Fahrdrahtlagemessung mit Ultraschall

Rainer Puschmann, Erlangen; Dirk Wehrhahn, Hannover

Fahrdrahthöhen- und -seitenlage beeinflussen das Zusammenwirken von Oberleitung und Stromabnehmer. Fehler in der Höhenlage führen zu punktuellem Verschleiß des Fahrdrahts; Fehler in der Seitenlage zu Entdrahtungen des Stromabnehmers. Die Messung der Fahrdrahtlage ist deshalb sowohl bei der Errichtung als auch bei der Instandhaltung von Oberleitungen wichtig, um Lagen außerhalb des Toleranzbereiches erkennen und korrigieren zu können. Die Messung der Fahrdrahtlage mit Ultraschall und deren Auswertung mit einer angepassten Software sind hierfür vorteilhaft.

Ultrasonic measurement of contact wire position
Contact wire height and lateral position affect the interaction between contact line and pantograph. Contact wire height errors result in local wear of the contact wire; errors of lateral position can cause de-wiring of the pantograph. Therefore, measurement of the contact wire position is crucial during installation as well as when maintaining contact lines to detect positions beyond the range of tolerances and to correct them. Ultrasonic measurements of the contact line position and its evaluation with an adapted software have proven to be advantageous.

Mesure ultra sons de la position du fil de contact
Les positions latérale et en hauteur du fil de contact influencent l'interaction entre le fil de contact et le pantographe. Les erreurs concernant la hauteur du fil de contact conduisent à des usures locales du fil de contact ; les erreurs concernant la position latérale peuvent générer des sorties de pantographe. Ainsi, la mesure de la position du fil de contact est essentielle pendant son installation ainsi que pendant la maintenance des lignes aériennes de contact pour détecter des postions hors des limites de tolérance et de les corriger. Les mesures à ultra sons de la position du fil de contact et de leur évaluation avec un logiciel adapté ont démontré leur pertinence.

1 Einführung

Die Fahrdrahtlage beeinflusst das Zusammenwirken von Oberleitung und Stromabnehmer und somit die Qualität der Energieübertragung von der Oberleitung auf das Triebfahrzeug. Der Fahrdraht soll vertikal und horizontal innerhalb der vorgegebenen Grenzwerte und Toleranzen liegen, die von der Betriebsgeschwindigkeit abhängen. Der vertikale Verlauf, als Fahrdrahthöhenlage bezeichnet, beeinflusst die Kontaktkraft zwischen dem Fahrdraht und den Schleifleisten des Stromabnehmers. Abnormen Höhenänderungen können die Schleifleisten wegen ihrer Trägheit nicht folgen. Als Folge sind Lichtbögen sichtbar, die wegen der zu geringen Kontaktkraft zwischen Schleifleiste und Fahrdraht auftreten. Dann sind auch unsichtbare, hohe Kontaktkräfte vorhanden.

Lichtbögen haben negative Auswirkungen auf Radio-, Fernseh- und Mobilfunkempfang und erzeugen Abbrände an Fahrdraht und Schleifleisten. Hohe Kontaktkräfte führen zu punktuellem Verschleiß am Fahrdraht und auch an Schleifleisten [1; 2].

Die regelmäßige Prüfung der Fahrdrahtlage und deren daraus möglicherweise folgenden Korrektur sind geboten, um einen kleinen und gleichmäßigen Verschleiß des Fahrdrahts und somit eine lange Liegedauer zu erreichen. Die Messung der Fahrdrahtlage soll den Vorgaben aus Normen hinsichtlich der Messgenauigkeit folgen, einfach bedienbar, unkompliziert auswertbar sein und leicht verständliche Auswerteschriebe liefern. Die Messung mit Ultraschall mit dem Messgerät *OVHWizard* und deren Auswertung mit der FMA-Software erfüllen diese Anforderungen.

2 Anforderungen an die Fahrdrahtlage

Die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems Energie des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems (TSI ENE HGV) [3] stuft die Oberleitungsgeometrie als sicherheitsrelevant ein und fordert die technische Verträglichkeit von Oberleitungsgeometrie mit dem Stromabnehmer sowie auch der Oberleitungsgeometrie mit dem Lichtraumprofil. Die

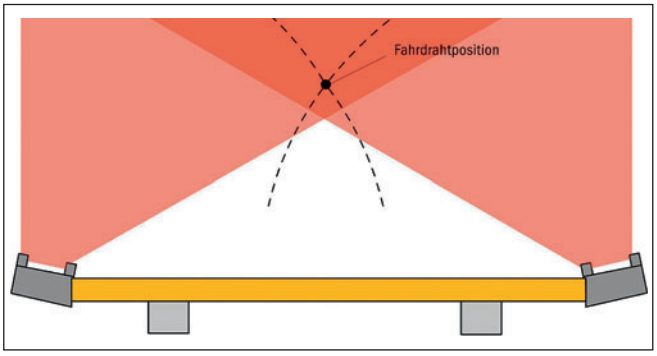

Bild 1: Messprinzip der Höhen- und Seitenlage mit Ultraschall.

technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems Energie des transeuropäischen konventionellen Eisenbahnsystems (TSI ENE CR) [4] verweist bei der Geometrie der Oberleitung und deren Nachweis auf die DIN EN 50119:2009 [5]. Diese fordert den messtechnischen Nachweis zur Einhaltung der vorgegebenen Bautoleranzen und der mechanischen und elektrischen Schutzabstände entsprechend den Anforderungen. Die DIN EN 50367:2006 [6] fordert vom Infrastrukturbetreiber die Einhaltung der Vorgaben für einen freien Netzzugang und definiert diese unter anderem als Fahrdrahthöhe, zulässige Fahrdrahtneigung und zulässige seitliche Fahrdrahtauslenkung bei Seitenwind.

Die UIC 791:1990: Qualitätssicherung von Oberleitungen [7] fordert zur Abnahme der Oberleitungsanlage die Prüfung der statischen Fahrdrahthöhen- und -seitenlage mit einer kontinuierlichen Messung.

