

# Zur Methodik der Überwachungsmessungen der Lagegeometrie von Brückenkran-Laufrädern

H. Bryś, K. Ćmielewski,  
K. Kowalski

**Im vorliegenden Beitrag werden die Problematik der Lage-Geometrie von Brückenkranrädern und deren inkorrekte Wechselwirkung mit Kranbahnschienen dargestellt, diskutiert und analysiert. Es werden die Methodik und moderne Messgeräte mit optischen und elektronischen Ziel- und Ablesevorrichtungen zur Überwachungsmessung von Laufrädern, bei der Abnahme nach dem Bau und bei in langjährigem Betrieb befindlichen Brückenkränen, vorgestellt.**

## 1 Einführung und Problemstellung

Die systematische und vorschriftliche Überwachung und Qualitätskontrolle geometrischer Parameter zur Einhaltung der zuverlässigen Funktionstüchtigkeit und Arbeitssicherheit des *Konstruktions-Komplexes: Brückenkrantragsystem-Kranbahnschienen* stellt ein wichtiges Aufgabenfeld der Industriemesstechnik mit höchsten Genauigkeitsanforderungen dar. Verkantungen, Verdrehungen und Fehljustierungen der Kranräder, sowie Verformungen der Kranbahnschienen, deren zulässige Maßtoleranzen überschritten werden, können zu Stillständen und sogar zu Baukatastrophen führen. Die unvorhersehbaren Deformationen der Krankonstruktion und Veränderlichkeit der metrologischen SOLL-IST-Abmaße begründen die Notwendigkeit zu kontinuierlichen Verifikationsmessungen und ggf. zu Wartungsarbeiten (JUZWA K. u.a. 1982).

Die Brückenkrananlagen müssen nach Vorschriften und Normen, mit ingenieurgeodätischen Verfahren, in folgenden Fällen geprüft werden:

- in Rahmen der Abnahmemessungen vor der ersten Inbetriebnahme,
- nach wesentlichen Änderungen der Brückenkonstruktion und/oder der Radsätze,
- nach betrieblichen Verhältnissen,
- mindestens alljährlich, aber auf großflächigen Kohlebecken (Ruhrgebiet, Ober- und Niederschlesien, Ostrava-Karvina-Kohlengbiet u.Ä.) viermal im Jahr!

Auf der Grundlage der in verschiedenen Standards und Richtlinien-Entwürfen erforderlichen Maßtoleranzen, wurden in einer Studie (KLEIN K.-H. u.a. 2001) Fragen der Qualitätssicherung von Kranbahnen ausführlich diskutiert und zulässige Messunsicherheiten abgeleitet, ver-

glichen und analysiert. Die Verfasser kamen u.a. zum Schluss, dass die berechneten Messgenauigkeiten zur geometrischen Qualitätskontrolle von Kranbahnen sich nur mit äußerst großem vermessungstechnischen Aufwand realisieren lassen, da die hohen Genauigkeitsforderungen in den meisten Fällen praxisfremd scheinen. Diese wichtige Folgerung gilt gleichermaßen für die ermittelten Messunsicherheiten für die Radlage-Geometrie-Bestimmung. Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, Einsatzmöglichkeiten, beim Bau und im Betrieb, einer modernen Messtechnologie zur Bestimmung der aktuellen Lage-Geometrie von Laufkran-Rädern darzustellen. Diese wichtige und immer aktuelle Problematik der Laufkrananlagen-Geometrie-Deformation steht sehr selten auf der Tagesordnung der internationalen Kongresse, Tagungen und Symposien.

## 2 Grundursachen und Folgen des inkorrekten Zusammenwirkens von Brückenkrangerüst und Kranbahnschienen

Die Hauptursache des Havarie-Ausfalls infolge eines langjährigen intensiven Betriebs von Brückenkränen ist die unkorrekte Wechselwirkung von Kranbrücke, Laufrädern und Kranbahnschienen. Es ist bewiesen worden, dass die Räder- und Schienenabnutzungen von den senkrecht zur Bahnrichtung auftretenden Seitenzügen beeinflusst werden. Sie weisen einen stochastischen Charakter auf. Einseitige unsymmetrische Betriebsbelastungen der Brücke, inkorrekte Räderlage-Geometrie und differenzierte Laufeigenschaften der Treibräder bewirken, dass die durch die Spannungen entstandenen Querkräfte über die ganze Konstruktion übertragen werden. Im Resultat wird auf bestimmten Gleisabschnitten der Freilauf des Brückenkrans gestört, und es kommt zur Schräg- bzw. Schwenkfahrt der Krankonstruktion, die verursacht, dass die Kopfträger von der Bahnrichtung abgelenkt werden und die Spurkränze auf die Schienenkopfsseitenfläche drücken. Bei den Verschiebungen der Radlaufflächen treten markante akustische Effekte mit metallischen Knackgeräuschen auf, die als Warnungssignale einer wahrscheinlichen Verklemmung und des Aufhaltens des Laufkrans zu deuten sind. Auf den Räder- und Schienenlaufflächen bilden sich dünne Stahlschuppen. An den Verengungen der Spurweiten und an den Anhaltstellen des Krans werden bei intensiven Betriebsbedingungen und

