

Einsatz von OPC UA zur Optimierung der Prozessregelung in der Schleifbearbeitung

CORNET II Projekt: Adaptive Grinding Process (AGriPro)

Das Fertigungsverfahren Schleifen dient der Hart-Feinbearbeitung von Werkstücken und befindet sich am Ende der Wertschöpfungskette. Bis zu diesem Prozessschritt wurden bereits beträchtliche Kosten und Energie für Bauteile aufgewandt. Nach heutigem Stand der Technik werden deshalb große Sicherheitsreserven kalkuliert, um eine thermische Beeinflussung der Randzonen des Werkstückes zu vermeiden. Durch das im Projekt AGriPro entwickelte Regelungskonzept soll der Prozess näher zu den Grenzen geführt und dadurch die Bearbeitungszeit verkürzt werden.

Regelungskonzept

R. Vitz vom WZL der TH-Aachen publizierte im Jahr 1981 einen Zusammenhang zwischen spezifischer Schleifenergie U_s und bezogenem Zeitspanvolumen Q'_w , welcher für einen bestimmten Werkstoff und Kühlschmierstoff einen Bereich thermischer Randzonenbeeinflussung abgrenzt. Aufbauend auf diesem Zusammenhang wurde im Projekt AGriPro eine Potenzfunktion eingeführt, welche die empirischen Daten annähert und Grundlage für ein neuartiges Regelungskonzept bildet.

$$Q'_w = \frac{d_w \cdot \pi \cdot v_{fr}}{60}$$

$$U_s = \frac{F_t \cdot v_c}{Q'_w \cdot b_{eff}}$$

math. Modell: $U_s(Q'_w) = C_1 \cdot Q'_w^{C_2}$

Das mathematische Modell $U_s(Q'_w)$ bestimmt die Führungsgröße für einen Regler abhängig von den momentanen Prozessparametern. Die Konstanten C_1 und C_2 bestimmen den Verlauf dieser Potenzfunktion, um die empirischen Ergebnisse von Vitz ausreichend zu beschreiben. Die spezifische Energie U_s wird dabei aus der Tangentialkraft des Prozesses berechnet, welche aus einer In-Prozess-Messung der Kraftreaktion am Reitstock ermittelt wird. Durch Umformen der Gleichungen kann eine Funktion $F_t(v_{fr})$ gefunden werden, die eine zulässige Tangentialkraft im Schleifprozess abhängig von der radialen Vorschubgeschwindigkeit v_{fr} als Führungsgröße für den Regler liefert. Alle notwendigen geometrischen und technologischen Prozessparameter werden in der Konstante C_3 berücksichtigt.

$$F_t = C_1 \cdot [v_{fr}]^{(1+C_2)} \cdot C_3$$

$$C_3 = \frac{b_{eff}}{v_c} \cdot \left[\frac{\pi \cdot d_w}{60} \right]^{(1+C_2)}$$

Aus diesem Zusammenhang entsteht ein drei-dimensionales Feld, wie in Abbildung 1 dargestellt. Die Tangentialkraft ist aufgetragen über die radiale Vorschubgeschwindigkeit und über die Parameter-Konstante C_3 .

