

Manfred Irsigler

# Mechanisierter Oberleitungsbau

Die gestiegenen Forderungen an die Qualität, Zuverlässigkeit, Betriebssicherheit und Verfügbarkeit von Oberleitungen, insbesondere für Hochgeschwindigkeits- und Hochleistungstrecken veränderten die Planungsparameter und in der Folge die Technologien für die Montage und die Instandhaltungsstrategien. Im Hinblick auf die Verminderung der Kosten und die Verkürzung der Bauzeiten wurden optimierte Arbeitsverfahren für die Montage mit innovativen Arbeitsmaschinen entwickelt. Heute stehen Oberleitungsneubaumaschinen und multifunktional einsetzbare Motorturmwagen mit einer komplexen Arbeitstechnologie für den Neubau und die Instandhaltung zur Verfügung.

Mit dem verschärften Wettbewerb zwischen den Verkehrsträgern haben sich auch die Rahmenbedingungen und Märkte für die Bahnen stark verändert. Die Eisenbahnen erhöhen im Personenverkehr die Betriebsgeschwindigkeit bis auf 350 km/h, um die Marktanteile im Wettbewerb zwischen Flugzeug, Auto und Bahn abzusichern bzw. anzuheben.

Um die Kosten zu senken, sind alle Rationalisierungspotenziale zu nutzen. Erhebliche Leistungssteigerungen werden mit Oberleitungsneubaumaschinen (FUM) und Motorturmwagen (MTW) mit einer innovativen Arbeitstechnologie beim Neubau, bei der Ertüchtigung bestehender Anlagen für höhere Leistungen und beim Fahrdrachtwechsel erreicht.

Bei „herkömmlichen“ Montagemethoden wird mit einfachen Geräten, personalintensiv, mit großem Zeitaufwand und langen Sperrzeiten gearbeitet. Die Fahrdrähte werden mit geringen, nicht konstanten Zugkräften verlegt. Sie sind zwischen Fahrdracht-Speichertrommel und Montagepunkt nicht kontrolliert geführt. Nach

dieser ersten Montagesequenz ist eine Zeitspanne einzuplanen, in der sich eine bleibende Längenänderung der Oberleitungskette unter Zugkraft einstellt bevor mit der endgültigen Fertigstellung begonnen werden kann.

Mit neuen mechanisierten Arbeitsverfahren und modernen Oberleitungsarbeitsmaschinen lassen sich optimale Produktionsleistungen erzielen und die geforderten Güte- und Arbeitssicherheitskriterien zuverlässig einhalten.

Da die Oberleitungen nicht redundant ausgeführt werden können, ist deren Verfügbarkeit besonders wichtig. Das Zusammenwirken von Oberleitung und Stromabnehmern darf die Umwelt nicht durch Lichtbögen stören und der Verschleiß am Fahrdracht muss gering bleiben, um eine lange Lebensdauer zu erreichen.

Für Oberleitungen auf Hauptstrecken gelten daher enge Toleranzen für die Fahrdrachtlage und es ist eine besondere Performance bei der Montage des Fahrdrachtes notwendig. Diese Vorgaben werden mit modernen Oberleitungsneubaumaschinen zuverlässig erreicht.

## 1 Anforderungen an moderne Oberleitungen

Wesentliche Faktoren sind die Gewährleistung der elektrotechnischen Personen- und Anlagensicherheit, niedrige Lebenszykluskosten (LCC), eine richtlinienkonforme Qualität, eine Standardisierung und Interoperabilität. Im Ergebnis wird eine hohe Güte der Stromabnahme dann erreicht, wenn die in den Regelwerken vorgegebenen statischen und dynamischen Kriterien eingehalten werden.

Die Normen, Richtlinien und Standards zur Konzeption von Oberleitungen, die Arbeitsver-

fahren, die Montageperformance, die Arbeitssicherheit und die Instandhaltungsstrategien werden einem ständigen Verbesserungsprozess unterzogen.

Diese Vorgaben für die Ausführung der Oberleitungen bilden auch die Basis der technischen Spezifikation für das Teilsystem Energie [2 und 5] des interoperablen europäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems. Darin finden sich insbesondere die Anforderungen an die geometrischen und dynamischen Eigenschaften, die in den einschlägigen Normen EN 50367 [3] und EN 50119 [4] im Detail spezifiziert sind. Das technisch Mögliche muss aber auch wirtschaftlich vertretbar sein.

Das dynamische Zusammenwirken mit den Stromabnehmern erfordert auch enge Lagetoleranzen des Fahrdrahtes damit keine Kraftspitzen entstehen. Für die Erhöhung der Betriebsgeschwindigkeit sind höhere Fahrdraht- und Tragseilzugkräfte nötig, die gegenüber den herkömmlichen Fahrdrahtwerkstoffen Materialien mit höheren Festigkeiten erfordern. Die mechanisierten Montageverfahren sind nunmehr insbesondere auf höhere Verlegezugkräfte, Vorkehrungen gegen Beschädigungen während der Montage und das Einhalten der engen Toleranzen abzustimmen.

