

# Virtuelle Richtmaschine mit biegsamen Rollen

B.-A. Behrens, T. El Nadi, R. Krimm.

Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM)

Leibniz Universität Hannover

An der Universität 2, D-30823 Garbsen

Tel. +49 (0)511/ 762-3679

Fax +49 (0)511 / 762-3007

[elnadi@ifum.uni-hannover.de](mailto:elnadi@ifum.uni-hannover.de), [krimm@ifum.uni-hannover.de](mailto:krimm@ifum.uni-hannover.de)

## Danksagung

Das Forschungsvorhaben mit dem Titel "Entwicklung eines analytischen 3D-Simulationsmodells zur Regelung einer Richtmaschine" wird unter der BE1691/20-2 von der deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert. Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung.

## Inhalt

Ein Großteil des in Europa produzierten Stahls wird zu Blechteilen verarbeitet. Im Zuge wachsender Anforderungen an die Fertigungsqualität von Blechteilen steigen auch – je nach Einsatzzweck – die Qualitätsanforderungen an die als Halbzeug verwendeten Feinbleche [Menz02]. Neue Richtmaschinen sind mit flexiblen, aber auch komplexen Einstellmöglichkeiten ausgestattet. Die Einstellung der Maschine erfolgt abhängig von der Erfahrung des Bedieners. In dieser Arbeit wird ein analytisches Modell des Richtprozesses vorgestellt, mit dem sich der Richtvorgang beim Rollenrichten simulieren lässt. Es wurde ein Berechnungsalgorithmus entwickelt, mit dessen Hilfe das Blech nach dem Richten abgebildet wird. Die Simulationsergebnisse wurden mit Messergebnissen aus der Praxis validiert.

## Abstract

Sheet metals are widely used in the steel industry. Due to the demand of high production quality, the required standards increase. They are different due to the usage of the sheet metal. New straighteners are more adoptable to the required quality standards, but also the set-up of the machine is more complicated. In most cases the experience of the operator affects the quality of the straightened sheet metal. In this study the straightening process will be investigated, a new straightener will be modelled and simulated under different conditions. The simulation was validated with practical experiments.

## 1. Stand der Kenntnisse

Bei der Herstellung hochwertiger Blechteile mit geringen Maßabweichungen ergeben sich auch für die als Halbzeuge zu verarbeitenden Feinbleche erhöhte Erfordernisse an die Fertigungsqualität. Die Mindestansprüche sind abhängig vom späteren Einsatzzweck und dem gewählten Verarbeitungsverfahren. Neben der geometrischen Toleranz ist auch der Eigenspannungszustand von Blechen ein Qualitätsmerkmal. Hohe oder inhomogen verteilte Eigenspannungen des Ausgangsmaterials können zu unerwünschtem Verzug des späteren Bauteils führen. Feinbleche werden daher vor der Weiterverarbeitung häufig mit einer Richtmaschine bearbeitet, um Eigenspannungen und Planheitsfehler zu minimieren [henr94].

Unter der Oberbegriff ‚Blechimperfectionen‘ können alle Abweichungen des realen Bleches vom angestrebten Idealzustand zusammengefasst werden. Besonders unerwünscht sind die sichtbaren Imperfectionen wie Dickenabweichungen Krümmungen und Wellen. Ein ungünstiger Eigenspannungszustand und eine eventuelle Anisotropie des Bleches sind hingegen schwieriger zu detektieren. Als Idealzustand ist ein spannungsfreies Blech und isotropes Material zugrunde zu legen [henr94].

Die auftretenden Planheitsfehler können eine abwickelbare oder eine nicht abwickelbare Geometrie aufweisen. Abwickelbare Planheitsfehler (Abbildung 1) sind dadurch gekennzeichnet, dass das Blech nur um eine Achse gekrümmt ist. Ursache für die Blechkrümmung ist vor Allem das Aufwickeln auf Coils. Durch das Richten mit Hilfe einer Rollenrichtmaschine können abwickelbare Planheitsfehler minimiert werden. Hierbei wird das zu richtende Blech durch eine Reihe versetzt angeordneter Rollen transportiert und dabei abwechselnd konvex und konkav gebogen [menz02].

