionen der Sinumerik als Basis für eine erfolgreiche Fertigung

Dipl.-Ing. **Armin Blaschke**, Dipl.-Ing. **Karsten Schwarz**,  
Siemens AG, Erlangen

### Kurzfassung

CNC-Werkzeugmaschinen sind heute selbstverständlicher Bestandteil in der mittelständischen Lohnfertigung, Musterbau, Formenbau und der Zulieferindustrie generell.

Hier sind die Anforderungen gegensätzlich zu denen in der Großserienfertigung.

Kleine Losgrößen erfordern ständige Wechsel der Werkstücke in den Bearbeitungsmaschinen. Damit werden gänzlich andere Anforderungen an den Bedienkomfort und Funktionalität der CNC gestellt. Die gesamte Bedienung muss weitestgehend den Gewohnheiten des Bedieners entsprechen und darf nicht kompliziert sein. Eine einfache und logische Bedienung entscheidet nicht unwesentlich über die spätere Produktivität und Wirtschaftlichkeit der Maschine. Gut durchdachte MMI (Man-Machine-Interface = Mensch-Maschine-Schnittstelle) oder auch HMI (Human-Machine-Interface) erfahren inzwischen einen sehr hohen Stellenwert.

### 1. Allgemeines

Die Werkstückprogramme können entweder direkt an der Maschine programmiert oder auch über ein CAD/CAM-System oder ein Arbeitsvorbereitungsprogramm erzeugt und müssen dann via Netzwerk oder USB-Stick in die Maschine gebracht werden. Bei Bedarf müssen an der Maschine diese Programme zusätzlich modifiziert werden. Es ist nicht selbstverständlich, dass ausgebildete Facharbeiter die CNC-Maschinen im mittelständischen Umfeld bedienen. Aufgrund von Fachkräftemangel oder des hohen Kostendrucks besonders in den Hochlohnländern findet man oft angelernte Hilfskräfte an den Maschinen. Umso wichtiger ist es, dass die Bedienoberfläche logisch strukturiert und möglichst komfortabel ist. Moderne CNCs wie die Sinumerik von Siemens unterstützen heute den gesamten Prozess der Werkstückfertigung. Begonnen wird mit dem Einrichten der Maschine, d. h. neben dem Einlesen des NC-Programmes muss der Werkstücknullpunkt aufgenommen und die für die Fertigung des Werkstücks notwendigen Werkzeugdaten der Steuerung mitgeteilt werden. Üblicherweise besitzen CNCs dafür Messfunktionen, sowie eine Daten- und Werkzeugverwaltung. Abhängig von der

Komplexität des Bauteils, der Erfahrung des Maschinenbedieners und der Struktur des jeweiligen Produktionsbetriebes kann es gerade bei kleinen Losgrößen sinnvoll sein, immer noch sinnvoll sein die Programme direkt an der Maschine in die Steuerung einzutippen. Für das direkte Programmieren an der Maschine gibt es verschiedene Möglichkeiten. Im einfachsten Fall werden vom Maschinenbediener direkt G-Code-Befehle in die Steuerung eingegeben. Allerdings sind dabei die Übersichtlichkeit und Lesbarkeit eingeschränkt, was bei mehrschichtiger Benutzung einer Maschine durch verschiedene Bediener zu Problemen führen kann. Die Sinumerik 840D sl/828D bietet eine umfangreiche Unterstützung durch Bearbeitungsmakros oder Zyklen an. Diese gibt es sowohl für die Technologien Drehen als auch Fräsen. Diese Technologiezyklen fassen Bearbeitungsoperationen wie z. B. Zentrieren, Bohren, Gewinde-schneiden, Abstechen, Plandrehen, Planfräsen usw. in Unterprogramme zusammen. Daten wie Zustelltiefe, Rückzugsebene, Vorschub, Spindeldrehzahl usw. müssen vom Bediener nur noch parametrisiert werden, der gesamte Bewegungsablauf wird dann vom Unterprogramm bzw. Zyklus umgesetzt (Bild 1 und Bild 2).

Die Sinumerik bietet zusätzlich noch eine grafische Programmierunterstützung an, d. h. die Bearbeitungszyklen werden durch leicht verständliche Grafiken und Simulationen unterstützt. Oft findet man alle Arten der Programmierung vom CAD/CAM bis hin zur direkten Eingabe in die Steuerung in einer mittelständischen Fertigung. Wer welche Programmierart favorisiert, hängt ab von der Ausbildung, den regionalen Gewohnheiten, der Organisation der jeweiligen Firma und natürlich auch von den gegebenen Möglichkeiten der eingesetzten CNC.

Die aktuellen Sinumerik-Modelle sind in der Lage alle Programmiermethoden zu unterstützen. Jedoch macht es wenig Sinn, in jedem Produktionsumfeld alle Methoden zum Einsatz zu bringen. In der Großserienfertigung wird man kaum die Zyklentechnik

bzw. die grafische Programmierung favorisieren, da aufgrund der hohen Losgrößen das Werkstückprogramm optimiert werden muss und die Zyklen meist wenig Spielraum für die Änderung des Bearbeitungsablaufs bieten. Zusammengefasst, je kleiner die Losgröße, umso eher macht es Sinn, direkt an der Maschine mit den angebotenen Funktionen der Sinumerik zu programmieren.

