

Tendenzen zur Erhöhung der Fahrdrahtspannung bei der elektrischen Zugförderung

Autor(en): **Meyer, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des
Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de
l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des
Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **69 (1978)**

Heft 18

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-914938>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Tendenzen zur Erhöhung der Fahrdrachtspannung bei der elektrischen Zugförderung

Von E. Meyer

621.332;

Die ständig zunehmenden Anforderungen an die Leistungsfähigkeit elektrischer Bahnen mit Bezug auf Geschwindigkeiten, Zuggewichte und Zugsdichte haben die Grenzen der heute verwendeten Bahnstromsysteme erkennen lassen. Um diese Grenzen zu überwinden, wird bei Gleichstrom die Erhöhung der Fahrdrachtspannung erwogen. Auch bei Wechselstrom sind in Einzelfällen die bisher gebräuchlichen Spannungen am Fahrdracht schon überschritten worden, obwohl die Leistungsgrenzen der bisherigen Stromsysteme allgemein noch nicht erreicht worden sind. Es wird auf die Problematik dieser Spannungserhöhungen hingewiesen.

Les exigences sans cesse accrues, qui sont posées aux performances des chemins de fer électriques en ce qui concerne les vitesses, les poids des convois et la fréquence des trains, ont montré les limites des systèmes de courant utilisés actuellement. Pour franchir ces limites en courant continu, on envisage une élévation de la tension à la caténaire. En courant alternatif, les tensions usuelles à la ligne de contact ont déjà été parfois dépassées, quoique les limites de puissance des systèmes actuels n'aient pas encore été atteintes. Les problèmes que posent ces élévations de tension sont mentionnés.

1. Einleitung

Um den internationalen Eisenbahnverkehr rationell abwickeln zu können, war es notwendig, zahlreiche zwischenstaatliche Vereinbarungen zu treffen und international verbindliche Normen aufzustellen. Solche Normen betreffen auch die bei der Elektrifikation der Hauptbahnen anzuwendenden Stromsysteme. Nach den heute gültigen Regeln der Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) sind die nachstehenden Stromsysteme zugelassen:

1. Gleichstrom 1500 V
2. Gleichstrom 3000 V
3. Einphasenwechselstrom $16\frac{2}{3}$ Hz, 15 kV
4. Einphasenwechselstrom 50 Hz, 25 kV.

Nun sind im Laufe der letzten Jahrzehnte die Anforderungen an den Bahnbetrieb im Sinne höherer Geschwindigkeiten, grösserer Zuggewichte und zunehmender Zugsdichte ständig gestiegen. Die Leistungen der einzelnen Triebfahrzeuge sind entsprechend ebenfalls gestiegen und damit auch die von den Bahnunterwerken zu liefernden und von den Fahrleitungen zu übertragenden Leistungen und Ströme. Der Leistung, welche der Fahrleitung von den Triebfahrzeugen entnommen werden kann, sind aber Grenzen gesetzt:

- durch die Leistungskapazität der die Fahrleitung speisenden Unterwerke,
- durch den in den Unterwerken und Fahrleitungen auftretenden Spannungsabfall,
- durch die höchstzulässige Erwärmung der Fahrleitung,
- durch den minimalen Kurzschlußstrom, bei welchem der Überstromschutz der Fahrleitung noch anzusprechen hat.

Diese Grenzen werden ihrerseits beeinflusst vom gewählten Stromsystem, von der Fahrdrachtspannung, von der Entfernung der Speisepunkte (Unterwerke) und vom Widerstand bzw. der Impedanz der Fahrleitung.

Mit der am nächsten liegenden Verkleinerung des Widerstandes der Fahrleitung durch Verstärkung ihrer Querschnitte und durch Parallelführung von Hilfsleitungen ist man bei Gleichstrom bereits an die Gewichts- und Wirtschaftlichkeitsgrenze der Leitungen und der Fahrleitungstragwerke herangekommen. Bei Wechselstrombahnen wird auf diesem Weg ohnehin nur wenig erreicht, weil damit die vorherrschende induktive Komponente der Impedanz gar nicht oder nur wenig beeinflusst werden kann. Andererseits hat eine Verkürzung der Speisepunktabstände bereits zu einer sehr kostspieligen Vermehrung der Unterwerke geführt.

Es ist daher verständlich, dass eine weitere Steigerung der Leistungsfähigkeit elektrifizierter Bahnen auf dem Weg einer Erhöhung der Fahrdrachtspannung gesucht wird. Entsprechende Studien und Entscheide liegen schon drei Jahrzehnte zurück, als sich die französischen Staatsbahnen entschlossen, für die Elektrifikation weiterer Hauptstrecken vom Gleichstrom 1500 V auf Einphasenwechselstrom 50 Hz, 25 kV überzugehen. Aus dem gleichen Grund sind die spanischen Bahnen von 1500-V- auf 3000-V-Gleichstrom übergegangen. Heute ist es aber bereits so weit, dass auf gewissen Strecken auch die 3000 V Gleichstrom keine Steigerung der Beförderungskapazitäten mehr zulassen. Es sind daher sowohl in Italien wie auch in Russland ausgedehnte Studien darüber durchgeführt worden, ob dem Problem einer weiteren Leistungssteigerung mit einer Verdoppelung der Fahrdrachtspannung auf 6000-V-Gleichstrom beizukommen ist.

