

Hinter den Prozess blicken

Per Rollformen hergestellte Kaltprofile finden branchenübergreifend Anwendung und sind in der Serienfertigung wirtschaftlich konkurrenzlos produzierbar. Komplexere Profilgeometrien, engere Toleranzvorgaben, steigende Variantenvielfalt und der Drang nach flexiblen Lösungen stellen das etablierte Verfahren allerdings vor neue Herausforderungen.

Um Rollformprozesse von Beginn an transparent und dauerhaft reproduzierbar zu machen, forscht das Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen der TU Darmstadt zusammen mit der Firma Dreistern an intelligenten Profilieranlagen. Die Digitalisierung des Rollformens eröffnet dabei weitreichende Möglichkeiten: erstens eine Erhöhung der Produktivität durch die Überwachung der korrekten Werkzeugjustierung und zweitens eine Steigerung der Energieeffizienz durch eine gleichgerichtete Energieübertragung in sämtlichen Umformstufen. In beiden Fällen werden wichtige Prozessgrößen mit einer geeigneten Sensorik erfasst und analysiert.

Intelligente Serienanlage

Für die industriennahe Umsetzung eines repräsentativen Beispielprozesses wird die erste intelligente Serienanlage der Baureihe „P3.070“ von Dreistern (Bild 1) verwendet. In dieser Anlage ersetzen digitale Magnetsensoren mit absoluter Positionsmessung die konventionellen analogen Wegaufnehmer an den vertikalen

Positionierspindeln der Oberrollen. Mithilfe der digital verfügbaren Daten können einerseits präzise Einstellungen vorgenommen und andererseits optimierte Einstellungen langfristig gespeichert werden. Nach einem Produkt- und Werkzeugwechsel lässt sich damit schnell und zuverlässig zur gespeicherten Einstellung zurückkehren. Für die Erfassung der Prozesskräfte hat Dreistern Gerüste mit robust integrierten Kraftmesssystemen entwickelt. Außerdem sind für die Überwachung der Antriebsmomente Gelenkwellen im Einsatz, die durch integrierte Sensoren die übertragenen Momente erfassen können.

Produktivität verbessern

Die bisherigen Projektergebnisse zeigen, dass in Abhängigkeit von der gestellten Optimierungsaufgabe – Fehlervermeidung oder Energieeffizienzsteigerung – einerseits die Kraft- und andererseits die Drehmomentsignale besser nutzbar sind. Der erste der zwei Use Cases zielt auf eine Verbesserung der Produktivität des Rollformprozesses. Die finale Profilgeometrie hängt stark von den Ein-

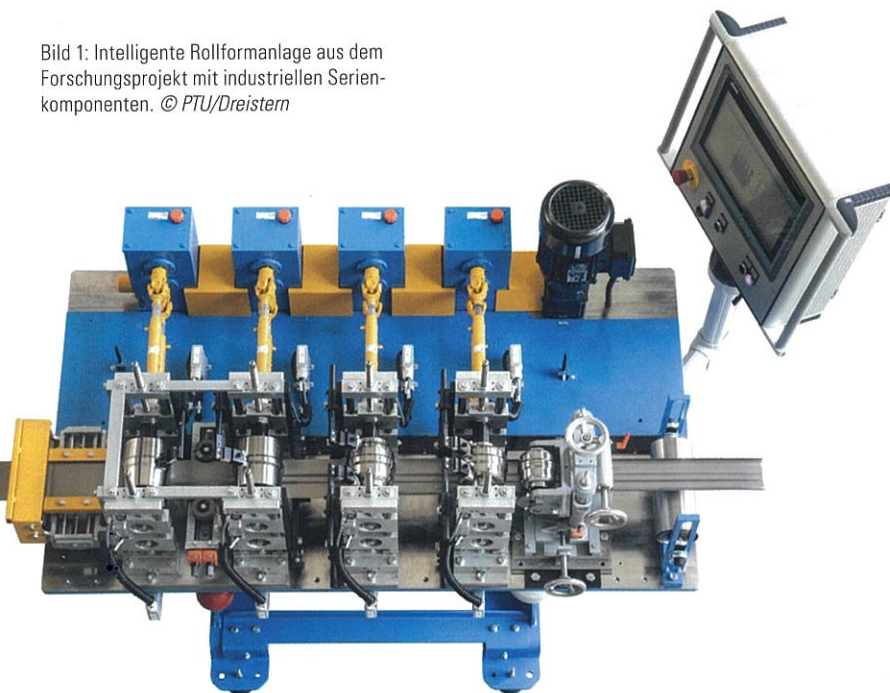
stellungen der Profilierspalt zwischen oberen und unteren Werkzeugrollen ab. Veränderungen dieser Profilierspalt – beispielsweise infolge von fehlerhaften Rüstvorgängen, aber zudem bedingt durch mechanische Setz-, Kriech- und Verschleißvorgänge – lassen sich nicht vollständig unterbinden und sind somit ohne überwachende und prädiktive Maßnahmen nicht vermeidbar. Aus diesen Fehleinstellungen können Geometriefehler resultieren, die sich in nicht toleranzgerechten Profilquerschnitten, -krümmungen oder -verdrehungen bemerkbar machen.