## 2 Materialien für Fahrdrähte

Generell verwenden viele europäische Bahnunternehmen Fahrdrähte aus Kupfer-Silberlegierung (RiS – CuAg 0,1) wegen des sehr guten elektrischen Leitwertes, der hohen Temperaturfestigkeit und der guten Gleiteigenschaften. Ab 300 km/h werden wegen der benötigten hohen Zugkräfte hochfeste Fahrdrähte für Oberleitungen verwendet. Es wurden deshalb neue Fahrdrahtarten aus Bronzen mit 0,2 bis 0,5 % Magnesium oder 0,2 bis 1,0 % Zinn (und auch Kupfer-Selenlegierungen) entwickelt. Ihre Eigenschaften sind bereits in EN 50149 [6] genormt.

Bei der Oberleitungsmontage nach herkömmlichen Verfahren bilden sich insbesondere bei der Anwendung hochfester Fahrdrahtwerk-

stoffe „Feinwelligkeiten“, die einen Betrieb mit Hochgeschwindigkeit erheblich beeinträchtigen.

Die Fahrdrahtfertigung und die mechanisierte Montagetechnologie mussten dazu in Versuchsreihen optimiert werden

## 3 Vorgaben für die mechanisierte Montagetechnologie

Das Kernstück für die mechanisierte Oberleitungsmontage ist die Oberleitungsneubaumaschine (Abb. 1).

- Die Positionierung der Fahrdrähte und Tragseile muss in der Höhen- und Seitenlage maschinell mit der jeweiligen Nennzugkraft und stufenlos möglich sein.
- Die Fahrdrähte sind unter Nennzugkraft in der Oberleitungsneubaumaschine in gerader Linie von den Fahrdraht-Speichertrommeln bis zu den Einbaupunkten an den Auslegern kontrolliert zu führen, damit sie unbeschädigt, nicht verdreht und nicht verformt an den Einbaupunkten positioniert werden können.
- Dies erfordert eine exakte Steuerung der Fahrdraht- und Tragseil-Speichertrommeln hinsichtlich des Drehmomentes und der Seitenlage.
- Die Maschinenteknologie ist dahingehend auszulegen, dass z. B. durch eine feinfühligke Steuerung die Nennzugkräfte für Fahrdrähte und Tragseile über mehrere einzeln angetriebene und rechnergesteuerte Friktionswindenräder aufgebaut werden können.
- Die Nennzugkräfte müssen in engen Toleranzgrenzen auch in den sensiblen Arbeitsphasen beim Start und Stopp der Verlegung eingehalten werden.
- Wesentlich ist auch, dass der Fahrdraht von den Speichertrommeln weg bis zum Montagepunkt immer in derselben Biegerichtung geführt wird, um ein Verdrehen in Achsrichtung (infolge von achsenbezogen unterschiedlichen Widerstandsmomenten) zu vermeiden.



**Abb. 1: Oberleitungsneubaumaschine (FUM 100.128)**

- Bei Oberleitungen für Hochgeschwindigkeits- und/oder Hochleistungsstrecken mit Fahrdrabtquerschnitten von 120 bzw. 150 mm<sup>2</sup> und bei hochfesten Legierungen können nach vielfachen Erfahrungen die hohen Qualitätsstandards und die geforderte Verlegequalität nur mit mechanisierten Verfahren und mit der komplexen Arbeitstechnologie der Oberleitungsmaschinen effizient erreicht werden.
- Die Montagearbeiten sollen wegen der im Allgemeinen nur kurzen Gleissperrungen mit Maschinenunterstützung möglichst rasch und in nur einem Arbeitsdurchgang abgeschlossen werden.
- Die mit mechanisierten Arbeitsverfahren mit Nennzugkraft montierte Oberleitung kann unmittelbar nach Arbeitsdurchgang mit der für das Oberleitungssystem festgelegten Höchstgeschwindigkeit befahren werden.
- Bei Montage der Oberleitung mit konstanter Nennzugkraft sollte die bleibende, irreversible Längenänderung nach Abschluss der Arbeiten zu vernachlässigen sein.
- Mit mechanisierten Verfahren müssen die

Montagekosten markant gesenkt und Rationalisierungspotentiale umgesetzt werden können.

Für eine effiziente Leistungserbringung und eine hohe Arbeitssicherheit bei der Montage, Instandhaltung und Störungsbehebung von Oberleitungen sind die Bauzüge mit Motorturmwagen mit einer innovativen Maschinenteknologie – wie frei verschwenkbare Hubarbeitsbühnen, Fahrdrabt- und Trageil-drückanlagen, Arbeitskran, Messsysteme udgl. zu ergänzen.

#### **4 Vorteile bei Anwendung mechanisierter Montageverfahren**

Längenänderung der Oberleitung nach der Montage:

- Fahrdräfte und Trageile haben bei Zugbelastung eine elastische, reversible Dehnung.

Die endgültige Größe hängt wesentlich von der gewählten Nennzugkraft und den Materialeigenschaften ab.

