

# Entwicklung einer Software zur intelligenten Zerspanungs-kennwertermittlung als Grundlage für Planungs- und Simulationssysteme zur Erschließung von Leistungsreserven <sup>1</sup>

Dipl.-Ing. Frank Arnold

## 1 Einleitung

Der Einsatz von mathematischen Modellen für die Ermittlung von Prozesskräften in der spanenden Bearbeitung hängt von verfügbaren Informationen zum Gesamtsystem Maschine-Werkzeug-Werkstück ab. Moderne Systembestandteile sowie innovative Bearbeitungsstrategien und neue Methoden zur Bearbeitungssimulation sind Treiber für neue Entwicklungen /QIU-16/. Eine Anwendung leistungsfähiger mathematischer Modelle ist nur sinnvoll, wenn die für das Prozessmodell notwendigen spezifischen Kennwerte vorhanden und aktuell sind. Für die Ermittlung der spezifischen Schnittkräfte des Zerspankraftmodells nach Kienzle müssen Zerspanungsversuche vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet werden. Dafür ist das Wissen eines Experten sowie der Einsatz zusätzlicher Messtechnik notwendig. Eine automatisierte, nebenläufige Kennwertermittlung ohne diese Messtechnik soll am Anwendungsfall der 2,5D-Fräsbearbeitung erforscht werden.

## 2 Darstellung des Gesamtkonzeptes

Ziel der Entwicklung ist eine Ermittlung von Kennwerten für Zerspanungsprozesse unter Einbeziehung eines intelligenten Verfahrens. Die „Intelligenz“ wird über das maschinelle Lernen mit Künstlichen Neuronalen Netzen (KNN) erreicht. Die Entwicklung soll als Softwareprodukt „KennSpan“ umgesetzt, getestet und validiert werden. Abbildung 1 zeigt den konzipierten Grob Ablauf zur Ermittlung von Kennwerten mit Bezug zu den Modulen und der CAD/CAM-Anwendung.

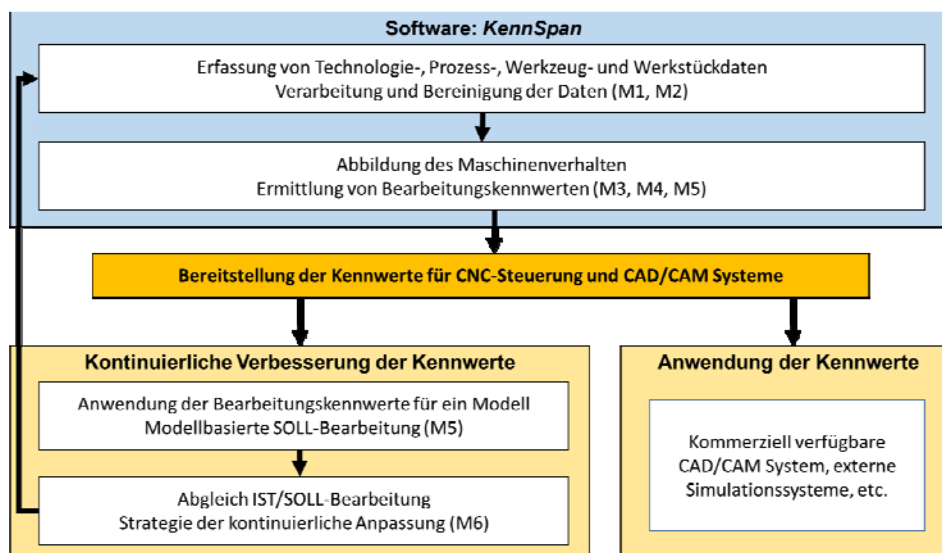


Abbildung 1: Kennwertermittlung und nachfolgende Anwendung

<sup>1</sup> Das Projekt wird über die AiF im Rahmen der Fördermaßnahme Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des BMWi gefördert.

Die konzipierte Software „KennSpan“ besteht aus sieben Modulen, die im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelt werden (Abbildung 2).

