



Ausführungsbeispiel entwickelter teilautomatisierter Richttechnik CS EASY 5-15,0 LE  
Bilder: WITELS-ALBERT GmbH

# Die Zukunft des Erfolgs - entwickelte teilautomatisierte Richttechnik

**Motivation:** Die globale Perspektive zeigt für konkurrierende Unternehmen ähnliche Handlungsspielräume mit identischen Variablen, deren Werte jedoch lokal unterschiedlich sein können. Stellvertretend seien die Kosten für Arbeit, Energie und Rohstoffe erwähnt.

Um hieraus resultierende Nachteile im globalen Wettbewerb zu kompensieren, bietet sich eine Differenzierungsstrategie an, die auf fortschrittliche Produktherstellprozesse setzt. Merkmale eines fortschrittlichen Herstellprozesses sind u. a.

- die Verfügbarkeit von Prozess- und Einstelldaten vor Prozessbeginn,
- eine exakte, schnelle und zuverlässige Sicherstellung der Einstelldaten sowie
- die Möglichkeit, auch kundenspezifische Produkte in kleinen Losgrößen nach den Gesetzen der Massenproduktion zu fertigen (mass customization).

Exzellenz in der Prozessplanung und -optimierung, intelligente und flexible Apparate-

und Maschinenteknik sowie entwickelte Informations- und Kommunikationstechnologien sind unabdingbare Voraussetzungen für die Gestaltung solcher Herstellprozesse. Wird die Prozesskette der Drahtindustrie betrachtet, erweist sich der Rollenrichtprozess als einer der wichtigsten Herstellprozesse. Sowohl in der Drahtherstellung als auch in der Drahtverarbeitung setzt der Drahtrichtprozess die Werte für technische und kaufmännische Variablen, die über wirtschaftliches Gelingen oder Scheitern entscheiden. Werden beispielsweise vorgeschriebene geometrische Lieferbedingungen für Fertigprodukte z.B. gemäß der Richtlinie EN 10218-2 nicht erreicht, so

folgt daraus mit Sicherheit kein monetärer Erfolg. Ein identisches Ergebnis stellt sich ein, wenn die vorgeschriebenen geometrischen Lieferbedingungen erreicht werden, jedoch hierfür ein zu großer Aufwand an Zeit, Material und Arbeit verbraucht und demgemäß nicht effektiv produziert wird. Hinzu kommt, dass neben geometrischen Lieferbedingungen verbreitet andere Informationen und Eigenschaften in den Fokus rücken, die für sich an den Drahtrichtprozess anschließende Ver- und Bearbeitungsprozesse von hoher Bedeutung sind. Unter diesen Umständen muss sich der Drahtrichtprozess auch zu einem Herstellprozess entwickeln, der die Identifikation von

Eigenschaften des Prozessmaterials über die Länge gestattet und gleichzeitig in der Lage ist, eine determinierte Werkstoffcharakteristik konstant einzustellen.

Vor diesem komplexen Hintergrund ist es unverständlich, dass teilautomatisierte Richttechnik in der Drahtindustrie bislang nur eine Akzeptanz und Verbreitung gefunden hat, die unter den Möglichkeiten zurückbleibt. Werden Insellösungen der Praxis analysiert [1], [2], fällt zudem auf, dass von den vorstehend genannten Merkmalen lediglich das Merkmal der Sicherstellung von Einstelldaten umgesetzt ist. Die verbleibenden Merkmale werden in der Praxis in Verbindung mit teilautomatisierter Richttechnik nicht genutzt. Verantwortlich für diese Situation sind sowohl potentielle Anbieter als auch Nutzer teilautomatisierter Richttechnik. Auf der Nutzerseite herrscht eine unternehmerische Haltung, die ausschließlich auf kurzfristigen Ertrag orientiert und durch Mangel an Mut zu Risiko und Kreativität gekennzeichnet ist. Die Innovation als Realität gewordene Kreativität [3] wird gescheut, obwohl Wettbewerbsnachteile drohen. Es herrscht eine Innovationschwäche, da Entscheidungsträger die vermeintlich hohe Investition scheuen. In der Regel wird nicht einmal der Versuch unternommen, die Investitionskosten den technischen und betriebswirtschaftlichen Vorteilen gegenüberzustellen. Die Anbieter können die Innovationschwäche überwinden helfen, wenn sie taugliche und preiswerte Lösungen für fortschrittliche teilautomatisierte Richttechnik anbieten und Möglichkeiten finden, die Vorteile dieser Technik transparent zu formulieren. Dieser Herausforderung stellen wir uns, auch in dem wir bekannte Strategien nicht zur Anwendung bringen und stattdessen alternative Wege beschreiben.