- Darüber hinaus schließt sich nach Abschluss der Montage, die nach herkömmlichen Verfahren durchgeführt wurde, unter der Belastung mit der Nennzugkraft eine unelastische, irreversible Längenänderung (auch „Kriechen, Reckung“ genannt) an. Dieser irreversible Anteil hängt von der Höhe der Zugkraft und der Zeitdauer ihrer Einwirkung ab. Weiter ist er u. a. vom Fahrdrabt-Produktionsprozess, vom Montageverfahren und von den Materialeigenschaften bestimmt. Bei Trageilen trägt auch der Seilverbund zur bleibenden Längenänderung bei, der sich am Anfang der Belastung abhängig vom Seilproduktionsverfahren und dem Seilaufbau setzt.
- Die irreversible Längenänderung kann vernachlässigt werden, wenn diese bei mechanisierten Montageverfahren mit Oberleitungsneubaumaschinen, die mit konstanter Nennzugkraft verlegen, bereits vorweggenommen wird.
- Nach den praktischen Erfahrungen der Bahnunternehmen treten bei den mit mechanisierten Verfahren mit Nennzugkraft montierten Oberleitungen in der Folge nur mehr minimale Längenänderung auf, die keine Beeinträchtigung der Betriebsführung zur Folge haben.
- Damit können bei der Verlegung mit Nennzugkräften Ausleger, Seitenhalter, Y-Beiseile, Radspannwerke, Stromverbinder, Einspeisungen, Hänger etc. bereits während des Montageprozesses in ihrer endgültigen Position montiert werden. Es entfallen eine Nachregulierung und zusätzliche, spätere Einstellarbeiten, die mit Kosten verbunden sind und überdies die Betriebsführung behindern.
- Werden Trageile und Fahrdräfte bei herkömmlichen Montageverfahren von den Speichertrommeln bis zu den Einbaupunkten nicht kontrolliert geführt, nur mit einer geringen und nicht konstanten Zugkraft verlegt und im ersten Arbeitsdurchgang zuerst

vorübergehend an Hilfhängern befestigt, so können alle Bauteile noch nicht in ihrer endgültigen Lage eingebaut werden. Zur Beschleunigung der anfänglichen Kriechvorgänge von Fahrdräften und Trageilen ist es bei solchen Verfahren üblich, die Zugkräfte für eine beschränkte Zeit um 20 bis 30 % über die Nennwerte hinaus zu erhöhen. Erst nach der Rücknahme der erhöhten Zugkräfte können die Hänger und andere Einrichtungen wie Y-Beiseile und Ausleger endgültig eingebaut werden. Eine Nachkontrolle und gegebenenfalls Nachregulierungen sind zusätzlich erforderlich.

- Zusammenfassend zeigen sich aus diesem Grund bei den mechanisierten Montageverfahren für Oberleitungen entscheidende technische und wirtschaftliche Vorteile und Einsparungspotenziale gegenüber herkömmlichen Montagemethoden.

### Feinwelligkeit

Wie in [7] und anderen Berichten beschrieben, weisen hochfeste Fahrdräfte nach der Montage mit zu geringen Zugkräften vielfach bleibende Verformungen wie vertikale und horizontale Welligkeiten auf, die zu Lichtbogenbildungen beim Befahren und zu einem erhöhten Verschleiß führen.

Bei der Fahrdrabtfertigung kommt es auf die Auswahl der Rohlinge, die Zugkraft, mit der der Fahrdrabt auf die Speichertrommel aufgespult wird, und mögliche Verdrehungen zwischen dem letzten Ziehstein und der Speichertrommel an. Auch der Kerndurchmesser der Spulen muss ausreichend groß gewählt werden, um plastische Verformungen des Fahrdrabts so gering wie möglich zu halten.

Welligkeiten entstehen bei der Montage, wenn die eingesetzten Geräte und verwendeten Montageverfahren die besonderen Eigenschaften hochfester Fahrdräfte und die Biegesteifigkeit großer Querschnitte nicht ausreichend berücksichtigen. Die Fahrdräfte sollten möglichst in gerader Linie von der Speichertrommel über die Windenräder zu den Einbaupunkten geführt werden, ohne dass die

Biegerichtung geändert wird oder die Fahrdrähte verdreht werden.

Feinwelligkeiten können nur mit Oberleitungsneubaumaschinen, die mit Nennzugkraft verlegen, auf zulässige Werte reduziert werden.

## 5 Kontinuierliches Montageverfahren

Ziel eines kontinuierlichen Verfahrens ist es, Neubauten, Umbauten und Fahrdrahtwechsel zeit- und kostengünstig durch eine Art Fließbandtechnik mit Hilfe eines Oberleitungsbauzuges (mit der Oberleitungsneubaumaschine als zentrale Einheit) durchzuführen sowie eine hohe Verlege- und Arbeitsqualität zu erreichen. Für die effiziente Demontage und Montage werden im Bauzug Motorturmwagen mit innovativer Maschinenteknologie eingereicht. Die aufeinander abgestimmten Maschinengruppen im Bauzug werden geringfügig zeit- und/oder wegversetzt gefahren.

