

Messung von Schienendeformationen bei Zugverkehr

H. Woschitz, H. Hartinger und F. K. Brunner

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird über die Messung von Schienendeformationen berichtet. Bei der Entwicklung neuer Schwellentypen war die messtechnische Untersuchung ihrer Eigenschaften unter realen Lastbedingungen gefordert. Die Erfassung der Schienendeformation muss bedingt durch hohe Zuggeschwindigkeiten mit einer höheren Frequenz als 1000 Hz durchgeführt werden. Die maximale Deformationen liegt bei 5 mm, wodurch eine Genauigkeit der Messung im Submillimeterbereich notwendig ist.

Es wurde ein optisches Deformationsmesssystem entwickelt, das aus zwei räumlich getrennten Komponenten besteht: (i) Der Lasereinheit, die mehrere Meter abseits des Bahndamms aufgestellt wird und einen Referenzlaserstrahl emittiert und (ii) einem optischen Positionsdetektor, der an der Schiene befestigt wird. Die Lasereinheit besteht aus kommerziellen geodätischen Komponenten, dagegen wurde die optische Detektoreinheit neu entwickelt. Die Deformation der Schiene ergibt sich aus der Messung der Verschiebung der Detektoreinheit gegenüber dem Laserstrahl.

Der Einfluss von Bodenvibrationen, die von vorbeifahrenden Zügen verursacht werden, auf die Stabilität des Laserstrahls kann durch eine räumlich abgesetzte Aufstellung der Laserstation vom Bahndamm signifikant reduziert werden. Versuchsmessungen zeigten, dass die verbleibenden Einflüsse der Bodenvibrationen von den gesuchten Schienendeformationen getrennt werden können, da sie in deutlich unterschiedlichen Frequenzbereichen liegen. Durch eine entsprechende Filterung der Signale ist es daher möglich, den Einfluss der Bodenvibrationen in den Ergebnissen zu unterdrücken.

Das System hat eine Genauigkeit von 0.05 mm. Ergebnisse, die an einer Teststrecke erzielt wurden, zeigen deutliche Unterschiede im Verhalten der verschiedenen Schwellentypen. Es werden exemplarisch einige Resultate gezeigt, um die Leistungsfähigkeit des Messsystems vorzustellen.

1 Einleitung

Im Eisenbahnwesen besteht eine deutliche Tendenz zu immer höheren Geschwindigkeiten und verbessertem Fahrkomfort. Gleichzeitig wird auch eine Verringerung der Kosten gefordert. Ein wesentlicher Beitrag zur Steigerung der Effizienz kann durch Verbesserungen im Oberbau erreicht werden, wobei folgende Punkte zu berücksichtigen sind: (i) Eine stärkere Stabilität der vordefinierten Gleisgeometrie, (ii) die Verlängerung der Lebensdauer der Komponenten des Oberbaus und (iii) die Reduktion von Einflüssen, die sich störend auf den Fahrkomfort und die Umwelt auswirken, Esveld (1989). Eine Möglichkeit diese Faktoren zu verbessern stellt die Entwicklung neuer Schwellentypen dar, z.B. Rießberger (2000). Bevor Neuentwicklungen standardmäßig eingesetzt werden können, sind umfangreiche Tests unter realen Bedingungen notwendig.

Im Rahmen des Projektes „Gleisinnovation“ der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) wurde ein Testabschnitt auf einer Eisenbahnstrecke in Paternion / Kärnten mit 5 verschiedenen Schwellentypen geschaffen. Die messtechnische Untersuchung wurde mit unterschiedlichen Zielsetzungen von verschiedenen Gruppen durchgeführt. Eine dieser Messungen war die Bestimmung der Deformationen

der Schiene unter Last, die von der Abteilung für Ingenieurvermessung und Messtechnik an der TU-Graz durchgeführt wurde.

Grundsätzlich werden Schienendeformationen unter der Last der Züge von mehreren Millimetern erwartet. Messsysteme zur Detektion dieser Deformationen sollen daher folgende Anforderungen erfüllen: (i) Die Genauigkeit eines Messsystems zur Detektion dieser Bewegungen soll besser als 0.1 mm sein. (ii) Bedingt durch Zuggeschwindigkeiten von bis zu 140 km/h ist eine sehr hohe Taktrate der Messungen zur zeitlichen Auflösung der Deformation wichtig. (iii) Vibrationen im Nahbereich der Züge sollen die Ergebnisse nicht beeinflussen. (iv) Das Messsystem muss wegen starker Magnetfelder im Nahbereich von Lokomotiven eine gute elektromagnetische Verträglichkeit aufweisen.

Die Bestimmung der Deformationen wäre prinzipiell durch die Verwendung von direkt an der Schiene angebrachten Beschleunigungssensoren möglich. Die Referenz dieser Sensoren wird durch die Ruhelage der Masse hergestellt. Der Deformationsweg lässt sich indirekt durch doppelte Integration des Messsignals berechnen, wobei aber systematische Abweichungen des Sensors das Ergebnis verzerren. Die Verzerrung ist um so stärker, je langsamer der Zug fährt. Somit ist die Bestimmung der Deformationen der Schiene mit diesen Sensoren nur bei hohen Zuggeschwindigkeiten möglich.