Die Notwendigkeit des Richtens ergibt sich primär aus dem Erfordernis, Krümmungen des Prozessmaterials zu verändern oder zu beseitigen, die durch mechanische oder thermische Prozesse gewünscht oder ungewünscht induziert sind. Sekundär besitzt der Richtprozess Einfluss auf die mechanischen Kennwerte des Prozessmaterials. Ein Richtapparat besitzt wechselseitig in zwei Reihen versetzt angeordnete Richtrollen. Durch die Anstellung der verstellbaren Richtrollen  $a_i$  erfährt das Prozessmaterial während seines Durchlaufes durch den Richtapparat elastisch-plastische Wechselverformungen, die die Grundlage für die Veränderung der geometrischen und mechanischen Kennwerte des Prozessmaterials sind. Für das Richten eines Drahtes mit dem Durchmesser  $d$  dokumentiert Bild 1

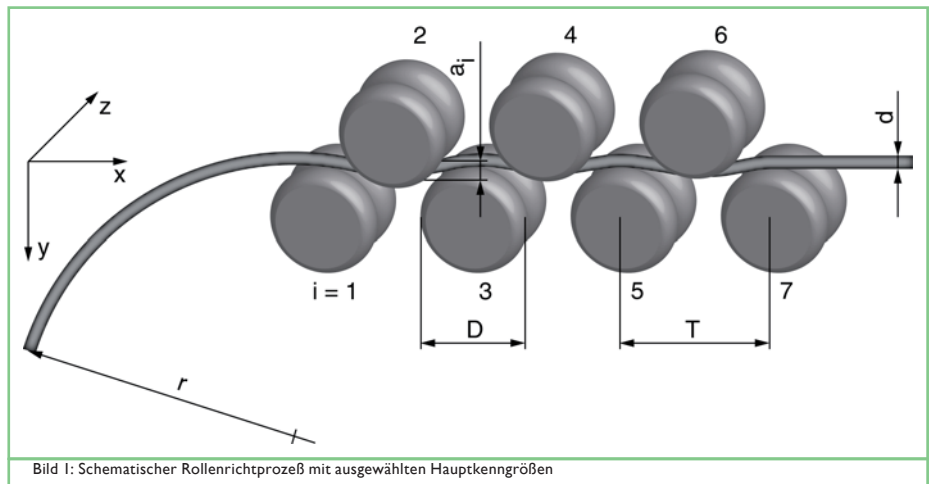


Bild 1: Schematischer Rollenrichtprozess mit ausgewählten Hauptkenngrößen

ausgewählte Kenngrößen des Prozessmaterials und des Richtapparates. Jeder Apparat verfügt über einen spezifischen Richtbereich, der durch die Teilung T (Abstand zwischen den Richtrollen) und den Durchmesser der Richtrollen D festgelegt ist (Bild 1). In Anpassung an diese Daten besitzt der Richtbereich  $\Delta$  eine zulässige Grenze für die minimal und die maximal zu richtende Querschnittsabmessung des Prozessmaterials. Für Runddrähte sind der minimale Drahtdurchmesser  $d_{min}$  und der maximale Drahtdurchmesser  $d_{max}$  relevant.

$$d_{min} \leq \Delta \leq d_{max} \quad \text{Gleichung 1}$$

Die Anzahl der erforderlichen Richtrollen n eines Richtapparates variiert in Abhängigkeit der Dehngrenze  $R_p$  und des Bereiches des Krümmungsradius  $\Delta r$ , in den der maximale ( $r_{max}$ ) und der minimale Krümmungsradius ( $r_{min}$ ) eingehen.

$$\Delta r = |r_{max} - r_{min}| \quad \text{Gleichung 2}$$

Als eine Grundregel gilt, dass mit größerer Dehngrenze und größerem Bereich des Krümmungsradius eine größere Anzahl von Richtrollen benötigt wird, um eine hohe Fertigproduktqualität zu erzeugen.

Die Bestimmung der Rollenanzahl n erfolgt unter Nutzung der Fuzzy-Logik. In ein Fuzzy-System wird Wissen eingebracht, das u. a. aus empirisch gewonnenen und in verbaler Form formulierten Gesetzmäßigkeiten resultiert. Die Wissensbasis besteht aus linguistischen Termen (Zugehörigkeitsfunktionen) der Ein- und Ausgangsgrößen, der Regelbasis sowie dem Inferenz- und Defuzzifizierungsmechanismus [5]. Über die Regelbasis sind die Eingangsgrößen Bereich des Krümmungsradius  $\Delta r$  und Dehngrenze  $R_p$  mit der Ausgangsgröße Rollenanzahl n verknüpft.