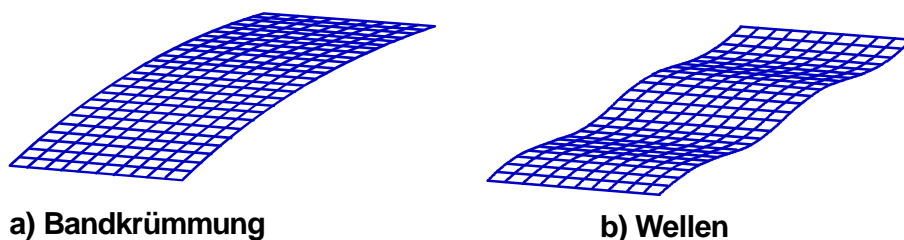


Abbildung 1: abwickelbare Planheitsfehler [buch73]

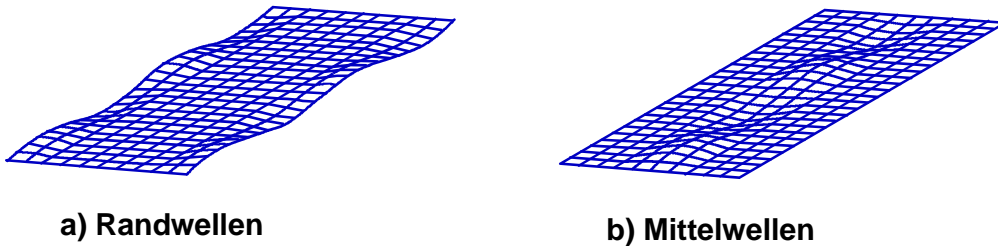


Abbildung 2: nicht abwickelbare Planheitsfehler [buch73]

Nicht abwickelbare Planheitsfehler (Abbildung 2) sind im Gegensatz zu abwickelbaren Planheitsfehlern auch über die Blechbreite gekrümmt, was meistens durch die großen Eigenspannungen hervorgerufen wird [buch73]. Die bekanntesten dieser Fehlerart sind Randwellen und Mittelwellen. Bis jetzt ist keine Methode bekannt, mit der nicht abwickelbare Krümmungsfehler vollständig vermieden werden.

### Rollenrichtmaschinen mit biegenden Rollen

Die wesentlichen Kennwerte einer Richtmaschine sind die Rollendurchmesser, die abhängig von der Dicke des zu richtenden Bleches gewählt werden, sowie die Rollenteilung. Der Richtbereich ist das Verhältnis zwischen der größten und der kleinsten richtbaren Blechdicke. In vielen Fällen wird versucht, einen möglichst großen Richtbereich für einen universalen Einsatz der Richtmaschine zu erreichen.

Eine Möglichkeit zur Beseitigung nicht abwickelbarer Planheitsfehler ist die Verwendung gezielt verformter Richtrollen. Die Einhaltung einer maximal zulässigen Durchbiegung der Richtrollen bedingt jedoch eine Begrenzung der Richtkraft. Um den Richtbereich zu vergrößern und eine unerwünschte und unkontrollierte Verformung der Richtrollen zu vermeiden, werden Stützrollen eingesetzt (Abbildung 3). Die Biegeweichselfestigkeit der Richtrollen darf hierbei keinesfalls überschritten werden.