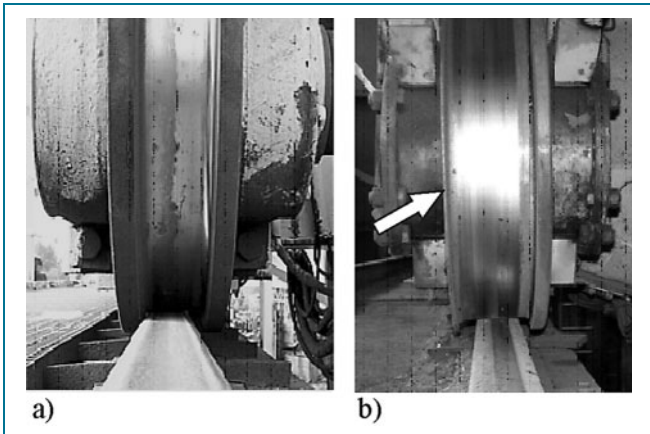


Abb. 1a und 1b: Richtiges und unkorrektes Zusammenwirken des Antriebrads mit einseitig stark verschleißten Laufkranz und der Schienenkopfsseitenfläche (www.optor.pl)

bei öfteren Bremsungen die Schienenkopf- und Spurranzabnutzungsprodukte (Abrieb) angehäuft. Auf die Intensität der dynamischen Seitenzüge haben sowohl der Verformungszustand der Brücke (reversible bzw. irreversible Deformationen), als auch die Gleisverwerfung wesentlichen Einfluss. Unter dem Gesichtspunkt der Mechanik, der Metrologie und der vorschriftsmäßigen Maßtoleranzen, zählen zu den wesentlichen Faktoren, die die Geometrie der Brückenkonstruktion beeinflussen können:

- Identität der Durchmesser der Antriebräder,
- inkorrekte Lage der Laufräder infolge der Ablenkung der Radkranzflächen von der Vertikalebene und der Parallelität zur Schienenachse (d.h. Radsturz und Verdrehung),
- Starrheit des Brückengerüsts gegen momentane und bleibende Deformationen,
- Leistungsfähigkeit des Räderlaufwerks,
- Gleisverwerfung und Unkorrektheit der Schienenbefestigung,
- Lockerung der Befestigungen der Tragsäulen-Fundamentschrauben und Deformation der Kranbahnträger,
- Setzungen der Stahlbetonstützen und Verformung des Krangerüsts,
- technogene Einwirkungen des Gebirges infolge eines langjährigen Untertagebaues.

Im Dauerbetrieb bleibt die rechteckige Form der Brückenkonstruktion oft nicht erhalten. Es stellen sich irreversible Verformungen ein, die die Funktionssicherheit gefährden. Es kommt zu systematischen Änderungen der Diagonalen und zu zunehmenden Abweichungs-Differenzen. Die Toleranzen der Radstände werden ebenfalls überschritten (Abb. 6 und Abb. 11) (BRYŚ H. 2000).

All dies begründet die Notwendigkeit zu systematischer Deformationsüberwachung und Bestimmung der Räderlage-Geometrie sowie der Abweichung der Krangerüst-hauptachse von der Rechtwinkligkeit gegenüber den Schienenachsen.

### 3 Geometrische Interpretation der Laufräderlage-Parameter

Zu den Hauptfaktoren, die den größten Einfluss auf die horizontale und vertikale Verdrehung der Kran-Laufräder ausüben, zählen:

- Rechteckigkeits-Bedingung und Verformungs-Beständigkeit der Brückenkonstruktion,
- Typ und Einbauart der Radsätze in den Kopfträgern,
- Abweichungen der SOLL-IST-Schienenspurweiten der Kranbahn,
- einseitige Betriebsüberlastung des Krans längs eines Schienenstrangs.

Aufgrund der Resultate der Kontrollmessungen der Laufräder werden die geometrischen Radlage-Abweichungen ermittelt (Polnische Norm PN-89/M-45453 1989 Brückenkräne, Forderungen und Prüfungen, bearbeitet auf der Grundlage des Internationalen Standards ISO 8306, 1985, Brücken- und Torkräne, Toleranzen von Kränen und Kranbahnen).

Die wichtigsten Lage-Abweichungen mit den entsprechenden Maßtoleranzen sind auf den Abbildungen 2 bis 6 dargestellt. Der Terminus Toleranz bedeutet: „Zulässigkeit bestimmter Abweichungen gegenüber vorgeschriebenen Messwerten“.