Die Deformationen eines Objekts kann auch relativ zu einer unbewegten Referenz gemessen werden. Dabei ist es aufgrund von Vibrationen schwierig eine stabile Referenz im Nahbereich der Schiene zu schaffen. Versuche, bei denen Wegaufnehmer über starre Konstruktionen mit Oberleitungsmasten verbunden wurden, zeigten keine zufriedenstellende Ergebnisse. Der Einsatz von mehrere Meter tief gegründeten Extensometern, Gotschol et al. (2000), lieferte zwar gute Ergebnisse, jedoch stellten die aufwendigen Vorarbeiten an der Messstelle einen hohen zeitlichen und finanziellen Aufwand dar.

Bodenvibrationen nehmen exponentiell mit der Distanz zum Gleiskörper ab, Esveld (1989). Daher ist eine stärkere räumliche Trennung zwischen Sensor und Referenz wünschenswert, um den Vibrations-einfluss zu verringern. Dies wird durch die Verwendung von optischen Sensoren möglich. Aufwendige Vorbereitungsarbeiten an der Messstelle entfallen, wodurch das Messsystem sehr flexibel eingesetzt werden kann. Auf optischen Sensoren beruhende Systeme werden bereits bei der Deformationsüberwachung von Bauwerken oder bei der Ausrichtung von Schienen eingesetzt. Diese Systeme arbeiten mit einer sphärische Strahlungsquelle, wie z.B. einem LED (Heck et al., 1996), oder einem kollimierten Laserstrahl (Tervaskanto, 1998). Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung eines fokussierten Laserstrahls, wie sie bei dem entwickelten Schienendeformationsmesssystem eingesetzt wird.

Im Testabschnitt Paternion sollte sowohl die durch eine langsam fahrende als auch die durch eine schnell fahrende Lok hervorgerufenen Schienendeformationen bestimmt werden. Hierfür wurde ein optisches Messsystem entwickelt, das im folgenden als OSDM (Optisches SchienenDeformations-Messsystem) bezeichnet wird. Die Hardwarekomponenten und die Funktionsweise des OSDM werden im Kapitel 2 vorgestellt, in dem auch die Kalibrierung des Systems besprochen wird. Die Auswertung, die Genauigkeit und die Präzision der Messdaten werden in Kapitel 3 besprochen. In Kapitel 4 werden exemplarisch Ergebnisse von einem Einsatz des OSDM gezeigt. Dabei steht die Leistungsfähigkeit des Messsystems und nicht die Interpretation der gemessenen Schienendeformationen im Vordergrund.

2 Das Optische Schienendeformationsmesssystem OSDM

2.1. Konzept

Das OSDM besteht aus zwei räumlich getrennten Komponenten, der Lasereinheit und der Detektoreinheit. Als Referenz dient ein Strahl, der durch einen etwa 20 m vom Gleis entfernten Diodenlaser erzeugt wird und mit dem Fernrohr auf die Detektorebene fokussiert wird. Direkt am Schienensteg wird die Detektoreinheit angebracht, die im wesentlichen aus einer Lateraleffektdiode (PSD, Position Sensitive Device) und einem Signalverstärker besteht. Die Einsenkung der Schiene ergibt sich als Be-

wegung der Detektoreinheit gegenüber dem Laserstrahl. Das von der Lateraleffektdiode generierte Messsignal wird nach Verstärkung und A/D Wandlung mit einem Notebook aufgezeichnet. Abbildung 1 zeigt schematisch die Messanordnung und die einzelnen Komponenten des OSDM.

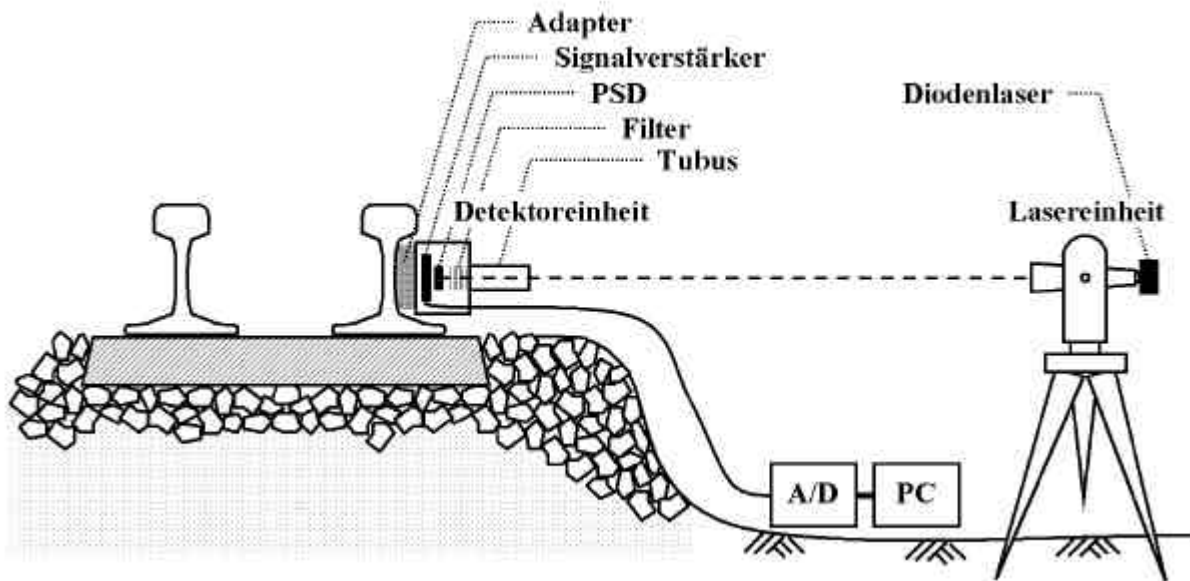


Abbildung 1: Schematische Darstellung des OSDM.