Mit dem Einsatz eines geeigneten Inferenzmechanismus sowie einer spezifischen Defuzzifizierungsmethode ergibt sich schließ-

lich ein spezifisches Übertragungsverhalten. Damit kann jederzeit für einen Satz scharfer Eingangsgrößen eine scharfe Ausgangsgröße generiert werden. Die Tabelle vermittelt für einige diskrete Werte der Eingangsgrößen abgeleitete Werte für die Anzahl der Richtrollen n.

Mittels Fuzzy-Logik ermittelte Werte für die Anzahl der Rollen n

r [mm]	$R_p$ [MPa]	n [-]
0	1000	5
60	1000	7
100	1000	9
100	2000	11
160	2000	13

### Leistungsbedarf für Verformung

Zur Verformung eines Prozessmaterials durch Richtrollen bedarf es einer Leistung. Neben den Kennwerten des Richtapparates und des Prozessmaterials bestimmt sie sich durch die Art und die Geschwindigkeit der Rollenverstellung. Die vorteilhafte Einzelverstellung kann durch Translation erfolgen oder durch eine Rotation, die in eine Translation umgesetzt wird. Große Verbreitung haben sogenannte Bewegungsschrauben oder Spindelmechanismen, die als Getriebe mit guter Selbsthemmung jeweils ein Drehmoment  $M_{iG}$  in eine Anstellkraft  $F_{iA}$  übersetzen. Kennwerte eines derartigen Getriebes sind der Gewindeflankendurchmesser  $d_{iF}$ , der mittlere Steigungswinkel  $\alpha_{im}$  und der Reibwinkel  $\rho'_i$ . Mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega_{iG}$  bzw. der Spindeldrehzahl  $n_{iG}$  ergibt sich die für die Verstellung einer Rolle i minimal erforderliche Leistung  $P_i$  nach Gleichung 3.

$$P_i = F_{iA} \cdot \tan(\alpha_{im} + \rho'_i) \cdot \frac{d_{iF}}{2} \cdot \frac{\pi \cdot n_{iG}}{30}$$

Gleichung 3

Die Anstellkraft  $F_{iA}$  folgt aus der Verformung des Prozessmaterials im Einflussbe-

reich der zu positionierenden Richtrolle  $i$ . Sie entspricht dem Betrag der Richtkraft  $|F_{iR}|$  (Gleichung 4), die an der Berührungsstelle des Prozessmaterials mit der Richtrolle in Korrelation mit Reaktionskräften steht. Die Betrachtung des quasistatischen

$$F_{iA} = |F_{iR}| \quad \text{Gleichung 4}$$

Falls in der  $x$ - $y$ -Ebene (Bild 1) gestattet es, äußere Kräfte und die tangentielle Reaktionskraft  $F_{it}$  zu vernachlässigen, so dass die radiale Reaktionskraft an der Richtrolle der resultierenden Richtkraft entspricht (Bild 2 a). Bleibt zudem die um  $\Delta T$  geänderte Teilung unberücksichtigt, bildet sich die Richtkraft  $F_{iR}$  nur aus der vertikalen Komponente der resultierenden Richtkraft  $F_{iver}$  (Gleichung 5, Bild 2 b).

$$F_{iR} = |F_{iver}| \quad \text{Gleichung 5}$$

Gleichgewichtsbetrachtungen unter Berücksichtigung der Biegemomente an den Rollen (Bild 2 c) und der Teilungen führen zur Berechnung des Betrages der bezogenen Richtkraft  $|F_{iR}^*|$  nach Gleichung 6.

$$|F_{iR}^*| = |M_{(i-1)v}^*| + |2 \cdot M_{iv}^*| + |M_{(i+1)v}^*| \quad \text{Gleichung 6}$$