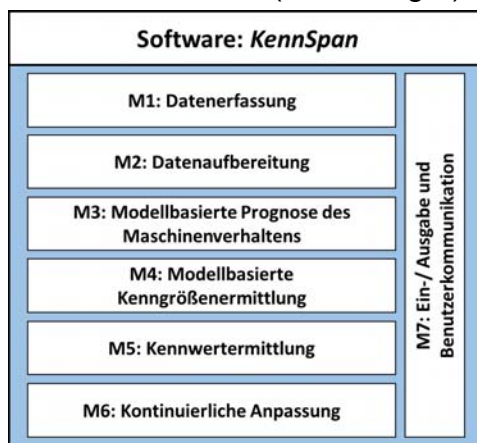


Abbildung 2: Einzelmodule der Software

### 3 Versuchsumgebung

Die für die Umsetzung wurde eine anforderungsgerechte Versuchsumgebung mit den jeweiligen Konfigurationen festgelegt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Hard- und Software der Versuchsumgebung

Pos.	Benennung	Konfiguration / Bestandteile
1	3-Achs-Fräsbearbeitungszentrum	Mikromat 4V HSC (Abbildung 3)
2	CNC-Steuerung andronic 3060	Intel Core i5-Prozessor, 4 GB RAM, Windows 7 Ultimate 64-Bit (Abbildung 4)
3	Leitstandsrechner	Intel Core i7-Prozessor, 16 GB RAM, Windows 8.1 64Bit
4	Softwaresysteme für Projektumgebung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visual Studio 2015 (Softwareentwicklung)</li> <li>• SolidWorks 2015 (CAD-System)</li> <li>• MATLAB 7 (KNN-Umgebung)</li> <li>• EXAPTplus 6.3 (CAM-System)</li> <li>• HyperMill 2016 (CAM-System)</li> <li>• NuPMES (MES-System)</li> <li>• Microsoft SQL Server 2014 (Datenbanksystem für MES)</li> </ul>
5	Netzwerkumgebung und Netzwerkprotokolle	Windows-Netzwerk mit Internetanbindung, Standard-protokolle TCIP/IPv4 und TCP/IPv6
6	Übertragungsrate im Netzwerk	max. 100 Mbit



Abbildung 3: Versuchsmaschine Mikromat 4V HSC    Abbildung 4: Steuerung andronic 3060

Im Folgenden werden ausgewählte Arbeiten zur Datenerfassung und Datenaufbereitung /KEN-16/ dargestellt.

#### 4 Datenerfassung

Zu Beginn werden verschiedene Möglichkeiten zur Datenerfassung untersucht und genutzt. Die Unterscheidung in die Notwendigkeiten einer sehr exakten Erfassung mittels Protokollierung direkt an der CNC-Steuerung zur Datenerfassung im Millisekundentakt und einer Erfassung an entfernten Rechnern über eine Programmierschnittstelle wurden untersucht. Die Übertragung durch die s.g. Callback-Funktionen erwiesen sich durch einen netzwerkbedingt (zu hohe Netzwerkbelastung) auftretenden zeitlichen Verzug (Latenz > 200ms) als eingeschränkt anwendbar. In einem ersten Schritt wurde das Modul der Datenerfassung konzipiert und umgesetzt (Abbildung 5).