## 2. Ausgewählte Funktionen

Mit der Bedienoberfläche SINUMERIK Operate steht Ihnen eine übersichtliche und intuitive Bedien- und Programmieroberfläche zur Verfügung. Diese bietet Ihnen neben einem einheitlichen Look & Feel für Drehen und Fräsen auch die Verbindung von Arbeitsschritt- und Hochsprachen-Programmierung unter einer Systemoberfläche. Darüber hinaus enthält SINUMERIK Operate

leistungsstarke Funktionen für das Einrichten, das Programmieren und den Betrieb von CNC-Werkzeugmaschinen (Bild 3).

Zu den charakteristischen Merkmalen von SINUMERIK Operate zählen:

- HMI Advanced, ShopMill und ShopTurn sind unter einer Oberfläche vereint
- intuitive und übersichtliche Bedienung und Programmierung inklusive

Animated Elements

- Darstellung im modernen Windowsstyle
- neue starke Funktionen ...
- Einrichten, Programmieren, Werkzeug- und Programm-Management
- für Komplettbearbeitung
- Mehrkanalität mit ShopTurn für mehrkanalige Maschinen, unter anderem Synchronisieren von Programmen mit programSYNC und vieles mehr...
- CNC-Programmierung für höchste Produktivität mit programGUIDE
- Arbeitsschrittprogrammierung für kürzeste Programmierzeit mit ShopMill und ShopTurn.

Werkzeugverwaltung der Sinumerik bedeutet effizientes Management der Werkzeugdaten inkl. aller Details und Schwesterwerkzeughandling.

Mit Hilfe des Programm-Manager wird Zeitersparnis durch komfortable Datenübertragung und einfaches Programmhandling erreicht.

Der programGUIDE bietet bereits im Standard ein Maximum an Produktivität und Flexibilität in der Programmierung und kombiniert mit innovativen Technologie- und Bearbeitungszyklen mit Hochsprachen – und G-Code-Befehlen.

ShopTurn/ShopMill bietet zusätzlich zum programGUIDE die einzigartige, grafisch unterstützte Arbeitsschrittprogrammierung für kürzeste Programmierzeiten in der Einzelteilefertigung.

Die Digitalisierung verändert die Produktion nachhaltig. Maschinenhersteller und -betreiber können so flexibler auf Marktanforderungen reagieren und ihre Produktivität steigern. Mit der Digital Enterprise Suite bietet Siemens ein durchgängiges Hard- und Software-Portfolio für das digitale Unternehmen. Speziell auf die Anforderungen im Bereich Werkzeugmaschinen zugeschnitten, ermöglicht CNC Shopfloor Management Software die Verwaltung, Analyse und Optimierung von Werkzeugmaschinen – unabhängig vom Hersteller der verwendeten Steuerung.

Z.B. SINUMERIK Edge ist eine sichere und offene Plattform, um relevante Daten der Werkzeugmaschine zu nutzen und die Qualität der Fertigung mit individuellen Applikationen entscheidend zu verbessern. Es können hochfrequente Maschinendaten erfasst werden, um die Werkstückqualität, die Maschinengeschwindigkeit und die Prozessstabilität zu verbessern. Mit den Manage MyResources-Anwendungen können die Ressourcennutzung der Werkzeugmaschinen gezielt optimiert werden und so die Maschineneffizienz deutlich steigern. Manage MyResources macht die Maschinendaten transparent und ermöglicht somit einen vollständigen Überblick der Maschinenressourcen und Möglichkeiten, diese optimal einzusetzen. Das Digitalisierungsangebot reicht beim Maschinenbauer vom Maschinenkonzept über das Engineering bis hin zur Inbetriebnahme und Service. Für den Maschinenbetreiber deckt die Palette an Digitalisierungslösungen dessen gesamte Wertschöpfungskette von der Produktentwicklung und Produktionsplanung bis hin zur eigentlichen Produktion und zum digitalen Service ab. Siemens bietet Lösungen, welche die realen Prozessketten des Maschinenbauers und des Maschinenbetreibers durchgängig als digitalen Zwilling (Digital Twin) in der virtuellen Welt abbilden können (Bild 4).



Bild 1: Einsatz der verschiedenen Programmiermethoden im Umfeld der metallzerspanenden Industrie. Je nach Firmenorganisation, Erfahrung des Personals oder Art der Fertigung können die Ansätze verschieden sein.