Für die Räderlage-Vermessungen ist es äußerst schwierig, verbindliche Messgenauigkeiten festzustellen, da sie von den in Richtlinien vorgegebenen Toleranzen abhängig sind. Die Maßtoleranz setzt sich aus der Fertigungs-, Montage- und Vermessungstoleranz zusammen. Aus den Beziehungen zwischen der Maßtoleranz und der Vermessungstoleranz sowie mit dem angenommenen Messungs-Anteilsfaktor und mit dem Vertrauensniveau, werden die zulässige Messunsicherheit und die Standardabweichung schließlich abgeleitet (KLEIN K.-H. u.a. 2001). Für die früher üblichen Regeln des Maschinenbaus gilt, dass die Messgenauigkeit 10 % der Maßtoleranz T nicht überschreiten soll (HENNECKE F. 1989).

Zur Feststellung des aktuellen Räderlagezustandes werden folgende geometrische Parameter bestimmt:

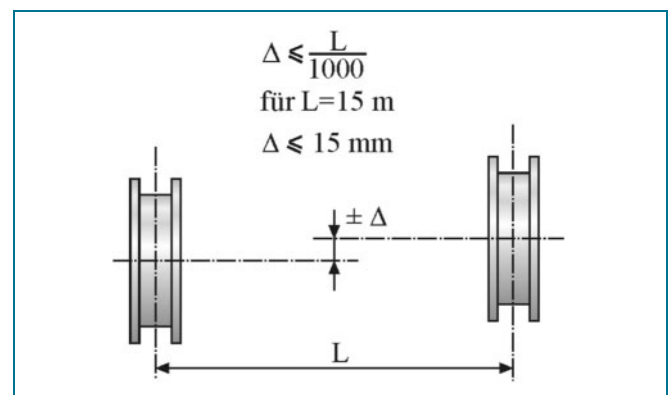


Abb. 2: Gegenseitige vertikale und horizontale Verschiebungs-Abweichung der Antriebräderachsen bei unbelasteter und unverformter Brückenkränkonstruktion

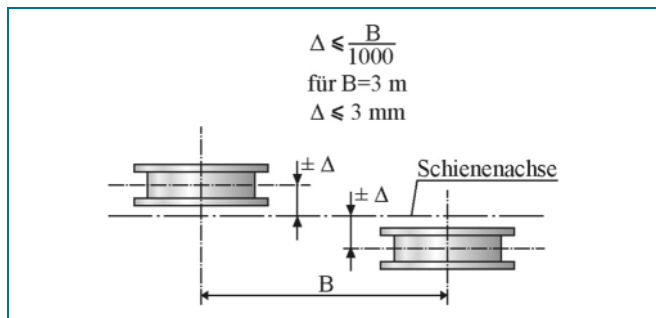


Abb. 3: Horizontalparallele Verschiebungs-Abweichung der Laufräder gegenüber der Schienenachse

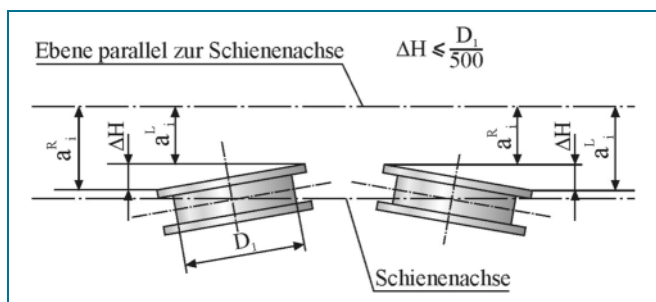


Abb. 4: Horizontale Parallelitäts-Abweichung der einzelnen Radsätze in den Brückenkran-Kopfträgern

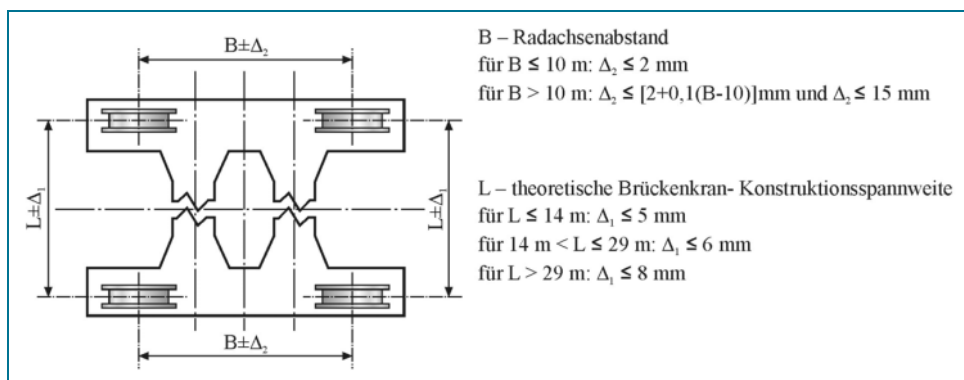


Abb. 6: Radstand-Maßtoleranzen

#### 4 Einbauart der Radsätze in den Kopfträgern

Bei jedem Radsatzwechsel in den Kopfträgern, während des Regulierungsprozesses und bei den geodätischen Überwachungsmessungen, können verschiedene mechanische und messtechnische Erschwernisse auftreten. Die ab den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts meist in Polen angewandten Radsätze sind in den unteren Abbildungen schematisch dargestellt.