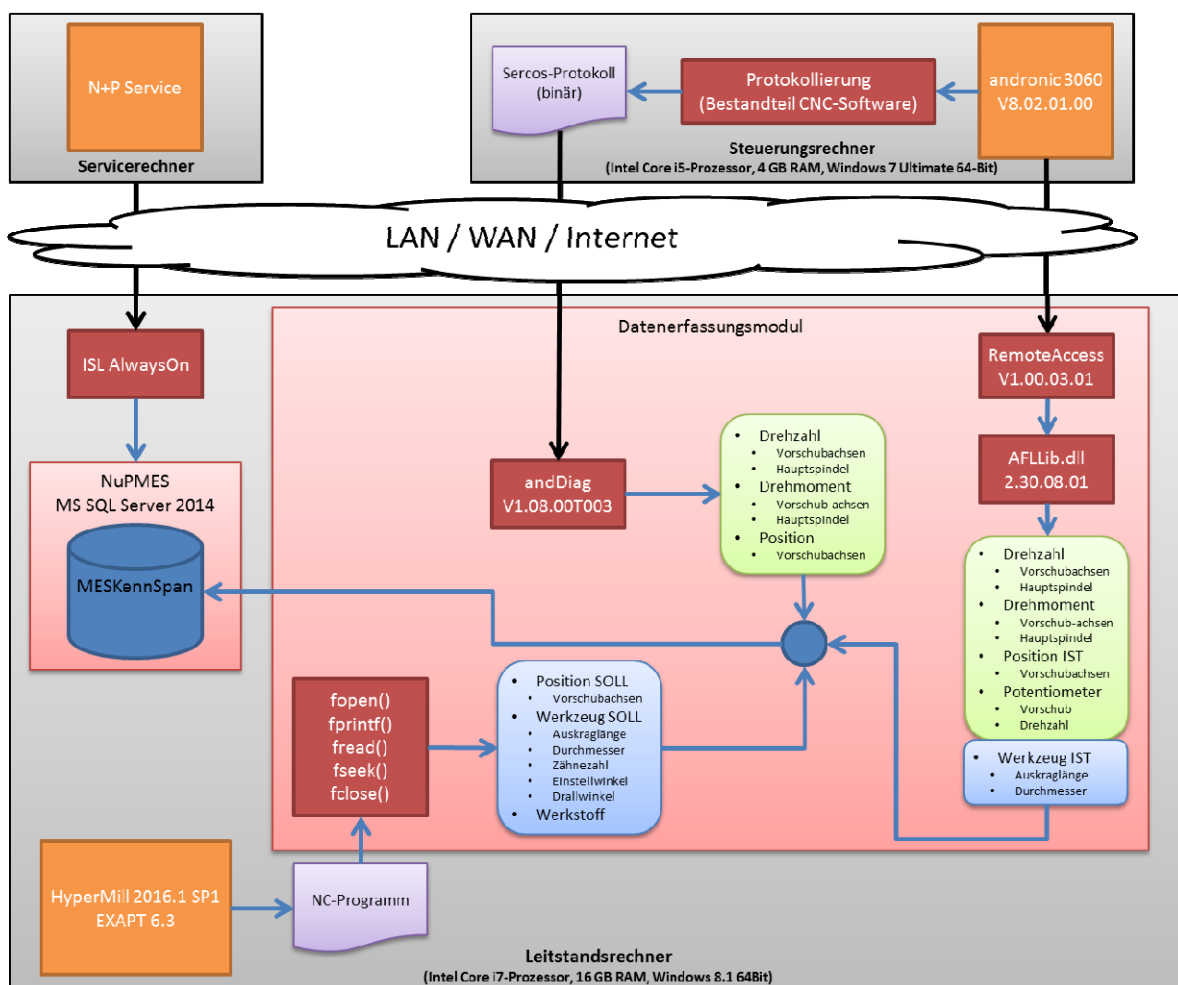


Abbildung 5: Datenerfassungsmodul im konzipierten Gesamtsystem /KEN-16/

Die zu erfassenden Daten ergeben sich aus den für die Kennwertermittlung notwendigen Informationen. Die festgelegten zugehörigen Datenquellen, welche softwaretechnisch eingebunden wurden, sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Datenquellen und Datenerfassungsfunktionen