Obwohl die Leistungsgrenze der mit Wechselstrom elektrifizierten Bahnen infolge der hohen Fahrdrachtspannung bedeutend höher liegt als bei Gleichstrombahnen, ist auch hier eine Verdoppelung der Fahrdrachtspannung auf 50 kV erwogen und in Sonderfällen auch schon angewendet worden. Es handelt sich dabei allerdings um Bahnstrecken, auf welchen ausschliesslich sehr schwere Güterzüge für den Kohlen- oder Erztransport verkehren.

Eine Verdoppelung der Fahrleitungsspannung wirft sowohl bei Gleich- wie bei Wechselstrom eine ganze Reihe neuer Probleme auf, auf welche in den folgenden Abschnitten hingewiesen werden soll.

2. Elektrifikation mit Gleichstrom 6 kV

Wenn sich eine Bahnverwaltung erstmals zur Elektrifikation einer Hauptstrecke entschliesst, wird sie sich heute, abgesehen von ausschliesslich dem Nahverkehr dienenden Strecken, in der Regel für ein System mit Einphasenwechselstrom entscheiden. Das Problem einer Elektrifikation mit 6-kV-Gleichstrom wird sich daher nur in Bahnnetzen stellen, die bereits mit Gleichstrom elektrifiziert sind. Dabei kann es sich um die Umstellung bestehender 3-kV-Strecken auf die doppelte Spannung oder um die erstmalige Elektrifikation einer bestehenden oder neu gebauten Strecke handeln.

Die Spannungserhöhung in der Fahrleitung um 100% bedingt gegenüber dem bisherigen 3-kV-System Änderungen an der Fahrleitung, in den Unterwerken und an den Triebfahrzeugen.

2.1 Änderungen an der Fahrleitung

Mit 3 kV elektrifizierte Hauptstrecken besitzen heute in den meisten Fällen eine Fahrleitung mit insgesamt etwa 320 mm² Kupferquerschnitt. Dabei ist der Abstand der Speisepunkte (Unterwerke) von früher 30...40 km auf gegen 20 km herabgesetzt worden. Der Übergang auf die doppelte Fahrdrachtspannung würde an sich eine Reduktion der Fahrleitungsquerschnitte und damit eine gewisse Verbilligung des Fahrleitungssystems erlauben. Indessen möchten z.B. die italienischen Staatsbahnen darauf verzichten, um mit der Spannungserhöhung eine möglichst grosse Steigerung der Streckenleistung zu erzielen.

Moderne 3-kV-Fahrleitungen sind jetzt schon für eine Überschlagnspannung von 55 kV bemessen. Sie können daher ohne jede Änderung auch mit 6 kV Fahrdrachtspannung betrieben werden, sofern sie über geeignete Speisepunkt-Schnellschalter an die Unterwerke angeschlossen werden.

2.2 Änderungen in den Unterwerken

Im einfachsten Fall wird die höhere Fahrdrachtspannung durch Serieschaltung von zwei bisherigen Gleichrichtern erreicht. Diese Lösung ist dann anwendbar, wenn die Unterwerksleistung auch bei der höheren Fahrdrachtspannung als ausreichend beurteilt wird. Dabei ist natürlich zu überprüfen, ob die vorhandenen Gleichrichter isolationsmässig der höheren Ausgangsspannung standhalten. Andernfalls sind ausser den Schnellschaltern auch gewisse Einzelteile der Gleichrichtergruppen auszuwechseln und die Störschutzfilter anzupassen.

Beim Bau neuer oder bei der Modernisierung von bestehenden Unterwerken, etwa beim Ersatz alter Lichtbogengleichrichter durch Halbleitergleichrichter, kann schon von Anfang an auf einen späteren Übergang auf 6 kV Rücksicht genommen werden. Die Umstellung auf die höhere Spannung erfordert dann lediglich eine interne Schaltungsänderung und nur geringe Änderungen an der Ausrüstung der Unterwerke. Diese beschränken sich auf den Ersatz der Schnellschalter, Messinstrumente und Schutzeinrichtungen und die Anpassung der Filter für den Störschutz der Fernmelde- und Fernsteuerungsanlagen. Bei dieser Gelegenheit kann auch die Unterwerksleistung den zukünftigen Erfordernissen entsprechend erhöht werden, was bei der Modernisierung älterer Anlagen meistens auch ohne Spannungserhöhung in der Fahrleitung notwendig wäre.