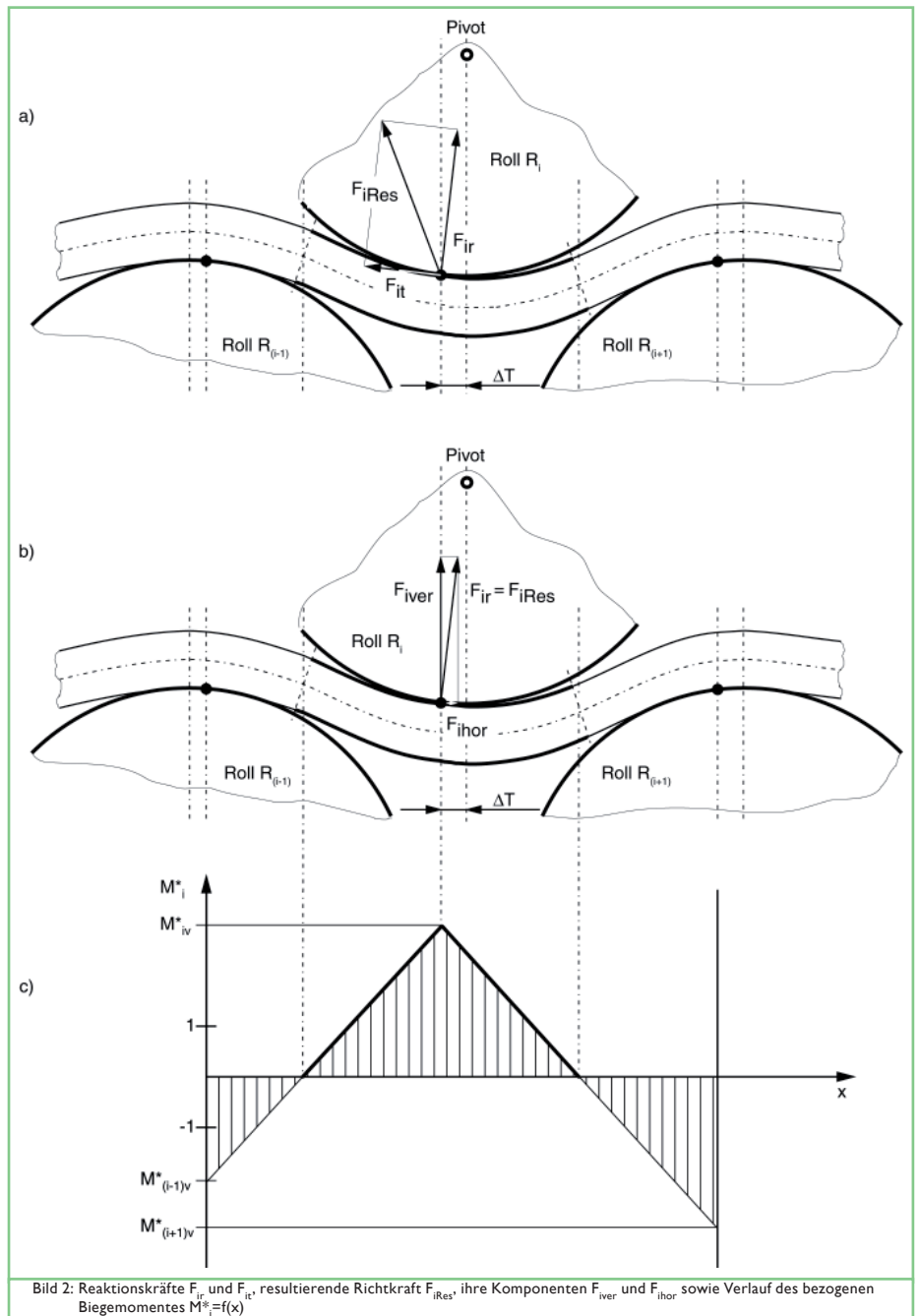
Die Verwendung von bezogenen dimensionslosen Größen, die durch einen Stern gekennzeichnet sind, vereinfacht die Berechnung [6]. Für die Anstellkraft  $F_{iA}$  (Gleichung 4) bzw. den Betrag der natürlichen Richtkraft  $|F_{iR}|$  gilt Gleichung 7.

$$|F_{iR}| = \left( \frac{R_p \cdot \pi \cdot d^3}{16 \cdot T} \right) |F_{iR}^*| \quad \text{Gleichung 7}$$

Die vorstehenden Zusammenhänge zeigen, dass die Ermittlung des Leistungsbedarfs die Bestimmung der bezogenen Biegemomente  $M_{(i-1)v}^*$ ,  $M_{iv}^*$  und  $M_{(i+1)v}^*$  voraussetzt. Durch Simulation des Richtprozesses [6] ist es möglich, Biegemoment-Krümmungskurven numerisch zu bestimmen, wobei iterativ der Verlauf des Biegemomentes  $M^* = f(x)$  (Bild 2 c) und der Krümmung  $\kappa^* = f(x)$  sowie die Biegelinie des Prozessmaterials  $y = f(x)$  unter Berücksichtigung der jeweiligen Rollenstellung berechnet werden. Mit dem Verlauf des Biegemomentes sind auch die bezogenen Biegemomente zur Bestimmung des Leistungsbedarfes bekannt.

