



Die Tandemstraße eines Kaltwalzwerkes in Duisburg-Beeckerwerth erzeugt kaltgewalzte Feinbleche in breiten und dünnen Abmessungen

Foto: ThyssenKrupp Steel AG

## LASERANLAGE MISST ONLINE DIE EBENHEIT VON WALZPRODUKTEN

# Den Bewegungszustand des Blechs einfrieren

Dr. Reinhard Noll, Aachen, und Michael Krauhausen, Baesweiler

Mithilfe der Laser-Messtechnik lassen sich geometrische Größen von Walzprodukten online im Fertigungsablauf erfassen. Dabei erschließt diese Technik ein neues Potenzial von Anwendungsmöglichkeiten. Gegenüber herkömmlichen Verfahren ist sie flexibler, genauer, schneller und bietet zudem einen hohen Automationsgrad.

Die Prüfung geometrischer Eigenschaften von Walzprodukten in der Fertigungslinie ist eine entscheidende Voraussetzung für eine effiziente Prozessführung und Qualitätssicherung. Ebenheit, Geradheit, Profil, Dicke und Breite sind typische Prüfgrößen, die idealerweise im Produktionsfluss gemessen werden.

Die Anforderungen an die Ebenheit von Grobblechen werden nach DIN EN

10029 definiert [1]. Der Walzwerksbetrieb muss dem Kunden die Einhaltung der Norm nachweisen. Im folgenden Beispiel wird die Ebenheit der Walzbleche unmittelbar hinter der Kaltrichtmaschine gemessen. Die online gewonnenen Daten dienen als Nachweis für die Einhaltung der Toleranzen und bilden die Basis für eine Automation des Richtprozesses.

Bislang wurde die Ebenheit manuell mit einer Linealmessung ermittelt. Nach-

teilig ist die geringe Reproduzierbarkeit, der hohe Werkereinfluss und die händische Dokumentation. Die Rückführbarkeit der eingesetzten Messmittel war nicht gewährleistet.

### Vergleich zweier Verfahren

Für die Ebenheitsmessung mit optischen Methoden kommen die Weißlicht-Streifenprojektion und das Laser-Lichtschnitt-

verfahren infrage. Beide Ansätze beruhen auf der Beleuchtung der Blechoberfläche mit Lichtlinien und der Beobachtung der Beleuchtungsmuster mit Kameras, die in einer von der Beleuchtungsrichtung verschiedenen Beobachtungsrichtung angeordnet sind. Aus der auf dem Kamera-detektor gemessenen Lage und Form der abgebildeten Lichtlinien wird mithilfe der Triangulation die Topografie der Blechoberfläche ermittelt [2].

Verglichen wurden die Eigenschaften von Ebenheitsmesssystemen mit Weißlicht-Streifenprojektion und Laser-Lichtschnitt (Tabelle 1). Bei der Weißlicht-Streifenprojektion werden thermische Lichtquellen mit Anschlussleistungen im Multi-Kilowattbereich eingesetzt, um die Bleche aus großer Höhe zu beleuchten. Wegen der Breitbandigkeit dieser Strahlquellen ist die spektrale Strahldichte, die die Strahlungsleistung bezogen auf das Flächenelement, das Wellenlängenintervall und den Raumwinkel angibt, jedoch um viele Größenordnungen kleiner als bei den Laserstrahlquellen. Aufgrund der hohen spektralen Strahldichte der Laserstrahlung kann der Einfluss von Fremdlicht auf die Messung nahezu vollständig unterdrückt werden. Bei der Weißlichtbeleuchtung ist die Unterdrückung von Fremdlicht nicht möglich.

Die hohe Lebensdauer der Laserstrahlquellen minimiert den Wartungsaufwand, wohingegen bei den Weißlichtquellen alle drei bis fünf Monate die Lampen gewechselt werden müssen. Aufgrund der hohen spektralen Strahldichte der Laserstrahlung kann die Belichtungszeit für eine Messung um den Faktor 4 und mehr gegenüber der Weißlichtprojektion verkürzt werden. Das ist eine entscheidende Voraussetzung, um auch an bewegten Blechen genau messen zu können und den aktuellen Bewegungszustand des Blechs einzufrieren.