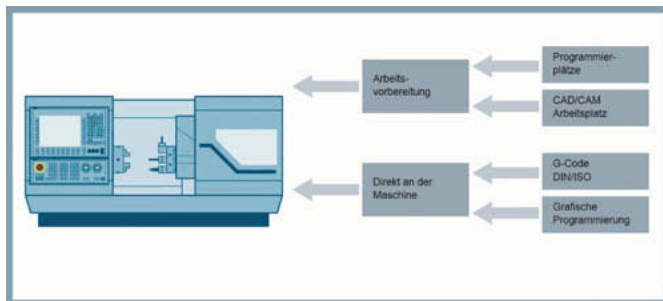


Bild 2: Mit der Sinumerik werden alle Methoden der NC-Programmerstellung unterstützt

### SINUMERIK Operate

Das einfach verständliche Bedienerinterface erleichtert die Nutzung einer komplexen Werkzeugmaschine

**SIEMENS**  
*Ingenuity for life.*

Bedienung wie am PC	Durchgängig für alle Technologien	Intuitives Einrichten	Für jede Art der Programmierung	Onboard Diagnose und Optimierung	Lernen und Programmieren am PC
<ul style="list-style-type: none"> <li>Onboard Hilfe mit bewegten Bildern</li> <li>Kontextsensitives grafisches Hilfesystem</li> <li>Übersichtliche Datenverwaltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Durchgängiges Bedien- und Programmierkonzept für alle Bearbeitungstechnologien</li> <li>Drehen, Fräsen, Schleifen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grafisch interaktives Einrichten der Maschine</li> <li>Intuitives und leistungsfähiges Verwalten von Werkzeugen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO-Code</li> <li>programGUIDE (Technologiezyklenunterstützung)</li> <li>ShopMill Arbeitsschrittprogrammierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Servo- und Antriebsoptimierung</li> <li>Signal-, Bus- und Netzwerkdiagnose</li> <li>Wartungs- und Servicetools</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SinuTrain für SINUMERIK Operate</li> <li>Steuerungsidentisches Bedienen und Programmieren am PC</li> </ul>

Bild 3: Sinumerik Operate – die intuitive Bedienoberfläche für moderne Werkzeugmaschinen

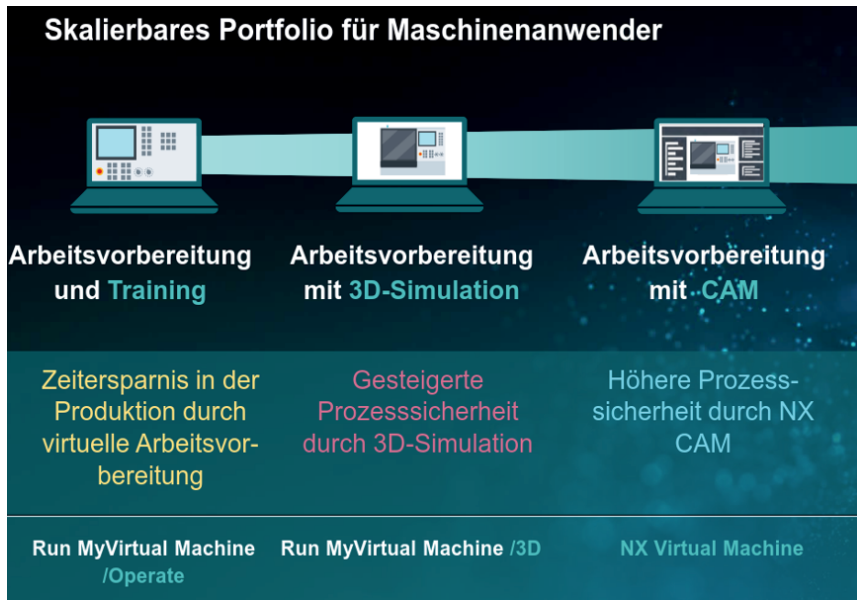


Bild 4: Der digitale Zwilling ist ein wichtiges Tool für die Unterstützung der Arbeitsvorbereitung

# Errungenschaften, Rückschläge und zukünftige Anwendungen des maschinellen Lernens in der Zerspanung

**Thomas Bergs, Daniel Schraknepper, Max Schwenzer,**  
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University, Aachen

## Gliederung

- 1 Beispiel: Bruchüberwachung (k-means)
- 2 Grundlagen des maschinellen Lernens und Einordnung
- 3 Beispiel: Verschleißerkennung beim Fräsen (SVM, RF)
- 4 Beispiel: Bilderkennung (Neuronale Netze)
- 5 Maschinenlernen: Intelligente Produktionssysteme
- 6 Zusammenfassung und Fazit

## Gliederung

- 1 Beispiel: Bruchüberwachung (k-means)
- 2 Grundlagen des maschinellen Lernens und Einordnung
- 3 Beispiel: Verschleißerkennung beim Fräsen (SVM, RF)
- 4 Beispiel: Bilderkennung (Neuronale Netze)
- 5 Maschinenlernen: Intelligente Produktionssysteme
- 6 Zusammenfassung und Fazit

**Beispiel: k-means (unsupervised learning)**  
**automatische Erkennung von Werkzeugbruch beim Bohren**

**TAK**  
**TECHNOLOGIE-ARBEITSKREIS**

Reihenfolge

Für **340** Tage  
 Wurde das Wirkleistungssignal in der industriellen Fertigung überwacht.

