

Dirk Wehrhahn

# Der Laser als universelles Messinstrument für Rad und Schiene

**OPTImess Lasersensoren werden aufgrund ihrer kleinen Baugröße, hohen Messfrequenz und Genauigkeit, sowie ihrer Eigenschaft, nahezu unter allen Umgebungsbedingungen messen zu können, zu einem zunehmend universellen Messinstrument für das Eisenbahnwesen. In diesem Beitrag werden der Einsatz in den Bereichen Produktion und Instandhaltung von Rädern und Schienen sowie Beispiele aus Forschung und Entwicklung beschrieben.**

## Das Messprinzip

Abstandsmessungen mittels optischer Triangulation werden in der Geodäsie schon lange zur Landvermessung eingesetzt. Mit Hilfe einer bekannten Basislänge ist es hierbei möglich, durch die Bestimmung von zwei Winkeln die Position eines gesuchten Punktes genau zu bestimmen. Die OPTImess Aufnehmer arbeiten nach dem gleichen Prinzip. Der durch eine Optik abgebildete Laserstrahl erscheint auf der Messgutoberfläche als diffus strahlender Lichtpunkt. Dieser Punkt wird wiederum über eine zweite Optik auf dem Empfänger abgebildet. Jede Bewegung des Messobjektes in Strahlrichtung gegenüber dem Aufnehmer hat eine Verschiebung des Bildpunktes auf dem Fotodetektor zur Folge.

## Einsatzmöglichkeiten

Die realisierten Einsatzmöglichkeiten sind:

- Messung der Schienenwelligkeit in der Schienenproduktion,
- Vermessung des Radprofils in Radsatzdrehmaschinen,
- Einsatz in Radsatzmessständen,
- Spurweitenmessung bei hoher Geschwindigkeit,
- Erfassung des Schienenkopfes bei hoher Geschwindigkeit,
- Erfassung des Schienenquerprofils,
- Erfassung des Schienenlängsprofils,
- Riffelmessung,
- Erfassung des Schienenkopfes beim Schleifen,
- Messung der Relativbewegung zwischen Rad und Schiene,
- Messung der Radposition während der Vorbeifahrt,
- Erfassen von Schienenbewegungen bei Belastung,
- Erfassen des Schienenabstandes benachbarter Gleise,

- Erfassung des Radlaufes in Weichen,
- Mobiles Messsystem zur Radprofilmessung.

## Produktion und Instandhaltung

### Messung der Schienenwelligkeit

Welligkeiten im Bereich der Fahrfläche entstehen während der Produktion hauptsächlich durch den erforderlichen Richtvorgang. Im späteren Einsatz führt dieses u.a. zu erhöhten Fahrgeräuschen und erfordert eine Nacharbeit der Schiene durch Schleifen. Neben hohen Kosten führt dieses Schleifen auch zu einem Abtragen der gehärteten Bereiche im Schienenkopf.

Die Welligkeit wird nach der Norm durch Auflegen eines Stahllineals mit festgelegter Länge (z.B. 3m) und Ermitteln der minimalen und maximalen Abweichungen mittels Fühlerlehre bestimmt. Neben den langen Prüfzeiten ist dieses Messverfahren nicht absolut unabhängig vom Prüfer und bietet nur begrenzt die Möglichkeit einer Dokumentation in Form eines Prüfprotokolls.

Seit mehreren Jahren ist daher bei verschiedenen Schienenherstellern die berührungslose Messung im Einsatz. Mittels 4 Lasersensoren wird die Fahrfläche On-Line während der Produktion berührungslos erfasst. In einem leistungsfähigen Rechner wird per Software durch Fourier - Transformation die Amplitude und die Wellenlänge der Oberflächenwelligkeit ermittelt. Mit Hilfe eines in der Software erzeugten Lineals werden die Min.- und Max.-Werte analog zu der manuellen Messung ermittelt.

Vergleichsmessungen über einen längeren

Zeitraum haben gezeigt, dass max. Abweichungen von 0,05 mm zwischen beiden Messungen auftreten. Zusätzlich wird seit kurzem die Schienenebenheit 90° zur Fahrfläche erfasst. Das Messsystem ist von den namhaften Eisenbahngesellschaften überprüft und zugelassen worden. In diesem Jahr wurde die Produktion eines weiteren Schienenherstellers mit diesem Messsystem ausgerüstet.