Nr.	Parameter	Achs-bezeichner	Bezeichner	Einheit	Datenquelle	Bezeichner SERCOS-Protokoll	Funktion AFL	Datentyp	Bemerkungen	
Drehzahl	1	Drehzahl X-Achse	X	X Ist Drehzahl	1/min	Maschine / Prozess	X Ist Drehz.	AflGetSpindleSpeed()	Long	Zeitdiskret im Prozess ermittelt
	2	Drehzahl Y-Achse	Y	Y Ist Drehzahl	1/min	Maschine / Prozess	Y Ist Drehz.	AflGetSpindleSpeed()	Long	Zeitdiskret im Prozess ermittelt
	3	Drehzahl Z-Achse	Z	Z Ist Drehzahl	1/min	Maschine / Prozess	Z Ist Drehz.	AflGetSpindleSpeed()	Long	Zeitdiskret im Prozess ermittelt
	4	Drehzahl Hauptspindel	X'	X' Ist Drehzahl	1/min	Maschine / Prozess	X' Ist Drehz.	AflGetSpindleSpeed()	Long	Zeitdiskret im Prozess ermittelt
Drehmoment	1	Drehmomentauslastung X-Achse	X	X Drehmoment	%	Maschine / Prozess	X Drehmoment	AflGetTurningMoment()	Long	Auslastung bezogen aus Nennstrom
	2	Drehmomentauslastung Y-Achse	Y	Y Drehmoment	%	Maschine / Prozess	Y Drehmoment	AflGetTurningMoment()	Long	Auslastung bezogen aus Nennstrom
	3	Drehmomentauslastung Z-Achse	Z	Z Drehmoment	%	Maschine / Prozess	Z Drehmoment	AflGetTurningMoment()	Long	Auslastung bezogen aus Nennstrom
	4	Drehmomentauslastung Hauptspindel	X'	X' Drehmoment	%	Maschine / Prozess	X' Drehmoment	AflGetTurningMoment()	Long	Auslastung bezogen aus Nennstrom
Position	1	Position X-Achse	X	X Ist	mm	Maschine / Prozess	X Ist	AflGetDrivePos()	Long	Zeitdiskret im Prozess ermittelt
	2	Position Y-Achse	Y	Y Ist	mm	Maschine / Prozess	Y Ist	AflGetDrivePos()	Long	Zeitdiskret im Prozess ermittelt
	3	Position Z-Achse	Z	Z Ist	mm	Maschine / Prozess	Z Ist	AflGetDrivePos()	Long	Zeitdiskret im Prozess ermittelt
Potentiometer	1	Potentiometer Vorschub	X'	POT_f	%	Maschine / Prozess	-	indirekt über SPS-Variable	Long	In Vorbereitung, in Entwicklung
	2	Potentiometer Drehzahl	X'	POT_n	%	Maschine / Prozess	-	indirekt über SPS-Variable	Long	In Vorbereitung, in Entwicklung
Werkzeug	1	Werkzeugtyp	X'	WZT	-	Maschine / Werkzeug	-	AflGetToolData()	Integer	
	2	Werkzeugradius	X'	r	mm	Maschine / Werkzeug	-	AflGetToolData()	Long	statisch innerhalb eine NC-Programmes
	3	Werkzeuglänge	X'	l	mm	Maschine / Werkzeug	-	AflGetToolData()	Long	statisch innerhalb eine NC-Programmes
	4	Schneidwerkstoff	X'	SST	-	Maschine / Werkzeug	-	AflGetToolData()	Integer	Alternative Datenquelle CAM
Werkstoff	1	Werkstoff		WST	-	Arbeitsvorbereitung / Werkstoff	-	-	Integer	Übergabe als Kommentar im NC-Programm, in Entwicklung

Für die Bewertung des Datenerfassungsmoduls und der Datenübertragungsqualität durch das Netzwerk sowie die Qualität der erfassten Daten wurden umfangreiche Fräs- und Bohrversuche (Abbildung 6 und 7) durchgeführt. Für eine Bearbeitung wurde zusätzlich zur Datenerfassung im entwickelten Modul eine klassische Kraft- und Momentmessung mittels Dynamometer durchgeführt.

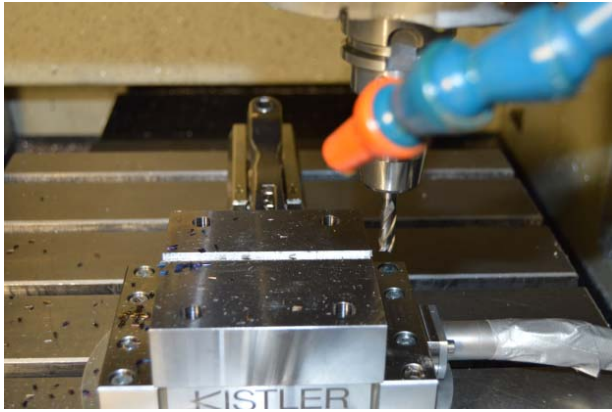


Abbildung 6: Fräsversuche



Abbildung 7: Bohrversuche

Die Daten wurden auf drei Wegen erfasst:

1. AFL-Schnittstelle (Bestandteil Konzept Datenerfassungsmodul)
2. SERCOS-Protokoll (Bestandteil Konzept Datenerfassungsmodul)
3. Dynamometer (Kontrolle)

Die Bewertung der Datenerfassung erfolgte hinsichtlich einer notwendigen Qualität für die Kennwertermittlung. Die Daten aus den Wegen 1 und 2 sind für eine Kennwertermittlung ausreichend (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9). Die Kontrolle mit der Messung der Kraftsignale (Dynamometer) zeigte eine gute Korrelation.