Bei einer hohen Anzahl an Umformstufen und der resultierenden Vielzahl an möglichen Korrekturereingriffen wird die vermeintliche Fehlerbehebung in der Praxis meist an den hinteren Stufen unabhängig vom Entstehungsort durchgeführt. Zunächst erscheint dieses Vorgehen oft erfolgreich, kann aber zu einer stark verstimmt Rollformanlage führen. Die Folge sind Profile mit ungewollt großen Eigenspannungen. Häufig wird ein kritischer Zustand erreicht, bei dem keine weiteren Korrekturmöglichkeiten bestehen und die komplette Anlage neu ausgerichtet werden muss. Zeit- und kostenintensive Stillstandzeiten sind die Folge. Daher wird empfohlen, anstelle von scheinbar schnellen Lösungen durch Verstellen von Rollenpositionen am Anlagenausgang, die unmittelbare Ursache zu identifizieren und zu beheben.

Kräfte überwachen

An dieser Stelle unterstützen in der intelligenten Rollformanlage Kraftsensoren das Bedienpersonal. Mit den Sensoren wird der vertikale Kraftfluss gemessen und auf Veränderungen überprüft. Wird der Profilierspalt in einer Umformstufe kleiner als der Sollwert, lassen sich unmittelbar mit dem Einfahren des Blechs höhere vertikale Kräfte detektieren. Umgekehrt sinken die Prozesskräfte bei größerem Profilier-

Bild 1: Intelligente Rollformanlage aus dem Forschungsprojekt mit industriellen Serienkomponenten. © PTU/Dreistern



spalt. Auswirkungen auf die nachfolgende Profilierstufe sind ebenso detektierbar, weil sich die zu leistende Umformarbeit und damit auch die Umformkraft in Abhängigkeit der Vorgängerstufe ändert. Mit dem zur Datenauswertung genutzten Algorithmus ist es möglich, bereits Spaltänderungen von $50 \mu\text{m}$ zu detektieren.

Exemplarisch lässt sich die Tendenz der Kraftmittelwerte bei unterschiedlicher Spaltgröße in Stich 2 darstellen (Bild 2). Je größer der Spalt wird, desto kleiner werden die beidseitigen Kraftsignale in Stich 2 und desto größere Werte nehmen die beidseitigen Signale in Stich 3 an. Wie anhand der Überlappungen der Fehlerbalken zu erkennen ist, reicht der Mittelwert zur eindeutigen Prozessdiagnose nicht aus. Der Algorithmus extrahiert daher weitere Charakteristika aus den Kraftsignalen und vergleicht diese miteinander. Neben der symmetrischen Spaltänderung lassen sich durch die beidseitige Positionierung der Sensoren auch ungewollte Schrägstellungen der Rollformwerkzeuge anhand der Messdaten nachvollziehen. Zum Trainieren der verwendeten Algo-

