

# Methode zur Abbildung der spezifischen Schnittkraft bei der Fräsbearbeitung und Strategie zur kontinuierlichen Anpassung<sup>1</sup>

Dipl.-Ing. Eric Wenkler

## 1 Einleitung

In vielen Bereichen der Produktion besteht die Notwendigkeit zur Automatisierung, die aktuell unter dem Begriff „Industrie 4.0“ populär ist. Eine große Herausforderung stellen unter anderem verlässliche Daten dar, auf welche sich Systeme künftig stützen können. In der spanenden Teilefertigung sind Prozessdaten ein Schwerpunkt aktueller Forschungsarbeiten. Im Folgenden wird am Beispiel der Fräsbearbeitung eine Methode vorgestellt, welche auf der Basis von Planungs- und Prozessdaten die spezifische Schnittkraft  $k_c$  aus der laufenden Fräsearbeit ermittelt /Arn-17a/.

## 2 Gesamtübersicht

Das Konzept zur intelligenten Kennwertermittlung zeigt in Abbildung 1 schematisch, wie die  $k_c$ -Werte ermittelt und anwendungsgerecht bereitgestellt werden.

Ausgehend von Planungsinformationen, wie z.B. zum Werkstoff und Werkzeug, sowie in der Fertigung an der CNC protokollierten Prozessinformationen, wie Achspositionen und Antriebsauslastung, wird die spezifische Schnittkraft  $k_c$  ermittelt. Der berechnete spezifische Kennwert und relevante Einflussparameter werden in einer Datenbank archiviert. In der Folge wird diese Datenbasis zum Training eines künstlichen neuronalen Netzes (KNN) verwendet, steht damit für weitere kontinuierliche Lernprozesse zur Verfügung und kann z.B. zur Prognose der zu erwartenden Maschinenauslastung in der Planung verwendet werden.

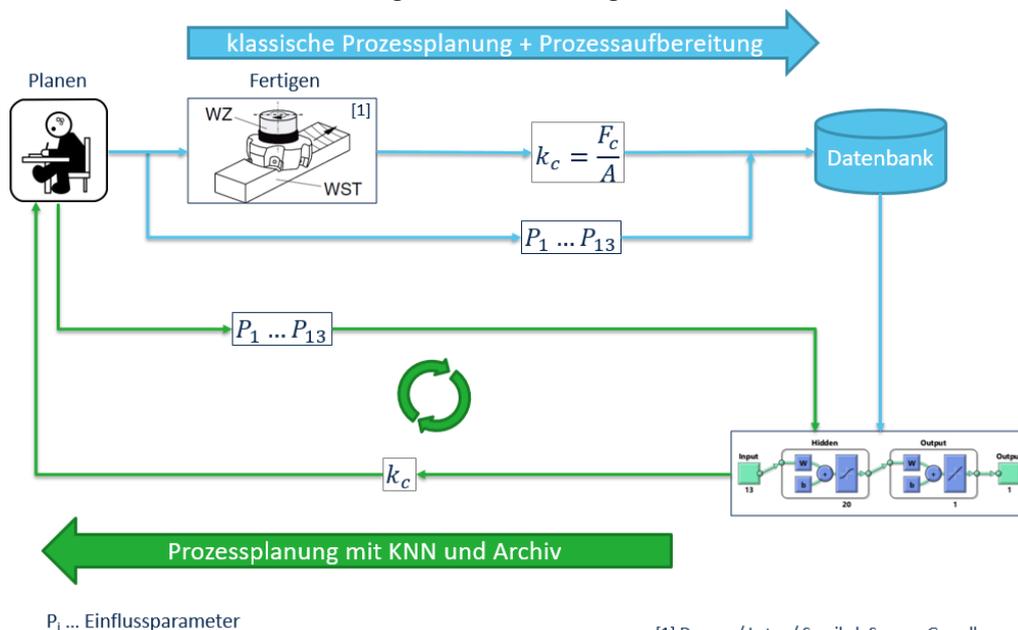


Abbildung 1: Konzeption zur intelligente Kennwertermittlung

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

### 3 Prozessdatenerfassung und -aufbereitung

Für die Durchführung wurde eine Fräsmaschine Mikromat 4V mit der CNC andronic 3060 verwendet. Zur Erfassung von Prozessdaten einer spanenden Bearbeitung wurden zwei Wege untersucht.

Ein Weg führt über eine SERCOS-Protokoll-Funktion, welche im NC-Programm durch separate Befehle gestartet und beendet werden muss. Dies erzeugt nach Beendigung der Protokollierung eine binäre Protokolldatei auf der Steuerung welche mit Zusatzprogrammen in eine ASCII-Datei gewandelt wird und somit zur weiteren Verarbeitung bereitsteht. Dieser Weg beeinflusst jedoch den Prozessablauf negativ, da nach Protokollende die Maschine, auf Grund des Schreibvorgangs der Protokolldatei, stehen bleibt.