Insgesamt wurden **570.119** Bohroperationen aufgezeichnet.

Es kamen **7** verschiedene Werkzeuge zum Einsatz, die **114** programmierte Typen von Bohroperationen fertigten.

**Big Data**  
 Big data is data sets that are so voluminous and complex that traditional data-processing application software are inadequate to deal with them.  
[Mehr auf Wikipedia \(DE\)](#)

Wie detektiert man Werkzeugbrüche beim Bohren ohne einen festen Schwellenwert für jede Operation zu definieren?

**Beispiel: k-means (unsupervised learning)**  
**automatische Erkennung von Werkzeugbruch beim Bohren**

**TAK**  
**TECHNOLOGIE-ARBEITSKREIS**

Reihenfolge

**Video**

Wie detektiert man Werkzeugbrüche beim Bohren ohne einen festen Schwellenwert für jede Operation zu definieren?



Reihenfolge

**Beispiel: k-means (*unsupervised learning*)**  
**automatische Erkennung von Werkzeugbruch beim Bohren**

**381** Anomalien  
Entdeckt, die mit **20** Werkzeugbrüchen  
korrelieren.

Algorithmen des  
***unsupervised learning***  
 können Anomalien wie Brüche zuverlässig und automatisiert erkennen.

Die Transparenz kann unerwarteten zusätzlichen Nutzen generieren.

**TAK**  
 TECHNOLOGIE-ARBEITSKREIS

Wie detektiert man Werkzeugbrüche beim Bohren ohne einen festen Schwellenwert für jede Operation zu definieren?

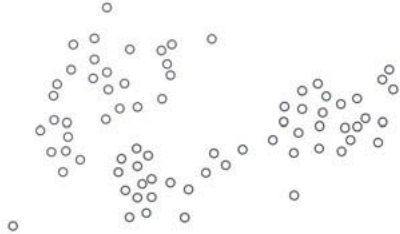
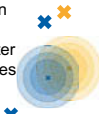
## Gliederung

- 1 Beispiel: Bruchüberwachung (k-means)
- 2 Grundlagen des maschinellen Lernens und Einordnung
- 3 Beispiel: Verschleißerkennung beim Fräsen (SVM, RF)
- 4 Beispiel: Bilderkennung (Neuronale Netze)
- 5 Maschinelles Lernen: Intelligente Produktionssysteme
- 6 Zusammenfassung und Fazit

### Wie findet man Anomalien in Signalen?

#### unsupervised learning: k-means

1. Man startet mit  $k$  zufällig verteilten Cluster-Zentren
2. Jeder Datenpunkt wird dem Cluster zugewiesen, zu dessen Zentrum es den geringsten Abstand hat
3. Die Cluster-Zentren werden in die Mitte ihrer Mitglieder verschoben
4. Wiederholen 2.-3. ↻



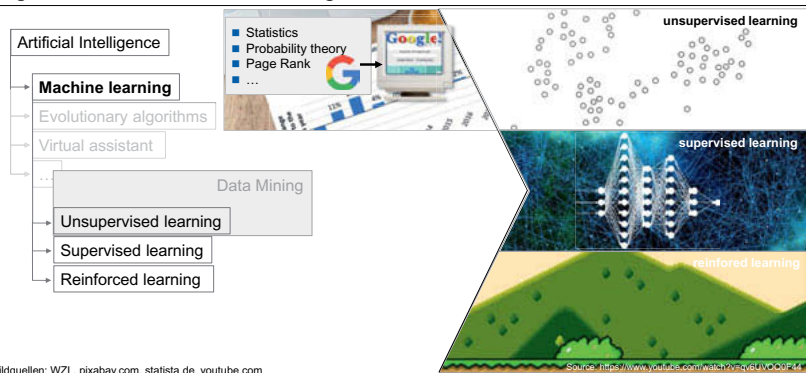
### Zwischenfazit

was versteht maschinelles Lernen als „lernen“?

**Learning :=**  
**getting better**  
**through ~~practice~~**  
**repetition** [Mars15]

## Grundlagen

### Begrifflichkeiten der künstlichen Intelligenz & des maschinellen Lernens



## Gliederung

- 1 Beispiel: Bruchüberwachung (k-means)
- 2 Grundlagen des maschinellen Lernens und Einordnung
- 3 Beispiel: Verschleißerkennung beim Fräsen (SVM, RF)
- 4 Beispiel: Bilderkennung (Neuronale Netze)
- 5 Maschinenlernen: Intelligente Produktionssysteme
- 6 Zusammenfassung und Fazit

Beispiel (supervised learning)


Klassifizierung des Standzeitendes von Schaftfräsern

[Schw19b]


Daten (100%)


Trainingsdaten(70%)

Testdaten(30%)




Zufällig ausgewählt







Gerade  
1-100




Gerade  
101-150




Gerade  
151-300




Gerade  
301-350



Schaufeln  
1-10



Gerade  
451-550



Schaufeln  
11-20

Bildquellen: WZL

Beispiel (supervised learning)