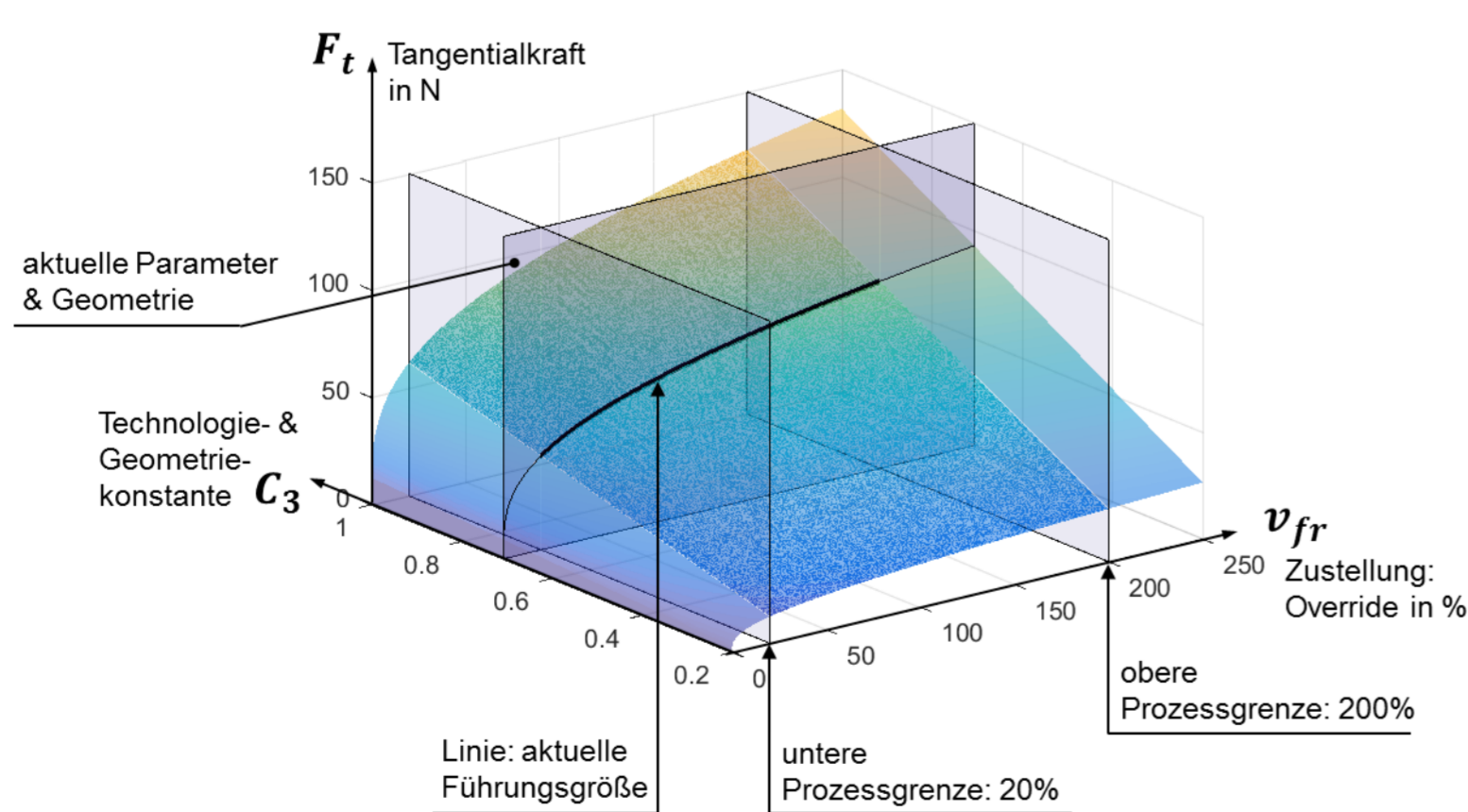


Abb. 1: Zusammenhang: spezifische Energie - bezogenes Zeitspanvolumen, Quelle: IFT.

Durch einen maximalen Override der radialen Vorschubgeschwindigkeit von 200% am Potentiometer und einen minimalen Override von 20% wird das Feld an zwei Seiten begrenzt. Die effektive Schleifscheibenbreite, der Werkstückdurchmesser sowie die Schnittgeschwindigkeit in einem konkreten Prozess erzeugen einen ebenen Schnitt durch das Feld an einer bestimmten Stelle an der Achse der Parameter-Konstante C_3 . Es entsteht ein zwei-dimensionaler Zusammenhang. Diese Linie der Tangentialkraft über der Vorschubgeschwindigkeit trennt Prozesse ohne Gefährdung der Randzone durch thermische Einflüsse von Prozessen mit Gefahr thermischer Randzonenbeeinflussung und wird als Führungsgröße für den Regler verwendet.

Aufbau der Regelung

Zur Umsetzung des Regelungskonzeptes am Institut für Fertigungstechnik ist ein piezoelektrischer 3-Komponenten Kraft Sensor in der stehenden Spitze des Reitstockes der Forschungsschleifmaschine verbaut. Der radiale Vorschub während des Schleifprozesses ist die Haupteinflussgröße auf die entstehende Tangentialkraft. Das Messsignal wird verstärkt, analog/digital gewandelt und wird über Ethernet an einen externen Mess-PC übertragen. Dort läuft eine MATLAB-Software mit integrierter Logik und einem PID-Regler. Dieser gibt einen Wert für den Override des Potentiometers der radialen Vorschubgeschwindigkeit als Stellgröße an die Maschinen weiter. Diese Kommunikation funktioniert via OPC UA, wobei die Siemens SINUMERIK 840Dsl Steuerung als Server fungiert und die Software am Mess-PC als Client Daten sendet oder anfordert. Abbildung 2 zeigt eine graphische Darstellung des aufgebauten Regelkreises.