Der Abstand der Lasereinheit von der Detektoreinheit ist entsprechend den topographischen Verhältnissen, unter Berücksichtigung der folgenden Größen zu wählen: (a) Über das Stativ können die auftretenden Bodenvibrationen Verkippungen des Laserstrahls erzeugen. Dies verursacht ein Störsignal, das die Schienenbewegungen überlagert. Die Amplituden des Störsignals nehmen linear mit der Entfernung von der Detektoreinheit zu. (b) Die Stärke der Bodenvibrationen nimmt exponentiell mit der Entfernung ab, Esveld (1989).

Bei der Erstellung des Systems soll der Entwicklungsaufwand und dadurch die Kosten durch die Verwendung möglichst vieler handelsüblicher Komponenten gering gehalten werden.

2.2 Lasereinheit

Die Lasereinheit besteht aus einem Diodenlaser der Fa. Leica, der an das Fernrohr eines Theodoliten angebracht wird. Durch das Theodolitfernrohr wird der Strahl so fokussiert, dass er auf der PSD-Ebene einen möglichst kleinen Punkt ergibt. Weiters kann mit diesem Gerät die Intensität des Laserstrahls geregelt werden, wodurch eine bestmögliche Anpassung an den Intensitätsbereich des PSD erreicht wird. Zur Vermeidung von großen Beugungs- und Streuungserscheinungen ist der Einbau einer speziellen Strichplatte im Theodolitfernrohr notwendig. Weiters bietet der Theodolit die Möglichkeit, mit dem Laserstrahl in eine beliebige Richtung zielen zu können. Abbildung 2 zeigt einen bei der Messung verwendeten Theodolit mit aufgesetztem Diodenlaser. Das Holzstativ wurde zur Dämpfung von Vibrationen mit Sandsäcken beschwert.



Abbildung 2: Theodolit mit aufgesetztem Diodenlaser im Einsatz.

2.3 Detektoreinheit

Die Detektoreinheit besteht aus einem in einem Gehäuse eingebauten zweidimensionalen PSD und einem Signalverstärker. Das PSD hat sehr niedrige Anstiegszeiten und ermöglicht damit hochfrequente Messungen. Die aufgrund der Konzeption des Systems relativ kleine Dimension der Detektoreinheit ($140 \times 90 \times 125 \text{ mm}^3$) erlaubt durch einen an der Schiene angeklebten Plastikadapter eine Montage direkt am Schienensteg. Abbildung 3 zeigt die auf der Schiene montierte Detektoreinheit.

Zur Messung muss der Diodenlaser auf den PSD ausgerichtet werden. Der auftreffende Laserstrahl erzeugt an der Diode einen Photostrom, der durch Kontakte am Rand der Diode abgegriffen wird. Die Position des Laserstrahls ergibt sich aus einer dem Aufbau des PSD entsprechenden Kombination der einzelnen Photoströme, Schlemmer (1996). Diese Kombination wird hardwaremäßig vom Signalverstärker gebildet.



Abbildung 3: Am Schienensteg befestigte Detektoreinheit.

Da der verwendete PSD über einen weiten Frequenzbereich des Lichtes (350 – 1100 nm) sensibel ist, verursacht auch Hintergrundlicht Photoströme. Diese überlagern die vom Laserstrahl erzeugten Ströme. Zur Vermeidung einer solchen Beeinflussung wurde vor dem PSD ein auf die Wellenlänge des Diodenlasers abgestimmtes Bandpassfilter gesetzt. Weiters wurde vor dem Filter ein schwarzer Tubus montiert, um den Raumwinkel, aus dem Hintergrundlicht auf den PSD auftreffen könnte, einzuengen.

Das Gehäuse wurde als Faradayscher Käfig ausgeführt, um einer Beeinflussung der Messungen durch elektromagnetische Störfelder entgegenzuwirken.

2.4 Datenregistrierung

Die vom Signalverstärker ausgegebenen Analogsignale werden mit simultan arbeitenden A/D Wandlern in Digitalsignale gewandelt, wobei Taktraten bis zu 9600 Hz möglich sind. Nach der Wandlung werden die Daten auf ein Notebook übertragen, gespeichert und analysiert.

2.5 Kalibrierung

Die Messwerte weisen vor allem in den Randbereichen des verwendeten PSD nichtlineare, positionsabhängige Verzerrungen auf. Es ist daher notwendig, die Messwerte zu entzerren. Dies wird im OSDM durch eine bilineare Transformation bewerkstelligt, wobei die Stützpunkte in einer Kalibrierung ermittelt werden. Dabei wird die Detektoreinheit auf einem Zweiachsverschiebeapparat, der eine Positionsgenauigkeit von besser als 0.005 mm aufweist, befestigt und auf dem PSD eine Fläche von $8 \times 8 \text{ mm}^2$ in 1 mm Rasterschritten ausgemessen. In Abbildung 4 sind die Stützstellen der bilinearen Transformation für eine beim Messeinsatz verwendete Detektoreinheit dargestellt. Die Verzeichnung und der Maßstab sind deutlich zu erkennen.