Für alle Maschinengruppen ist in einem Nachspannabschnitt der gleiche Arbeitsfortschritt eingeplant, den die Oberleitungsneubaumaschine mit kontinuierlich bis 7 km/h Montagegeschwindigkeit vorgibt.

Die Arbeitsfahrten der voraus laufenden Motorturmwagen zur Demontage aller Bauteile, wie Hänger, Einspeisungen, Seitenhalter, Stromausgleichsverbinder etc. sowie der nachlaufenden Maschinen zur Herstellung der Befahrbarkeit der neu verlegten Oberleitung sind getaktet.

Eine moderne Verlegetechnik und die Organisation der zugehörigen Arbeitsschritte sind ausführlich in [11 und 12] beschrieben. Kennzeichnend für diese mechanisierte Oberleitungs Montagetechnik ist auch das kontinuierliche und gleichzeitige Verlegen von bis zu drei Leitern (Fahrdrähte und Tragseile) – je nach dem Aufbau der Oberleitungsanlage mit den jeweiligen Nennzugkräften.

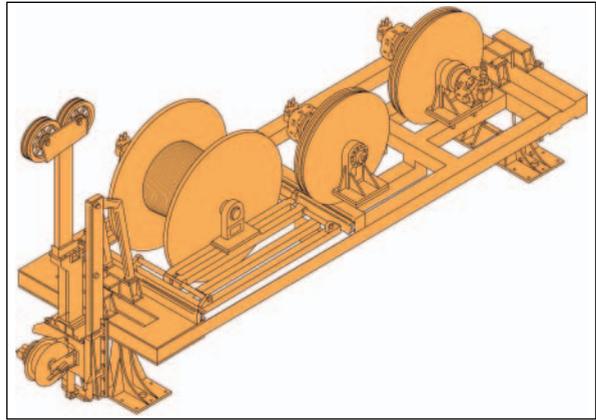
Von einem zentralen Rechner auf der Neubaumaschine, der sowohl die Steuerung des Fahrtriebes und der Bremsen als auch die der Speichertrommeln und der Friktionswinden-

räder übernimmt und gegenseitig abstimmt, werden die Montagezugkräfte in allen Montagezuständen in einem engen Bereich konstant gehalten. Bei Verlegemaschinen, die von Triebfahrzeugen gezogen werden, kann dies aus steuerungstechnischen Gründen nicht durchgehend erreicht werden.

## 6 Technik der neuesten Generation der Oberleitungsneubaumaschine

Die neueste Generation der Oberleitungsneubaumaschine hat in der Konzeption für das gleichzeitige Verlegen von zwei Leitern zwei schwenkbare Windentische mit je vier Friktionswindenrädern samt Antriebsmotoren, je einer Antriebseinheit für die Speichertrommeln von Fahrdraht und Tragseil und je einem teleskopierbaren Hubmast mit Führungsrollen zur Positionierung der Leiter an den Montagepunkten der Oberleitung (Abb. 2). Die hydrostatisch angetriebenen Friktionswindenräder und die hydraulisch angetriebenen Speichertrommeln für Fahrdrähte und Seile werden für die Einstellung der Nennzugkräfte voneinander abhängig über einen Zentralrechner gesteuert. Die Nennzugkraft ist dann stufenlos einstellbar und wird konstant gehalten. Von den Speichertrommeln werden Fahrdrähte und Seile über die Friktionswindenräder und die Rollenköpfe der Hubmasten abgezogen und mit der geforderten Nennzugkraft in die Montageposition gebracht. Die Hubmasten werden abhängig von der geforderten Seitenlage gegenüber der Gleisachse für das Zickzack und bei Ab- oder Nachspannungen der Oberleitung mit der Drehbewegung der Windentische mitgeschwenkt, um ein Verwinden des Tragseiles oder Fahrdrahtes zu vermeiden. Zusätzlich sind die Speichertrommeln im Schwenkrahmen seitlich verschiebbar, damit Fahrdrähte und Seile geradlinig in die Friktionswinden einlaufen können. Dies ergibt die notwendige Montagegenauigkeit und vermeidet bleibende Verformungen des Fahrdrahtes.

Des Weiteren besitzt die Maschine zusätzliche Seilwinden und einen Arbeitskran. Die Seilwin-



**Abb. 2: Windentisch mit Friktionswinden, Speichertrommel und Hubmast**

den sind an den Hubmasten angeordnet und werden u. a. zum Abziehen der Fahrdrähte und Seile von den Speichertrommeln über die Friktionswinden am Beginn des Montagevorganges verwendet.