Bei der Weißlicht-Streifenprojektion muss aufgrund der großflächigen Beleuchtung die Verzerrung der projizierten Streifenmuster rechnerisch korrigiert werden, und für eine Vor-Ort-Kalibrierung sind große Referenzbleche erforderlich. Bei der Lasermessung entfällt dies, da die Lasersensoren werkseitig kalibriert sind. Mehrere Laser-Lichtschnittsensoren an einer Ebenheitsmessmaschine werden vor Ort automatisch mit einem in die Maschine integrierten Ebenheitsnormal abgeglichen. Auf diese Weise wird die Rückführbarkeit und Messmittelfähigkeit der

Kenngroße	Weißlicht-Streifenprojektion	Laser-Lichtschnitt
Leistung der Lichtquelle [W]	bis 5000	< 1
Spektrale Strahldichte [W/cm <sup>2</sup> /nm/sr]	< 10 <sup>-1</sup>	> 10 <sup>4</sup>
Lebensdauer der Lichtquelle [h]	2500	> 50 000
Rückführbarkeit des Messmittels	nicht gegeben	Jeder Laser-Lichtschnittsensor ist kalibriert mit belegbarer Rückführbarkeit.
Messmittelfähigkeit nach MSA 2.0 [3]	nicht erfüllt	erfüllt
Belichtungszeit [ms]	> 20	< 5
Wiederholpräzision für ein 1 m langes Lineal [µm]	100 (ruhend Blech)	< 30 (bewegtes Blech)

Tabelle 1. Vergleich der Eigenschaften von Ebenheitsmesssystemen basierend auf Weißlicht-Streifenprojektion und Laser-Lichtschnitt

Laser-Ebenheitsmessanlage sichergestellt und regelmäßig geprüft.

### Ermitteln der Blechtopografie

Die Walzbleche laufen von links kommend in die Messanlage ein (Bild 1). An einem Balken sind nebeneinander zehn Laser-Lichtschnittsensoren montiert, die drei quer über das Blech laufende Laserlinien auf die Oberfläche des Messobjekts projizieren. Die drei Laserlichtschnitte verlaufen parallel zueinander und sind in Blechbewegungsrichtung versetzt.

Die Messung aller Sensoren erfolgt

synchron, sodass der momentane Bewegungszustand des Blechs eingefroren wird. Durch die gleichzeitige Messung der Blechoberfläche an den drei Laserlinien wird zwischen Blecheigenbewegung und Ebenheitsabweichung unterschieden. Aus einer Vielzahl von Einzelmessungen am durchlaufenden Blech wird die Blechtopografie ermittelt. Die Ortsauflösung quer zur Förderrichtung beträgt weniger als 1 mm und in Längsrichtung ca. 5 mm bei einer typischen Rollgangsgeschwindigkeit. Durch die hohe Ortsauflösung in Breitenrichtung ist die Messanlage gleichzeitig in ▷

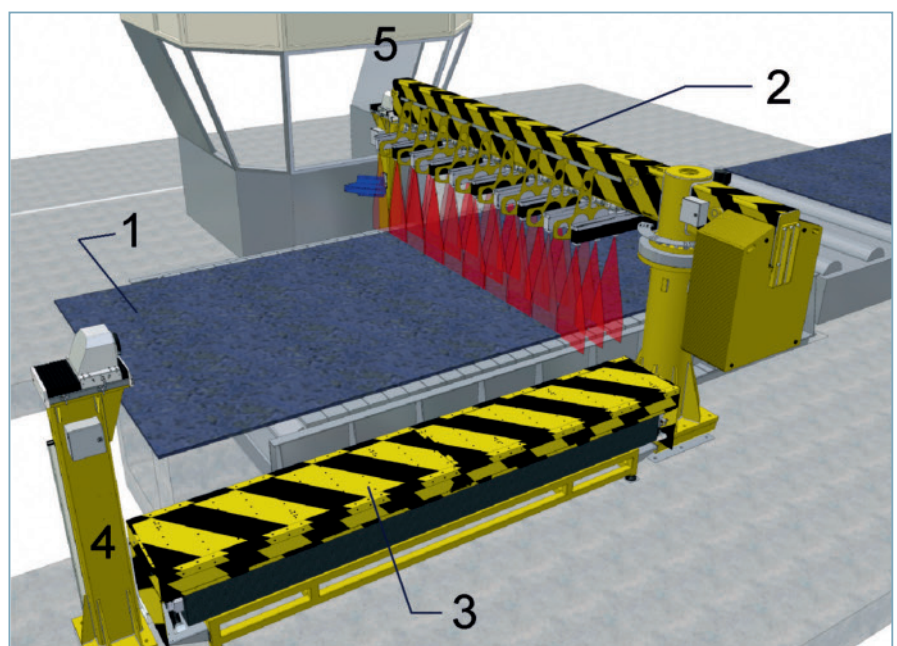


Bild 1. Konzept einer Laser-Ebenheitsmessanlage für ein Grobblech-Walzwerk  
1 = Grobblech, 2 = schwenkbare Messbrücke mit Lasersensoren, 3 = Justierstation, 4 = Treffersäule, 5 = Steuerstand

der Lage, auch die Blechbreite (Format) zu messen.