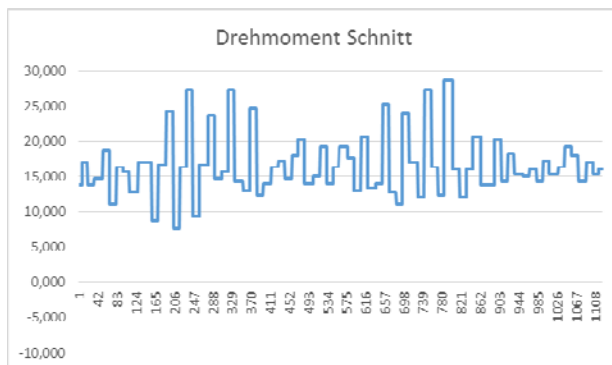


Abbildung 8: Drehmomentverlauf Weg 1 (AFL-Schnittstelle)

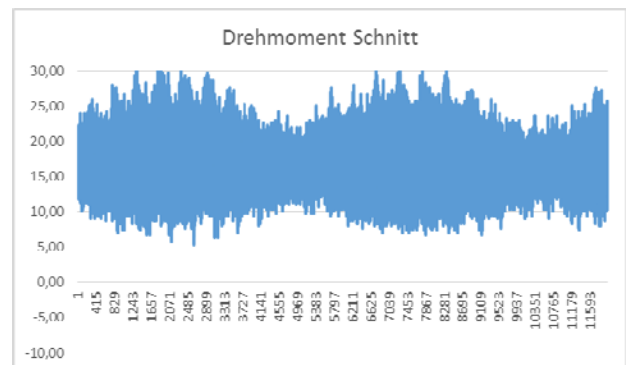


Abbildung 9: Drehmomentverlauf Weg 2 (SERCOS-Protokoll)

## 5 Datenaufbereitung

Der Aufbereitung der ermittelten Daten kommt eine besondere Rolle zu. Folgende Aufgaben sind zu lösen:

- Signalaufbereitung der zeitdiskreten Prozessdaten
- Abbildung der erfassten Prozessdaten auf physikalische Größen
- Komprimierung der erfassten auf notwendige Prozessdaten.

### 5.1 Signalaufbereitung der zeitdiskreten Prozessdaten

Die Strategie der Aufbereitung zeitdiskreter Prozessdaten (Drehzahlen, Drehmomente und Positionen) ist für die Weiterverarbeitung von besonderer Bedeutung. Im Zuge der Überprüfung der mit dem Datenerfassungsmodul gesammelten Daten wurden verschiedene mathematische Ansätze untersucht. Im Ergebnis wurde die parametrisierte Glättung als bevorzugte Methode ausgewählt. Die Parametrisierung muss nach Werkzeug und Bearbeitungsbedingungen erfolgen.

Eine automatisierte Messbereichsauswahl gestaltet sich für alle Vorschubachsen und die Hauptspindel als anspruchsvoll und wird im Folgenden an einem Beispiel der Drehmomentdaten der Hauptspindel erläutert.

Die erfassten Drehmomentdaten sind stark verrauscht. Dadurch wird eine automatisierte Festlegung des Auswertebereichs über einen einfachen Triggerwert erschwert. Die zusätzliche Einbeziehung der bekannten geometrischen Abmessungen des Rohteiles unter Berücksichtigung der Maschinen- und Werkstückkoordinatensysteme muss Teil der konzeptionierten Lösung sein. Dadurch wird sichergestellt, dass die Auswertung nur im Bereich konstanter geometrischer Eingriffsverhältnisse durchgeführt wird (Abbildung 14). Dies ist für die Qualität der Auswertungsergebnisse notwendig.