Für eine hohe Montagequalität ist ausschlaggebend, dass die gewählte Nennzugkraft in allen Arbeitssituationen konstant gehalten wird. Kritisch sind dabei die Übergänge vom Stillstand der Oberleitungsneubaumaschine auf die Montagegeschwindigkeit und umgekehrt. Die Forderung nach konstanter Montagezugkraft wird mit den hydrostatischen Antrieben in Verbindung mit der automatischen Anfahrsteuerung erfüllt. Von einem Zentralrechner

werden die Fahrzeug- und Friktionswindenbremsen erst gelöst, wenn durch den Antriebsöldruck die eingestellte Nennzugkraft neutralisiert ist.

Alle Funktionen werden entweder automatisch oder auch manuell über Fernsteuerung gefahren, so dass der Maschinenbediener die Oberleitungsneubaumaschine auch bei außer der Regel liegenden Montagesituationen einsetzen kann. Mit Hilfe des Zentralrechners werden alle relevanten Maschinen- und Messdaten der Verlegung, wie die Soll- und Ist-Zugkräfte, erfasst und als Beleg für die Einhaltung der geforderten Montagekriterien nachweislich und reproduzierbar sichergestellt.



**Abb. 3: Montageturmwagen mit dreigeteilter Säulenhebebühne**



**Abb. 4: Innovative Technik moderner Motorturmwagen**

## 7 Innovative Technik moderner Motorturmwagen

An einigen Beispielen wird die aktuelle Ausführung und Ausstattung moderner Oberleitungsmaschinen gezeigt, die gemeinsam mit der Oberleitungsneubaumaschine in einem Bauzug eingesetzt werden oder für die Instandhaltung und Störungsbehebung auf den Bedarf der Bahnunternehmen abgestimmt sind (Abb. 3 und 4).

Für die Vor- und Nacharbeiten beim Abtragen oder bei der Montage sowie bei der Instandhaltung der Oberleitungskette haben sich auch zweiachsige und gegenüber einem universell ausgestatteten und einsetzbaren Motorturmwagen kostengünstigere Montageturmwagen etabliert. Diese Maschinen sind mit einer dreigeteilten Säulenhebebühne ausgestattet, deren Arbeitsplattformen einzeln steuerbar sind. Der



**Abb. 5: Arbeitssituation – Fahrdrabt- und Trageilddrückanlage**

Arbeitsbereich der beiden Seitenbühnen kann bis 9,0 m über Schienenoberkante und seitlich 4,5 m von der Gleismitte ohne zusätzliche Abstützung vorgesehen werden. Die zentrale Arbeitsbühne kann 5 kN, die Seitenbühnen können 2,5 kN tragen. Die Montageturmwagen sind besonders für Arbeiten an den Kettenwerken, z. B. an Hängern und Stromverbindern, und an den Oberleitungsstützpunkten, z. B. an Auslegern, Abspannungen und Erdungen, ausgestattet. Mit einer integrierten Längenmessereinrichtung können die Hänger an den vorausgerechneten Positionen exakt montiert werden, mit einem Fahrdrabtmesssystem lassen sich die statische Fahrdrabthöhen- und -seitlage messen. Mit einer Fahrdrabt- und Trageilddrückanlage können die Leiter in einem großen Arbeitsbereich sicher und ohne Belastung für das Montagepersonal positioniert werden.

Motorturmwagen sind als universell ausgestattete, leistungsstarke Drehgestellmaschinen für alle Oberleitungsarbeiten optimal geeignet. Standard sind eine Hubarbeitsbühne, ein Arbeitskran mit Arbeitskorb, eine Fahrdrabt- und Trageilddrückanlage, ein Fahrdrabtdiagnosesystem etc. Die frei schwenkbare Hubarbeitsbühne wird von einer Endlosdrehsäule getragen, ist zusätzlich um  $\pm 90^\circ$  schwenkbar und besitzt Niveaugulierung. Mit dem Arbeitsbereich bis 16 m über Schienenoberkante und 8 m seitlich der Gleisachse sind alle Arbeitspunkte an einer Oberleitung, z. B. auch auf dem Nachbargleis, von einem sicheren Standplatz aus erreichbar. In allen üblichen Montagesituationen kann die Fahrdrabt- und Trageilddrückanlage die Vertikal- und Querkräfte von Drähten und Seilen übernehmen und diese in ihrer Lage halten oder in eine neue bringen (Abb. 5). Der Arbeitskran hat noch eine wesentlich größere Reichweite als die Hubarbeitsbühne, er kann – ergänzend zu der Manipulation von schweren Lasten wie Fahrdrabttrommeln und Armaturen – auch mit einem Arbeitskorb verwendet werden.