Klassifizierung des Standzeitendes von Schaftfräsern

[Schw19b]

Signale

- Kopplung verschiedener Quellen: Ströme, Kräfte, Eingriffsbedingungen
- Signale:  $F_t$ ,  $F_r$ ,  $F_z$ ,  $I_{qt}$ ,  $I_{qr}$ ,  $I_{qz}$ ,  $h$ ,  $b$
- hohe Signalqualität

⇒ 8 · 3 Features



Features

- Die Signale beschreibende Charakteristika
- Mittelwert, Maximum, Standardabweichung über 5 Werkzeugumdrehungen

Analysis

- SVM (Support Vector Machine): löst ein Optimierungsproblem. Maximiert den minimalen Abstand zweier Gruppen
- RF (Random Forest): Mehrere Entscheidungsbäume werden aus einer Untermenge aller Features erzeugt. Mehrheitsentscheidung.

SVM		RF	
A	B	A	B
98%	39%	87%	60%
99,8%	2,7%	99,9%	2,5%
2%	61%	13%	31%
0,2%	97%	0,1%	98%

Bildquellen: Mazak.eu, mathworks.com, NI.com, WZL

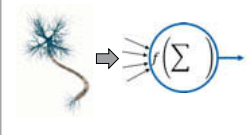
<https://doi.org/10.51202/9783191023824> - Generiert durch IP 216.73.216.36, am 19.01.2025, 08:56:51. © Urheberrechtlich geschützter Inhalt. Ohne gesonderte Erlaubnis ist jede urheberrechtliche Nutzung untersagt, insbesondere die Nutzung des Inhalts in Zusammenhang mit, für oder in KI-Systemen, KI-Modellen oder Generativen Sprachmodellen.

## Gliederung

- 1 Beispiel: Bruchüberwachung (k-means)
- 2 Grundlagen des maschinellen Lernens und Einordnung
- 3 Beispiel: Verschleißerkennung beim Fräsen (SVM, RF)
- 4 **Beispiel: Bilderkennung (Neuronale Netze)**
- 5 Maschinenlernen: Intelligente Produktionssysteme
- 6 Zusammenfassung und Fazit

## Neuronale Netze supervised learning

- Das Gehirn als Inspiration: Neuron



- Marvin Minsky begründet die NN Theorie („The Society of Mind“): Das Gehirn besteht aus vielen simplen Agenten
- Baute 1951 das erste Neuronale Netz (40 Neuronen)

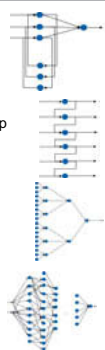
[nature.com/articles/530282a](https://doi.org/10.5120/9789191023824)

- Sehr viele Freiheitsgrade
  - Struktur
  - Anzahl Ebenen
  - Anzahl Neuronen pro Ebene
  - Aktivierungsfunktionen
  - Trainingsmethoden
  - ...

- Iterativ: Ausgleichsfunktion aller Trainingsbeispiele
- Parallelisierbar → GPU
- Biased (Gleichverteilte Beispiele wichtig)
- Anfällig für „overfitting“

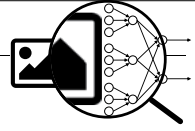
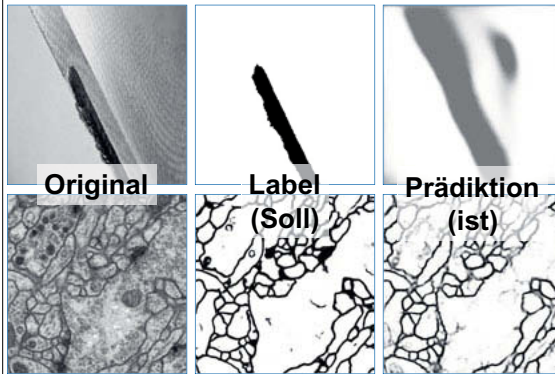
- Strukturen

- Recurrent (Gedächtnis)
- Self-organizing map (Umgebung)
- Convolution (Faltung, Filterung zur Bilderkennung)
- Deep (Intuition)



### Beispiel: Neuronale Netze

#### Detektion von Verschleißregionen in Mikroskopaufnahmen



- Convolutional Neural Networks (CNN) zur Bildsegmentierung
- Anhand vieler Beispiele erlernt der Algorithmus wie etwas aussieht
- Sehr gut bei deutlich unterscheidbaren Merkmalen (Zellwand zu Zellkörper)
- Keine direkte Übertragung auf Verschleißbilder → **aktuelle Forschung**
- Klassische Bildverarbeitung bisher zielführender