Die Infrastrukturbetreiber legen im Rahmen ihrer Instandhaltungsvorgaben Fristen für die Messung der Fahrdrahtlage fest. So sieht beispielsweise die DB Richtlinie 997.0104 [8] die Messung der Fahrdrahtlage im zwölfmonatigen Abstand für die durchgehenden Hauptgleise vor. Die technische Mitteilung Nr. 03 [9] aus dem Jahr 2005 fordert die Zulassung von Fahrdrahtlagemesseinrichtungen für Abnahmeprüfungen und legt die Anforderungen an diese Einrichtungen fest. Das Besondere dieser Vorgabe besteht in der Messung der statischen Ruhe- und Anhublage des Fahrdrahts durch jeweils getrennte Messungen. Mit der Anhubmessung lassen sich die statischen und dynamischen Kennwerte der errichteten Oberleitung auswerten, so die Elastizität der Oberleitung, auch als Nachgiebigkeit bezeichnet, und die Ungleichförmigkeit der Elastizität. Die Forderung zur Messung der Anhublage des Fahrdrahts als zusätzliche Messung ist eine Besonderheit der Deutschen Bahn.

Die Durchführung und Auswertung von Messungen der Fahrdrahtlage unterliegt den Vorgaben der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 [10]. Diese enthält die Anforderungen an das Management und die technischen Anforderungen an Prüf- und Kalibrierlaboratorien mit der Auswahl der Prüfverfahren, Validierung, messtechnischen Rückführung und Messunsicherheitsbetrachtungen auf der Grundlage der Qualitätsmanagementanforderungen der DIN ISO 9001:2000.

Bild 2: Gleistrolley mit dem *OVHWizard*-Messgerät.

3 Toleranzen der Fahrdrahtlage

Die Toleranzen und Grenzwerte der Fahrdrahtlage [11; 12], die beim Bau und der Instandhaltung einzuhalten sind, sollen das Ziel eines gleichmäßigen, kleinen Verschleißes und damit einer langen Lebensdauer des Fahrdrahts unterstützen. Die Toleranzen sind von der Betriebsgeschwindigkeit abhängig. Beeinflussen die Toleranzen der Höhenlage das Zusammenwirken zwischen Oberleitung und Stromabnehmer, und somit den Verschleiß des Fahrdrahts und der Schleifleiste des Stromabnehmers, so bestimmen die Toleranzen der Fahrdrahtseitenlage die Seitenzugkraft am Ausleger, die Einhaltung der Fahrdrahtgrenzlage und den Auflauf der Fahrdrähte auf den Stromabnehmer über Weichen. Es sind bei der Fahrdrahthöhe die Toleranzen

- Bandbreite im Längsfeld vom ersten zum letzten Feldhänger,
- Bandbreite im Stützpunktbereich vom letzten zum ersten Feldhänger,
- Vordurchhang,
- Verlauf in der Überlappung,
- Neigung,
- Neigungswechsel,
- Höhenunterschied zwischen zwei Stützpunkten und
- Höhenunterschied zwischen zwei Hängern

des Fahrdrahts zu unterscheiden.

Als Toleranz der Fahrdrahtseitenlage ist die Seitenlage am Stützpunkt festgelegt, die die Einhaltung der Grenzseitenlage des Fahrdrahts im Längsfeld bei Windanströmung bestimmt. Die Toleranzen der Fahrdrahtlage lassen sich nur einhalten, wenn andere die Fahrdrahthöhe beeinflussende Toleranzen der Oberleitungsanlage ein geschlossenes Toleranzsystem bilden. So beeinflussen die Zugkraft des Y-Beiseils, die Geometrie des Auslegers, die Mastneigung, die Fundamentneigung und auch die Gleislage die Fahrdrahthöhen- und -seitenlage.

Die normativen Vorgaben der TSI ENE HGV und TSI ENE CR [3; 4], DIN EN 50119 [5] und DIN EN 50367 [6] fordern in allgemein gehaltener Form die Vorgabe von Toleranzen für die Errichtung und Instandhaltung. Im Zuge der Interoperabilität ist auch die Harmonisierung von Fahrdrahtlagetoleranzen künftig notwendig.

4 Anforderungen an das Messfahrzeug

Die *OVHWizard*-Einrichtung kann auf unterschiedlichen Mess- und Arbeitsfahrzeugen, wie Gleistrolley, Zwei-Wege-Fahrzeug, Oberleitungsinspektionsfahrzeug, Stopfmaschine bis hin zum Messzug eingesetzt werden. Bei

Fahrzeugen mit Wankkompensation lässt sich +/- 2 mm Messgenauigkeit erreichen.

Direkte Einflussgrößen sind das Spurspiel, die Federung und das seitliche Wanken des Fahrzeuges, wobei letzteres den größten Einfluss auf den Messfehler hat, da sich der Wankpol des Fahrzeuges und die Position des Fahrdrahtes in 5 bis 6 m Abstand befinden und aus einem kleinen Wankwinkel des Fahrzeuges ein großer Fehler in der Messung der Seitenlage resultiert.

Führt eine Blockierung der Fahrzeugfederung nicht zur erforderlichen Reduzierung der Fahrzeugbewegungen, können unterhalb des Fahrzeuges angeordnete Ultraschall- oder Lasersensoren die Fahrzeugbewegungen erfassen und die Messeinrichtung kann die aktuellen Messwerte mit den Kompensationsdaten korrigieren.

Zur genauen Zuordnung der Messwerte zum Messort verfügt das Fahrzeug über eine Wegmessung. Diese lässt sich entweder über einen bereits im Fahrzeug integrierten Encoder oder über eine Lichtschranke mit Reflektoren am Rad vornehmen. Die Messeinrichtung ermittelt die Wegstrecke mit Hilfe des Laufkreisraddurchmessers und der Anzahl der Impulse pro Umdrehung.

Die Messeinrichtung, werksseitig bereits kalibriert, ist nach der Montage auf die Fahrdrahthöhen- und Fahrdrahtseitenlage bezogen auf die Gleismitte an einem bekannten Referenzpunkt, zum Beispiel einem Fahrdrahtstützpunkt abzugleichen. Im Fahrzeug-Setup-Menü lässt sich dieser Abgleich vornehmen.