### Vermessung des Radprofils

Die berührungslose Messung des Radprofils ermöglicht eine schnelle, kontaktlose Erfassung der Parameter für die nachgeschaltete Radsatzbearbeitung (Abb. 1 und 2).

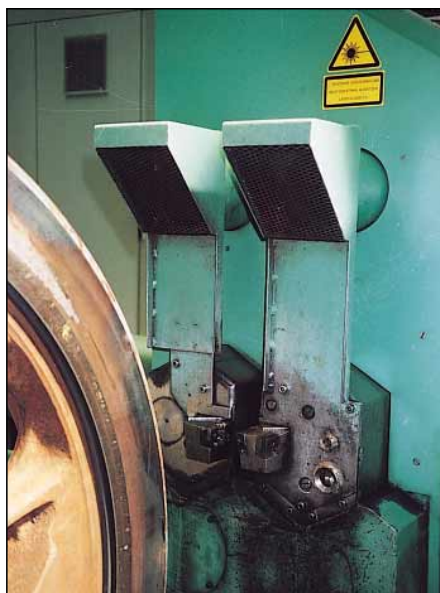
Zur Profilaufnahme wird ein Lasersensor mittels einer Lineareinheit entlang des Profils verfahren. Durch gleichzeitiges Aufnehmen des Fahrweges und der Laserabstandswerte wird das Profil vom Rechner erfasst und anschließend werden die charakteristischen Größen wie Spurkranzdicke, Spurkranzhöhe, Spurkranzbreite und Radbreite ermittelt. Die Systeme, die auch im Straßenbahn- und U-Bahn-Bereich zum Einsatz kommen, wurden in Zusammenarbeit mit der Deutschen Bahn AG entwickelt und direkt in Radsatzbearbeitungsmaschinen integriert, so dass mit einer Maschine das Vorvermessen, Bearbeiten und Nachvermessen möglich ist.

### Der Autor

Dr. Dirk Wehrhahn, Messsysteme für die Qualitätssicherung, Hannover



**Abb. 1:**  
Radsatzdrehmaschine  
mit  
Lasermesseinrichtung



**Abb. 2: Lasermesseinrichtung an der Radsatzdrehmaschine**



**Abb. 3: Batteriebetriebenes, mobiles Laser-Radprofilmessgerät mit Datalogger**

**Mobiles System zur Radprofil erfassung**

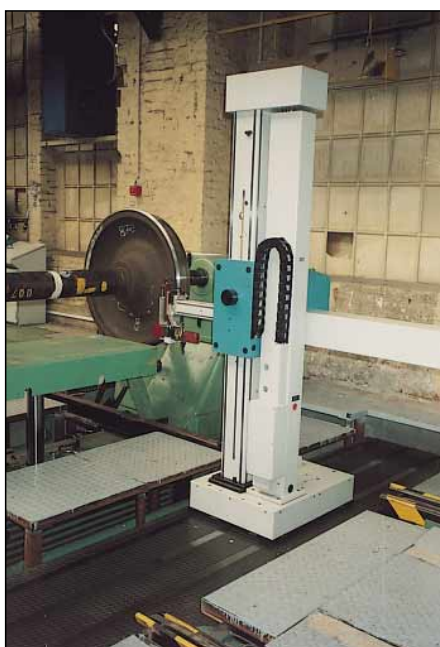
Für die schnelle Überprüfung des Radprofils für wiederkehrende Messungen im Service-einsatz wurden in Zusammenarbeit mit der DB verschiedene mobile Systeme entwickelt. Die neueste Gerätegeneration arbeitet völlig unabhängig vom Stromnetz mit 4 1,5V Mignon Akkus. Hiermit können bis zu 150 Räder ohne Batteriewechsel gemessen werden. Die Messdaten werden am Fahrzeug auf einem Datalogger gespeichert und über Netzwerk oder Internet an den HOST - Rechner übergeben (Abb. 3). Die Erfassung der Profilmessdaten, wie Spurkranzdicke und -höhe, qR-Maß, Rad-durchmesser usw., wird bei kleinsten Freiräumen am Rad und unterschiedlichen Abmessungen durch die lasergestützte Messeinrichtung sichergestellt (Abb. 4 und 5). Datenbankgestützt erfolgt die Zuord-