Bildquellen: [Ronni15], WZL

### Gliederung

- 1 Beispiel: Bruchüberwachung (k-means)
- 2 Grundlagen des maschinellen Lernens und Einordnung
- 3 Beispiel: Verschleißerkennung beim Fräsen (SVM, RF)
- 4 Beispiel: Bilderkennung (Neuronale Netze)
- 5 **Maschinenlernen: Intelligente Produktionssysteme**
  - 5.1 Exzellenzcluster "Internet of Production"
  - 5.2 Beispiel: Kraft-/Qualitätsregelung beim Fräsen (MPC)
- 6 Zusammenfassung und Fazit

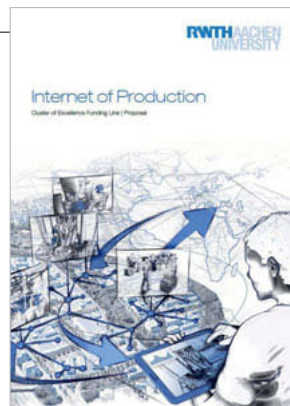
## Gliederung

- 1 Beispiel: Bruchüberwachung (k-means)
- 2 Grundlagen des maschinellen Lernens und Einordnung
- 3 Beispiel: Verschleißerkennung beim Fräsen (SVM, RF)
- 4 Beispiel: Bilderkennung (Neuronale Netze)
- 5 Maschinenlernen: Intelligente Produktionssysteme
  - 5.1 Exzellenzcluster "Internet of Production"
  - 5.2 Beispiel: Kraft-/Qualitätsregelung beim Fräsen (MPC)
- 6 Zusammenfassung und Fazit

### Exzellenzcluster

#### Internet of Production

- Langfristige Förderung ausgewählter Universitäten von Bund & Ländern, um im globalen Wettbewerb zu bestehen
- 385 Mio. € per Jahr
- 34 Universitäten werden gefördert 2019-2026
- RWTH Aachen University: Thinking the Future
- 45,377 Studenten / 12,795 in der Fakultät Maschinenwesen
- 27 Lehrstühle von vier Fakultäten haben sich zusammengeschlossen um die Vision eines „Internet of Production“ umzusetzen
- WZL: 814 MitarbeiterInnen, vier Lehrstühle, Leitet das Exzellenzcluster



## Gliederung

- 1 Beispiel: Bruchüberwachung (k-means)
- 2 Grundlagen des maschinellen Lernens und Einordnung
- 3 Beispiel: Verschleißerkennung beim Fräsen (SVM, RF)
- 4 Beispiel: Bilderkennung (Neuronale Netze)
- 5 Maschinenlernen: Intelligente Produktionssysteme
  - 5.1 Exzellenzcluster "Internet of Production"
  - 5.2 Beispiel: Kraft-/Qualitätsregelung beim Fräsen (MPC)
- 6 Zusammenfassung und Fazit

**Production Intelligence**  
Die Vision einer adaptiven, vernetzten Produktion

Exzellenzcluster

**Internet of Production**

Projekt: „Connected Job Shop“

**MPC zur Kraftregelung beim Fräsen**

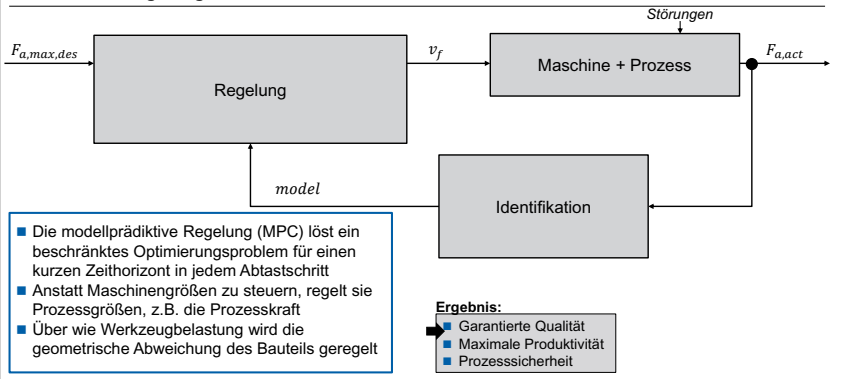
auf dem Weg zu einem autonomen, optimalen Fertigungssystem