### Konzept

Die Motivation hat wichtige Merkmale fortschrittlicher Herstellprozesse formuliert. Konventionelle Richtapparate besitzen diese Merkmale nicht. Ihre Konstruktion ist

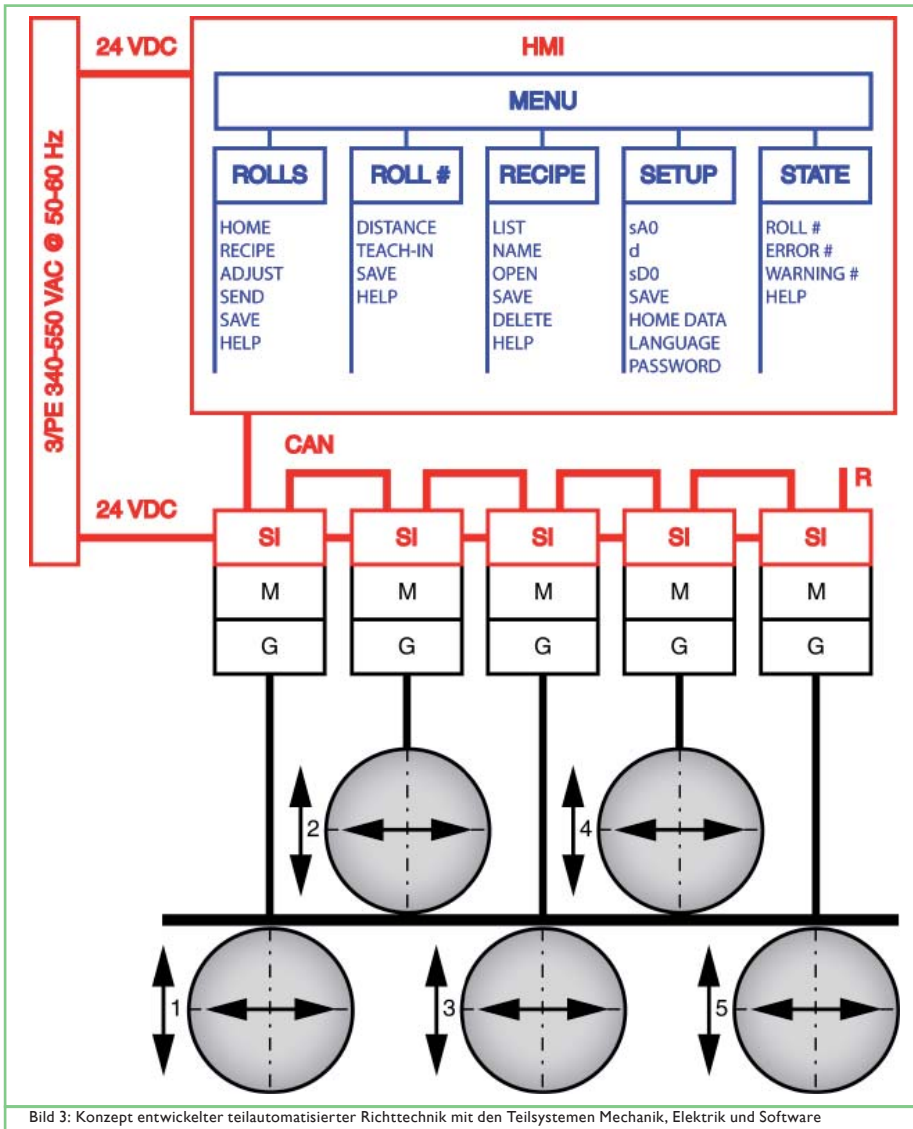


statisch, d. h. dem Nutzer bietet sich beispielsweise keine Chance, die Einsatzmöglichkeiten von Apparaten im Hinblick auf die Verarbeitung alternativer Querschnittsgeometrien oder Werkstoffe zu erweitern. Statt einfache Werkzeuge zur Verstellung von Richtrollen einzusetzen, kommen bei entwickelten teilautomatisierten Richtapparaten Aktoren zum Einsatz. Die jeweils aus Motor und Getriebe bestehenden Aktoren agieren zusammen mit Komponenten der Automatisierungstechnik und Softwareprogrammen, die sowohl die Zielpositionen der Richtrollen unter Berücksichtigung der gewünschten Fertigproduktqualität ermitteln als auch einstellen. Das Konzept des entwickelten teilautomatisierten Richtapparates besteht aus drei Teilsystemen. Die Teilsysteme Mechanik,

Elektrik und Software (Bild 3) sind schlank ausgeführt, d. h. die Komponentenanzahl ist jeweils minimiert.