5 Messprinzip der Lagemessung

OVHWizard ist eine mobile, berührungslos arbeitende Fahrdrahtlagemesseinrichtung. Das Gerät arbeitet mit Ultraschall nach dem Prinzip der Laufzeitmessung. Dieses Messprinzip bietet im Vergleich zu optischen Systemen den Vorteil, dass es bei direkter Sonneneinstrahlung, leichtem Regen oder Nebel arbeiten kann. Die an den Enden des Messgerätes positionierten Ultraschallsensoren senden Ultraschallimpulse aus, die der Fahrdraht reflektiert und die vom Sensor wieder empfangen werden. Die Laufzeit, die einem Abstandssignal entspricht, liefert im Schnittpunkt der beiden Entfernungswerte die Position des Fahrdrahtes mit Höhen- und Seitenlage (Bild 1).

Die berührungslose Messung lässt sich an einer spannungsführenden Oberleitung vornehmen. Verfügt das Messfahrzeug über einen Messstromabnehmer mit einstellbarer Kraft, zum Beispiel 100 N, ist eine zweite Messung der Fahrdrahtanhublage möglich. Beide Messungen liefern übereinandergelegt die Elastizität und die Ungleichförmigkeit.

Das nur 4 kg schwere *OVHWizard*-Gerät ist einfach zu transportieren und innerhalb kurzer Zeit einsatzbereit. Eine RS232-Verbindungsleitung zum Notebook stellt die Online-Kommunikation mit der Messsoftware her. Integrierte Akkus oder ein externes Netzteil versorgen das *OVHWizard* mit Spannung. Ein Impulsgeber, bestehend aus Lichtschranke und selbstklebendem Reflektor zur Anbringung am Rad, liefert die Wegsignale an die Messeinrichtung. Optional besteht die Möglichkeit, eine am Fahrzeug vorhandene Wegmessung zu nutzen. Die *OVHWizard*-Software verarbeitet die Messdaten, speichert diese und ermöglicht eine grafische oder tabellarische Darstellung. Der Benutzer kann mit der FMA-Software die Messfahrten unmittelbar nach der Messung vor Ort auswerten.

6 Messgenauigkeit

Im Vergleich zur Messung mit Laser beträgt die Abweichung der Fahrdrahtruhelage bei der berührungslosen Höhenmessung mit dem *OVHWizard* und Wankkompensation beträgt +/- 2 mm. Das entspricht der einfachen Standardabweichung. Die Messdaten werden äquidistant in vorwählbaren von der Fahrgeschwindigkeit abhängigen Abständen erfasst. Für Messungen der Fahrdrahtlage sollte der Messabstand 50 mm nicht überschreiten. Damit lassen sich die Hängerpositionen innerhalb der vorgegebenen Lagetoleranz prüfen.

Bild 3: Zwei-Wege-Fahrzeug mit dem *OVHWizard*.

7 Trägerfahrzeuge

7.1 Trolley

Der Gleistrolley als Trägerfahrzeug für *OVHWizard* lässt sich schnell in einem PKW-Anhänger zur Messstrecke transportieren. Sein steifer Aufbau ohne jegliche Federung erübrigt eine Kompensation der Wankbewegung (Bild 2). Der Gleistrolley bietet den Vorteil der Entkopplung der Messung von der Oberleitungsmontage oder Instandhaltung und somit sind keine Inspektionsfahrzeuge notwendig.

7.2 Zwei-Wege-Fahrzeug

Zwei-Wege-Fahrzeuge bieten die Kombination aus mobilem Messfahrzeug und Montagefahrzeug und können schnell zum Einsatzort gelangen. Zusammen mit der *OVHWizard*-Messeinrichtung lässt es sich auf der Baustelle als Montagefahrzeug oder als Messfahrzeug einsetzen. Ein Zwei-Wege-Fahrzeug benötigt wegen seiner Wankbewegungen eine Kompensationseinrichtung, wenn die Federung nicht blockiert werden kann (Bild 3).

7.3 Schienenfahrzeug

Das Gerät *OVHWizard* wird auf Schienenfahrzeugen häufig in der Nähe des Stromabnehmers montiert. Damit sind die berührungslose Messung und bei Nutzung des Stromabnehmers die Messung der Fahrdrahtanhublage möglich. Das Fahrzeug ist zwar während der Messung nicht für andere Arbeiten nutzbar, bietet aber die Möglichkeit der unmittelbaren Auswertung und Durchführung von Korrekturarbeiten.

Bauarten

Parameter	Re100	Re100_TS...	Re200	Re200_TS...	SICAT S	Re250	Re330	SIFCAT350
Name	Re100	Re100_TSI...	Re200	Re200_TSI	SICAT S	Re250	Re330	SIFCAT350
Maximaler Hänger-Abstand mm	11670	11670	11500	11500	11500	11500	11500	11500
Seitenhalter Toleranz mm	600	600	600	600	600	600	600	600
Fahrdraht-Seitenlage am Mast mm	400	300	400	400	400	300	300	300
Toleranz FD-Seitenlage am Mast mm	30	30	30	30	30	30	30	30
FD-Seitenlage Mast Innen	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Fahrdraht-Höhe mm	5500	5500	5500	5500	5500	5300	5300	5300
Fahrdraht-Höhe Minimum mm	5000	5000	5000	5000	5000	5270	5270	5270
Fahrdraht-Höhe Maximum mm	6500	6500	6500	6500	6500	5330	5330	5330
Fahrdraht-Höhe Toleranz mm	100	100	100	30	100	30	30	0
FD-Höhe Toleranz Absenkung mm	10	10	10	10	10	10	10	10
Fahrdraht-Höhe Hänger Toleranz mm	20	20	20	20	20	10	10	10
Fahrdraht-Höhe Hänger Sprung Toleranz mm	0	0	0	0	0	0	0	0
FD-Höhe V-Verlauf Toleranz mm	20	20	20	20	20	10	10	10
Anhebung Überlappung mm	80	80	80	80	80	30	30	10
Fahrdraht-Hochzug Überlappung mm	500	500	600	600	600	150	150	150
Maximum Fahrdraht-Neigung	167	167	500	500	500	1000	0	0
Maximum FD Neigungwechsel	333	333	1000	1000	1000	2000	0	0
Absoluter FD-Neigungwechsel mm	200	200	200	200	200	20	20	20
Mast Station Toleranz mm	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Hänger Ort Toleranz mm	10	10	10	10	10	10	10	10
Minimale Längsspannweite mm	36000	36000	36000	36000	36000	40000	40000	40000
Maximale Längsspannweite mm	80000	80000	80000	80000	80000	65000	70000	70000
Längsspannweite klein mm	45000	45000	45000	45000	45000	55000	55000	45000
LSW Differenz klein mm	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
LSW Differenz groß mm	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
Zugkraft Fahrdraht N	10000	10000	10000	10000	10000	15000	27000	26500
Zugkraft Tragseil N	10000	10000	10000	10000	10000	15000	21000	23000