**Abb. 4: Mobiles Laser-Radprofilmessgerät (Radinnenseite)**

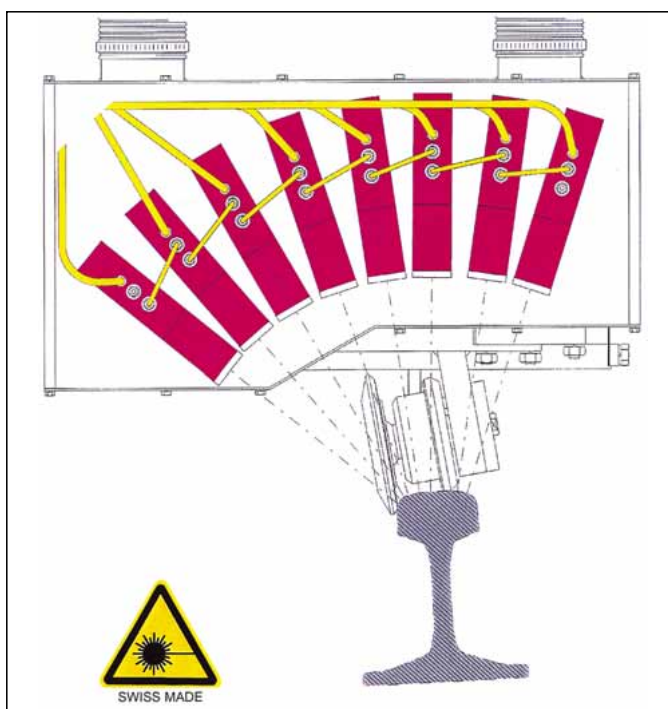


**Abb. 5: Mobiles Laser-Radprofilmessgerät (Radaußenseite)**



**Abb. 6: Laser-Radsatz-Messtand**

**Abb. 7: Prinzipskizze einer Lasermesseinrichtung an Messfahrzeugen**



nung der Soll- und Grenzmaße zum jeweiligen Profiltyp und deren Überwachung. Messungen am Rad können innerhalb kürzester Zeit ausgewertet und protokolliert werden. Als Option kann die komplette Profilkurve für Verschleißmessungen aufgezeichnet werden. Das System ist auf Grund der kleinen Baugröße auch an modernen Niederflur-Straßenbahnen einsetzbar.

### Einsatz in Radsatzmessständen

Werden bei der vorher beschriebenen Anwendung nur die charakteristischen Größen des Radprofils ermittelt, so erlaubt der Einsatz mehrerer Sensoren an einer 2- oder 3-Achs-Verfahreinheit die Ermittlung nahezu aller Parameter des Radsatzes, wie Profilerfassung, Schlagmessung, Bremsscheibenmessung, Flachstellenerkennung usw.. Durch Eingabe der Radsatzkennung werden alle zu erfassenden Parameter festgelegt, automatisch erfasst und protokolliert. Die Flexibilität der Lasersensoren in puncto Abmaße, Messabstand und Messbereich ermöglicht auch die Um- oder Nachrüstung bereits vorhandener taktil arbeitender Messstände (Abb. 6).

### Gleisnetz-instandhaltung

Durch die zunehmend engere Zugfolge im Bereich der Neubaustrecken wird eine zeitoptimierte Erfassung des Schienenzustandes immer wichtiger. So sollten Messungen am Gleisnetz möglichst in den Bearbeitungsprozess integriert sein oder aber durch spezielle Messfahrzeuge im Rahmen der normalen Zugfolge, d.h. bei Geschwindigkeiten zwischen 120 und 250 km/h, durchführbar sein. Auch hier nehmen die Lasersensoren auf Grund ihrer berührungslosen Messwertaufnahme, kleinen Baugröße und hohen Messfrequenz eine Ausnahmestellung ein.

### Spurweitenmessung bei hoher Geschwindigkeit

Diese Messungen werden im Bereich der Forschung schon länger durch Institute (z.B. TU

Berlin) mittels Lasern durchgeführt. Hierzu wurden die Laser im Freiraumprofil angeordnet, so dass schräg auf die Schienenseite gemessen wurde. Diese Anordnung machte eine nachträgliche Korrektur der Messwerte aufgrund der Eigenbewegung des Messfahrzeuges erforderlich. Seit kurzem steht ein spezieller Sensor zur Spurweitenmessung zur Verfügung. Hierbei wird der Laserstrahl im Sensor zweimal umgelenkt, so dass eine senkrechte Messung an dem in der Norm festgelegten Messpunkt am Schienenkopf möglich ist. Der Sensor ist so im Schatten des Rades angeordnet, dass es möglich ist, auch durch Weichenführungen hindurch zu fahren ohne das Messsystem anzuheben. Der Messkopf ist wasserdicht und die Optik wird durch ein Reinigungssystem bei Verschmutzung automatisch gereinigt. Vergleichsmessungen mit berührenden Systemen (max. 120 km/h) haben absolut identische und reproduzierbare Messwerte ergeben. Der Sensor ist bis zu Geschwindigkeiten von 250 km/h einsetzbar.