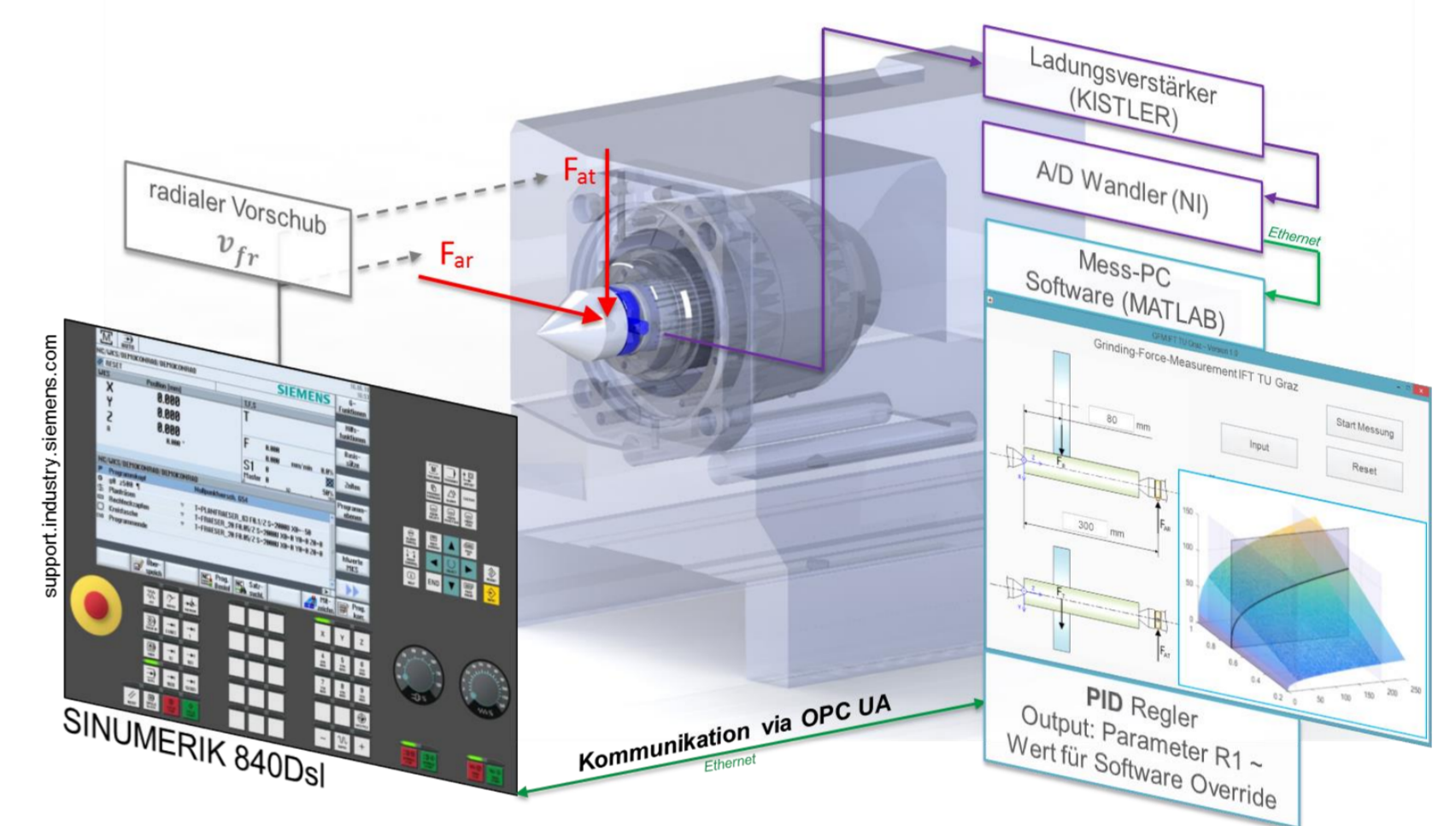


Abb. 2: Schematische Darstellung des Regelkreises, Quelle: IFT

Ergebnisse

Grundlagenversuche am Prozess Außenrundsleifen zeigen, dass durch dieses neuartige Regelungskonzept eine Effizienzsteigerung herkömmlicher Prozesse möglich ist. Das gewählte mathematische Modell schafft eine Prozessgrenze, die durch Variation der radialen Vorschubgeschwindigkeit mittels Regelalgorithmus erreicht wird. Die eingebrachte spezifische Schleifenergie U_s begrenzt die radiale Vorschubgeschwindigkeit im Prozess abhängig vom aktuellen bezogenen Zeitspanvolumen Q'_w eines konkreten Prozesses.

Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Tangentialkraft im Prozess über der radialen Vorschubgeschwindigkeit in einem Diagramm aufgetragen. Zwei Sekunden nach Erreichen des tatsächlichen Aufmaßes und Aktivierung des Regelvorganges für Schruppbearbeitung hat der Regler seine endgültige Stellgröße erreicht. In der konkreten Testbearbeitung konnte die radiale Vorschubgeschwindigkeit um 38% erhöht werden, wodurch eine signifikante Verkürzung der Bearbeitungszeit des Schruppprozesses erreicht wurde.