Der über dem Rollgang stehende Messbalken wird zur Justierung und Überwachung um 90° aus dem Rollgang geschwenkt und zu einer seitlichen Grundposition geführt. In dieser Position befindet sich unterhalb des Messbalkens ein langzeitstabiles Ebenheitsnormal in einem Schutzgehäuse. Für die Justierung wird die Oberseite des Schutzgehäuses automatisch geöffnet, und die Laserstrahlen werden auf das Ebenheitsnormal gerichtet.

Die Justier- und Überwachungsprozedur dauert nur wenige Minuten. Die Ergebnisse werden im Anlagenrechner protokolliert, sodass ein lückenloser Nachweis der Messmittelfähigkeit gegeben ist. Durch die Schwenkbarkeit des Messbalkens wird die Zugänglichkeit des Rollgangs für Wartungszwecke und Kranarbeiten nicht eingeschränkt.

Die Sensoren sind einfach zugänglich und können im Servicefall leicht ausgetauscht werden (Bild 2). Für einen Sensorwechsel inklusive Anlagenjustierung benötigt man weniger als 15 Minuten. Die Anlage ist weitgehend wartungsfrei ausgelegt. Typische Reinigungsintervalle für die Fenster sind vier Wochen bei dreischichtiger Benutzung.

Auf der Vorderseite der in der Ebenheitsmessanlage eingesetzten Laser-Lichtschnittsensoren sind die drei Austrittsöffnungen für die Laser-Lichtschritte und eine Öffnung für die Beobachtungsoptik zu erkennen (Bild 3).

**Erkennen anderer Merkmale**

Die perspektivische Darstellung der Topografie eines vermessenen Grobblechs wird bereits während des Durchlaufs des Blechs aufgebaut und auf dem Steuerstand gezeigt (Bild 4). Bewertet wird die Ebenheit nach der Linealmethode. Im gezeigten Beispiel sind ein Einmeterlineal und ein Zweimeterlineal an den Stellen eingezeichnet, an denen die größten Ebenheitsabweichungen aufgetreten sind (diese Stellen sind durch rote Punkte markiert). In der Anzeige wird der numerische Wert der Ebenheit für die beiden Lineale unmittelbar nach dem Durchlauf angezeigt. Zusätzlich wird die Blechlänge und -breite bestimmt.

Der Bediener kann zwischen den beiden Ansichten wählen. Die Lage der Ebenheitsdefekte als Ergebnis der normgerech-