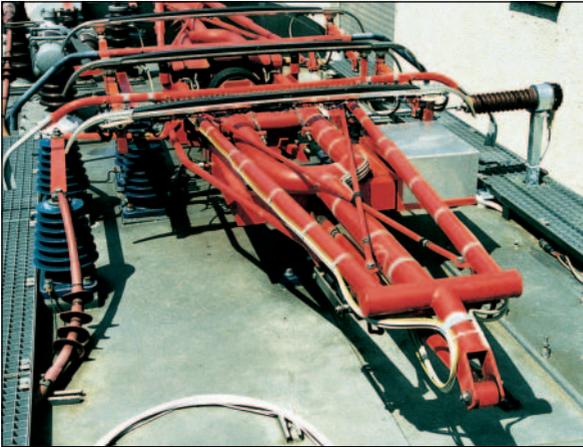
Die rechnergesteuerte Lastmomentregelung gewährleistet die Standsicherheit der Maschine auch bei ausgefahrener Hubarbeitsbühne und gleichzeitig aktivem Arbeitskran für die

meisten Arbeitssituationen ohne zusätzliche Abstützung. Die Montagegeräte und Fahrbewegungen werden im Hinblick auf die Arbeitssicherheit annähernd ruckfrei gesteuert. Die Maschinenfunktionen können entweder von einem Arbeitsplatz aus direkt oder von der Bühne oder von außerhalb des Fahrzeuges ferngesteuert werden.

Mit einem Messstromabnehmer kann die Fahrdrahtlage annähernd unbelastet und auch unter der Einwirkung einstellbarer Kontaktkräfte gemessen sowie aufgezeichnet werden. Die Ruhelage wird mit 5 N bis 10 N Kontaktkraft bei höchstens 5 km/h Fahrgeschwindigkeit gemessen. Um den Stromabnehmerdurchgang im Regelbetrieb zu simulieren und den Anhub an kritischen Stellen wie Seitenhaltern, Weichenverbindungen, Überlappungen zu prüfen, kann die Kontaktkraft z. B. auf 150 N eingestellt werden. Näherungssensoren am Messstromabnehmer erfassen die Fahrdrahtseitenlage (Abb. 6).

## 8 Beispiel für die neue Montagetechnologie

Bei der Erneuerung einer Oberleitung wird mit einem Windenwagen und der Oberleitungsneubaumaschine in nur einem zusammenhängenden Arbeitsdurchgang zunächst das vorhandene Kettenwerk abgebaut und anschließend das neue Kettenwerk montiert. Der Bauzug für diese Arbeiten besteht z. B. aus einem Oberleitungswindenwagen für den Abtrag der Oberleitung, einer Oberleitungsneubaumaschine für die Montage und drei bis vier Motorturmwagen für die Vor- und Fertigstellungsarbeiten. Die Oberleitungsneubaumaschine ist mit einem Maschinenaufseher besetzt, auf den Motorturmwagen arbeiten je zwei Mitarbeiter. Werden beim Wechsel des Kettenwerkes auch die Ausleger getauscht, sind zusätzlich ein Motorturmwagen (MTW), ein Materialwagen sowie Arbeitswagen erforderlich.



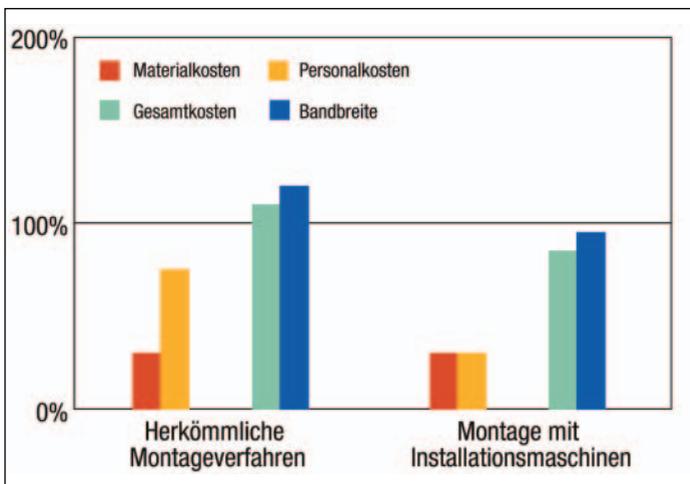
**Abb. 6: Messstromabnehmer mit Näherungssensoren in Transportstellung**

Beim Abbau besorgen die Motorturmwagen (Montageturmwagen) das Erden, das Sperren der Nachspanneinrichtungen sowie den Ausbau der Hänger, der Stromverbinder, der Fahrdrahtanker und der Y-Beiseile. Letztlich werden Fahrdraht und Trageisil ausgeklemmt. Der Oberleitungswindenwagen wickelt mit etwa 300 bis 400 N die Leiter auf die Speichertrommel auf.

Die Oberleitungsneubaumaschine verlegt gleichzeitig den neuen Fahrdraht und das

neue Trageisil mit den Nennzugkräften. Von den Motorturmwagen aus werden diese an den Stützpunkten (Auslegern) fixiert. Hänger, Stromverbinder, Fahrdrahtanker, Y-Beiseile etc. werden installiert, die Ausleger eingerichtet und die Nachspanneinrichtungen eingebunden und justiert. Abschließend kann auf der Rückfahrt die Lage des neuen Fahrdrahts gemessen und aufgezeichnet werden

Zum Abbau einer Nachspannlänge von ca. 1400 m benötigt man zwei bis drei Stunden,



**Abb. 7: Verhältnis Material – zu Personal – zu Gesamtkosten bei der Oberleitungs-montage**

zur Montage rund sieben. Werden die Abbau- und Montagearbeiten durch Verbinden der Arbeitsvorgänge gestrafft, kann das Gleis bereits nach rund 8,0 Stunden für den Zugbetrieb mit der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit wieder freigegeben werden.