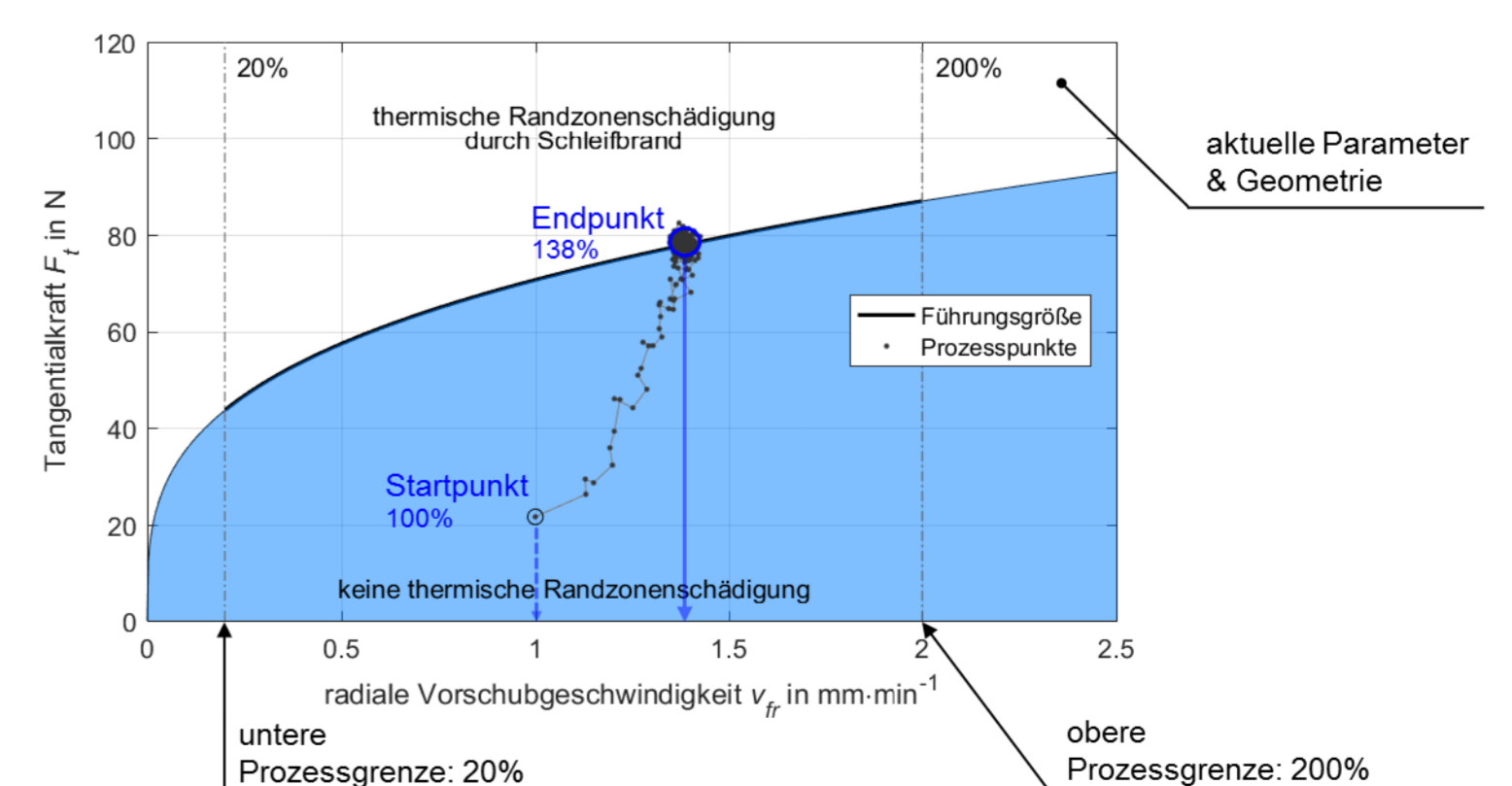


Abb. 3: Änderung der radialen Zustellung durch den Regler, Quelle: IFT.

- v_c ... Schnittgeschwindigkeit
- v_{fr} ... radiale Vorschubgeschwindigkeit
- d_w ... Durchmesser der Welle
- b_{eff} ... effektive Schleifscheibenbreite
- U_s ... spezifische Schleifenergie
- Q'_w ... bezogenes Zeitspanvolumen
- F_t ... Tangentialkraft
- F'_t ... Tangentialkraft bezogen auf b_{eff}