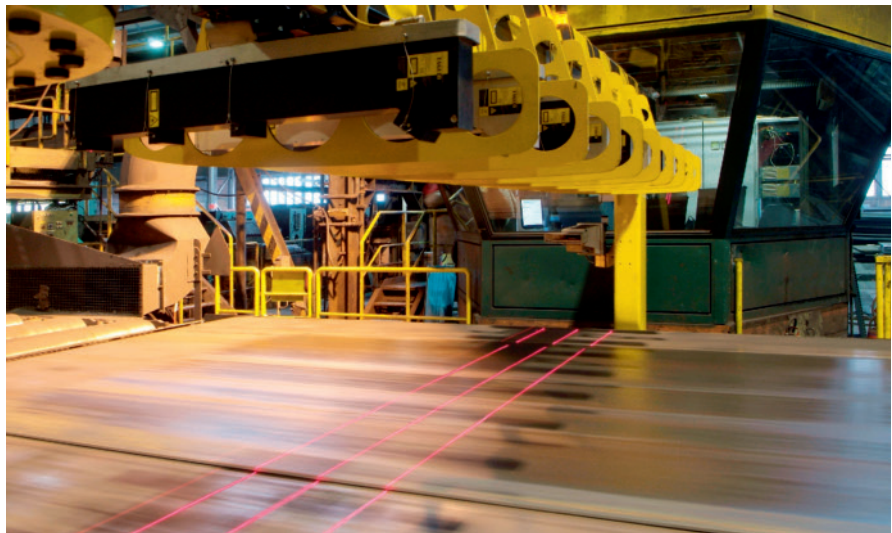
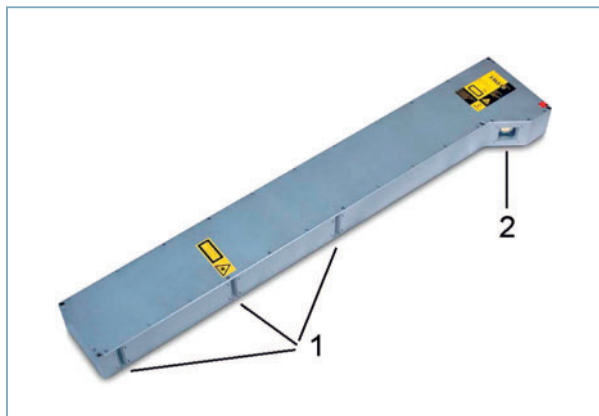
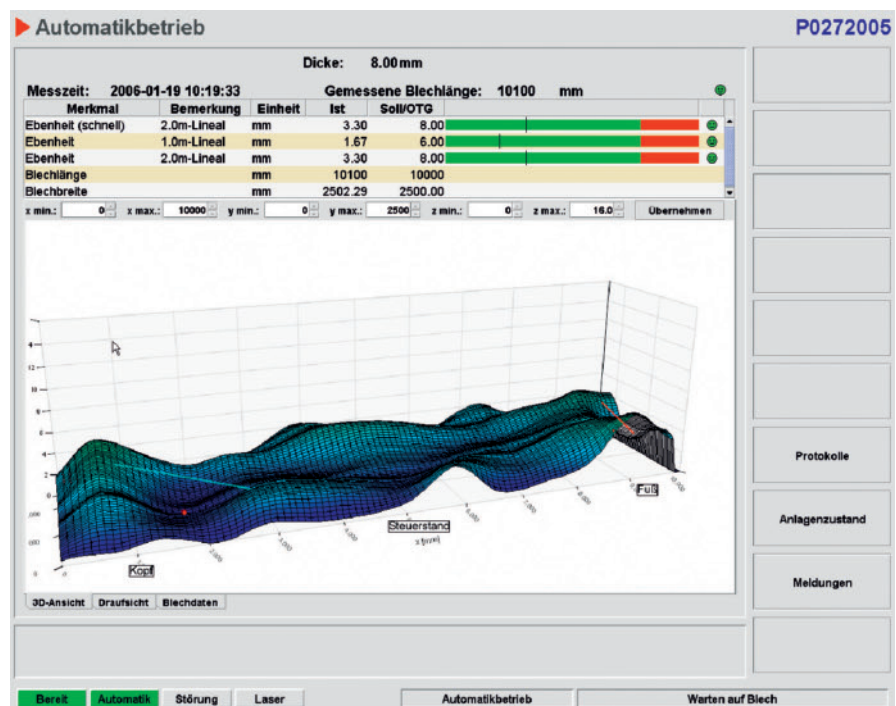


Foto: ThyssenKrupp Steel AG

**Bild 2. Ebenheitsmessung mit Lasern hinter der Richtmaschine in einem Grobblechwalzwerk, Messfeld mit drei Laserlinien**



**Bild 3. Laser-Lichtschnittsensor mit drei Messebenen  
1 = Laseraustrittsfenster, 2 = Beobachtungsfenster**



**Bild 4. Perspektivische Darstellung der Topografie eines vermessenen Grobblechs, wie sie auf dem Steuerstand angezeigt wird**