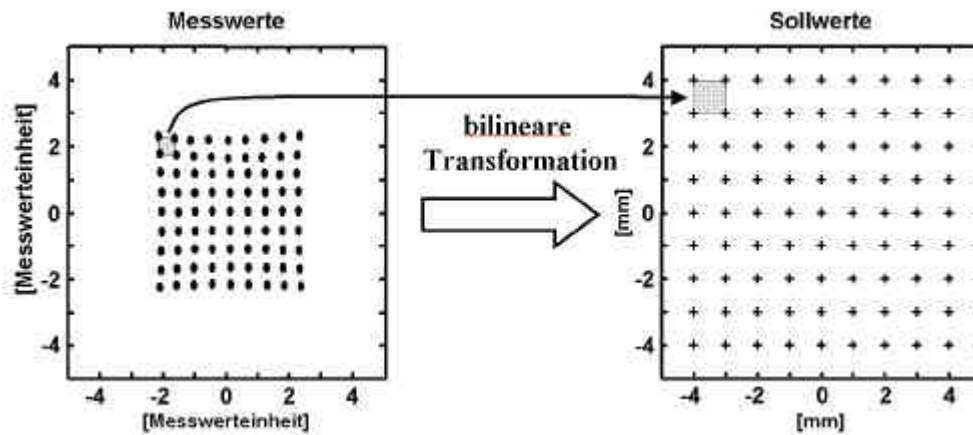


Abbildung 4: Beziehung zwischen Messwerten und Sollwerten.

Zur Kontrolle der Stabilität des OSDM wird die Kalibrierung vor und nach jedem Messeinsatz wiederholt. Weiters zeigte ein Vergleich der Kalibrierung bei -5°C und bei $+22^{\circ}\text{C}$, dass der Temperatureinfluss der Detektoreinheit in diesem Bereich unter 0.03 mm liegt.

Bei der Diskussion in den folgenden Abschnitten sind die Messdaten bereits durch Berücksichtigung der Kalibrierparameter entzerrt.

3 Systemcharakteristika

3.1 Genauigkeit des OSDM - statische Messung

Die Genauigkeit wurde durch die Gegenüberstellung von simultan mit dem OSDM und einem Präzisionsnivellier erfassten Schienendeformationen verifiziert. Dabei erfolgte die Messung im unbelasteten und im belasteten Zustand des Gleiskörpers. Die Belastung des Gleiskörpers wurde mit einer statisch über der Messstelle stehenden Lok realisiert. Abbildung 5 zeigt das Ergebnis einer Vergleichsmessung.

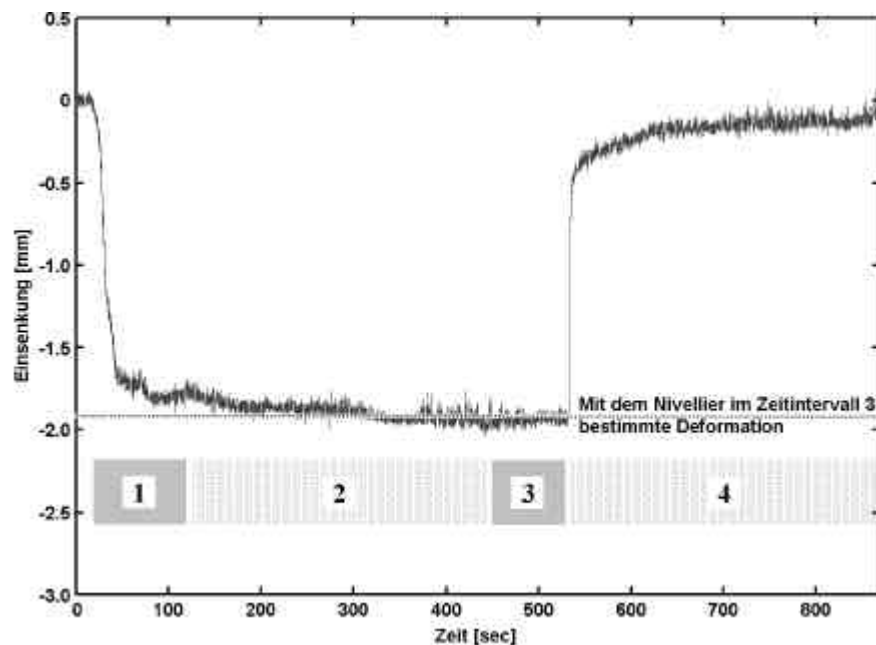


Abbildung 5: Vergleich der mit dem OSDM und mit einem Präzisionsnivellier gemessenen Deformationen.

Zu Beginn ist die Messstelle unbelastet. Kurz danach setzt sich die Lok in Bewegung und fährt über die Messstelle, was eine Deformation von etwa 1.7 mm verursacht. Die anschließende wellenartige Änderung der Deformation, siehe Bereich 1, wird durch die Feinpositionierung der Lok hervorgerufen, bis diese mit einem Rad genau über dem PSD der Detektoreinheit zu stehen kommt. Die Lok steht nun mit einer Achse eines Drehgestells über der Messstelle und belastet diese mit ihrem Gewicht, Bereich 2. Dies verursacht in den folgenden 5 Minuten ein weiteres Einsinken der Messstelle um 0.18 mm. Danach sind keine weiteren Deformationen mehr zu erkennen. Eine in diesem Zeitintervall, Bereich 3, durchgeführte Messung mit dem Nivellier weicht vom Mittelwert der Daten des OSDM um 0.02 mm ab, siehe Tabelle 1. Die Standardabweichung (STD) Daten des OSDM beträgt in diesem Bereich 0.03 mm.

Tabelle 1: Mit dem OSDM und Nivellier im Bereich 3 gemessene Deformation.