### Erfassung des Schienenkopfes bei hoher Geschwindigkeit

Zur schnellen Klassifizierung des Verschleißzustandes des Schienenkopfes für die Beurteilung erforderlicher Nacharbeiten wurden Messfahrzeuge mit Lasersensoren ausgerüstet, bei denen je Schienenseite 5-8 Sensoren um den Schienenkopf positioniert sind (Abb 7). An diesen Stellen werden alle 20 cm Messwerte aufgenommen und mit dem Sollprofil im Rechner verglichen (Abb. 8). Der Rechner klassifiziert die Abweichungen nach vorgegebenen Toleranzwerten. Die den Messwerten überlagerten Bewegungen des Messfahrzeuges werden im Rechner mathematisch kompensiert.

### Erfassung des Schienenquerprofils

Beim erforderlichen Nachschleifen des Schienenprofils wird das Profil vor, während und nach dem Schleifen über-

wacht. Hierzu wird entweder ein punktuell messender OPTImess Sensor mittels einer Lineareinheit quer zur Fahrtrichtung verfahren (Abb. 9), oder es kommen Laserscanner zum Einsatz. Beim Laserscanner wird der Messpunkt entlang einer Linie über das Schienenprofil gescannt, und man erhält einen Profilschnitt entlang der Messlinie. Dieser „Schienenschnitt“ wird im Rechner mit dem zu fertigenden Sollprofil verglichen, und die Schleifparameter werden entsprechend angepasst.

### Erfassung des Schienenlängsprofils

Mit einer Sensoranordnung, wie bei der Klassifizierung des Verschleißzustandes, lässt sich auch die Längswelligkeit erfassen. Aus der aufgenommenen Schienenoberfläche werden im Rechner mittels Fourier-Analyse die Wellenlängen und Amplituden be-

stimmt. Die Messung kann während der Schienenbearbeitung oder in einer separaten Messfahrt erfolgen. Nach der Messung wird je Streckenabschnitt ein Messprotokoll erstellt.

### Welligkeits- und Riffelmessung im Gleis

Analog der Welligkeitsmessung bei der Herstellung von Schienen ist je Schienenseite ein Messbalken mit 4 Sensoren an einem Messfahrzeug installiert. Während der Fahrt wird die Welligkeit der Schiene aufgenommen und mittels Fourier-Analyse im Rechner ausgewertet und in die geforderten Wellenlängenbereiche 30-300mm, 300-1000mm und 1000-3000 mm zerlegt.