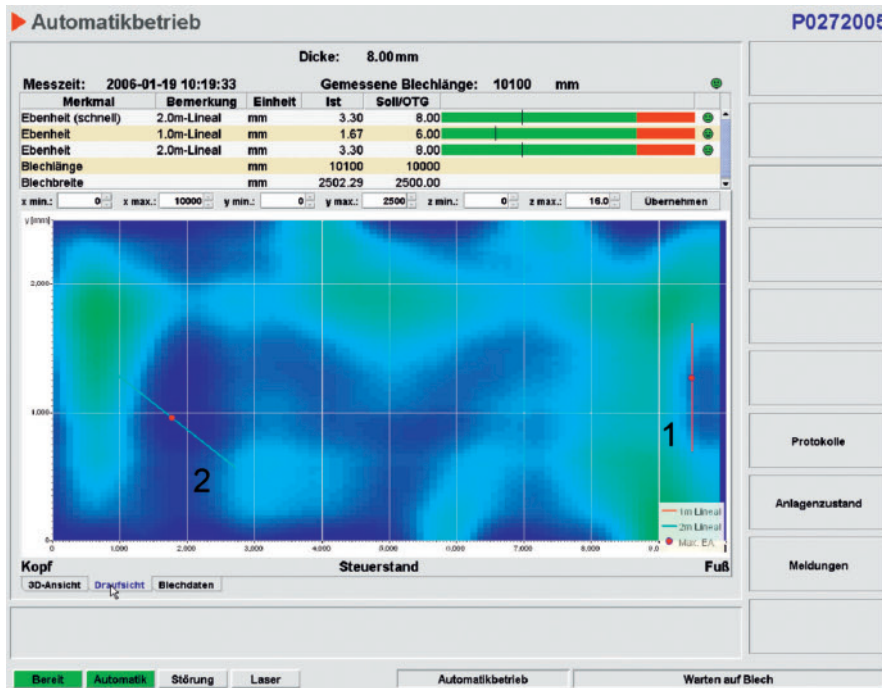


Bild 5. Dargestellt ist derselbe Datensatz wie in Bild 4, jedoch in einer Draufsicht mit einer farbkodierten Darstellung der Blechtopografie. Eingblendet ist das Ergebnis der normgerechten Linealbewertung

1 = Einmeterlineal, 2 = Zweimeterlineal

ten Linealbewertung wird angezeigt (Bild 5, Markierung).

Zur Ermittlung der Wiederholpräzision wurde ein Produktionsblech zehnmal hintereinander bei Durchfahrt in einer Richtung mit einer Geschwindigkeit von 1 m/s vermessen (Tabelle 2).

Als Wiederholpräzision ist die einfache Standardabweichung angegeben. Die

Spanne bezeichnet die Differenz zwischen dem größten und dem kleinsten Wert. Diese Ergebnisse wurden durch eine Handmessung überprüft. Dazu wurde ein Lineal mit 30 Messuhren im Abstand von 100 mm verwendet. Das Blech lag auf einem ebenen Messtisch, das Messraster betrug 100 x 100 mm.

Die Handmessung bestätigt das am

bewegten Blech erhaltene Ergebnis, die Abweichungen liegen im Bereich weniger Zehntelmillimeter. Die Lasermessung erfüllt die Forderungen der Messmittelfähigkeit nach Verfahren 1 (Wiederholpräzision und Richtigkeit an einem Bauteil bekannter rückführbarer Topografie) und 3 (Messsystemstreuung an realen Werkstücken unter Produktionsbedingungen) der Measurement Systems Analysis [3].

Für  $c_g = 0,2 T/(4s)$ , wobei  $T$  die Fertigungstoleranz und  $s$  die empirische Standardabweichung ist, folgt  $c_g > 1,33$ . Für Verfahren 3 wurden 25 Bleche unterschiedlicher Dicke und Abmessungen jeweils zweimal gemessen. Die Messsystemstreuung betrug 0,2 mm für das Zweimeterlineal und 0,1 mm beim Einmeterlineal.

Neben der Ebenheit können auch andere Qualitätsmerkmale wie z. B. die Kurzwelligkeit erkannt werden (Bild 6). Kurzwellen sind besonders kritisch bezüglich der Qualitätsbeurteilung der Bleche, da sie bei der Weiterverarbeitung häufig zu Reklamationen führen.

Die Laser-Ebenheitsmessanlage läuft im Dreischichtbetrieb. Sie liefert Daten zur Regelung vorgeschalteter Richtprozesse und stellt sicher, dass die Qualitätsanforderungen nach der DIN EN 10029 eingehalten werden. Auf die manuelle Prüfung kann verzichtet werden.

In den vergangenen Jahren wurde demonstriert, dass sich mit Lasermessanlagen verlässlich Geometrie- ▶

Messung	Ebenheitsabweichung [mm]	Ebenheitsabweichung [mm]	über die Länge gemittelte Breite [mm]
	Lineal 1 m	Lineal 2 m	
1	2,46	4,72	2117,26
2	2,44	4,60	2117,45
3	2,44	4,74	2117,12
4	2,52	4,65	2117,42
5	2,48	4,57	2117,08
6	2,53	4,65	2117,18
7	2,50	4,74	2117,09
8	2,49	4,59	2117,22
9	2,48	4,76	2117,11
10	2,47	4,72	2117,29
Wiederholpräzision	0,03	0,07	0,13
Spanne	0,09	0,19	0,37
Mittelwert	2,48	4,67	2117,22
Toleranz	3,00	6,00	
cg-Wert	4,94	4,25	
Tmin	0,81	1,88	
Handmessung	2,77	4,91	2119,50