	Messung der Deformation	Differenz der Messungen	STD der Messungen
Präzisionsnivellier	-1.92 mm	<i>0.02 mm</i>	0.04 mm
OSDM (Mittelwert)	-1.94 mm		0.03 mm

Unmittelbar nach der Messung mit dem Nivellier verlässt die Lok die Messstelle. Die Messung mit dem OSDM zeigt in Bereich 4 deutlich das elastische Verhalten des Gleiskörpers. Dieser strebt seiner ursprünglichen Ruhelage entgegen, ist aber gegen Ende der Messung noch immer um -0.11 mm gegenüber der Ausgangslage versetzt. Eine weitere Messung mit dem Nivellier gegen Ende des Bereichs 4 bestätigt diesen Versatz.

Die Resultate beider Verfahren unterscheiden sich in diesem und in anderen Beispielen innerhalb der Messgenauigkeit nicht signifikant voneinander. Da beide Systeme eine ähnliche Präzision aufweisen, kann die absolute Genauigkeit des OSDM nicht angegeben werden, jedoch wird sie im allgemeinen besser als 0.05 mm sein.

3.2 Kinematische Messung

Im Gegensatz zur statischen Messung der Schienendeformation verursacht ein vorbeifahrender Zug Bodenvibrationen. Kann die dadurch hervorgerufene Erregung des Stativs nicht durch mechanische Adaptionen vermieden werden, so besteht die Möglichkeit, den verbleibenden Einfluss auf die Messung durch Filterung rechnerisch zu unterdrücken. Damit dieser Prozess ohne Informationsverlust des Deformationssignals durchgeführt werden kann, ist eine klare Trennung der Frequenzbänder von Nutz- und Störsignal Voraussetzung.

Bestimmung des Frequenzbandes des Störsignals

A-priori sind die Frequenzen der Vibrationen der Lasereinheit, angeregt durch die Bodenschwingungen, nicht bekannt. Zur Bestimmung dieses Frequenzbereiches wurde ein spezielles Experiment durchgeführt, bei dem die Detektoreinheit auf einem Baumstamm in 42 m Entfernung befestigt wurde. Zusätzlich wurde an der Detektoreinheit ein Beschleunigungssensor angebracht und die Signale beider Sensoren simultan während mehrerer Lokdurchfahrten aufgezeichnet. Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse des OSDM im Zeit- und Frequenzbereich während einer Lokdurchfahrt mit 80 km/h.

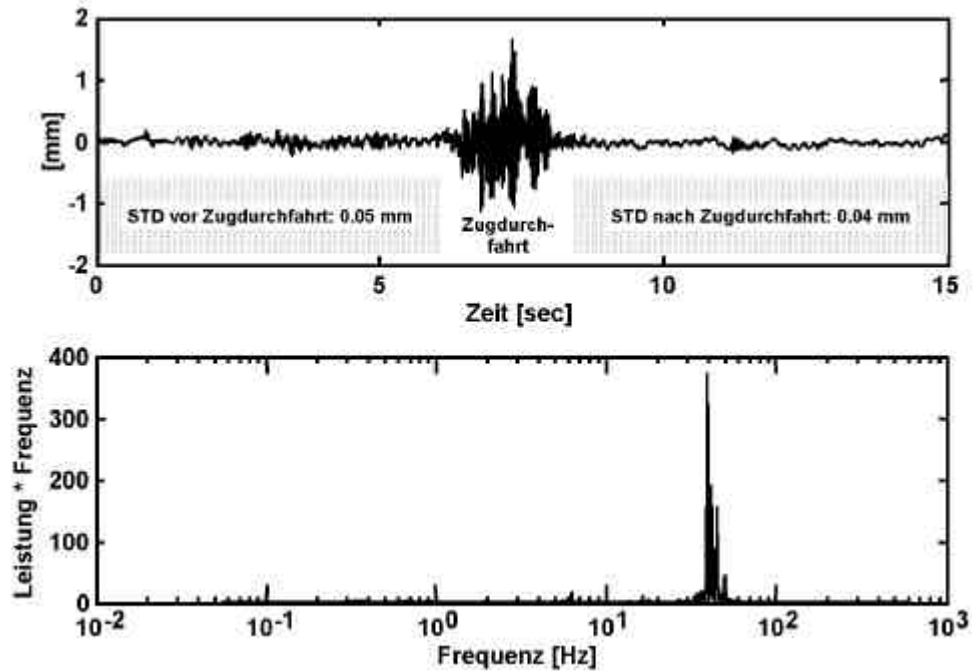


Abbildung 6: Bestimmung des Störsignals durch Messung an einem Baum.

Die Messungen mit dem Beschleunigungssensor bestätigen, dass der Baum und somit auch die Detektoreinheit von den Bodenvibrationen nicht beeinflusst wird. Im Gegensatz dazu ist beim OSDM ein deutliches Signal zu erkennen, das nur von Vibrationen der Lasereinheit stammen kann. Das Frequenzband dieses Störsignals wird mit einem Leistungsspektrum ermittelt und liegt im gezeigten Beispiel zwischen 35 und 55 Hz. Versuche bei anderen Geschwindigkeiten zeigen, dass das Frequenzband des Störsignals immer diesen Bereich hat.

Bei dem in der Abbildung gezeigten Spektrum wurde die Leistung mit der Frequenz multipliziert, um höherer Frequenzen bei der Darstellung hervorzuheben. Weiters ist die Fläche unter dem so dargestellten Leistungsspektrums proportional zum Anteil der Varianz des Signals.