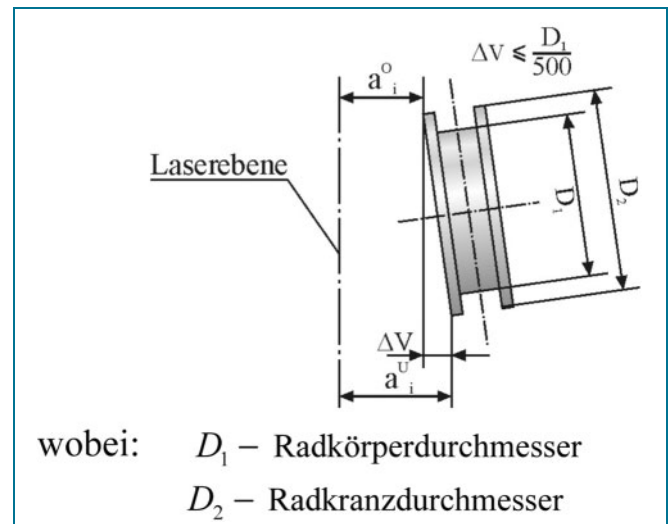


Abb. 5: Vertikalitäts-Abweichung der Spurkranzseitenfläche infolge der Radschräglage

Abb. 7 zeigt eine herkömmliche und Abb. 8 die neuartige Konstruktions-Lösung des Einbaus von Radsätzen. Das Prinzip der vervollkommenen Bauart beruht auf dem Einsetzen der Radachslager in zwei außermittigen Fassungen, die durch das Umdrehen eine angemessene Radlage ermöglichen (GRAJEK K. u.a. 1995), (BORKOWY K. u.a. 1989). Die Wartungsarbeiten und die Radsatz-Lage-Regulierungen werden dadurch schneller und effektiver durchgeführt. Den Autoren sind aus eigener vermessungstech-

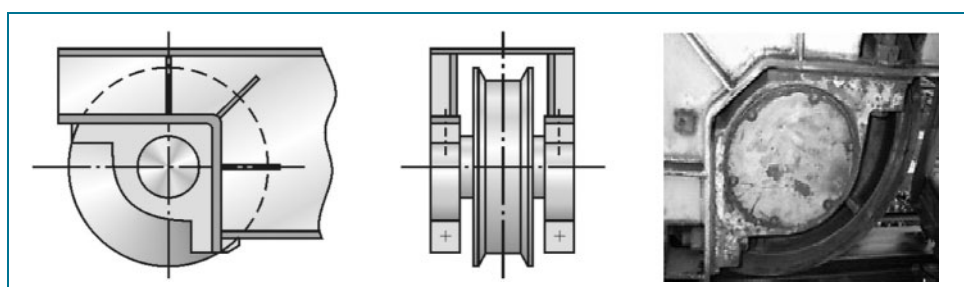


Abb. 7: Konstruktions-Einbauart des Radsatzes mit winkligen Kugellagerfassungen im Kopfträger

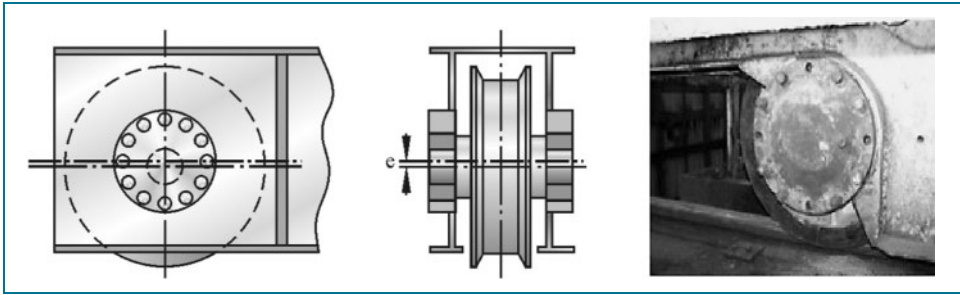


Abb. 8: Exzentrisch regulierbarer Radsatz mit „durchgeschlagener Radnabe“

nischer Praxis massive 200 t-Brückenkräne mit 16 Laufrädern bekannt, die regelmäßig alle 4 bzw. 6 Wochen aus betriebstechnischen Gründen wegen völliger Abnutzung ausgewechselt werden mussten. Ein wesentlicher Vorteil der in diesem Beitrag präsentierten Messtechnologie ist die Schnelligkeit der Beobachtungsprozedur und der Radlage-Regelungsarbeiten.