### Teilsystem Mechanik

Im Kraftfluss des Teilsystems Mechanik sind der Servomotor ( $M$ ), das Planetengetriebe ( $G$ ), der Spindelverstellmechanismus einschließlich Schieber, Rollenachse und Richtrolle angeordnet (Bild 4). Revolutionär ist, dass sämtliche Elemente in einem Modul vereint sind. Durch die Modularisierung besteht die Möglichkeit, Richtapparate in kundenspezifischer Gestaltung schnell und effizient herzustellen, wobei die Gesetzmäßigkeiten der Massenproduktion und die dafür geltenden Richtlinien der Preisbildung berücksichtigt sind (mass customization = mass production + customization, [7]).



Zur Erreichung einer hohen Positioniergenauigkeit besteht die Möglichkeit, die Vorspannung des Spindelstellmechanismus einzustellen. Der Schieber besitzt zwei Gewindebohrungen für die Aufnahme mindestens einer Rollenachse. Rollenachsen und Richtrollen können kundenspezifisch gestaltet werden.

**Teilsystem Elektrik**

Klassische Positioniersysteme bestehen aus einer Industriesteuerung, Umrichtern und Sensoren, die in übergeordnete zentrale oder dezentrale Steuerungen eingebettet sind. Klassisch sind zudem Verkabelungen für serielle Kommunikation und Energieverteilung, die sternförmig von der Steuerung ausgehen. Derartige diskrete Gestaltungen erfordern intensive Verkabelungsüberlegungen und Anstrengungen im Rahmen der Realisierung, die schnell eine wesentliche Kostenposition darstellen.

Für entwickelte teilautomatisierte Richttechnik ist ein alternatives elektrisches Teilsystem realisiert, das lediglich aus Servoumrichtern und einem HMI (human machine interface), das als touchscreen ausgeführt ist, besteht. Jedem Modul (Bild 4) ist ein Servoumrichter zugeordnet, der mit dem übergeordneten HMI über den CAN-Datenbus kommuniziert, wobei die Kommunikation durchweg linear und nicht sternförmig verläuft (Bild 3). Als Variante lässt sich ein Modulverbund betreiben, der aus maximal 32 Einzelmodulen besteht. Das Energiemanagement ist dabei so gestaltet, dass die Rollen aller 32 Module synchron positioniert werden können.

Die Modularisierung und die Topologie gestatten es, ein echtes plug & play zu realisieren. So ist ein Austausch eines Aktors einschließlich Servoumrichter ohne zusätzlichen Inbetriebnahmeaufwand möglich, da ab Werk sämtliche Kommunikationseinstellungen und Initialisierungen der neuen Komponenten voreingestellt sind.

Auf Initiatoren oder Sensoren für die Erkennung von Endlagen oder für die Referenzierung (homing) wird bei entwickelter teilautomatisierter Richttechnik verzichtet, da intelligente Routinen des Teilsystems der Software diese Aufgaben zuverlässig übernehmen. Auch die nicht benötigte übergeordnete Steuerung, z. B. in Form einer SPS oder eines Computers, trägt zur Minimierung der Komponentenanzahl bei. HMI einschließlich Software sowie Servoumrichter agieren alternativ.

**Teilsystem Software**

Die auf dem HMI implementierte Software bestimmt die Kommunikation zum Umrichter eines Moduls bzw. zu den Servoumrichtern, wenn mehrere Module genutzt wer-

So können z. B. auf Kundenwunsch kostengünstig und kurzfristig Richtapparate mit einer spezifischen Anzahl von Richtrollen n oder mit einer spezifischen Teilung T (Bild 1) produziert werden. Die Teilung T wird bei entwickelter teilautomatisierter Richttechnik grundsätzlich unter Nutzung der Prozesssimulation [6] mit der Zielsetzung der Maximierung des Richtbereiches optimiert (Gleichung 1). Die vom Kunden gewünschte Fertigproduktqualität und die Materialkennwerte fließen in den Prozess der Optimierung der Teilung T ein.

Ein weiterer Vorteil der Modularisierung ist, dass jeweils mit einem Aktor ausgerüstete Module mit Modulen gepaart werden können, deren Richtrolle nicht verstellbar ist. Diese Variante trägt bei Beibehaltung des Funktionsprofils zu einer Verringerung der Investitionskosten bei. Alternativ beinhaltet die Strategie der mass customization entwickelter teilautomatisierter Richttechnik für den Nutzer das Moment, jederzeit kundenspezifische Produkte auch in kleinen Losgrößen zu fertigen und dem Verfahren der mass customization ebenso zu entspre-

chen. Dies gelingt problemlos, wenn die Richttechnik die Einstellung einer unterschiedlichen Teilung T erlaubt. Damit kann der Nutzer vor Ort den Rollenabstand spezifisch einstellen (Bild 3) und sich so z.B. perfekt an die Verarbeitung spezifischer Materialien oder Querschnitte (Draht, Rohr etc.) anpassen. In diesem Zusammenhang wird auf theoretisch und praktisch ermittelte Ergebnisse verwiesen, die einen signifikanten Einfluss der Teilung T auf die Fertigproduktqualität und die erforderliche Genauigkeit der Rolleneinstellung belegen [8].