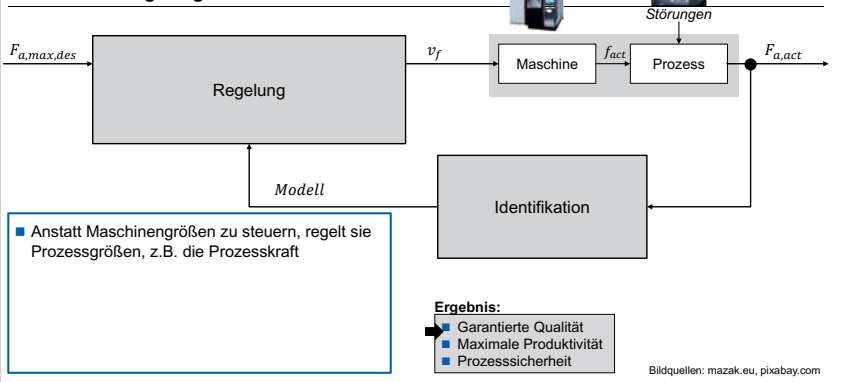
### Production Intelligence

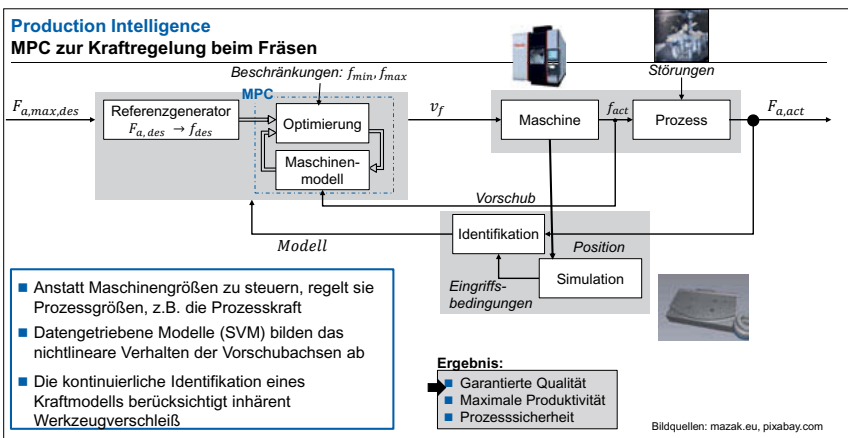
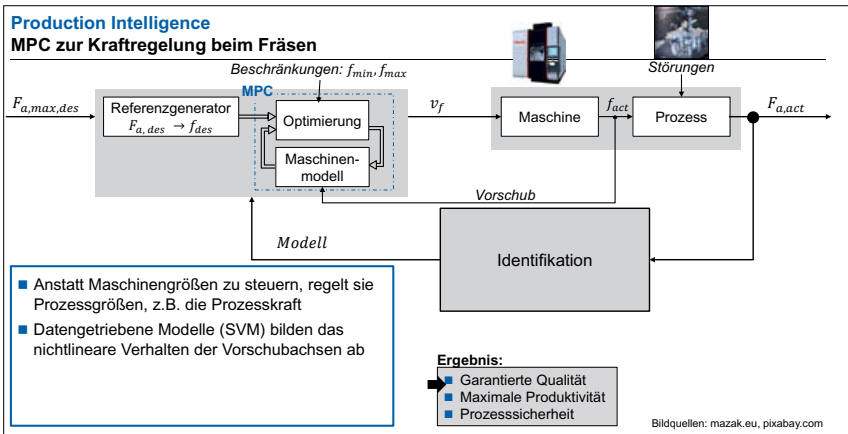
#### MPC zur Kraftregelung beim Fräsen



### Production Intelligence

#### MPC zur Kraftregelung beim Fräsen







## Gliederung

- 1 Beispiel: Bruchüberwachung (k-means)
- 2 Grundlagen des maschinellen Lernens und Einordnung
- 3 Beispiel: Verschleißerkennung beim Fräsen (SVM, RF)
- 4 Beispiel: Bilderkennung (Neuronale Netze)
- 5 Maschinenlernen: Intelligente Produktionssysteme
- 6 Zusammenfassung und Fazit

### 30. AWK – Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium in Aachen



**AWK'20**  
INTERNET OF PRODUCTION | TURNING DATA INTO VALUE  
Aachen | 14.-15. Mai 2020

Kommen Sie nach Aachen und erfahren Sie, wie wir gemeinsam mit renommierten Experten aus Industrie, Wissenschaft und Politik das „Internet of Production“ als flexibles Rückgrat der Industrie 4.0 weiterentwickeln.

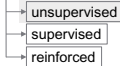
- 5G in der industriellen Anwendung: Architektur für eine adaptive Produktion
- Prozessgrenzen überwinden: Modellbasierte Analyse und Digitaler Zwilling
- Analytics in Production: Innovationen aus der Werkzeugmaschine
- Subskriptionsmodelle: Geschäftsmodelle im Internet of Production

Weitere Informationen finden Sie auf unserer Webseite:  
[www.awk-aachen.de](http://www.awk-aachen.de)



### Zusammenfassung Lessons Learned

#### ■ AI vs. ML vs. Data Mining



#### ■ Beispiele:

- Bohrerbruchüberwachung (k-means)
- Verschleißklassifizierung (SVM, RF)
- Bildverarbeitung (CNN)

#### ■ Exzellenzcluster **INTERNET OF PRODUCTION** | **RWTH AACHEN UNIVERSITY**

- Production Intelligence: MPC zur Kraftregelung beim Fräsen



- Das maschinelle Lernen (ML) erzeugt Modelle
- ML kann mächtige „Expertensysteme“ erstellen
- Es ist ungleich schwieriger menschliches Verhalten zu reproduzieren
- Es ist reine Statistik
  - Benötigt viele Daten
  - Unsicherheit & Zufall sind integraler Bestandteil

**Learning := „getting better at some task through practice“**

[Mars2015]