Elimination des Störsignals – Filterung

Die Frequenzen der Deformationen der Schiene (Nutzsignal) sind hauptsächlich eine Funktion des Radabstandes der Lok und deren Geschwindigkeit. Bei 140 km/h und einem Radabstand von 2.9 m ist die höchste Frequenz des Nutzsignals ca. 14 Hz. Der große Frequenzunterschied zwischen Nutz- und Störsignal ermöglicht eine klare Trennung beider Signalkomponenten. Das Störsignal kann somit durch Verwendung eines Bandstopfilters vom Messsignal getrennt werden, ohne dass dabei Informationen über die Schienendeformationen verloren gehen.

Abbildung 7 zeigt eine Messung im Zeit- und Frequenzbereich exemplarisch für Lokdurchfahrten mit 5 km/h. Es zeigt sich, dass die Frequenzen des Nutzsignals aufgrund der geringen Lokgeschwindigkeit unter 1 Hz liegen. Die Frequenzen des Störsignals liegen wie beim Baumexperiment zwischen 35 und 55 Hz. Durch ein Bandstopfilter des Typs Finite Impulse Response (FIR) mit einer Ordnung von 100 und einem Unterdrückungsbereich von 30 bis 60 Hz wird das Nutzsignal vom Störsignal getrennt. Der Vergleich des gefilterten Signals mit dem Messsignal ist im Zeitbereich dargestellt. Die während der Lokdurchfahrt auftretenden Vibrationsstörungen wurden durch den Filter effizient vom Nutzsignal getrennt.

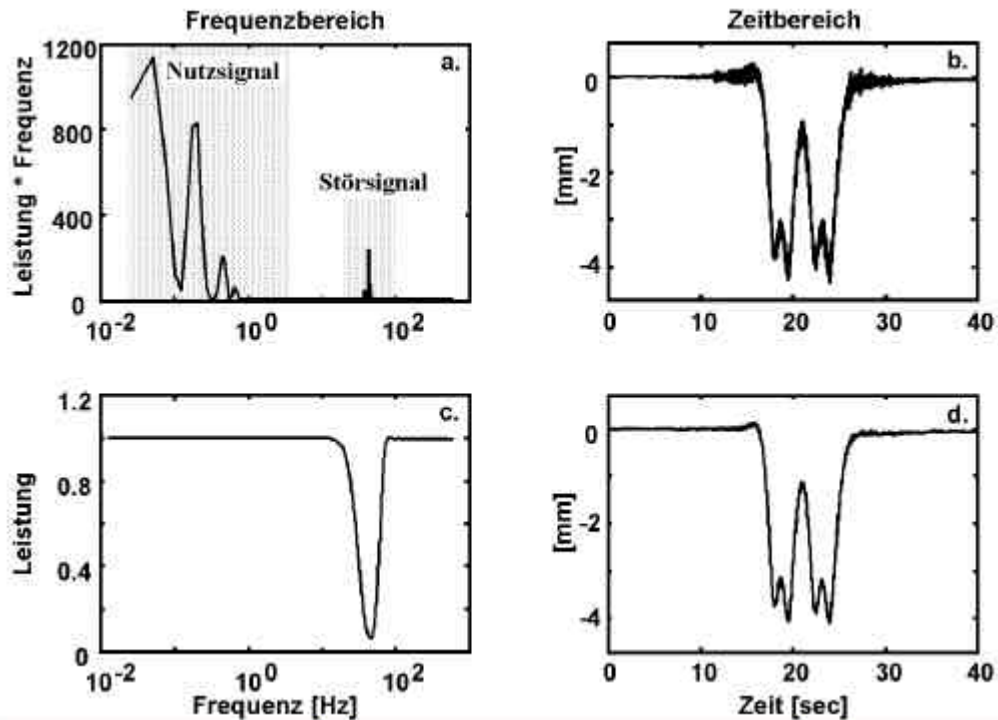


Abbildung 7: (a) Leistungsspektrum des Messsignals, (b) Messsignal, (c) Leistungsspektrums des Bandstopfilters und (d) Nutzsignal.

4 Einige Resultate

4.1 Einsatz des OSDM

Das OSDM wurde im Rahmen einer von der Projektgruppe „Gleisinnovation“ der ÖBB beauftragten Versuchsreihe am Testfeld in Paternion / Kärnten eingesetzt. Es wurden verschiedene Schwellentypen getestet. Zu diesem Zweck stand eine Versuchslok zur Verfügung, die pro Messstelle jeweils 5 Fahrten in beiden Richtungen bei den Sollgeschwindigkeiten 5, 80 und 140 km/h durchführte. Die Messung der Schienendeformation mit dem OSDM wurde mit einer Frequenz von 1200 Hz durchgeführt.

4.2 Wiederholbarkeit bei mehreren Lokdurchfahrten

Messungen im unbelasteten Zustand der Messstellen zeigen, dass die Präzision des OSDM zwischen 0.03 und 0.05 mm liegt. Die Wiederholbarkeitsgenauigkeit des OSDM kann durch den Vergleich der Deformationen mehrerer Einzelfahrten bei der gleichen Sollgeschwindigkeit und Messstelle gezeigt werden. Die Istgeschwindigkeit der Lok kann jedoch um mehrere km/h von der Sollgeschwindigkeit abweichen. Um daher mehrere Lokdurchfahrten miteinander vergleichen zu können, müssen die Schienendeformationen auf eine gemeinsame Basis bezogen werden. Eine mögliche Basis ist die Stationierung der Lok in Bezug zur Messstelle. Die zur Berechnung notwendige Istgeschwindigkeit der Lok wurde durch die Messungen mit Lichtschranken bestimmt. In Abbildung 8 ist die mittlere Schienendeformation von jeweils 5 Durchfahrten pro Sollgeschwindigkeit relativ zur Stationierung dargestellt. Zusätzlich sind die Standardabweichungen (STD) der 5 Durchfahrten 10-fach vergrößert dargestellt. Die STD-Werte wurden aus den 5 Werten pro Stationierung gerechnet.