Bis auf den Motor und das Getriebe sind die Elemente des mechanischen Teilsystems in einem Präzisionsgrundkörper angeordnet, der teilbar ausgeführt ist. Damit wird eine hohe Leistungsdichte erreicht. Der Leistungsbedarf für die Verformung des Prozessmaterials bzw. für die Rollenpositionierung ist unter Nutzung der relevanten Gesetzmäßigkeiten ermittelt und ermöglicht in der ersten Ausführungsform eine Verarbeitung von Materialien in einem großen Dickenbereich (5,0 mm bis 15,0 mm).

den. Die Software bildet sämtliche Routinen ab, die für entwickelte teilautomatisierte Richttechnik von Bedeutung sind (Bild 3). Exemplarisch dokumentiert Bild 5 die Bedienseite einer Routine für die synchrone Positionierung von Richtrollen (RECIPE), die sogenannte Anstellensätze bzw. Rezepte verwendet. Sie enthalten für jedes Modul den einzustellenden Positionswert und den Drahtdurchmesser. Datensätze können jederzeit durch den Nutzer direkt am HMI ausgewählt, erstellt, editiert oder gelöscht werden. Ist ein Datensatz ausgewählt, erfolgt im nächsten Schritt der Versand der im Datensatz gespeicherten Anstellungen an die Umrichter.

So wird im Handumdrehen beispielsweise für einen spezifischen Drahtdurchmesser die Nulllinie eingestellt, eine Schnellöffnung realisiert oder eine Grundeinstellung für ein spezifisches Prozeßmaterial sichergestellt.

Die Rollenanstellung zur Produktion gerade Prozessmaterials wird vor Prozessbeginn durch die Software SimDATA ermittelt [9], die auf der Simulation des Richtprozesses [6] basiert. Als einfaches Programm nutzt SimDATA binär kodierte Apparatbibliotheken, die das Wissen über die Rollenpositionen zur Produktion einer definierten Fertigproduktqualität enthalten. Mit der Verfügbarkeit der Software SimDATA er-

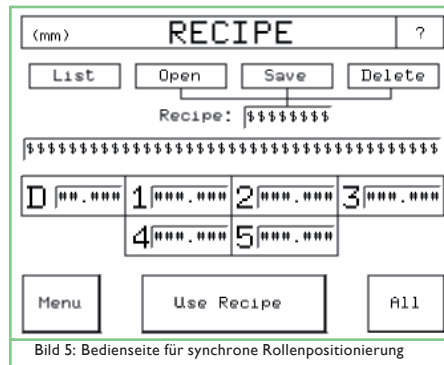


Bild 5: Bedienseite für synchrone Rollenpositionierung

füllt sich eine weitere Voraussetzung des fortschrittlichen Herstellprozesses, da Einstelldaten entwickelter teilautomatisierter Richttechnik vor Prozeßbeginn verfügbar sind.

**Zusammenfassung**

Aufbauend auf dem Wirkprinzip und den Hauptkenngrößen des Richtprozesses wird der Leistungsbedarf für Prozessmaterialverformung bestimmt. Die Ermittlung des Leistungsbedarfes wird durch ein Simulationsprogramm unterstützt, das Rollenrichtprozesse virtuell abbildet. Grundlage der Simulation ist ein theoretisches Modell zur elastisch-plastischen Wechselverformung eines Prozessmaterials sowie der Zusammenhang zwischen Biegemoment und Krümmung für Biegeoperationen. Geglie-

dert in die Teilsysteme Mechanik, Elektrik und Software wird das Konzept einer neuartigen Richttechnik erläutert, mit der Drahtrichtprozesse durchführbar sind, die die Merkmale fortschrittlicher Herstellprozesse besitzen. Kennzeichen dieser entwickelten teilautomatisierten Richttechnik sind die Modulbauweise, die Minimierung der Anzahl der Komponenten, eine einfach bedienbare Nutzerschnittstelle sowie die Verfügbarkeit von Prozess- und Einstelldaten vor Prozeßbeginn. Durch Flexibilität in der Gestaltung und Einstellung der Hauptkenngrößen Anzahl der Richtrollen und Rollenteilung ist es möglich, kundenspezifische Produkte auch in kleinen Losgrößen kostengünstig herzustellen. Damit eröffnen sich dem Nutzer die strategischen Vorteile der kundenindividuellen Massenproduktion oder mass customization, die es gestatten, genau die Produkte in genau den Qualitäten kostengünstig bereitzustellen, die gewünscht werden.