## 9 Erfahrungen mit mechanisierten Montageverfahren

Die Installation eines Kettenwerkes mit Nennzugkraft mit der Oberleitungsneubaumaschine in einem Arbeitsgang verkürzt die Montagedauer und damit die Streckenbelegung bedeutend. Alle Qualitätsvorgaben und die Vorgaben für die Arbeitssicherheit werden erreicht, die Wirtschaftlichkeit wird enorm verbessert.

Maschinen mit drei Windentischen können auch drei Leiter, zum Beispiel zwei Fahrdrähte und ein Tragseil bei Gleichstromoberleitungen gleichzeitig verlegen. Zusätzliche Verstärkungs-

Speise- und Rückleitungen können ebenfalls mit der Montagezugkraft montiert werden.

Je größer die Anzahl der nacheinander zu bearbeitenden Nachspannabschnitte (Sektionslängen) ist, umso effektiver kann der Einsatz der Oberleitungsneubaumaschine mit mechanisierten Arbeitsverfahren gestaltet werden. Ideale Einsatzbedingungen sind bei Linienbaustellen auf der freien Strecke oder in Tunneln gegeben.

Entscheidend für den technischen und wirtschaftlichen Erfolg ist eine professionelle Teamarbeit, wobei das Stammpersonal längerfristig und ausschließlich für mechanisierte Arbeitsverfahren eingesetzt werden sollte.

## 10 Richtlinien

Das UIC-Merkblatt 793E [9] „Arbeitsverfahren zur mechanisierten Oberleitungsmontage“ fasst grundlegend die verschiedenen, bei

den Bahnen gebräuchlichen Verfahren, die Zielsetzungen, die Vergleichs- und Bewertungsmethoden, die Richtwerte und die Maschinenteknologie zusammen. Damit wird eine Entscheidungshilfe über Investitionen in die Maschinenteknologie, die Auswahl der Verfahren und der Arbeitsgeräte entsprechend den unternehmensspezifischen Zielen und den infrastrukturellen Rahmenbedingungen angeboten.

## 11 Leistungssteigerung

Bei herkömmlichen Arbeitsmethoden dauert nur die Montage von einem Kilometer Oberleitungskettenwerk rd. 12 Stunden, zusätzlich sind noch mehrere Tage für die bleibende, irreversible Längenänderung der Oberleitung, damit sie mit Höchstgeschwindigkeit befahrbar ist, einzuplanen („Reckpausen“).

Eine kontinuierliche Arbeitsweise mit den für die Verlegung von Kettenwerken ausgelegten, in [10] beschriebenen Oberleitungsneubau- maschinen erlaubt hohe Arbeitsgeschwindigkeiten, die sich auch in geringeren Investitionskosten niederschlagen. Dies führt zu einer kürzeren Sperre der Strecken.

Für die Montage mit mechanisierten Verfahren sind nur etwa 40 bis 50 % an Mitarbeitern gegenüber herkömmlichen Methoden vorzusehen.

Die Verbesserungspotenziale durch mechanisierte Arbeitsverfahren mit modernen Oberleitungsinstallationsmaschinen liegen in kürzeren Montagezeiten, einer höheren Montagegenauigkeit und Arbeitssicherheit als bei herkömmlichen Montagemethoden und in der besonderen Maschinenteknologie, die sicherstellt, dass Fahrdrähte und Seile nicht verformt bzw. die beschliffene Fahrdrathfläche nicht beschädigt werden. Im Anschluss an die Montage sind keine Verzögerungen durch „Reckpausen“ notwendig, damit kann die Positionierung der Ausleger und Montage der Hänger, Stromverbinder etc. im selben Arbeitsdurchgang vorgenommen werden. Nach diesem Arbeitszyklus ist das Oberleitungssystem

in der Regel mit der, durch die Oberleitungsbauart vorgegebenen Höchstgeschwindigkeit befahrbar.

Die Bahnunternehmen nutzen dieses Rationalisierungspotenzial für Insourcing bzw. als Übergangsstrategie in Reengineeringprozessen.

Das Montageteam sollte autark agieren können und kann auch die Akquisition, die Vorbereitung der Arbeitseinsätze, die Jahresauslastungsplanung und Disposition des Maschinenparks, die Materialdisposition, die Entsorgung des Rückbaumaterials und die Organisation der betrieblichen Aufgaben für Überstellungen übernehmen. Das Anforderungsprofil für die Mitarbeiter im Team sollte auch die Schaltantragstellung und Schaltauftragsberechtigung, eine Berechtigung für das Führen und Fahren der Arbeitsmaschinen, die Nebenfahrtleitung sowie die gesetzlichen Bestimmungen für Arbeitsverantwortliche und Sicherheitsbeauftragte umfassen.