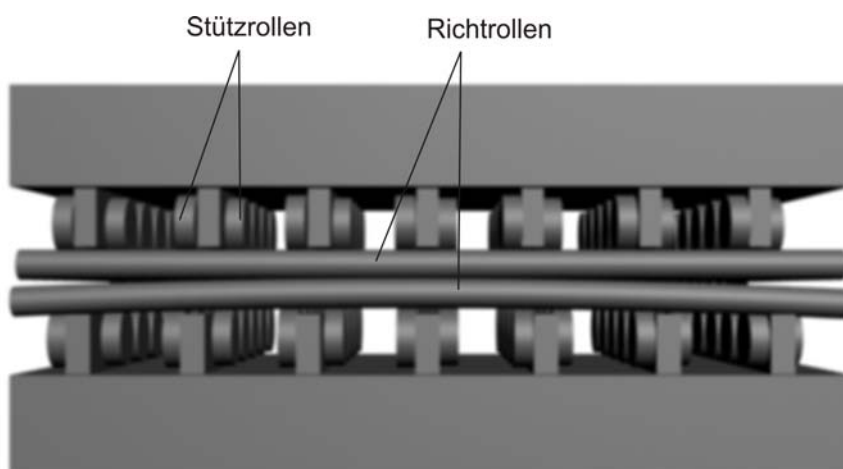


Abbildung 3: Die Stütz- und Richtrollen

In der Regel sind die Unterrollen elastisch verformbar und die Oberrollen in senkrechter Richtung verstellbar, die Einlauf- und Auslaufsrichtrollen können eingestellt werden, die übrigen oberen Richtrollen werden linear angeordnet. Die Oberrollen tauchen auf der Einlaufseite tiefer zwischen die Unterrollen ein (Abbildung 4), um dem Blech eine starke Krümmung aufzuzwingen und das Material zu plastifizieren. Zum Auslauf hin werden die dem Blech aufgezwungene Krümmung bzw. die Eintauchtiefe der Rollen verringert (bräu04).

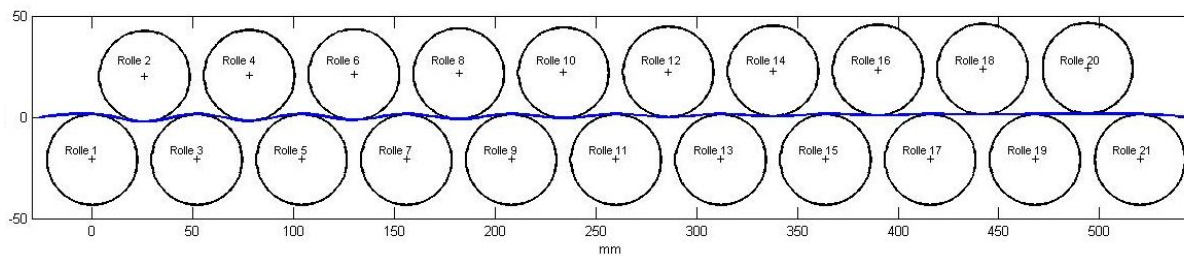


Abbildung 4: unterschiedliche variable eintauche tiefe der Rollen

## 2. Analytische dreidimensionale Abbildung des Prozesses

### 2.1 Blech vor dem Richten

Die theoretische Abbildung des Richtprozesses gestaltet sich aus vielfältigen Gründen außerordentlich schwierig. Diese sind sowohl im Blechmaterial, als auch der Maschine und dem Prozess an sich begründet. Die Eigenschaften des Bleches vor dem Richten bezüglich der Eigenspannungsverteilung und einer potentiellen Kaltverfestigung sind aufgrund mehrfachen Umwickelns oder Zerteilens des Bandes vor dem eigentlichen Verarbeitungsprozess (unbekannte Verformungshistorie) nur mit begrenzter Genauigkeit bekannt.

Zur Anwendung des im Folgenden beschriebenen Berechnungsalgorithmus wird die Oberflächentopografie des Bleches in Form punktuell abbildender ASCII-Daten benötigt, wie sie mit einem kommerziellen Messsystem vor dem Einlaufen des Bleches in die Maschine aufgenommen werden kann [aver91].