**Literatur**

- [1] Schneiderei, H.; Schilling, M.: Richtapparat mit elektronischer Positioniersteuerung. Draht, 48 (1997) 2, S. 18-19
- [2] Hübner, R.-T.: Moderne Richtmaschinen. Draht, 50 (1999) 5, S. 26-27
- [3] Linneweh, K.: Mut zur Muße – Innovation als persönliche Herausforderung. www.linneweh.com, Vortrag vor der TÜV Rheinland Group, (2005)
- [4] Paech, M.: Rollenrichtprozeß und Peripherie. Draht, 52 (2001) 3, S. 47-50
- [5] Kahlert, J.: Fuzzy Control für Ingenieure. Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden, (1995)
- [6] Guericke, W.; Paech, M.; Albert, E.: Simulation des Richtens von Draht. Draht, 47 (1996) 1/2, S. 23-29
- [7] Pine II, J. B.: Mass Customization: The New Frontier in Business Competition. Boston, Harvard Business School Press (1993)
- [8] Paech, M.: Maßgeschneiderte Richtapparate. Draht, 53 (2002) 4, S. 18-20
- [9] Paech, M.: Positionierung von Richtrollen. Draht, 52 (2002) 2, S. 41-42

Der Autor des Beitrages Dipl.-Ing. Marcus Paech ist Technischer Geschäftsführer der WITELS-ALBERT GmbH.

WITELS-ALBERT GmbH  
 Malteserstraße 151-159  
 D-12277 Berlin  
 Tel.: +49 30 723 988 0  
 FAX: +49 30 723 988 88  
 info@witels-albert.com

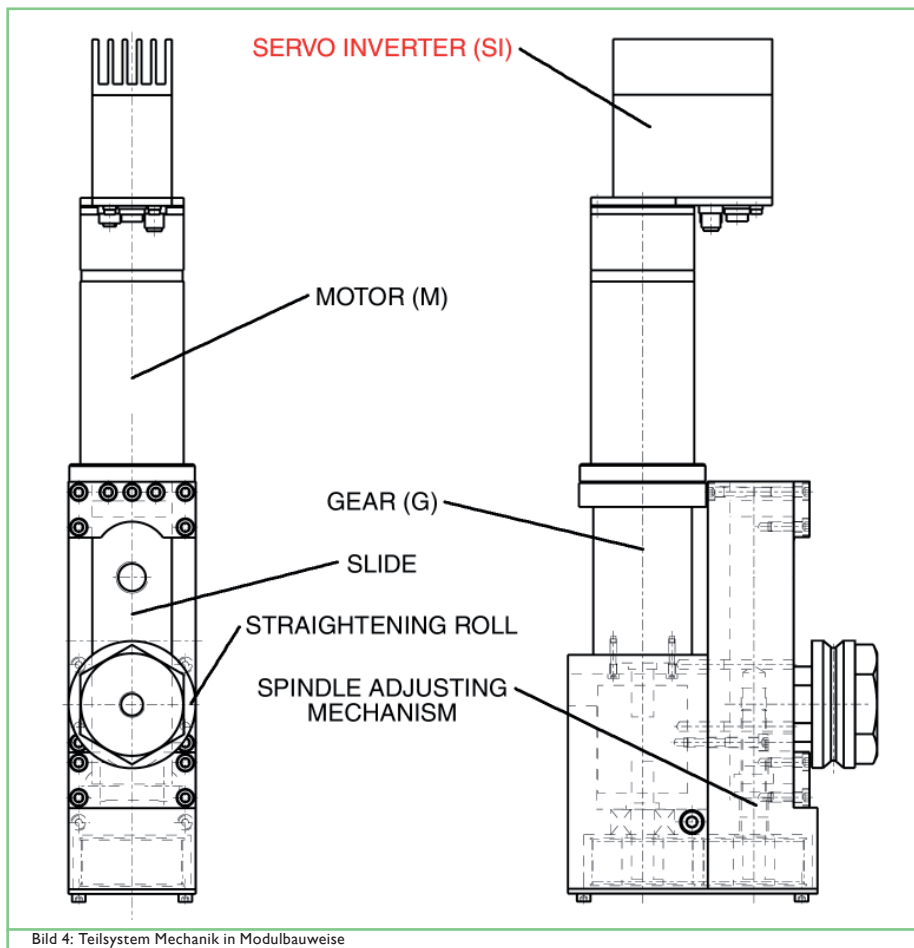


Bild 4: Teilsystem Mechanik in Modulbauweise