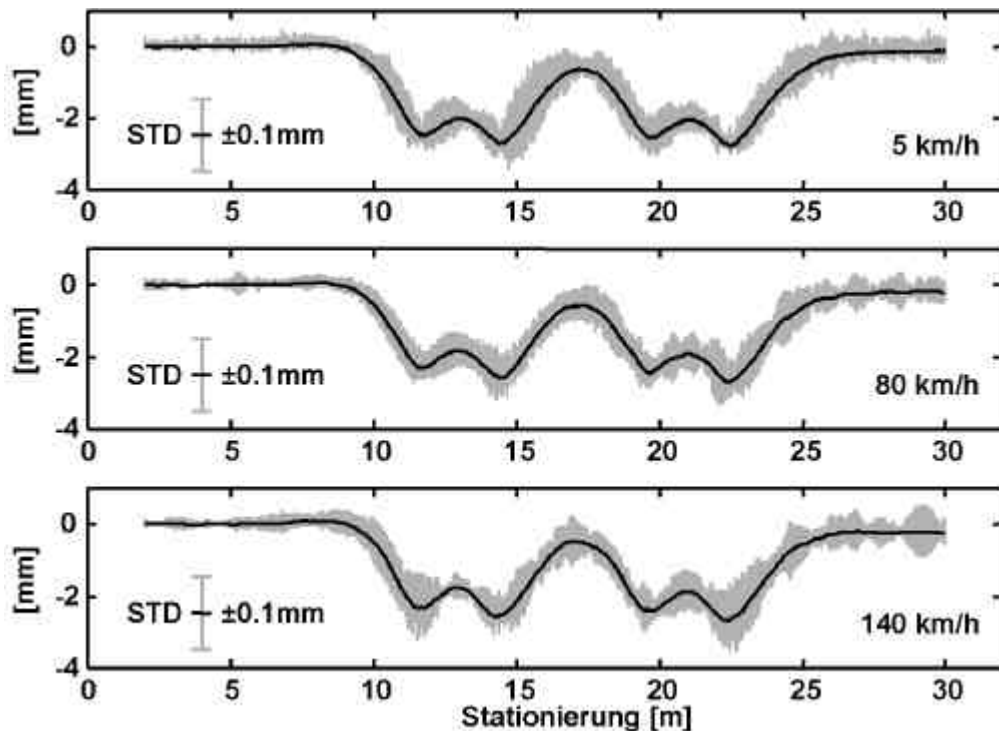


Abbildung 8: Mittlere Schienendeformation und Standardabweichung (10 fach überhöht) aus jeweils 5 Durchfahrten bei einer Geschwindigkeit der Lok von 5, 80 und 140 km/h.

Im Mittel liegen bei allen Geschwindigkeiten die Standardabweichungen unter 0.05 mm. Es treten jedoch abhängig von der Geschwindigkeit und Stationierung maximale Abweichungen der 5 Einzelrealisierungen der Deformationen von deren Mittelwert von 0.17 mm auf. Diese Unterschiede werden durch die Variabilität der Eigenschaften des Oberbaus hervorgerufen.

4.3 Schienendeformation zweier verschiedener Schwellentypen

Die Schienendeformation hängt u.a. von den Eigenschaften der Dämpfungselemente, dem Gewicht der Schwelle und dem Verhalten des Untergrundes ab, Hasslinger et al. (1999). Werden bei unterschiedlichen Schwellentypen auftretende Deformationen miteinander verglichen, so sind aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften auch unterschiedlich starke Deformationen zu erwarten. In Abbildung 9 wird exemplarisch die Schienendeformation von zwei Schwellentypen bei einer Sollgeschwindigkeit der Lok von 5 km/h dargestellt. In der Folge werden diese beiden Schwellentypen als K- bzw. R-Schwellen bezeichnet.

Die Unterschiede in den auftretenden Deformationen sind zwischen den beiden Schwellentypen deutlich zu erkennen. Bei der R-Schwelle treten doppelt so große Deformationen auf, als bei der K-Schwelle. Dies kann durch die unterschiedlichen Eigenschaften der beiden Schwellentypen erklärt werden. Die R-Schwelle weist im Vergleich zur K-Schwelle nicht nur eine andere Form (Rießberger, 2000), sondern auch zusätzlich eine elastische Besohlung auf.