### 2.2 Ansatz

Bei nicht abwickelbaren Planheitsfehlern liegen im Blech über der Länge sowie der Breite Krümmungen vor. Die bekanntesten solcher Planheitsfehler sind Rand- und Mittelwellen. Die Beseitigung solcher Planheitsfehler ist schwierig. Hierzu ist es notwendig, unterschiedliche Bereiche des Bleches relativ zueinander zu dehnen, bzw. die Längeneigenspannungen

abzubauen (henr94). Zur Abstrahierung des Problems wird das Blech in virtuelle Längestreifen zerlegt. Bei Randwellen sind die äußeren Streifen beispielsweise länger als die mittleren. Um Randwellen zu beseitigen, müssen die mittleren Streifen mehr als die äußeren gestreckt werden. In diesem Fall müssen die Richtrollen in der Mitte tiefer zwischen den oberen Rollen eintauchen, um für die mittleren Blechstreifen einen längeren „Durchlaufweg“ durch die Maschine zu realisieren, als für die äußeren.

Entsprechend variabel sind die Kräfte, die auf die Rollen wirken und die zur Erzielung eines guten Richtergebnisses geeigneten Einstellungen der Maschine. Die Reibungsverhältnisse in der Maschine variieren von Rolle zu Rolle in kaum vorhersagbarer Weise. Weiterhin ist der Richtprozess insofern sehr empfindlich, dass bereits Änderungen an der Höhenverstellung der Rollen im Bereich einiger  $\mu\text{m}$  entscheidend dafür sind, ob das Richtgut hinterher gerade ist oder eine Restkrümmung enthält [behr09a]. Nicht unbedingt ein Problem der Simulation selbst, aber doch von deren Anwendung ist die Bereitstellung von Vergleichsdaten realer Bleche als Ein- und Ausgangsgrößen. Gemessene Krümmungen bzw. Wellenlängen und Amplituden am Blech sind nur dann uneingeschränkt geeignet, wenn das Blech frei von äußeren Kräften vorliegt [behr08]. Die Krümmungswerte werden jedoch bereits durch das Eigengewicht eines Bandes oder einer Blechtafel beeinflusst.

Sowohl aus den genannten Gründen, als auch wegen des großen Rechenaufwands sowie der Unsicherheiten bei der Kontaktmodellierung zwischen Blech und Rollen ist für eine schnelle Analyse bzw. die Einstellung einer Richtmaschine die Finiten- Elemente- Methode nur eingeschränkt geeignet. Eine alternative Möglichkeit ist ein analytischer Ansatz, wie er derzeit am IFUM auf die oben beschriebene Weise realisiert wird. Auf Basis dieses zunächst vorwiegend geometrischen Ansatzes wird das Richten mit einer Maschine mit biegsamen Rollen zur Beseitigung von nicht abwickelbare Planheitsfehler (Rand- und Mittelwellen) abgebildet.

### **2.3 Simulationskonzept**

Die analytische Abbildung der Richtmaschine sowie ein Algorithmus zur Berechnung der Längendehnungen der virtuellen Blechstreifen werden softwaretechnisch in der Entwicklungsumgebung MATLAB umgesetzt und visualisiert. Eingangsgrößen sind die Geometriedaten der Maschine und die Geometrie bzw. Oberflächentopografie des Bleches vor dem Einlaufen in die Maschine.

Für eine Richtmaschine mit biegsamen Richtrollen ist die Geometrie vollständig parametrisiert aufgebaut, so dass konstruktive Änderungen an der Maschine leicht in der Modellrechnung nachvollzogen werden können (virtuelle Richtmaschine). Auf Basis der eingegebenen Stützrolleneinstellung wird die gezielte Verformung der Richtrollen berechnet.

Um die Kontaktstellen zwischen jedem virtuellen Blechstreifen und den Richtrollen zu definieren, müssen für jeden Streifen die entsprechenden Zustellwerte bzw. die Lage des zugehörigen Rollenoberflächenabschnittes im Raum zugeordnet werden. Diese gezielte Verformung der Richtrollen verursacht abschnittsweise plastische Dehnungen in den einzelnen Blechstreifen. Zur Berechnung der Durchlaufängen der Streifen wurde ein von den Maschinenparametern und Einstelldaten der Maschine abhängiger Längenansatz aufgestellt und die Länge jedes Streifens nach dem Richten berechnet [behr09b]. Vorausgesetzt wird, dass das Blech sich mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit (d. h. die Drehzahl aller Richtrollen ist gleich) und geradlinig, d. h. ohne seitliche Verschiebung durch die Maschine bewegt.