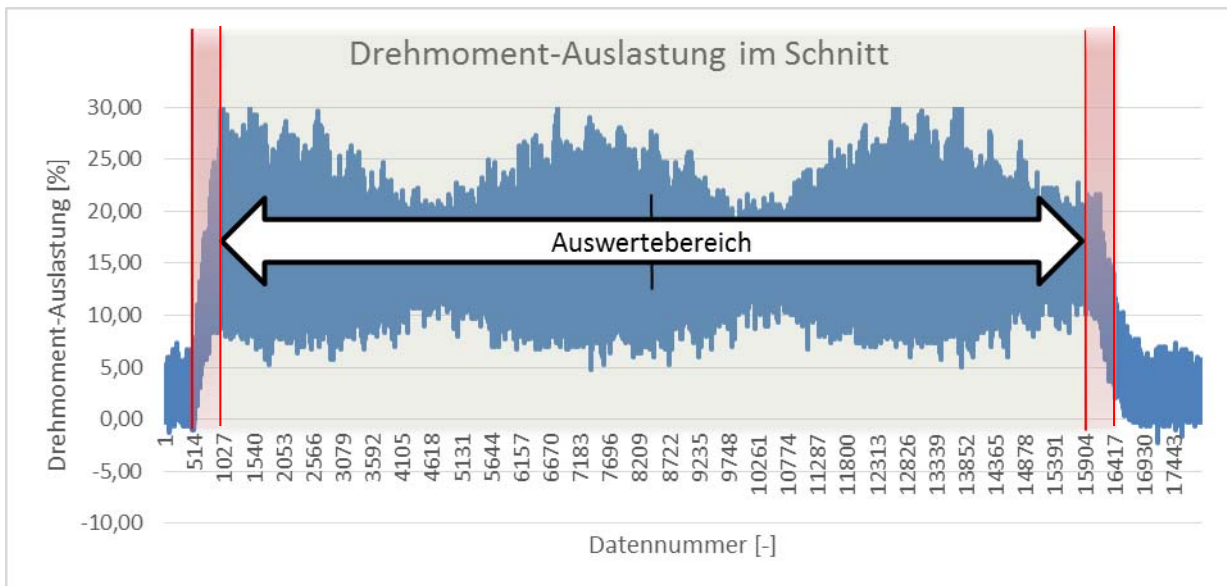


Abbildung 10: Problematik der automatisierten Messbereichsauswahl (Beispiel: Drehmomentverlauf der Hauptspindel)

## 5.2 Abbildung der erfassten Prozessdaten auf physikalische Größen

Die erfassten Daten sind auf die Versuchsmaschine zu kalibrieren. Das bedeutet, die erfassten Daten aus der CNC-Steuerung müssen auf die notwendigen physikalischen Größen bezogen werden. Dies ist notwendig bei:

- Drehzahlen,
- Drehmoment und
- Positionen.

Der Bezug bei Drehzahlen und Positionen ist eindeutig. Das Drehmoment der Vorschub- und Hauptspindeln welches im weiteren Projektverlauf für die Kennwertermittlung so genau wie möglich zu erfassen ist, wird nur als Auslastung des Antriebes in Beziehung zum Nennstrom ausgegeben. Es ist notwendig, diese Angabe in % (siehe Tabelle 2) auf die physikalischen Größen Kraft in N bzw. Drehmoment in Nm umzurechnen. Für den Berechnungsalgorithmus wurden die erfassten Daten aus Punkt 4 herangezogen. Die Abbildungen 11 bis 14 zeigen grafisch die ersten Ergebnisse mit der zugehörigen Linearisierung.