Tabelle 2. Ergebnisse einer Messreihe zur Bestimmung der Wiederholpräzision und des  $c_g$ -Wertes sowie Vergleich mit der Handmessung.  $T_{min}$  = minimal mögliche Toleranz bei der die Messmittelfähigkeit gerade erreicht wird

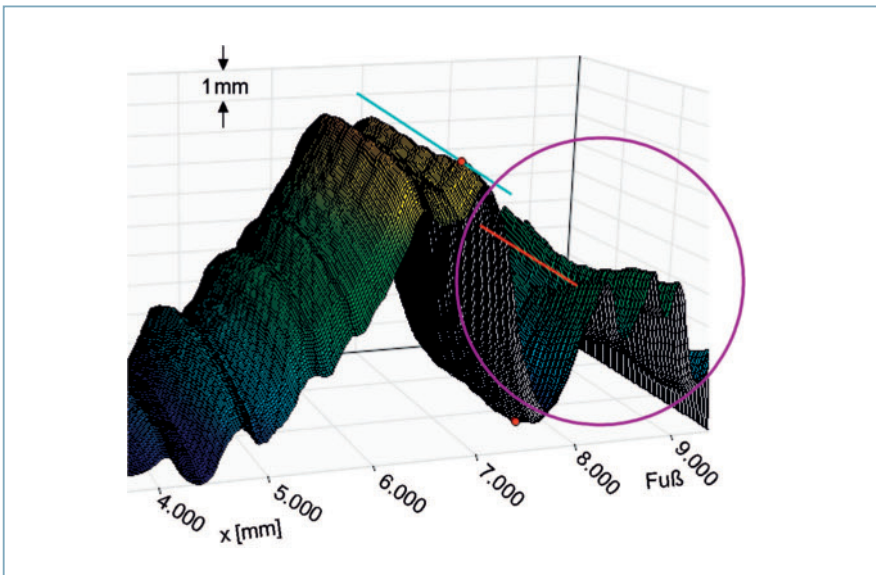


Bild 6. Ausschnitt aus der 3D-Darstellung einer Grobblech-Topografie. Auf der Länge von 1 m sind Kurzwellen mit einer Wellenlänge von ca. 300 mm erkennbar mit einer Amplitude von wenigen Millimetern (markierter Kreis)

daten von Walzprodukten gewinnen lassen. Die Online-Lasermesstechnik ist mindestens gleichwertig im Vergleich zu konventionellen Methoden, in einigen Fällen werden deutlich bessere Ergeb-

nisse erreicht. Laser-Messanlagen sind einfacher in den Fertigungsprozess zu integrieren. Der geringe Wartungsaufwand und die hohe Verfügbarkeit stellen einen wirtschaftlichen Einsatz sicher. □

**Literatur**

- 1 DIN EN 10029, Warmgewalztes Stahlblech von 3 mm Dicke an; Grenzabmaße, Formtoleranzen, zulässige Gewichtsabweichungen. Deutsche Fassung EN 10029:1991, Ausgabe 1991-10, Beuth Verlag, Berlin
- 2 DIN 32877, Optoelektronische Abstands-, Profil- und Formmessung. Ausgabe August 2000, Beuth Verlag, Berlin
- 3 Measurement Systems Analysis, Reference Manual, 3rd Edition, March 2002, DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation. Available from Carwin Limited, Unit 1 Trade Link, Western Av., West Thurrock, Grays, Essex RM20 3FJ, UK, 225 p.

**Autoren**

**Dr. Reinhard Noll**, geb. 1955, leitet am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik (ILT), Aachen, die Abteilung Lasermess- und Prüftechnik.

**Dipl.-Ing. Michael Krauhausen**, geb. 1961, ist Geschäftsführender Gesellschafter der NoKra Optische Prüftechnik und Automation GmbH in Baesweiler.

**Kontakt**

**Dr. Reinhard Noll**  
**T 02 41/89 06-138**  
**reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de**

QM-Infocenter.de ▶ QZ102489

**QM-Infocenter.de**  
 Das Portal für Qualitätsmanagement

**Langfassung im Internet**

Den vollständigen Beitrag mit Erläuterungen zur Dicken- und Profilmessung von Walzprodukten finden Sie unter:

[www.qm-infocenter.de/laseranlage](http://www.qm-infocenter.de/laseranlage)