## 2.4 Benutzeroberfläche

Zur Eingabe der Maschinengeometrie und der Einstelldaten ist eine benutzerfreundliche Oberfläche entwickelt worden, mit deren Hilfe gleichzeitig das Blech vor und nach dem Richten sowie die Maschine visualisiert werden. Abbildung 5 zeigt beispielhaft die Maske zur Eingabe der Maschinengeometrie, der Maschineneinstellungen sowie der Eigenschaften des Bleches.

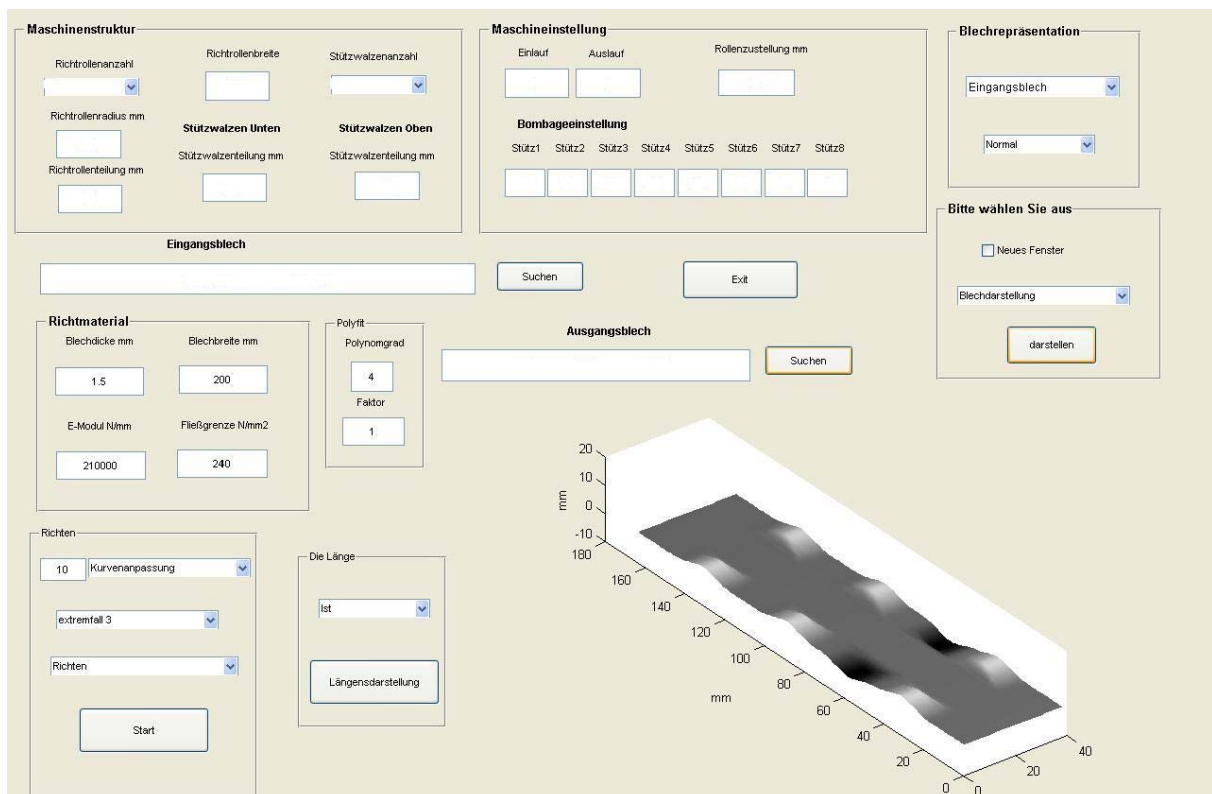


Abbildung 5: Benutzeroberfläche

## Erste Validierungsergebnisse

Mit dem entwickelten Programm wird die Dehnung des Bleches über der Breite innerhalb der Maschine berechnet. Das Blech wird gedanklich in Blechstreifen zerlegt. Für jeden Blechstreifen wird die Länge vor dem Richten und die Dehnung sowie die gesamte Verlängerung nach dem Richten berechnet. Bei der Definition von Planheitsfehlern wird der vor dem Richten kürzeste Blechstreifen gesucht und alle längeren als Planheitsfehler definiert. Die Längendifferenzen gegenüber dem kürzesten der gedanklichen Blechstreifen sind also ein Maß für die Planheit des Bleches.