Kopieren | Hinzufügen | Entfernen | OK | Abbrechen

Bild 4: Daten der Oberleitungsbauarten.

Grunddaten Oberleitung

Bezeichnung	Typ	Position	LSW	LSW Sprung	Höhe	Fahrdraht-Seitenlage am Mast	b-Maß unbef.	Windabtrieb	Seitenzug	Bogen	Überhöhung	Fehler
322-12		322.357	60,000		5,300	-0,200		-0,344	0,000	0.000	0	
322-14		322.417	49,970	10,020	5,300	0,000		0,277	-0,010	0.000	0	104 107
322-16		322.467	59,930	9,960	5,300	0,200		0,275	0,160	0.000	0	
322-18		322.527	59,980	0,050	5,300	-0,200		0,350	-0,225	0.000	0	
322-20		322.587	59,840	0,140	5,300	0,300		0,532	0,125	0.000	0	108 109 106
322-22		322.646	60,110	0,270	5,300	0,300		0,350	0,124	0.000	0	106
322-24		322.707	60,000	0,110	5,300	-0,200		0,276	-0,224	0.000	0	
322-26	F	322.767	59,940	0,060	5,300	0,200		0,275	0,200	0.000	0	
322-28		322.827	60,010	0,070	5,300	-0,200		0,276	-0,200	0.000	0	
322-30		322.887	59,970	0,040	5,300	0,200		0,276	0,200	0.000	0	
322-32		322.947	64,960	4,990	5,300	-0,200		0,310	-0,192	0.000	0	
322-34		323.011	59,980	4,980	5,300	0,200	0,400	0,276	0,192	0.000	0	
323-02	P	323.071	49,960	10,020	5,300	-0,200	0,000	0,223	-0,220	0.000	0	104
323-04	P	323.121	60,020	10,060	5,300	0,200	0,000	0,276	0,220	0.000	0	104
323-06		323.181	64,720	4,700	5,300	-0,200	-0,400	0,308	-0,192	0.000	0	
323-08		323.246	65,230	0,510	5,300	0,200		0,312	0,184	0.000	0	
323-10		323.311	64,980	0,250	5,300	-0,200		0,310	-0,184	0.000	0	
323-12	F	323.376	64,960	0,020	5,300	0,200		0,325	0,168	29.997	0	
323-14		323.441	64,960	0,000	5,300	-0,200		0,325	-0,217	29.997	0	
323-16		323.506	61,960	3,000	5,300	0,200		0,289	0,172	0.000	0	
323-18		323.568	64,980	3,020	5,300	-0,200		-0,320	-0,178	-45.422	0	
323-20		323.633	59,960	5,020	5,300	0,200	0,400	-0,288	0,218	-30.002	0	
323-22	P	323.693	50,000	9,960	5,300	-0,200	0,000	-0,230	-0,192	-30.002	0	
323-24	P	323.743	59,980	9,980	5,300	0,200	0,000	0,276	0,232	0.000	0	
323-26		323.803	64,990	5,010	5,300	-0,200	-0,400	0,310	-0,192	0.000	0	
323-28		323.868	59,980	5,010	5,300	0,200		0,276	0,192	0.000	0	
323-30		323.928	49,970	10,010	5,300	-0,200		0,223	-0,220	0.000	0	104

Hinzufügen | Entfernen | Speichern

Bild 5: Grunddaten einer Oberleitung.

8 Auswertung der Messung

8.1 Software

Die FMA-Software nutzt die Programmiersprache C++, ist modular aufgebaut und lässt sich durch diese Struktur an künftige Forderungen anpassen. Das Hauptmenü der Wizard-Software ermöglicht die Sprachwahl. Gegenwärtig sind die Sprachen Deutsch, Englisch, Französisch, Italienisch, Russisch, Chinesisch, Türkisch und Spanisch hinterlegt.

8.2 Wahl einer Oberleitungsbauart

Für die zu prüfende Oberleitung ist eine bereits in FMA vorhandene Oberleitungsbauart zu wählen oder eine neue anzulegen. Die Spezifikationen wie Zugkraft im Fahrdraht und Tragseil, deren Durchmesser, Hängerabstände, Fahrdrahthöhe, maximale Fahrdrahtseitenlage am Stützpunkt, minimale und maximale

Seitenzugkraft am Fahrdrahtstützpunkt und sämtliche Toleranzen bestimmen die bei der Messung und Auswertung erforderlichen Daten (Bild 4).

8.3 Grunddaten und deren Prüfung

Die Grunddaten bestehen aus den Gleislage- und den Oberleitungsgrunddaten. Die Gleislagegrunddaten enthalten den Kilometerstandort vom Beginn und Ende eines Gleiselements Gerade, Bogen oder Übergangsbogen, den Radius und die Überhöhung im Radius. Die Grunddaten für das Gleis lassen sich mit Hilfe des Krümmungsdiagramms prüfen. Die Grunddaten einer Oberleitungsbauart bestehen aus dem Maststandort mit Kilometerangabe, Mastnummer, Fahrdrahtseitenlage am Stützpunkt des befahrenen und angehobenen Fahrdrahts und der Längsspannweite (Bild 5).