## 12 Wirtschaftlichkeit

Folgende wirtschaftliche Zielsetzungen und technische Qualität werden mit den modernen Oberleitungsarbeitsmaschinen und den innovativen Arbeitstechnologien erreicht (Abb. 7):

- kurze Montagezeiten, kleiner Ressourcenbedarf,
  - markant reduzierte Baukosten, geringere Betriebserschwerungskosten und eine verlängerte Nutzungsdauer für Oberleitungen auf Grund der hohen Montagequalität.
- In eine Gesamtbetrachtung der Investitionen für die Oberleitung und in einen modernen Maschinenpark sind neben den Lebenszykluskosten auch die Arbeits- und Maschinenkosten einzubeziehen, wie z. B.
- die Investitions-/Kapitalkosten, die Servicekosten, der Leistungsvergleich zwischen herkömmlichen und neuen Arbeitsverfahren, ein Qualitätsvergleich durch Bewertung der höheren Montagequalität, die verlängerte Nutzungsdauer, ein LCC-Vergleich, die

- Arbeitssicherheit, die vermeidbaren Zusatzkosten infolge von Betriebsbehinderungen und sonstigen Erschwernissen, das Einsparungspotential beim Maschinenpark, die Neubetrachtung des Personalbedarfes und -aufwandes,
- die Kalkulationen sind für das gesamte Bauvolumen und den Instandhaltungsumfang zu bewerten.

In einem Beispiel wird das mögliche Rationalisierungspotenzial dargestellt. Für ein Erneuerungsprojekt der Oberleitung werden die Aufwendungen für Personal und Material sowie für die Investitionen in Oberleitungsmaschinen inklusive der Oberleitungsneubaumaschine verglichen. Die Materialkosten sind von der Montagemethode unabhängig. Die Aufwendungen an Zeit und Kosten für Personal (Mitarbeiterstundenbedarf) können bei den mechanisierten Verfahren um bis zu zwei Drittel gegenüber den herkömmlichen Montagemethoden reduziert werden. Der Kostenanteil für die Oberleitungsmaschinen hängt von den Finanzierungskosten, den Abschreibungen, den steuerlichen Gesichtspunkten und dem Nutzungsgrad ab. Er hat ein relativ breites Band, das sich auch in der Volatilität der Gesamtkosten auswirkt. Generell gehen in die Berechnungen Faktoren wie Netzgröße, Entlohnungsniveau, Skaleneffekte, bestehende maschinelle Ressourcen, etc. ein. Mit diesen Vorgaben errechnet sich für die mechanisierte Montagetechnologie mit innovativen Oberleitungsmaschinen im Vergleich zu dem gleichen Leistungsumfang mit herkömmlichen Montagemethoden ein Einsparungspotential von rd. 20 bis 30 %.

## Literatur

- [1] Kießling, F.; u. a.: Fahrleitungen elektrischer Bahnen. Teubner-Verlag, Stuttgart – Leipzig, 2. Auflage 1998.
- [2] Entscheidung 2002/733/EG: Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) des Teilsystems Energie des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems gemäß Artikel 6, Absatz 1, der Richtlinie 96/48/EG. In: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 2002, DE Seite L245/280 – L245 – 369.
- [3] EN 50367:2005: Bahnanwendungen – Stromabnahmesystem – Technische Kriterien für das Zusammenwirken zwischen Stromabnehmer und Oberleitungen zum Erreichen der Interoperabilität.
- [4] prEN 50119:2006: Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Oberleitungen für den elektrischen Zugbetrieb.
- [5] Kießling, F.; u. a.: Die neue Hochgeschwindigkeitsoberleitung Bauart Re330 der Deutschen Bahn. In: Elektrische Bahnen 92(1994), H. 8, Seite 234 – 240.
- [6] EN 50149:2001: Bahnanwendungen – Ortsfeste Einrichtungen – Rillenfahrdrähte aus Kupfer und Kupferlegierungen.
- [7] Schmidt, H.; Schmieder, A.: Stromabnahme im Hochgeschwindigkeitsverkehr. In: Elektrische Bahnen 103 (2005), H. 4-5, Seite 231 – 236.
- [8] Irsigler, M.; Kohel, J.: Oberleitungen – Neubau, Umbau und Instandhaltung. In: Elektrische Bahnen 104 (2006), H. 1-2, Seite 59 - 69
- [9] Merkblatt Arbeitsverfahren zur mechanisierten Oberleitungsmontage. UIC 793 E, 1995
- [10] König, W.; Michalsky, U.; Strehl, B.: Innovation in der Oberleitungsmontage bei DB Bahnbau. In: Der Eisenbahningenieur 54 (2003), H. 2, S. 39 - 41
- [11] Schneider, B.; Wagner, E.: Mechanisierte Oberleitungsmontage bei den SBB. In: Der Eisenbahningenieur 49 (1998), H. 2, S. 27 – 30
- [12] Wenty, R.: Maschinen für Fahrleitungsbau und -instandhaltung. In: Eisenbahntechnische Rundschau 49 (2000), H. 1-2, S. 69 - 76