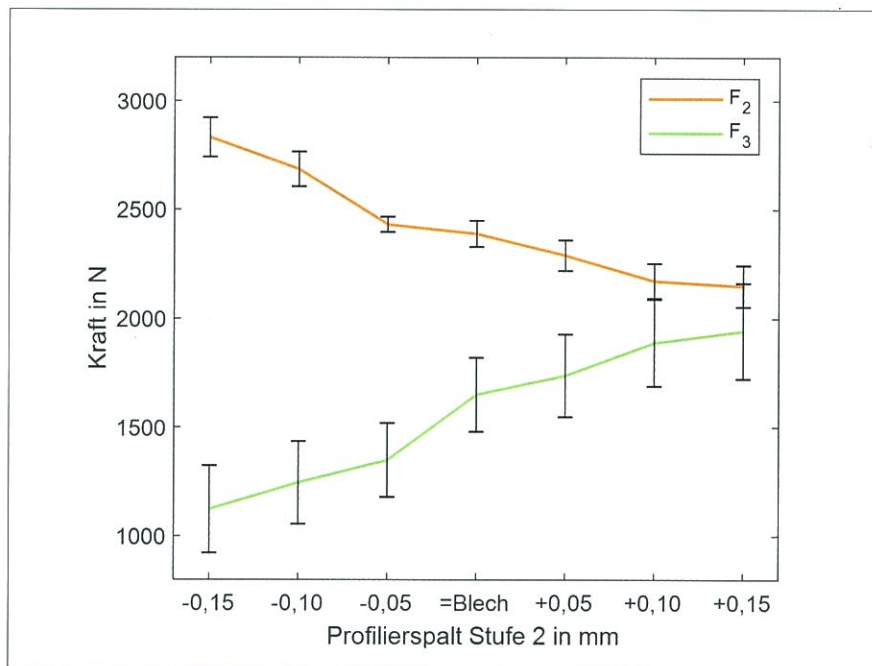


Bild 2: Sinkende Tendenz der Kraftmittelwerte an Umformstufe 2 und steigende Tendenz an Umformstufe 3 bei Vergrößerung des Spaltes von Umformstufe 2. © PTU/Dreistern

rithmen fließen außer der final vermessenen Profilgeometrie auch Erfahrungswissen der Entwickler und Anwender sowie Ergebnisse aus der Finite-Elemente-Simulation ein (Bild 3).

Energieeffizienz steigern

Der zweite Use Case untersucht die Erhöhung der Energieeffizienz des Rollformprozesses. Dabei wird ausgenutzt, dass insbesondere die Drehmomentsignale signifikant mit den Prozesszuständen korrelieren. Physikalisch betrachtet, existieren folgende Besonderheiten und Abhängigkeiten im Prozess: Das Blechband wird mittels rotierender Rollenwerkzeuge durch mehrere Umformstufen transportiert und entsprechend der Rollenkonturen umgeformt. Weil die Durchmesser der Ober- und Unterrollen in der Kontaktzone mit dem Blech konturbedingt variieren, weicht die Umfangsgeschwindigkeit von der Blechgeschwindigkeit lokal ab – der zugehörige Schlupf variiert somit über der Profilbreite. Die Schlupfbedingungen ergeben sich einerseits aus dem Zusammenspiel von Ober- sowie Unterrolle einer Umformstufe und andererseits aus dem Zusammenspiel der benachbart angeordneten Umformstufen. Aus der Verbindung von lokalem Schlupf und lokalem Kontaktdruck resultiert das Antriebsmoment einzelner Werkzeugrollen. Sofern die treibenden Rollendurchmesser nicht eng auf die Biegewinkel folgen abgestimmt sind, ergeben sich aus diesem Zusammenspiel Disbalancen in Form von teilweise stark antreibender