Es ist möglich, nach Abschluss der Oberleitungsplanung und vor dem Baubeginn eine Prüfung der Oberleitungsplanung vorzunehmen. In den Oberleitungsgrunddaten sind Fehler, wie Überschreitung der Fahrdrahtgrenzlage bei Windanströmung des Fahrdrahts, durch farbige Fehlercodes an den Mastnummern zu erkennen (Bild 6) und lassen sich vor Baubeginn in den Planungsunterlagen korrigieren.

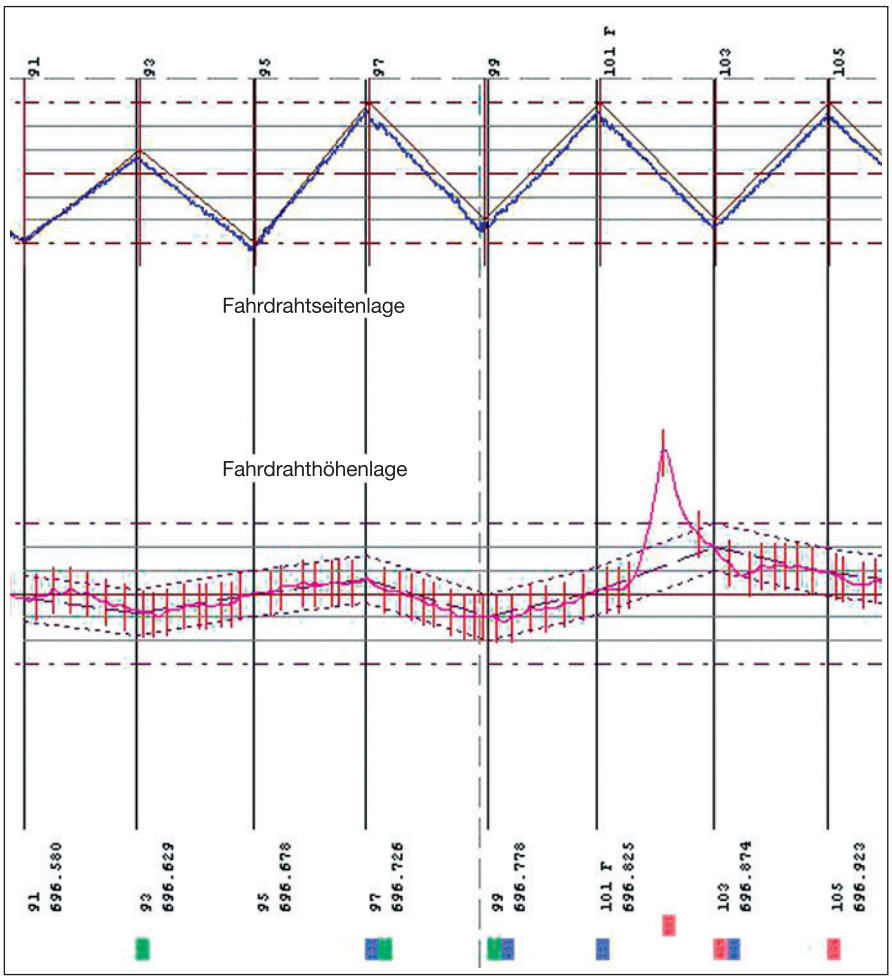

Bild 6: Grunddaten und Messdaten.

8.4 Ablauf der Auswertung

Nach Wahl der Oberleitungsbauart, Prüfung der Grunddaten und Messung der Fahrdrahtlage folgt die Auswertung. Dazu ist die mit dem *OVHWizard* erzeugte Messdatei zu laden und mit den Projektdaten wie Streckenbezeichnung, Gleis, Messabschnitt, Oberleitungsbauart, Nennfahrdrahthöhe, Windgeschwindigkeit und Angaben zum Ausgabeformat zu ergänzen. Anschließend sind die Grunddaten für das Gleis und die Oberleitung zu laden. Mit Hilfe der grafischen Vorschau sind nun die geprüften Grunddaten und die Messdaten zusammen sichtbar (Bild 6). Durch Längsverschiebung der Grunddaten lassen sich diese nun mit den Messdaten synchronisieren und anschließend ins Projekt laden. Nun haben die bei der Messung erzeugten ermittelten Mastorte eine Mastnummer und eine Kilometerstation. Die Lagefehler sind jetzt mittels Fehlercode sichtbar und dem Mast oder der Längsspannweite zugeordnet.

Tabelle 1: Toleranzen für Oberleitungen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit [8; 9; 11; 12; 13].

	Geschwindigkeit	
Bezeichnung der Toleranz	≤ 200 km/h	≤ 300 km/h
Fahrdrahthöhe in der Längsspannweite vom ersten bis letzten Feldhänger	± 100 mm	± 30 mm
Fahrdrahthöhe im Stützpunktbereich vom letzten bis ersten Feldhänger	± 20 mm	± 10 mm
Höhenunterschied zwischen zwei Stützpunkten	Längsspannweite/1000	20 mm
Höhenunterschied zwischen zwei Hängern	20 mm	10 mm
Fahrdrahthöhe im Überlappungsfeld	-	± 10 mm
Neigung	DIN EN 50119	DIN EN 50119
Neigungswechsel	DIN EN 50119	DIN EN 50119
Seitenlage am Stützpunkt	± 30 mm	± 30 mm

8.5 Fehlertabelle

Nach einem Deckblatt, das die allgemeinen Daten der Messung enthält, folgen die Fehlerübersicht des ausgewerteten Abschnitts nach Fehlercodes geordnet, die vorgegebenen Toleranzen und die auf Mastnummern