## 5 Messverfahren zur Kontrolle und Überwachung geometrischer Parameter von Brückenkran-Laufrädern

Zur Bestimmung der geometrischen Lage der Räder werden die Lasertechnik bzw. optische Messverfahren auf der Basis eines zu den Schienenachsen parallel abgesteckten Bezugsrechtecks angewandt. Nach vollständiger Bestimmung des Bezugsvierecks mit höchster Präzision, werden auf den Instrumentenstandpunkten A und B (Abb. 17) ein automatischer Präzisions-Rotationslaser für horizontalen und lotrechten Einsatz bzw. eine Totalstation exakt zentriert und so die vertikalen Referenzebenen erzeugt. Die Parallelität der beiden Laserebenen wird mittels präziser Distanzmessung mit geprüftem Stahlmessband, unter Berücksichtigung der Temperatur- und Zugkraftkorrektur, sowie des Durchhanges in zwei Messquerschnitten kontrolliert. Mit einem der Messgeräte (Tabelle 1) werden die horizontalen Entfernungen  $a_i$  zwischen den Beobachtungspunkten auf der Radkranzfläche und der Laserebene gemessen.

Diese Messdaten dienen zur Auswertung folgender Radlage-Abweichungen (Abb. 3 bis 6)

- in der horizontalen Ebene  $\Delta_H = a_i^L - a_i^R$
- in der vertikalen Ebene  $\Delta_V = a_i^O - a_i^U$

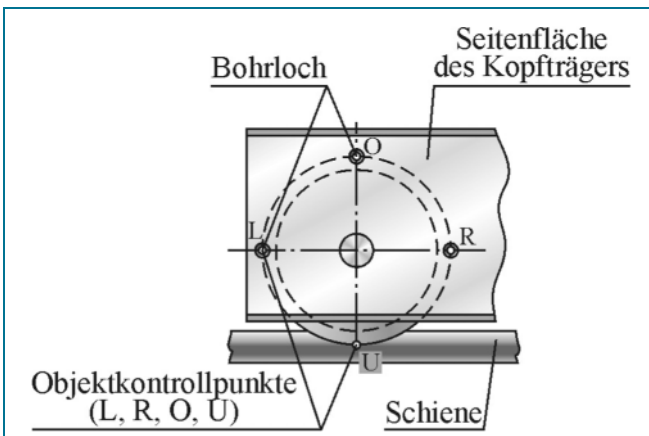


Abb. 9: Messpunkte auf der Radkranzseitenfläche

- gegenseitige Verdrehung der Laufräder in den Kopfträgern
- die Radstand-Abmaße
- wobei:  $a_i^L, a_i^R, a_i^O, a_i^U$  – gemittelte Messwerte aus 5 Beobachtungsserien.

## 6 Bestimmung der Durchmesser der Radkörper

Die optimale Messtechnologie beruht auf der Bestimmung des Grundrisses des Durchmessers des Radkörpers auf der Kranbahnschiene. Mit einem L-Profil-Gurtwinkel werden die Rad-Durchmesser-Spuren direkt auf dem Schienenstrang markiert (Abb. 10). Folgend werden die Parameter: Radmittenpunkt-Diagonalen –  $P_1, P_2$  und die Radspurweiten –  $B_1, B_2, L_1, L_2$  ermittelt (Abb. 11).

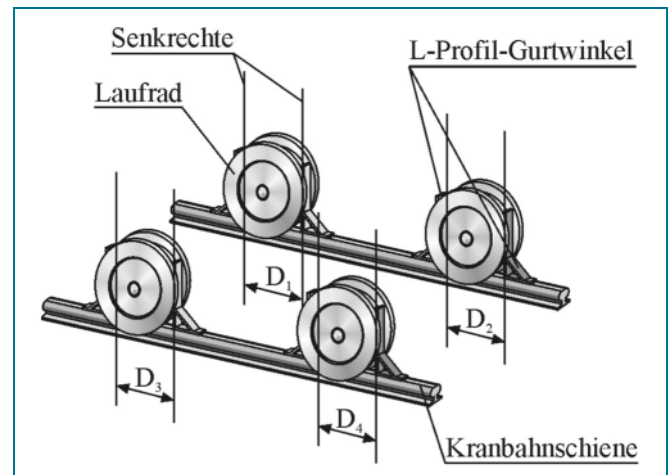


Abb. 10: Bestimmung der Radkörper-Durchmesser der Laufflächen mit dem Grundrissverfahren