Abbildung 6 zeigt ein Beispiel der Berechnungsergebnisse. Dargestellt sind die Längenabweichungen der gedanklichen Blechstreifen über der Blechbreite gegenüber dem kürzesten Blechstreifen. Das Blech hat vor dem Richten Randwellen links und rechts. Entsprechend treten dort die größten Längendifferenzen auf. Nach dem Richten mit den an der „virtuellen Richtmaschine“ vorgenommenen Einstellungen liegen weiterhin Randwellen vor, jedoch von geringerer Ausprägung als vor dem Richten. Entsprechende Versuche sind exemplarisch an einer realen Maschine der simulierten Bauart durchgeführt worden. Die Praxisergebnisse zeigen kleinere verbleibende Randwellen links und rechts als die Simulationsergebnisse. Bei diesem Versuch stimmen die Simulations- und Praxisergebnisse tendenziell überein. Die Randwellen sind reduziert, jedoch nicht vollständig abgebaut.

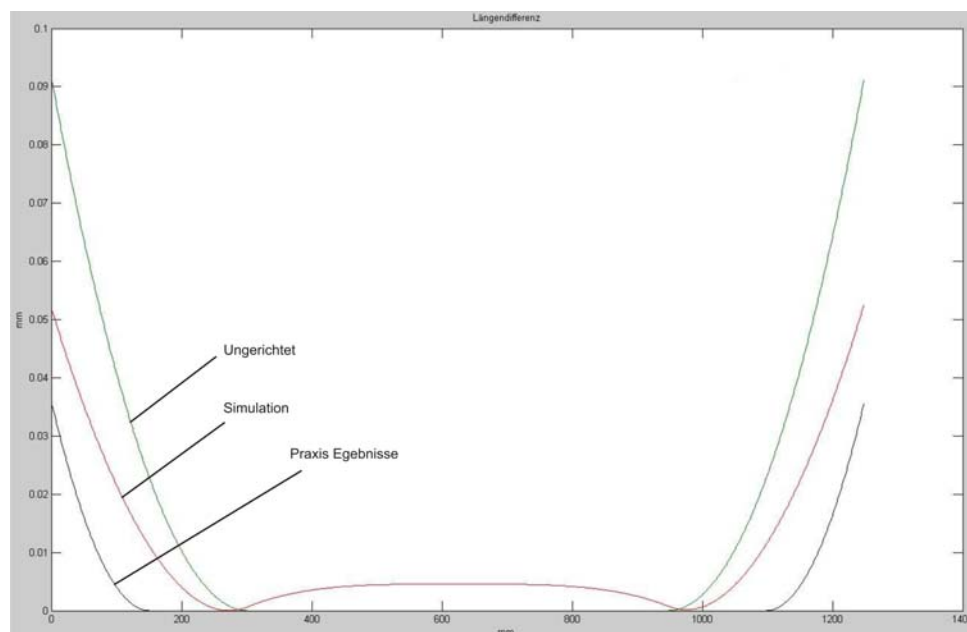


Abbildung 6: Reduktion von Randwellen (Beispiel 1)