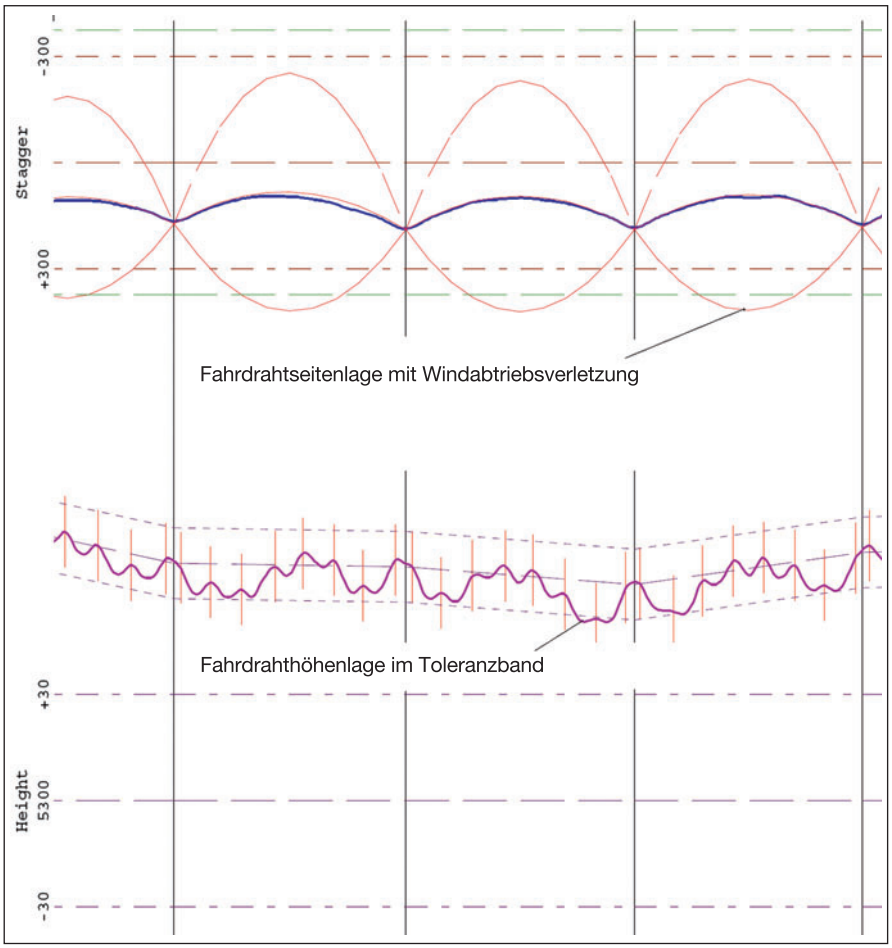

Bild 7: Überschreitung der Fahrdrahtgrenzlage.

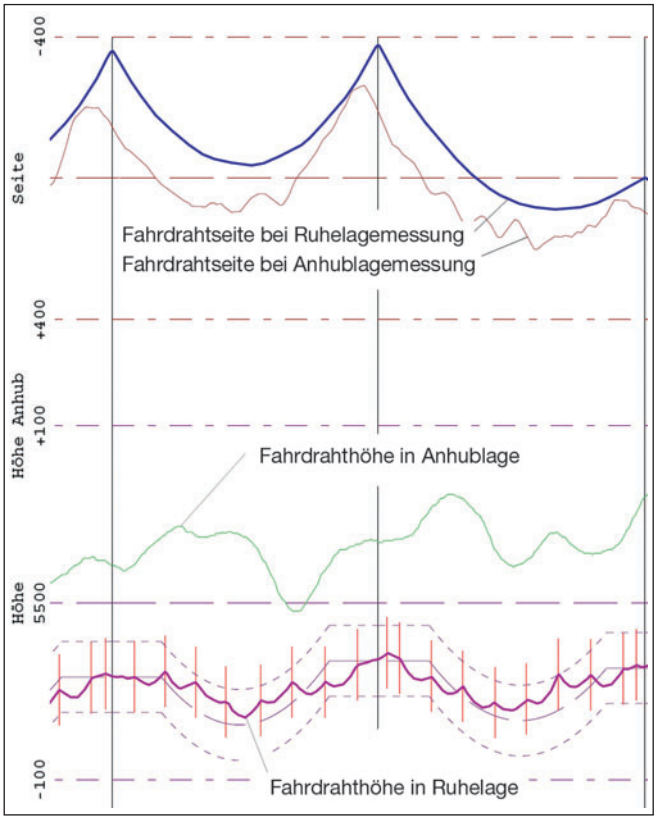

Bild 8: Vergleich der Fahrdrahtruhelage mit der Anhublage.

und Längsspannweite referenzierte Fehlertabelle. Mit Hilfe dieser Tabelle und der Fehlergrafik lassen sich die Fehler beseitigen.

8.6 Fehlergrafik und Fehlerbeispiele

Der grafische Verlauf der Fahrdrahtseitenlage und -höhe ist in der Fehlergrafik zu erkennen (Bild 7). Die Maststandorte sind durch blaue Striche gekennzeichnet, die der Hänger durch rote. Die blaue Linie stellt die Fahrdrahtseitenlage dar, die pinkfarbene Linie den Fahrdrahthöhenverlauf. Die Fehlergrafik enthält die Mastnummern und deren Kilometerstation mit den Fehlercodes. Typische Fehler sind zu kurze oder lange Hänger oder Überschreitung der Fahrdrahtgrenzlage (Bild 6).

8.7 Optische Kontrolle der Oberleitung

Die während der Messung aufgezeichneten Bildsequenzen unterstützen die Prüfung des Fehlerorts. So sind die Auflaufbedingungen der Fahrdrähte im Weichenbereich, der Fahrdrahtverlauf in Überlappungen und unter Bauwerken sowie Schäden am Fahrdraht prüfbar.

8.8 Messung der Elastizität

Die Deutsche Bahn fordert die Auswertung der Elastizität, auch als Nachgiebigkeit des Fahrdrahts bezeichnet. Dazu sind zwei getrennte Messungen notwendig. Bei der ersten Messung ist berührungslos die Fahrdrahtlage, bei der zweiten Messung mit 100 N statischer Anpresskraft des Stromabnehmers die Anhublage des Fahrdrahts zu messen. Der Anhub des Fahrdrahts dividiert durch die Anpresskraft ergibt die Elastizität. Die maximale Elastizität ist in der Mitte der Längsspannweite zu erwarten, am ersten oder letzten Feldhänger die minimale Elastizität. Mit der Berechnung der Ungleichförmigkeit lässt sich auf die Güte der Oberleitungsbauart schließen. Beide Messungen sind mit dem *OVHWizard* möglich (Bild 8) und erlauben die Berechnung des Elastizitätsverlaufs mit FMA.