Der zweite Weg geht über ein Programm welches eine AFL-Funktionsbibliothek /AND-16/ verwendet und dadurch mit der Steuerung kommunizieren kann. Dieses Programm startet beim Übergang in den Automatikbetrieb und protokolliert alle Positionen sowie die Auslastung der Hauptspindel und der Vorschubantriebe bis die Maschine den Automatikmodus beendet.

Über beide Wege wird eine ASCII-Protokolldatei erzeugt, welche für eine weitere Aufbereitung der Daten zur Verfügung steht. Bei der Aufbereitung der Daten ist zu berücksichtigen, dass von der protokollierten Antriebsauslastung die jeweilige Antriebsgrundlast, welche zur Aufrechterhaltung der Drehzahl benötigt wird, abgezogen wird. Dieser Einfluss muss durch eine Kalibrierung der Auslastung der Spindel zum anliegenden Drehmoment berücksichtigt werden. Im Ergebnis stehen Positionen, Drehzahlen und Drehmomente zur Verfügung /ARN-17a/.

### 4 Kennwertermittlung und Archivierung

Zur Kennwertermittlung wird anschließend die spezifische Schnittkraft  $k_c$  nach dem mathematischen Ansatz des Zerspankraftmodells nach Kienzle /DEG-09/ berechnet. Die berechnete spezifische Schnittkraft wird zusammen mit 13 definierten Einflussparametern (Tabelle 1) in einer Datenbank abgelegt.

Tabelle 1: Definierte Einflussparameter

|                                |                           |
|--------------------------------|---------------------------|
| • Werkstoff-Bezeichnung        | • mittlere Spannungsdicke |
| • Schneidwerkstoff-Bezeichnung | • Einschnittwinkel        |
| • Beschichtung-Bezeichnung     | • Ausschnittwinkel        |
| • Werkzeug-Durchmesser         | • Drehzahl                |
| • Werkzeug-Auskraglänge        | • Vorschubgeschwindigkeit |
| • Werkzeug-Einstellwinkel      | • Kühlmittleinsatz        |
| • Schnitttiefe                 |                           |

### 5 Erstellung und Test des künstlichen neuronalen Netzes

Die erstellte Datenbasis repräsentiert die Eingangs- und Ausgangsdaten für das Training eines künstlich neuronalen Netzes (KNN). Dazu wird unter der Verwendung der Neural Network Toolbox der Software MatLab /NNT-17/ für die Abbildung der spezifischen Schnittkraft ein KNN erstellt.

Zunächst ist es notwendig, den anwendungsgerechten Aufbau des KNN zu ergründen. Dazu zählen die Anzahl der verdeckten Schichten (Hidden layer), die

Anzahl der Neuronen innerhalb der verdeckten Schichten (Size), das Lernverfahren (Train function), die Transferfunktion (Transfer function). Jeder dieser Parameter wurde mit verschiedenen Werten belegt, mit Trainings- und Testdaten für den Lernprozess versorgt und das Ergebnis hinsichtlich der Performance und der Anwendbarkeit untersucht. Als Bewertungsgröße wurde der minimalen quadratischen Fehler MSE (mean square error) herangezogen. Im Ergebnis lagen die Struktur des Netzes (13 Eingabewerte, 1 Hidden Layer mit 20 Neuronen, 1 Ausgabewert) sowie die Lernfunktion (Levenberg-Marquardt Backpropagation) und die Transferfunktion (poslin) für die weitere Nutzung im Projekt fest. Die vereinfachte Struktur 13-20-1 des KNN veranschaulicht Abbildung 2, wobei  $w$  für Wiegths und  $b$  für Bias steht.

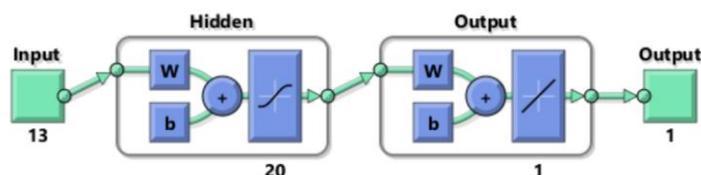


Abbildung 2: Vereinfachte Struktur des verwendeten KNN nach /NNT-17/

Für das Training des KNN wurde der Levenberg-Marquardt-Algorithmus verwendet. Dabei wird eine Fehleroberfläche bestimmt und eine Korrektur der internen Verarbeitung des KNN, in Richtung eines globalen Minimums der Fehleroberfläche angestrebt. Nach diesem Vorgehen erfolgt das Training des Netzes, bis keine signifikante Fehlerreduktion mehr eintritt.

Übertragen auf das Vorhaben, wird dem Training ein Minimum einer 14-dimensionalen Fehleroberfläche gesucht. Gute Darstellungen zur Fehleroberfläche sind z.B. in /Roj-96/ zu finden. Ist ein solches Minimum gefunden, können dem KNN beliebige Anfragen gestellt werden, auf welche entsprechend der gelernten Datenbasis, geantwortet wird.