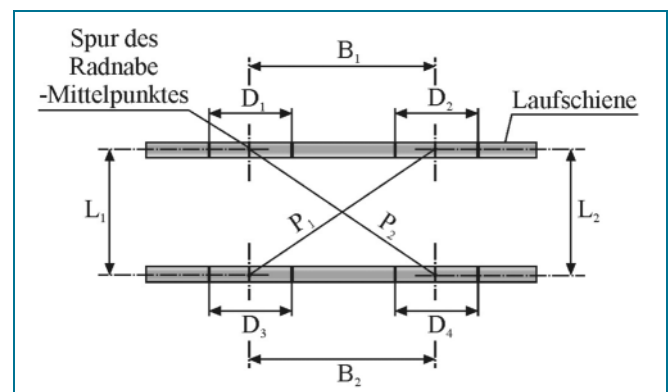


Abb. 11: Graphische Darstellung der Radstand-Parameter



## 7 Neuartige Messgeräte

Die systematischen Fortschritte der Feinmechanik, der Optoelektronik und der Lasertechnik tragen zur Projektierung und Entwicklung von alternativen Ziel- und Ablesevorrichtungen für verschiedene Vermessungsinstrumente bei. In den letzten zwei Jahrzehnten entstanden diverse prototypische Hilfsgeräte bzw. technische Konstruktionskonzepte (CMELEWSKI K. u.a. 1999), mit:

- Millimeterskala
- elektronischem Lineal
- optoelektronischem CCD-Lineal.

Die Bauart dieser Geräte-Sets berücksichtigt folgende Komponenten:

- Kegelfuß
- Ablesevorrichtung mit elektronischem bzw. optoelektronischem Lineal
- Target-Schieber
- Röhrenlibelle
- Datenfernübertragungsleitung
- Laptop

In den unteren Abbildungen sind die Hauptbestandteile dieser Messgeräte schematisch dargestellt.

In Abb. 17 ist exemplarisch die Laser-Messmethode mit Anwendung eines Prismengeräts und telemetrischer Computer-Registrierung schematisch dargestellt.