8.9 Vorher-Nachher-Vergleich

Meist zeigt die erste Fahrdrahtlagemessung unmittelbar nach der Montage noch Lagefehler. Es folgen die Fehlerkorrektur in der Oberleitung und eine erneute Messung.

Die zweite Messung auf die erste Messung gelegt, erlaubt innerhalb kurzer Zeit die Prüfung der Fehlerbeseitigung. Die Interaktion Gleis, Fahrzeug, Oberleitung darf nicht zum „Entdrahten" des Stromabnehmers führen. So lassen sich auch Gleislagefehler lokalisieren. Bild 9 zeigt eine Vorher-Messung anlässlich der Abnahme und ein Jahr später eine Nachher-Messung. Bei der zweiten Messung zeigte sich eine Änderung der Seitenverschiebung des Fahrdrahts im Bogen, die auf eine erhebliche Verringerung der Überhöhung zurückgeführt werden konnte.

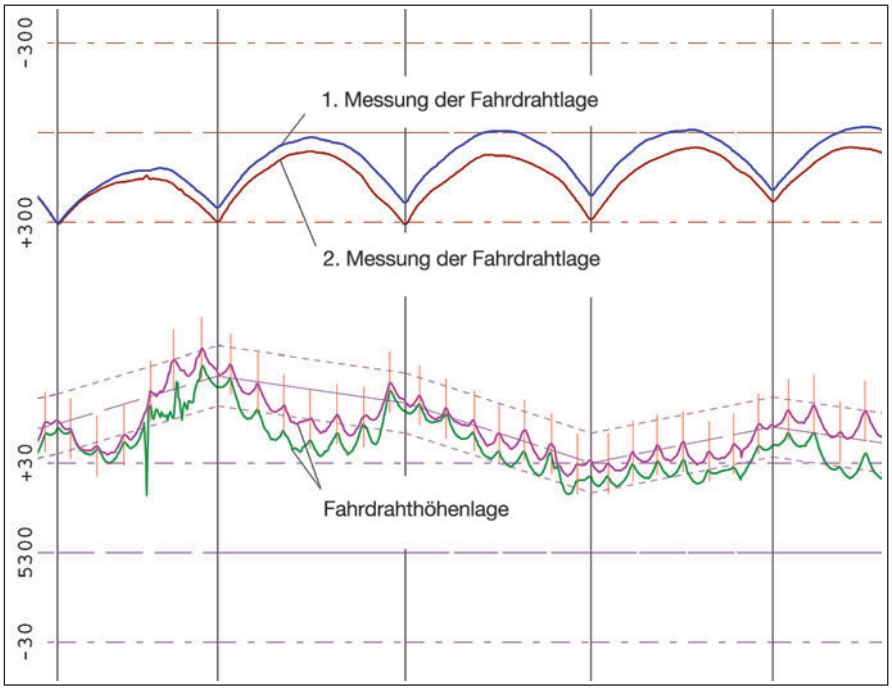

Bild 9: Veränderung der Fahrdrahtseitenlage durch abgefahrene Gleisüberhöhung.

8.10 Fahrdrahtlage und Kontaktkraftverlauf

Zu den mit dem *OVHWizard* gemessenen Fahrdrahtlagen lassen sich die mit anderen Messungen, zum Beispiel der Lasermesseinrichtung der DB [15], gewonnene Kontaktkraftmessungen hinzufügen und damit die Auswirkung der Fahrdrahthöhe auf die Kontaktkraft nachvollziehen (Bild 10). Die Auswertung von Kontaktkraftextremen ohne Bezug zur Fahrdrahtlage erschwert Rückschlüsse auf die Ursachen. Liegen aber die Fahrdrahtlagemessung und Kontaktkraftmessung übereinander, sind die Ursachen für Kontaktkraftextreme leichter zu finden.

Die Verknüpfung von Fahrdrahtlagemessung und Kontaktkraftmessung bei der Errichtung und Instandhaltung von Oberleitungsanlagen liefert wichtige Erkenntnisse zum qualitativen Zustand der Oberleitungsanlage.

Bei der Auswertung mit FMA ist die Vorgabe einer seitlichen Mindestverschiebung des Fahrdrahts auf der Schleifleiste je Meter Strecke möglich. Damit lassen sich Oberleitungsabschnitte finden, die durch kaum wechselnde Seitenlage Schäden an den Schleifleisten verursachen können [14].

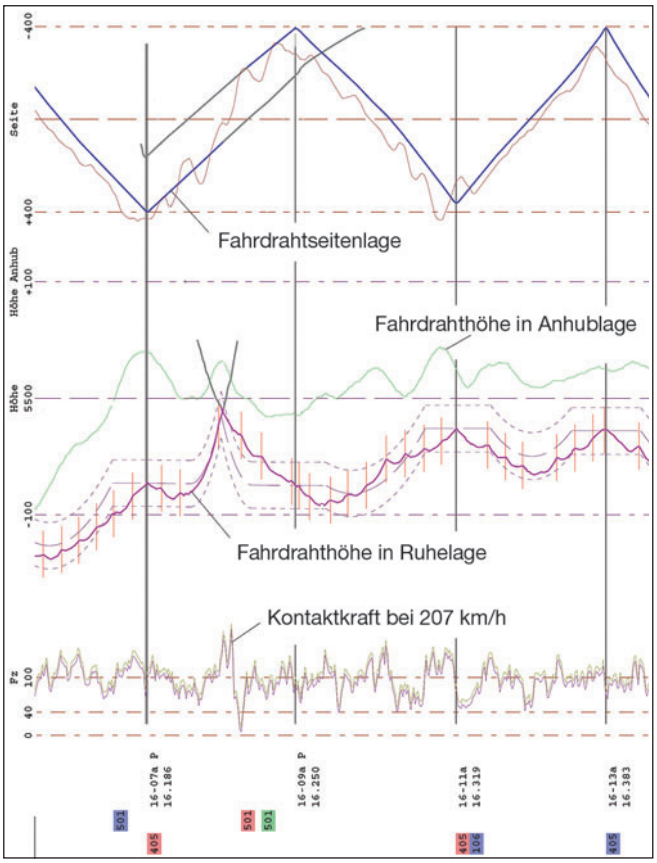

Bild 10: Vergleich der Fahrdrahtruhelage mit der Kontaktkraft.