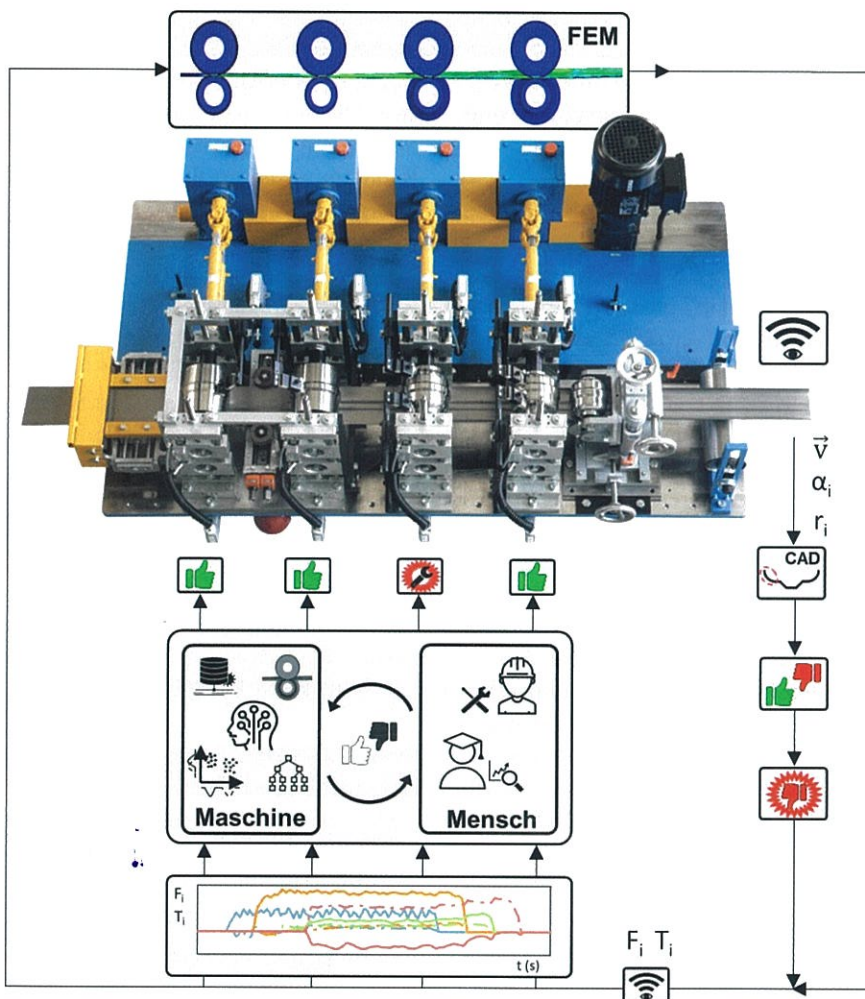


Bild 3: Konzept der Datenanalyse und Prozessüberwachung. © PTU/Dreistern

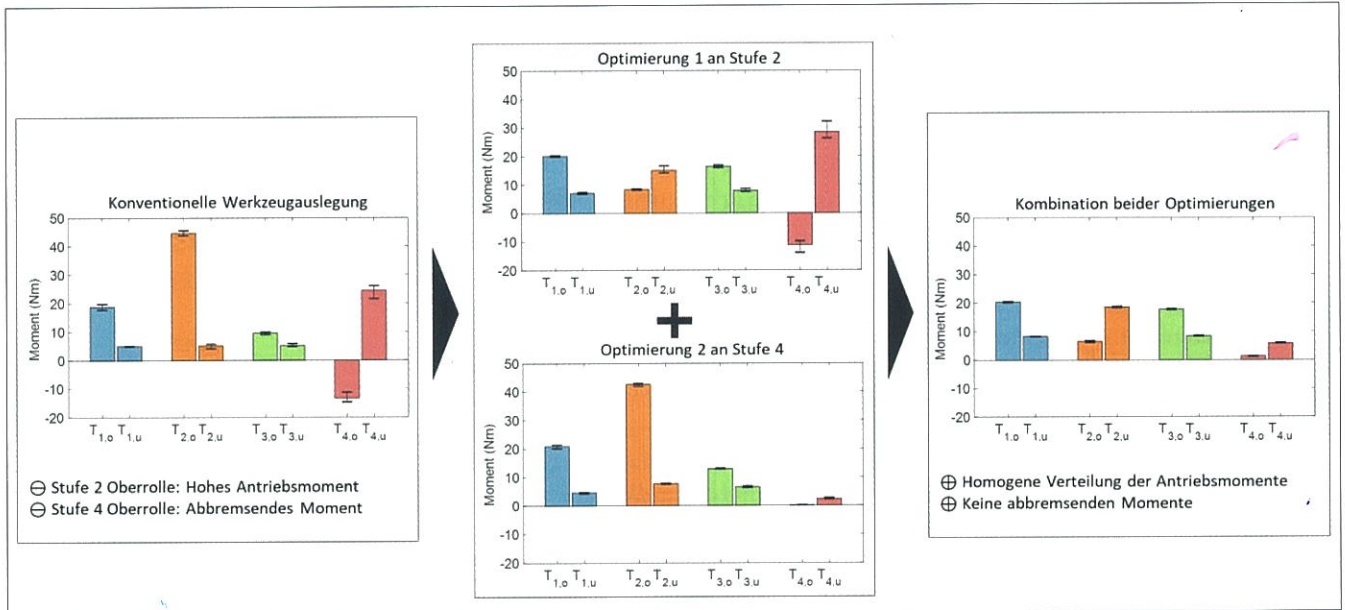


Bild 4: Sensorisch erfasste Antriebsmomente der einzelnen Umformstufen im Vergleich zwischen konventionell ausgelegten Rollformwerkzeugen (links), zwei einzelnen Optimierungsmaßnahmen (mittig) und der Kombination beider Optimierungen (rechts). Abkürzungen: Drehmoment $T_{i,j}$ mit Indizes für die Position der Umformstufe (i) und die oberen beziehungsweise unteren Werkzeugrollen (j). © PTU/Dreistern