Das trainierte KNN kann die spezifische Schnittkraft mit durchschnittlich  $\pm 6\%$  rel. Fehler im Lösungsraum prognostizieren (Abbildung 3). Die Abweichungen sind unter anderem durch das Antriebsrauschen oder Inhomogenitäten im Material begründbar und von ihrer Größenordnung als nicht kritisch anzusehen.

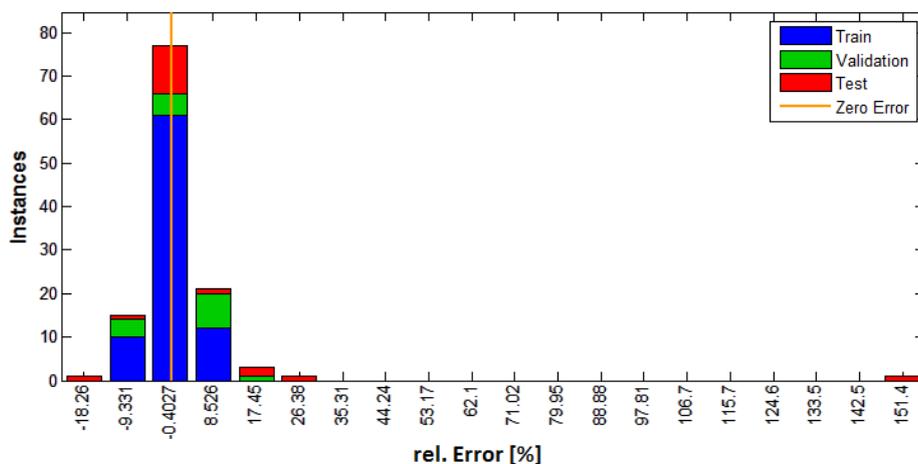


Abbildung 3: Fehlerverteilung des KNN über gesamte Datenbasis

## 6 Strategie zur kontinuierlichen Anpassung des KNN

Eine kontinuierliche Anpassung ist notwendig um auf sich ändernde Bearbeitungsbedingungen reagieren zu können. Daher wird jeder neue Datensatz überprüft. Besteht zwischen dem aus dem Prozess ermittelten Kennwert und der KNN-Prognose eine Abweichung von  $>5\%$ , so wird das KNN mit der erweiterten Datenbasis neu trainiert.

## 7 Ausblick

Die Nutzung eines künstlich neuronalen Netzes ermöglicht eine unvoreingenommene Abbildung der  $k_c$ -Wert-Einflüsse, da diesem kein vorab definierter funktioneller Zusammenhang zugrunde liegt. Der Nutzen daraus wird beim Vergleich mit dem Kienzle-Ansatz ersichtlich, welcher auf einer exponentiellen Regression basiert und nur auf den Bereich  $0,05\text{mm} \leq h_m \leq 2,5\text{mm}$  extrapolieren kann. Für das KNN definieren sich die Grenzen allein durch die Versuchsverteilung in der Datenbasis und sind daher beliebig dehnbar.

Die dargestellte Kennwertprognose, welche auf realen Daten aus der Fertigung basiert und ständig aktuell gehalten werden kann, verwendet eine intelligente Methode und ermöglicht Selbstlernprozesse für die kontinuierliche Ermittlung aktueller spezifischer Schnittkräfte /ARN-17b/.

## Literatur

- /AND-16/ andronic 3060 - Next generation high speed CNC control. andron Funktionsschnittstelle AFL (andron Function Library), LTi Motion, 2016
- /ARN-17a/ Arnold, F.: Entwicklung einer Software zur intelligenten Zerspanungskennwertermittlung als Grundlage für Planungs- und Simulationssysteme zur Erschließung von Leistungsreserven. In: Nestler, A.: Forschungsergebnisbericht 2015/16 der Arbeitsgruppe Produktionsautomatisierung, Zerspan- und Abtragtechnik. TU Dresden, 2017; S. 10-16
- /ARN-17b/ Arnold, F.: Entwicklung einer Software zur intelligenten Zerspanungskennwertermittlung als Grundlage für Planungs- und Simulationssysteme zur Erschließung von Leistungsreserven. Zwischenbericht AiF-ZIM, Dresden, 2017
- /DEG-09/ Degner, W.; Lutze, H.; Smejka, E.: Spanende Formung, 16. Auflage, Hanser Verlag, 2009
- /NNT-17/ Neural Network Toolbox User's Guide, The MathWorks, Inc., 2017; URL: <https://de.mathworks.com/help/index.html>, Stand: 19.03.18
- /ROJ-96/ Theorie der neuronalen Netze – Eine systematische Einführung, 4. korrigierter Nachdruck, Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag, 1996