Die Abweichungen zwischen Simulation und Messung haben neben den unvermeidlichen Abweichungen des Modells von der Realität ihre Ursache in Messfehlern. Das Blech lag für die Messungen horizontal auf einer geraden Platte. Die Abmessungen der Randwellen (Höhe, Wellenlänge) wurden händisch ermittelt. Bei dieser Messmethode werden tendenziell geringere Wellenamplituden und somit generell geringere Planheitsfehler des Bleches ermittelt, als das Blech (bei Schwerelosigkeit) aufgrund der Eigenspannung aufweisen würde. Ursache ist das Eigengewicht des Materials, aufgrund dessen das Blech „glatter“ auf der Unterlage liegt. Eventuell noch vorhandene Krümmungen werden durch das Eigengewicht gemindert oder ganz unterdrückt. Ein Beispiel hierfür zeigt Abbildung 7. Hier weist das Blech vor dem Richten Randwellen rechts und links. Bei den Praxisversuchen wurde ein ebenes Blech festgestellt, während in den Simulationsergebnissen Randwellen links und rechts in reduzierter Höhe verbleiben.

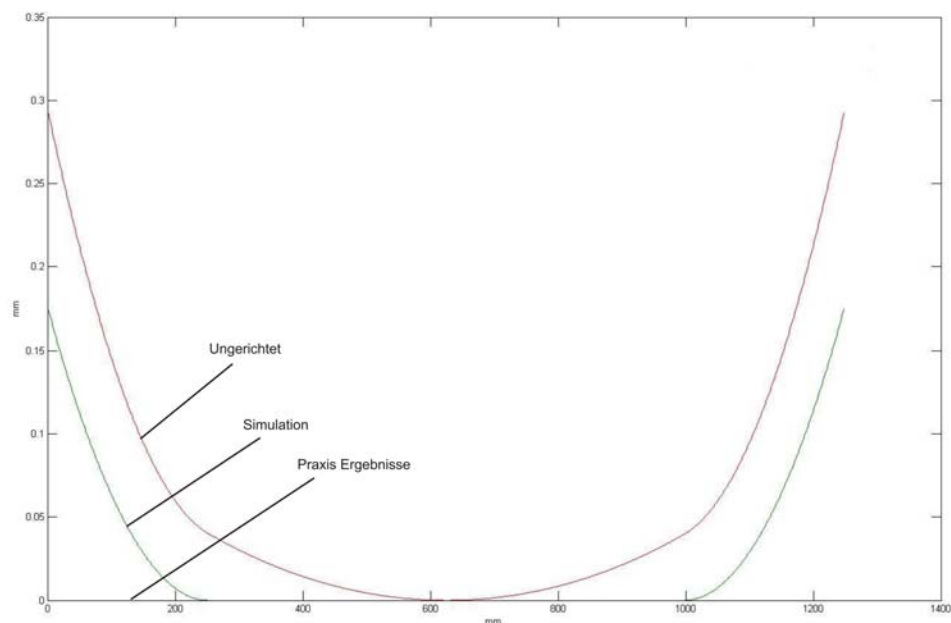


Abbildung 7: Reduktion von Randwellen (Beispiel 2)

### 3. Zusammenfassung

Der derzeitige Stand der Kenntnisse auf dem Gebiet der Richtmaschinen zeigt, dass diese mit zahlreichen Technologien und flexiblen Einstellmöglichkeiten ausgestattet sind. Bezüglich der für einen vorteilhaften Richtvorgang einzustellenden Werte sind jedoch nach wie vor Fragen offen. In dieser Arbeit wurde eine Richtmaschine mit biegsamen Rollen analytisch modelliert und simuliert. Das Programm kann als „virtuelle Richtmaschine“ zur Erprobung von Maschineneinstellungen verwendet werden, ohne dass dafür Blechmaterial verwendet werden müsste. Es liegt ein Berechnungsalgorithmus mit der Möglichkeit der Bewertung unterschiedlicher Maschineneinstellung bezüglich der Eignung zum Richten eines



bestimmten Bleches vor. Voraussetzung für den Einsatz ist jedoch das Vorliegen von Messdaten bezüglich der Topografie des zu richtenden Bleches. Die Simulationsergebnisse wurden anhand von Praxisversuchen exemplarisch validiert. Simulations- und Messergebnisse stimmen tendenziell überein. Erklärbare Abweichungen liegen im Rahmen der Erwartungen.