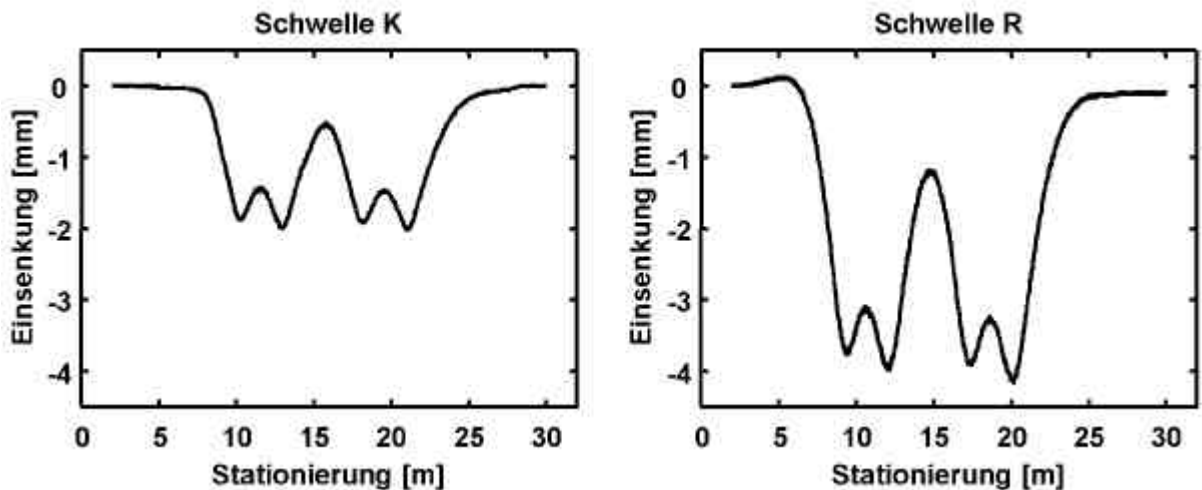


Abbildung 9: Deformationen zweier verschiedener Schwellen bei einer Lokgeschwindigkeit von 5 km/h.

Wird die Deformationskurve eines Schwellentyps separat betrachtet, so sind deutlich verschiedene Extrema zu erkennen. Maximale Einsenkungen treten auf, wenn sich eine der vier Radachsen der Lok über dem PSD befindet. Weiters ist zu erkennen, dass die einzelnen Maxima unterschiedliche Größen aufweisen, wobei in fast allen Fällen die Deformationen, die durch die erste Radachse eines Drehgestells verursacht werden, kleiner sind als die durch die zweite Achse verursachten. Zwischen den beiden Drehgestellen hebt sich die Schiene wieder, kann aber infolge des geringen Abstandes zwischen den beiden mittleren Radachsen voneinander ihre ursprüngliche Lage nicht erreichen. Generell fällt die Deformation, die durch die zweite Achse des zweiten Drehgestells verursacht wird, am größten aus.

Neben den unterschiedlich großen Deformationen bei den beiden Schwellentypen sind auch Unterschiede in der Form der Deformationskurve zu erkennen. Während sich die K-Schwelle schon bevor die Lok die Messstelle erreicht, zu setzen beginnt, ist bei der R-Schwelle eine Anhebung der Schiene von etwa 0.15 mm zu erkennen. Diese Abhebewelle vor der Last ist ein Maß der Dämpfungseigenschaften des gesamten Oberbausystems. Nachdem die Lok die Messstelle verlassen hat, hebt sich die Schiene wieder. Im Falle der K-Schwelle erreicht sie ihre ursprüngliche Position wieder. Im Gegensatz dazu bewegt sich die R-Schwelle zwar schneller in Richtung ihrer Ausgangslage, bleibt aber gegenüber dieser zunächst um etwa 0.15 mm versetzt und kriecht danach nur langsam in Richtung ihrer ursprüngliche Lage.

5 Schlußbemerkungen

In diesem Beitrag wurde die Entwicklung eines Systems zur Messung der Schienendeformationen dargestellt. Die Hardware des Systems besteht aus einer Laser- und einer Detektoreinheit, wobei die Lasereinheit ausschließlich aus geodätischen Geräten zusammengesetzt wird. Die optische Detektoreinheit wurde an die Eigenschaften der Lasereinheit angepasst. .

Bei den gezeigten Beispielen wurde die Beeinflussung durch Vibrationen rechnerisch mit Methoden der Signalverarbeitung reduziert. Um die Vibrationen schon bei der Messung zu verringern, wird momentan an einer mechanischen Dämpfung des Stativs der Lasereinheit gearbeitet.

Verdankungen

Die Projektgruppe „Innovativer Schotterbau“ der ÖBB, Geschäftsbereich Fahrweg und Technik, hat die Entwicklung des OSDM und die Untersuchungen finanziell unterstützt. Weiters danken wir Prof. K. Rießberger, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft, TU-Graz, für die innovativen Gespräche.

Referenzen

Esveld C. (1989) Modern Railway Track. MRT-Productions, Duisburg.

Gotschol A., Stöcker T., Kempfert H.-G. (2000) Dynamische Extensometer- und Druckspannungsmesungen an Schienenverkehrswegen. Mitteilungen des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik Technische Universität Braunschweig 62: 137-146.

Hasslinger H. L., Mittermayr P., Presle G. (1999) Das dynamische Verhalten unterschiedlicher Oberbausysteme zufolge fahrender Lasten. Eisenbahningenieur 50: 44-48.

Heck U., Fritschi J., Mönicke H.J., Petzoldt R. (1996) Kinematische Messung zur Kontrolle der Dynamik von Brückenbauwerken. In Mönicke (ed.) Kinematische Messmethoden in der Ingenieur- und Industrievermessung. Deutscher Verein für Vermessungswesen e.V. 22: 167-184.

Rießberger K. (2000) Das Rahmen-Schwellen-Gleis – ein innovatives Schottergleis. Eisenbahntechnische Rundschau 49/3: 126-136.

Schlemmer H. (1996) Grundlagen der Sensorik. Wichmann, Heidelberg.

Tervaskanto M. (1998) A laser based displacement measurement technology for monitoring and testing the dynamic behaviour of large structures. In Kahmen, Brückl, Wunderlich (eds.) Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, Eisenstadt, April, pp 325-330.