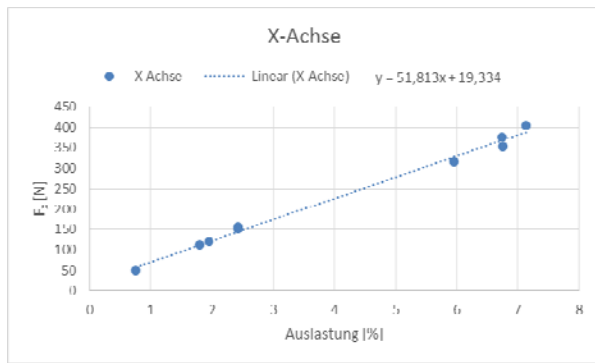


Abbildung 11: Kalibrierung Vorschubachse X

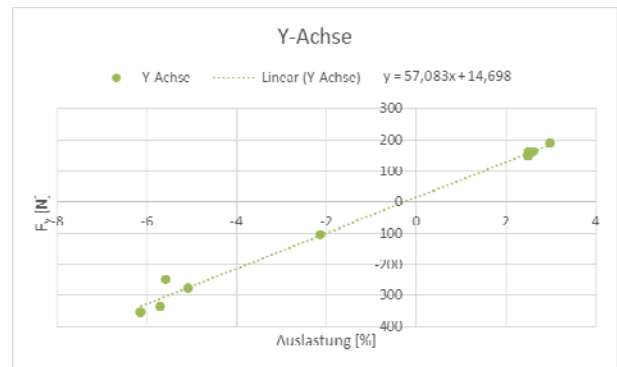


Abbildung 12: Kalibrierung Vorschubachse Y

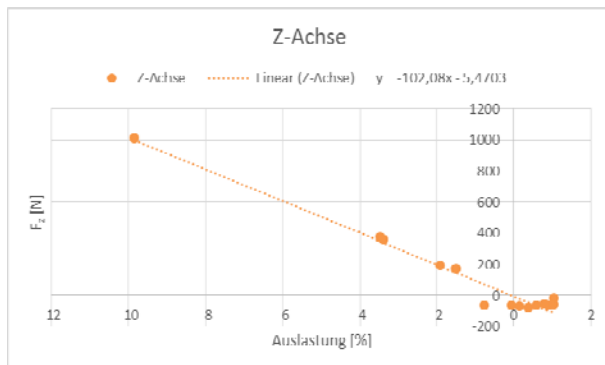


Abbildung 13: Kalibrierung Vorschubachse Z

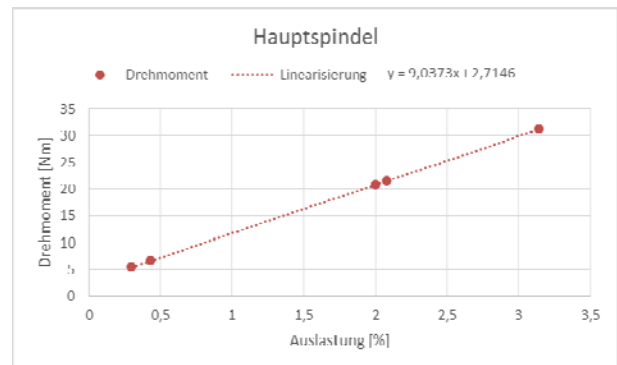


Abbildung 14: Kalibrierung Hauptspindel X'

Die Kalibrierung muss maschinenspezifisch erfolgen, da das Übertragungsverhalten von Leistungsaufnahme der Antriebe zu mechanischer Leitung an der Wirkstelle dem Einfluss der Komponenten der kinematischen Kette der Maschine unterliegt.

## 6 Zusammenfassung

Die erarbeiteten Methoden wurden mit erfassten Daten und zusätzlichen Zerspanungsversuchen mit anschließender Datenauswertung überprüft. Im Ergebnis stehen die notwendigen mathematischen Ansätze fest und sind in die Software „KennSpan“ als Module integriert /KEN-16/.

Die Umsetzung der weiteren Module des Gesamtkonzeptes nach Punkt 2 sind Gegenstand laufender Arbeiten.

## Literatur

- /KEN-16/ Arnold, F.; Schuster, B.: Entwicklung einer Software zur intelligenten Zerspanungskennwertermittlung als Grundlage für Planungs- und Simulationssysteme zur Erschließung von Leistungsreserven. Zwischenbericht AiF-ZIM, Dresden/Meerane, 2016
- /QIU-16/ Qiu, Y.: Anwendung des Softwaresystems MATLAB für KNN-basierte Verschleißprognose am Beispiel der Fräsbearbeitung. Diplomarbeit, TU Dresden, 2016
- /WEN-16/ Wenker E.: Entwicklung und Einsatz eines Maschinenmodells auf Basis von künstlichen neuronalen Netzen für die Prognose des Prozessverhaltens in der 3-Achs-Fräsbearbeitung. Großer Beleg, TU Dresden, 2016