## Literatur

- [aver91] Averhage, M.; Liewald, M.; Strassmann, T.: Konstruktion eines Krümmungssensors für den Einsatz an einer Walzrundmaschine. Interner bericht, Lehrstuhl für Umformende Fertigungsverfahren, Universität Dortmund, 1995.
- [behr08] Behrens, B.-A.; Krimm, R.: Controlled Sheet Metal Straightening, TMS 2008, 137th Annual Meeting & Exhibition, March 9th -13th 2008, New Orleans, Proceedings.
- [behr09a] Behrens, B.-A.; El Nadi, T.; Krimm, R. Einstellung von Richtmaschinen, UTF Science, Ausgabe 3/2009, Meisenbach Verlag, Bamberg, August 2009
- [behr09b] Behrens, B.-A.; El Nadi, T.; Krimm, R. Richten von Rand- und Mittelwellen – Ein analytisches Simulationsmodell zur Erstellung einer Richtmaschine mit biegsamen Rollen, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 6/2009, S. 478 - 481, Juni 2009, 104. Jahrgang, Hanser Verlag
- [buch73] Buchholz, O.-W.: Beitrag zur Frage der Eigenspannungen und der Planheit von Kaltgewalztem Feinblech, Dissertation, Technische Universität Hannover, 1973.
- [bräu96] Bräutigam, H.: Richten mit Walzrichtmaschinen. 3. Auflage. Eigenverlag der Firma ARKU Maschinenbau GmbH, 1996.
- [henr94] Henrich, L.-S.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Richtwalzen von Blechen, Dissertation Universität – Gesamthochschule Siegen, 1994.
- [menz02] Menz, R.: Entwicklung eines analytischen Simulationsmodells als Grundlage einer geregelten Richtmaschine, Dissertation, Universität Hannover, 2002.
- [Sieg00] Siegert, K.: 3D Erfassung und Bewertung der Oberflächenstrukturen von Feinblechen und Werkzeugen. Measurement of sheet and tool surfaces. Zeitschriftenaufsatz: wt Werkstatttechnik online Heft 10, S. 414-418, Band 90, 2000.

## **Abbildungen**

Abbildung 1: abwickelbare Planheitsfehler [buch73].....	2
Abbildung 2: nicht abwickelbare Planheitsfehler [buch73] .....	3
Abbildung 3: Die Stütz- und Richtrollen.....	3
Abbildung 4: unterschiedliche variable eintauche tiefe der Rollen .....	4
Abbildung 5: Benutzeroberfläche .....	6
Abbildung 6: Reduktion von Randwellen (Beispiel 1).....	7
Abbildung 7: Reduktion von Randwellen (Beispiel 2).....	8

## **Autorenangabe**

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens, Institutsleiter, IFUM, 30823 Garbsen

M.Sc. Tamer El Nadi, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, IFUM, 30823 Garbsen

Dr.-Ing. Richard Krimm, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, IFUM, 30823 Garbsen

## **Kurzbiographien**

Prof. Dr.-Ing. B.-A. Behrens, studierte Maschinenbau an der Universität Hannover und promovierte anschließend am IFUM bei Prof. Dr.-Ing E. Doege. Nach mehrjähriger leitender Tätigkeit bei der Salzgitter AG kehrte er 2003 an das Institut zurück und leitet dieses seit Januar 2004.

M.Sc. T. El Nadi, studierte Elektrotechnik und Informationstechnik an der Universität Hannover. Er ist seit Januar 2005 am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) als wissenschaftlicher Mitarbeiter beschäftigt.

Dr.-Ing. R. Krimm, studierte Maschinenbau an der Universität Hannover. Nach mehrjähriger Tätigkeit in der freien Wirtschaft ist er seit Januar 2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFUM und promovierte bei Prof. Dr.-Ing. B.-A. Behrens auf dem Gebiet Umformmaschinen.