### Forschung und Entwicklung

Im Bereich der Forschung und Entwicklung sind viele Mess-

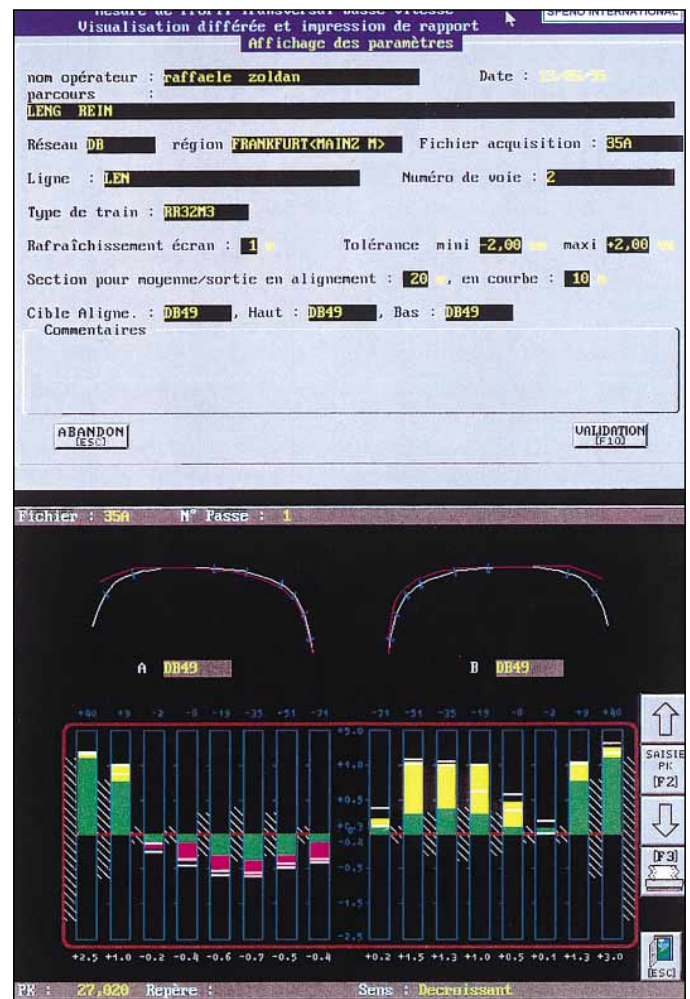


Abb. 8: Messbild des Rechners für Soll-Ist-Vergleich des Schienenkopfprofils

aufgaben mit Lasersensoren möglich, von denen hier nur einige beispielhaft erwähnt werden sollen.

### Messung der Radposition im Gleis während der Vorbeifahrt

Die hohe Abtastrate der OPTImess Sensoren (bis 50 kHz) ermöglicht das Anmessen der Außenseite eines Rades. Durch die definierte Positionierung der Sensoren seitlich der Schienen, lassen sich die Positionen der Radsätze innerhalb der Schiene bei hohen Geschwindigkeiten erfassen. Mit einer solchen Anordnung von mehreren Sensoren hintereinander im Bereich von Weichen lassen sich auch Aussagen über das Laufverhalten von Radsätzen in Weichen treffen und Führungen innerhalb der Weiche optimieren.

### Verhalten Rad/Schiene

Durch das gleichzeitige Messen der Schienen- und Radposition lässt sich das Verhalten des Radsatzes während der Fahrt erfassen (Sinuslauf). Durch die großen Messabstände ist es möglich, die Sensoren entsprechend geschützt unter dem Wagen zu installieren.

Weitere Anwendungen im Bereich F+E sind:

- Messungen von Schienenbewegungen,
- Annäherungsmessungen beim Ankuppeln von Waggons,
- Seitenneigungsmessungen von Waggonaufbauten,
- Erfassen der Stromabnehmerposition.

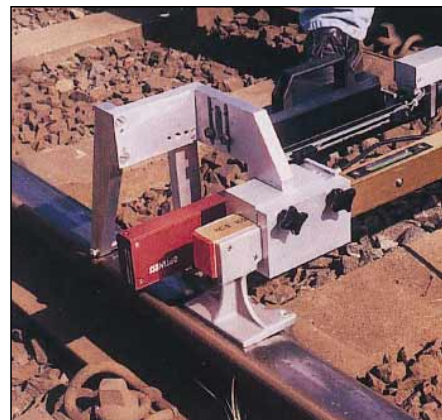
Die aufgeführten Einsatzbeispiele sollten die Vielseitigkeit der OPTImess Sensoren für Messungen im Bereich des Eisenbahnwesens verdeutlichen. Die Vielfalt der Messbereiche (4-800 mm), hohe Abtastraten (bis 50 kHz), kleine Baugröße und Einsetzbarkeit auf nahezu allen Oberflächen, sowie Unempfindlichkeit gegenüber Stoßbelastungen, machen die Lasersensoren zu einem universellen Aufnehmer für Messungen im Bereich Rad/Schiene.

Viele der Anwendungen sind auch auf Messungen in U-Bahn- und Nahverkehrsbetrieben übertragbar.

### Summary / Résumé

#### ■ Lasers – a universal measuring instrument for wheel and rail

On account of their compact size, high measuring frequency/accuracy and ability to measure under almost all ambient conditions, OPTImess laser sensors are fast becoming a universal measuring instruments for the railways. The ar-



**Abb. 9: Mobiles Laser-Schienenprofilmessgerät**

ticle describes their utilisation in rail/wheel manufacture and maintenance and looks at sample research and development work.

#### ■ Le laser : instrument de mesure universel pour la roue et le rail

Les capteurs à laser OPTImess deviennent de plus en plus un instrument de mesure universel pour le chemin de fer du fait de leur faible encombrement, leur fréquence de mesure et leur précision élevées ainsi que de leur particularité de pouvoir mesurer quelles que soient les conditions d'environnement (ou presque). Dans cet article sont décrits l'utilisation dans les domaines de la production et de l'entretien des roues et des rails ainsi que des exemples fournis par la recherche et le développement.