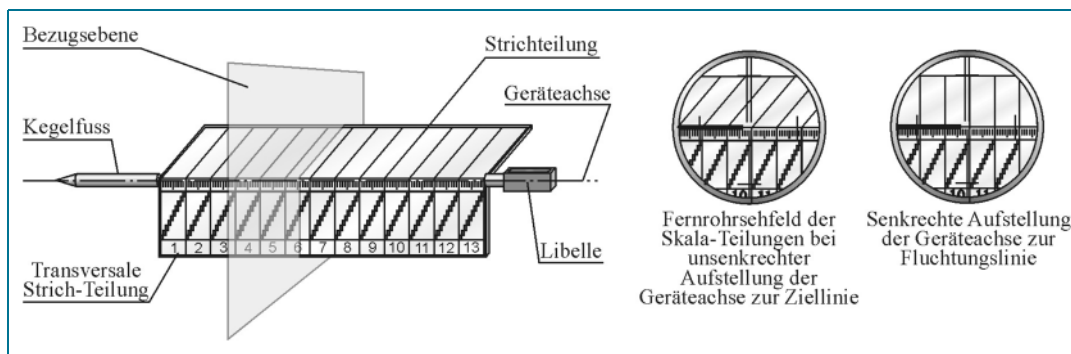


Abb. 12: Messgerät mit eingeknickter transversaler Doppelskala

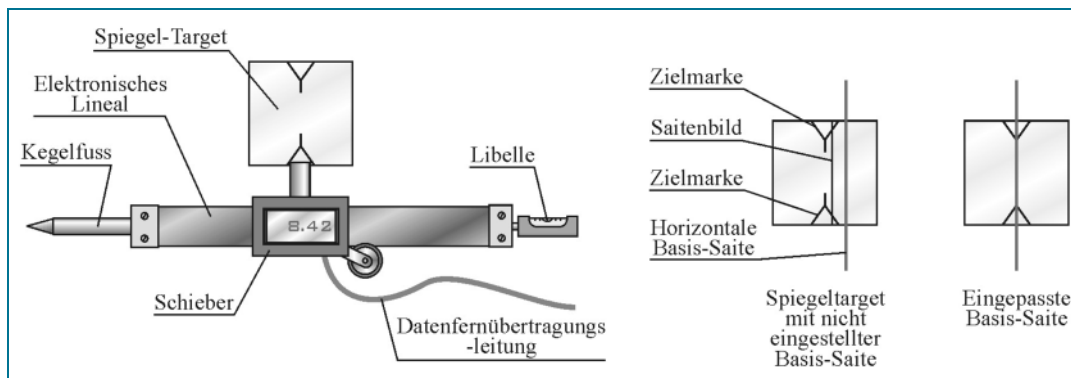


Abb. 13: Elektronisches Messgerät mit parallaxischem Zielverfahren

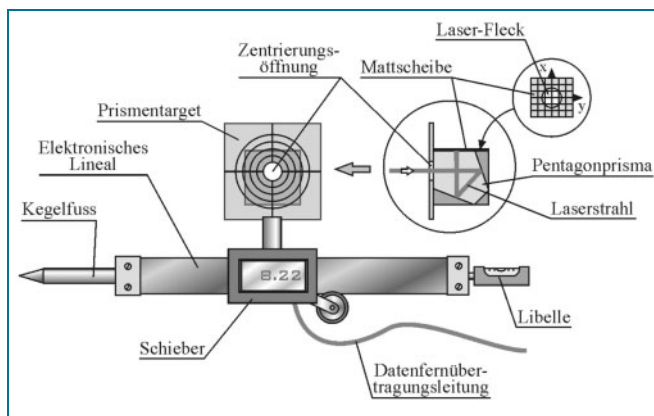


Abb. 14: Elektronisches Lineal mit Prismen-Target und konzentrischen Kreisen

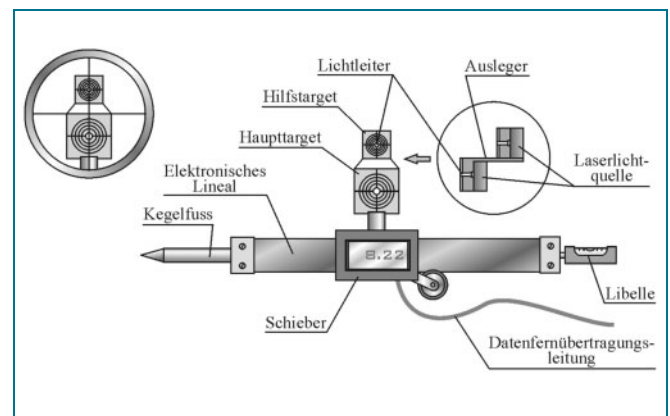


Abb. 15: Elektronisches Lineal mit Lichtleiter-Doppeltarget

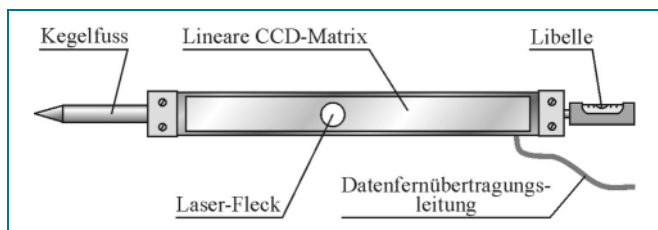


Abb. 16: Optoelektronisches CCD-Matrix-Lineal

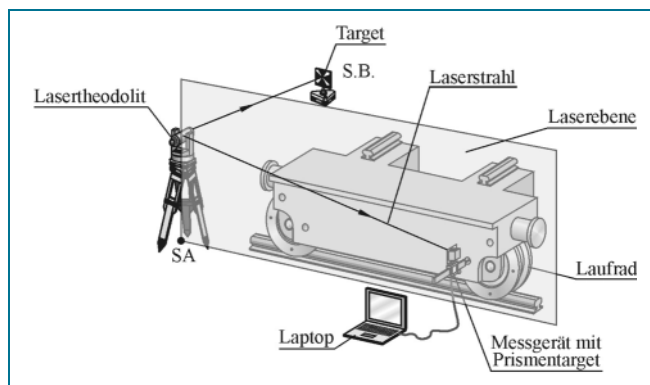


Abb. 17: Schematische Darstellung der Radlage-Geometrievermessung mit der Anwendung der Laserbezugsebene

Tabelle 1: Zusammenstellung der technischen Daten und konstruktiven Eigenschaften der Messgeräte

Ziel- und Ablesesystem. Einstellung der Senkrechtigkeit des Messgeräts zur Laserebene	Messprinzip	Ablesegenauigkeit [mm]	Bemerkungen
L-Profil-Doppelskala mit transversaler Millimeterteilung (Abbildung 12)	optisch	0,1 – 0,2	Messbereich bis zu einigen zehn Metern. Einfache Handhabung. Messgenauigkeitsminderung mit der Entfernung.
optisch-parallaktisches Zielverfahren (Abbildung 13)	elektronisch mit automatischer Registrierung	0,03	zeitaufwendige Einstellung der Draht-Saite- Basis parallel zur Kopfträgerachse bzw. zur Schienenachse
optisch-parallaktisches Visierverfahren mit Lichtleiter-Doppeltarget (Abbildung 15)	elektronisch mit automatischer Registrierung	0,03	zeitaufwendige Einstellung des Lichtleiter- Doppeltargets zur Laser-Fluchtungsebene
laser-optisches Prismentarget-Verfahren mit lokalem Koordinatensystem (Abbildung 14)	elektronisch mit automatischer Registrierung	0,03	zeitaufwendige Aufstellung des Prismen-Target zur Fluchtungsebene
annäherndes Einstellungsverfahren ohne Kontrolle der Senkrechtigkeit (Abbildung 16)	photodetektisch mit Registrierung	0,03	Zur Minimierung des Ablesefehlers müssen die Beobachtungen am Anfang der CCD-Skala ausge- führt werden. Messbereich bis zu einigen Metern.