## Kontakt

**Max Schwenzer**

Werkzeugmaschinenlabor(WZL) der RWTH Aachen University

Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren  
Abteilung Zerspantechnologie  
Forschungsgruppe Produkt- und Prozessüberwachung

+49 241 80-28021  
m.schwenzer@wzl.rwth-aachen.de

Kontakt

## Quellen

- [Cho05] CHO, SOHYUNG ; ASFOUR, SHIHAB ; ONAR, ARZU ; KAUNDINYA, NANDITA: Tool breakage detection using support vector machine learning in a milling process. In: *International Journal of Machine Tools and Manufacture* Bd. 45 (2005), Nr. 3, S. 241–249
- [Mars15] MARSLAND, STEPHEN: *Machine learning: an algorithmic perspective*, Chapman & Hall/CRC machine learning & pattern recognition series. Second edition. Boca Raton : CRC Press, 2015 — ISBN 978-1-4665-8328-3
- [Ronn15] RONNEBERGER, OLAF ; FISCHER, PHILIPP ; BROX, THOMAS: U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In: *arXiv:1505.04597 [cs]* (2015). — arXiv: 1505.04597
- [Schw19a] SCHWENZER, MAX ; AUERBACH, THOMAS ; MIURA, KAZUMASA ; DOBBELER, BENJAMIN ; BERGS, THOMAS: Support vector regression to correct motor current of machine tool drives. In: *Journal of Intelligent Manufacturing* (2019)
- [Schw19b] SCHWENZER, M ; MIURA, K ; BERGS, T: Machine Learning for Tool Wear Classification in Milling Based on Force and Current Sensors. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* Bd. 520 (2019), S. 012009
- [Wu08] WU, XINDONG ; KUMAR, VIPIN ; ROSS QUINLAN, J. ; GHOSH, JOYDEEP ; YANG, QIANG ; MOTODA, HIROSHI ; McLACHLAN, GEOFFREY J. ; Ng, ANGUS ; U. A.: Top 10 algorithms in data mining. In: *Knowledge and Information Systems* Bd. 14 (2008), Nr. 1, S. 1–37



# Laserdrehen – Innovative Hybridbearbeitung

## Laserintegration in ein Maier Dreh-Bearbeitungszentrum

**Michael Maier**, Maier Werkzeugmaschinen GmbH & Co KG, Wehingen

### Kurzfassung

Mit der Integration eines 3 KW Faserlaser versuchen wir verschiedene Möglichkeiten der Hybriden Laser- Dreh- und Fräsbearbeitung zu kombinieren.

### 1. Spanbruch

Durch das Einbringen Spiralförmiger- oder Längsnuten wird versucht den Span über eine durch die Nut definierte Amplitude zu brechen. Durch partielle Erwärmung des Rohmaterials wird versucht die Zerspanungseigenschaften zu verbessern.

### 2. Feinstschneiden in Kombination mit Fräs- und Bohroperationen

Durch die Kombination von spanenden Werkzeugen und den Möglichkeiten des Laserschneidens wird versucht bestehende Geometrien zu optimieren, bzw. neue Geometrien und Konturen zu ermöglichen.

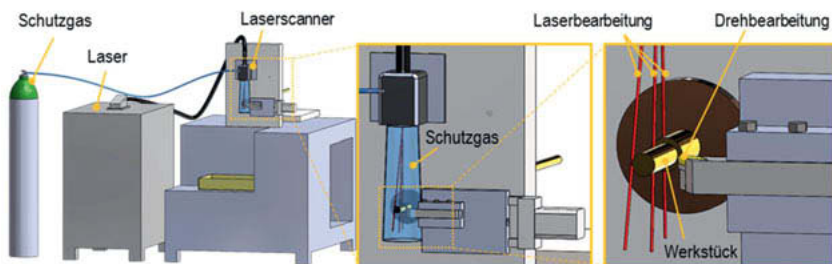


Bild 1: Gesamtaufbau der Anlage am KSF

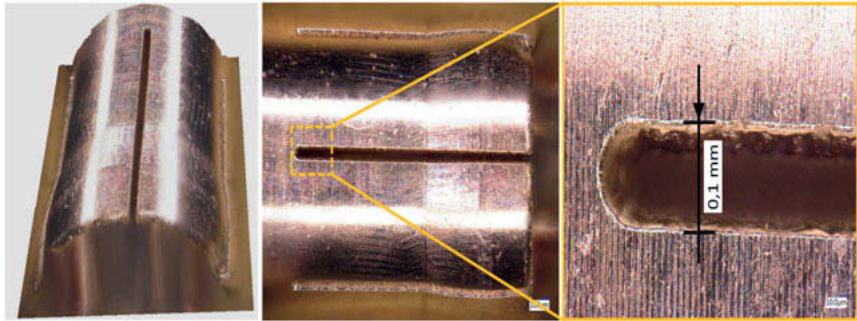


Bild 2: Drehteile mit einem Durchmesser von 2,5 mm

[1] Hier Literaturhinweise: Präsentation Bahman Azarhoushang KSF und Michael Maier