oder gar abbremsender Wirkung einzelner Rollen. Dies führt zu einem geringen Prozesswirkungsgrad. Dargestellt ist ein derartiger Prozesszustand in Bild 4 links. Beide Optimierungsmaßnahmen zielen auf eine möglichst gleichmäßige Drehmomentverteilung über sämtliche Wellen im Bereich von 20 Nm und setzen daher bei Drehmomentmaxima an. An Umformstufe 2 mit sehr hohem positiven Drehmoment wird ein Rollensegment von der antreibenden Welle frei drehbar entkoppelt, wodurch die verbleibende aktiv treibende Werkzeugbreite reduziert wird. Infolgedessen sinkt das Drehmoment auf den Zielbereich ab. An Umformstufe 4 ist das untere Drehmoment zu hoch und die obere Werkzeugrolle weist ein negatives Drehmoment auf. Passive Seitenrollen ersetzen den äußeren Werkzeugbereich der aktiven Unterrolle. Unten an der modifizierten Rolle sinkt das zuvor stark antreibende Moment in den Zielbereich ab und wechselwirkungsbedingt leistet die obere Rolle – statt abzubremesen – einen Beitrag zum Vorschub.

Ein Viertel Energie sparen

Die in Bild 4 rechts dargestellte Kombination der beiden Optimierungen zeigt eine Superposition der Einzelmaßnahmen mit geringen Wechselwirkungseinflüssen. Während des Prozesses entspricht die Summe der sensorisch gemessenen Lastmomente etwa dem benötigten Antriebsmoment am Zentralmotor.

Dieses wird durch die Optimierungsmaßnahmen von 105,7 auf 87,5 Nm reduziert. Bei ansonsten gleichen Randbedingungen und damit gleichbleibender Ausbringungsmenge ergibt das eine prozessseitige Energieeinsparung von 25 %. Neben dem Aspekt der Energieeffizienz ist zudem davon auszugehen, dass die Vermeidung gegenläufiger Lastmomente von oberer und unterer Welle zur Reduzierung von Verschleiß und Materialermüdung innerhalb des Getriebes führt.

Ganzheitliches Analysemodell

Die beiden Use-Cases zeigen die Vielzahl an potenziell interessanten Messpositionen und -größen in konventionellen Profilieranlagen auf. Je nach den physikalischen Rahmenbedingungen der Werkzeugkonturen und der Zielsetzung der Optimierung erweisen sich unterschiedliche Sensoren als besonders geeignet. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Messgrößen in Abhängigkeit von den Werkzeugkonturen und weiteren physikalischen Rahmenbedingungen unterschiedlich stark mit den jeweiligen Prozessänderungen korrelieren. Fortlaufende Untersuchungen sollen nun bei wachsender Datenmenge zeigen, welche Sensoren an welchen Positionen im Prozess unbedingt erforderlich sind. Die gewonnenen Erkenntnisse können dann schon in der Konfigurationsphase intelligenter Profilieranlagen genutzt werden. In dem ganzheitlichen Analysemodell wird somit der

Trade-off aus wirtschaftlichem Einsatz der benötigten Sensorik und zuverlässiger Vorhersage der Prozesszustände aufgegriffen.

Danksagung

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des AiF-ZIM-Forschungsprojektes „Intelligente Profilierprozesse durch Überwachung von Antriebsmomenten“ erzielt. Die Autoren bedanken sich für die Förderung dieses Projektes durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

Marco Becker, Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen, und Dr.-Ing. Tilman Traub, Dreistern

Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen

Technische Universität Darmstadt
 Otto-Berndt-Straße 2
 64287 Darmstadt
www.ptu.tu-darmstadt.de

Dreistern GmbH & Co. KG

Wiechser Straße 9
 79650 Schopfheim
 Tel.: +49 7622 3910
info@dreistern.com
www.dreistern.com