## 8 Schlussbemerkungen

- Die Resultate der zur Überwachung von Brückenkrananlagen und Kranbahnschienen durchgeführten Vermessungen, Art und Größe der Verformungen und Verschiebungen, Abnutzungszustand der Radkränze und der Schienenköpfe, sowie Informationen hinsichtlich der Funktionstüchtigkeit des **Komplexes: Brückenkonstruktion-Kranbahn**, dienen als Grundlage für die interdisziplinäre Qualitätsbewertung der geometrischen Parameter, der Lageregelung der Radsätze und der computergestützten Bearbeitung des Justierungsprojektes für das Richten der Kranbahnschienen in der horizontalen und vertikalen Ebene.
- Die abnehmende Anzahl der durchgeführten Verifikationsmessungen der Lagegeometrie von Kranrädern lassen vermuten, dass die Nutzungsdauer der Radsätze im Effekt häufig verkürzt und die Stillstandszeiten der Kräne verlängert werden.

- Einsatz der präsentierten Messmethodik und der Hilfsgeräte in der vermessungstechnischen Praxis, trägt zur Optimierung des Beobachtungsprozesses und zur Erhöhung der Messgenauigkeit, bei den in der Industrievermessung nicht alltäglichen und verantwortlichen Messaufgaben bei. Darüber hinaus werden Ablesefehler des Beobachters völlig eliminiert.
- Um die Räderlage-Parameter mit einer vorgeschriebenen Genauigkeitsforderung von Millimeter-Bruchteilen zu ermitteln, muss während des Messprozesses die Senkrechtigkeit-Bedingung des elektronischen Lineals zur Referenzebene unbedingt erfüllt werden. Dies garantieren die in Tabelle 1 beschriebenen und in den Abbildungen präsentierten Messgeräte. Die im Messprozess vorgesehenen klassischen Theodolite, Laser-Total-Stationen bzw. Rotationsnivellierinstrumente müssen vorschriftgemäß nach den ISO-Normen sorgfältig getestet, geprüft und justiert werden.

## Literatur

- [1] BORKOWY, K.; JUZWA, K. (1989): Messmethode zur Kontrolle von geometrischen Brückenkran-Parametern mit geodätischen Verfahren, III Seminar: Hütten-Kräne – „Brückenkran-Radsätze mit Regulierung der Laufräderlage“, Zabrze, (polnisch)
- [2] BRYŚ, H. (2000): Messverfahren zum Bestimmen der Geometrie der Verformung von Brückenkränen und Kranbahnschienen, Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 11–12/2000, S. 391–396
- [3] ĆMIELEWSKI, K.; KUCHMISTER, J. (1999): Zur Erhöhung der Messgenauigkeit durch den Einsatz des optischen Alignierverfahrens und eines winkelligen Doppelskala-Messgeräts, Wissenschaftlich-technische Konferenz: Probleme der Automatisierung in der Ingenieurgeodäsie, Warszawa, 15–16. März 1999, S. 401–408, (polnisch)
- [4] GRAJEK, K.; GRUSZKA, M.; JUZWA, K. (1995): Automatisierung des Mess- und Justierungsprozesses von regulierbaren Radsätzen in Brückenkränen, II Wissenschaftlich-technische Konferenz: Probleme der Automatisierung in der Ingenieurgeodäsie, Warszawa, 16–17 März 1995, S. 71–77, (polnisch)
- [5] HENNECKE, F. (1989): Vermessungstechnik für Bauingenieure, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, S. 23
- [6] JUZWA, K.; MERCIK, S. (1982): Richtlinien zur Vermessung von Brückenkränen und Kranbahnschienen, Wydawnictwo Przemysłu Maszynowego „WEMA“, Warszawa, (polnisch)
- [7] KLEIN, K.-H.; SCHULTZ, H. (2001): Zur Förderung der qualitätswirksamen Potenziale der Ingenieurvermessung bei der Qualitätssicherung von Kranbahnen, Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 3/2001, S. 91–100
- [8] Polnische Norm PN-89/M-45453, 1989, Brückenkräne, Forderungen und Prüfungen, (polnisch)
- [9] Internationale Standard ISO 8306, 1985, Brücken- und Torkräne, Toleranzen von Kränen und Kranbahnen (englisch)
- [10] <http://www.optor.pl/>, (polnisch)

### Anschriften der Verfasser:

o. Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. HENRYK BRYŚ,  
Instytut Geotechniki, Politechnika Krakowska,  
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Polska,  
e-mail: hbrys@usk.pk.edu.pl

Dr.-Ing. KAZIMIERZ ĆMIELEWSKI, Instytut Geodezji  
i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we  
Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław, Polska,  
e-mail: cmielewski@kgf.ar.wroc.pl

Dipl.-Ing. KRZYSZTOF KOWALSKI,  
Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej we Wrocławiu,  
ul. C. K. Norwida 34, 50-950 Wrocław, Polska

## Summary

**The article presents, discusses and analyses on the problem of gantry crane carriageable wheelset geometry and their potentially destructive action on the subgantry rail tracks. The paper presents novel equipment with optical and electronic aiming and readout systems which may be used for initial certification and subsequent periodical tests of wheelsets of the crane bearing frame.**