9 Erfahrungen

Wenn die Fahrdrahtlage zum Zeitpunkt der Abnahme die Vorgaben erfüllt, in regelmäßigen Abständen während der Instandhaltung geprüft und gegebenenfalls korrigiert wird, bestätigt die Kontaktkraftmessung durchgehend die Einhaltung der Kontaktkraftgrenzen. Bei der Abnahme der Oberleitung ist eine Kontaktkraftmessung notwendig. Im Zuge der Instandhaltung kann jedoch eine genaue und reproduzierbare Fahrdrahtlagemessung die aufwändigen und teuren Kontaktkraftmessungen ersetzen.

Die beschriebene Kombination von berührungsloser Messung der Fahrdrahtlage mit dem Ultraschallgerät *OVHWizard* und deren Auswertung mit der FMA-Software ist zuverlässig und kostengünstig. Diese Messmethode und deren Auswertung werden bereits seit zehn Jahren in Deutschland, Österreich, China, Türkei, Schweiz, Spanien, Luxemburg und Saudi Arabien zur vollen Zufriedenheit der Kunden angewendet. Die Forderung zur Durchführung von Anhublagemessungen anlässlich jeder Oberleitungsabnahme ist nicht mehr

zeitgemäß. Den Elastizitätsverlauf als wichtige Kenngröße des Zusammenwirkens von Oberleitung und Stromabnehmer für neue Bauarten können Simulationsprogramme effizienter ermitteln.

10 Zulassung

Zur Messung und Auswertung der Fahrdrahtlage sind die benutzten Verfahren bei den Infrastrukturbetreibern zuzulassen. Seit 2010 verfügt das System *OVHWizard* als Messgerät und die FMA-Software nach Zulassungen bei anderen Bahnen auch über eine DB-Zulassung zum Einsatz auf Zwei-Wege-Fahrzeugen.

Literatur

[1] *Biesenack, H.; Menius, F.; Schmieder, A; Streit, S.*: Berechnung der Stromkommutierung zwischen Stromabnehmerschleifleisten. In: Elektrische Bahnen 106 (2008), H. 4, S. 181–187.

[2] *Biesenack, H.; Pintscher, F.*: Kontakt zwischen Fahrdraht und Schleifleiste – Ausgangspunkte zur Bestimmung des elektrischen Verschleißes. In: Elektrische Bahnen 103 (2005), H. 3, S. 138–146.

[3] Entscheidung 2008/284/EG: Technische Spezifikationen für Interoperabilität (TSI) des Teilsystems Energie des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems gemäß Artikel 6 Absatz 1 der Richtlinie 96/48/EG. Amtsblatt der Europäische Gemeinschaften 2008, DE S. L104/1-L104/79.

[4] Entwurf der Entscheidung 2008/57/EG: Technische Spezifikationen über die Interoperabilität (TSI) des Teilsystem Energie des konventionellen Eisenbahnsystems gemäß Artikel 5 Absatz 3 der Richtlinie 2008/57/EG. Bisher im Amtsblatt der EU unveröffentlicht.

[5] DIN EN 50119:2010: Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Oberleitungen für den elektrischen Zugbetrieb. CENELEC 2010.

[6] DIN EN 50367:2006: Bahnanwendungen – Zusammenwirken der Systeme – Technische Kriterien für das Zusammenwirken zwischen Stromabnehmer und Oberleitung für einen freien Zugang. CENELEC 2006.

[7] UIC 791:1990: Qualitätssicherung von Oberleitungen. Internationaler Eisenbahnverband, 1990.

[8] Richtlinie 997.0104: Oberleitungsanlagen; Oberleitungsanlagen Instand halten. Deutsche Bahn Netz, 2003.

[9] Technische Mitteilung 03/2005: Lastenheft für auf Fahrzeugen installierte kontinuierliche Fahrdrahthöhen-Messsysteme. Deutsche Bahn Netz, 2005.

[10] DIN EN ISO/IEC 17025:2005: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien. DKE, 2005.

[11] Ebs 02.05.29-1: Toleranzen für Oberleitungen. BZA München, November 2007.

[12] Ebs 02.05.29-3: Toleranzen für Oberleitungen. BZA München, November 1988.

[13] Technische Mitteilung 05/2005: Toleranzen von Oberleitungen der Bauarten Re 200mod und Re 330. Deutsche Bahn Netz, 2005.

[14] *Kießling, F.; Puschmann, R.; Schmieder, A.; Schmidt, P.*: Fahrleitungen elektrischer Bahnen. Stuttgart: B. G. Teubner, 2. Auflage, 1998.

[15] *Wehrhahn, D.*: Neues Fahrdrahtmesssystem von Wehrhahn. In: EI – Eisenbahningenieur, (2010), H. 9, S. 44.

Dipl.-Ing. *Rainer Puschmann* (60), Studium Elektrische Bahnen an der Hochschule für Verkehrswesen Dresden und Studium Eisenbahnbau an der Fachschule für Verkehrstechnik Dresden. Verschiedene Tätigkeiten bei den Deutschen Bahnen und der Siemens AG, tätig als Segmentleiter im Geschäftsgebiet Integrated Services der Siemens AG in Erlangen und als EBA- und EBC-Gutachter.

Adresse: Siemens AG, Industry Mobility, Sieboldstr. 16, 91052 Erlangen, Deutschland;
Fon:+49 9131 722626, Fax:+49 9131 82822626;
E-Mail: rainer.puschmann@siemens.com

Dr.-Ing. *Dirk Wehrhahn* (54), Studium für Maschinenbau an der Leibniz Universität Hannover. Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Promotion an der Leibniz Universität Hannover, danach Tätigkeit bei einer Firma für Ultraschallprüftechnik. Seit 1994 selbständig mit einer Firma für Laser- und Ultraschallmesssysteme.

Adresse: Dr. D. Wehrhahn Messsysteme, Hildesheimer Str. 140, 30173 Hannover, Deutschland;
Fon: +49 511 512665, Fax: +49 511 522152;
E-Mail: dwehrhahn@drwehrhahn.de