Untersuchungen der italienischen Staatsbahnen [1; 2]¹⁾ haben gezeigt, dass bei unveränderter Anzahl von Unterwerken und selbst bei gleichbleibender Unterwerksleistung von 2 × 3600 kW allein durch die Verdoppelung der Fahrdrachtspannung wegen der besseren Ausnützung der vorhandenen Anlage die Streckenleistung um 42% gesteigert werden kann. Wird überdies die Leistung pro Unterwerk auf 2 × 5400 kW angehoben, so wird die Streckenleistung um 88% vergrößert. Wenn dazu noch die Ausgangsspannung in den Unterwerken durch eine automatische Regelung in Abhängigkeit von der Belastung auf dem oberen Grenzwert von 7 kV konstant gehalten wird, ermöglicht die Verdoppelung der Fahrdrachtspannung sogar eine mehr als zweifache Streckenleistung.

2.3 Änderungen an den Triebfahrzeugen

Bei Gleichstrom sind die Auswirkungen einer Erhöhung der Fahrdrachtspannung auf 6 kV an den Triebfahrzeugen am grössten. Die konventionelle Steuerung dieser Fahrzeuge mit Anfahrwiderständen und Serie-Parallelschaltung der Fahrmotoren ist bei Speisung mit 6 kV mit einem vertretbaren Aufwand nicht mehr möglich. Die Erhöhung der Fahrdrachtspannung setzt daher das Bestehen und die Anwendung elektronischer Steuerungen voraus, sei es den Einsatz von Zerhackern (Choppern) als «Gleichstromtransformatoren» oder von statischen Umrichtern zur Erzeugung der für die Fahrmotoren günstigsten, während der Anfahrt variablen Klemmenspannung. Während in Russland anscheinend die Lösung mit Choppern im Vordergrund und bereits im Versuchsbetrieb steht, werden in Italien beide Verfahren geprüft. In beiden Fällen führt die Elektronik zu komplizierteren und kostspieligeren Anlagen. Immerhin weist deren Anwendung gegenüber den konventionellen Steuerungen auch Vorteile auf, wie ein besseres Adhäsionsverhalten infolge dauernd parallel geschalteter Fahrmotoren und stufenloser Veränderung ihrer Klemmenspannung. Ausserdem gestattet die freie und von der Fahrdrachtspannung unabhängige Wahl der Fahrmotorenennenspannung eine höhere spezifische Leistung dieser Motoren. Schliesslich wird auch der mittlere Wirkungsgrad der Triebfahrzeuge verbessert, weil Anfahrwiderstände und die darin entstehenden zusätzlichen Stromwärmeverluste entfallen. Von Bedeutung ist auch, dass die Elektronik die Anwendung einer automatischen Geschwindigkeitsregelung sehr erleichtert.

Nach überschlägigen Kostenberechnungen der italienischen Staatsbahnen sind unter den heutigen Verhältnissen Lokomotiven für 6 kV um etwa 40% teurer als solche konventioneller Bauart für 3 kV, während der Umbau einer bestehenden 3-kV-Lokomotive in eine solche für 6 kV rund die Hälfte einer neuen Lokomotive für 6 kV kosten würde.

2.4 Der Übergang von der alten zur neuen Fahrdrachtspannung

Die notwendige und sehr kostspielige Umstellung des Triebfahrzeugparkes wird zur Folge haben, dass eine Verdoppelung der Fahrdrachtspannung in einem ausgedehnten Netz nicht auf einen Schlag sondern nur schrittweise nach Massgabe der zu ersetzenden Triebfahrzeuge und Unterwerksausrüstungen vorgenommen werden kann. Dabei werden die neuen oder umgebauten Unterwerke so zu entwerfen sein, dass sie in der Lage sind, die Fahrleitungen sowohl mit der alten wie mit der neuen Spannung zu speisen, wobei der Übergang von der einen auf die andere Spannung durch eine vorbereitete einfache Schaltungsänderung leicht und innert kürzester Frist vollzogen werden kann. Ebenso sind die Triebfahrzeuge so zu bauen bzw. umzubauen, dass sie mit der bisherigen wie mit der neuen Fahrdrachtspannung betrieben werden können. Aus diesen Forderungen ist abzuleiten, dass die bisherigen und die neuen Spannungswerte in einem ganzzahligen Verhältnis stehen müssen.

Die italienischen Staatsbahnen finden es für notwendig, vor einem Entscheid eine Versuchsstrecke auszurüsten, auf welcher die zahlreichen technischen Probleme auch in der Praxis abgeklärt werden können. Es ist daher beabsichtigt, auf einem 39 km langen Teilstück der in Elektrifikation begriffenen Strecke Rom-Cassino-Caserta die Möglichkeit eines wahlweisen Betriebes mit 3- oder 6-kV-Gleichstrom zu schaffen.

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

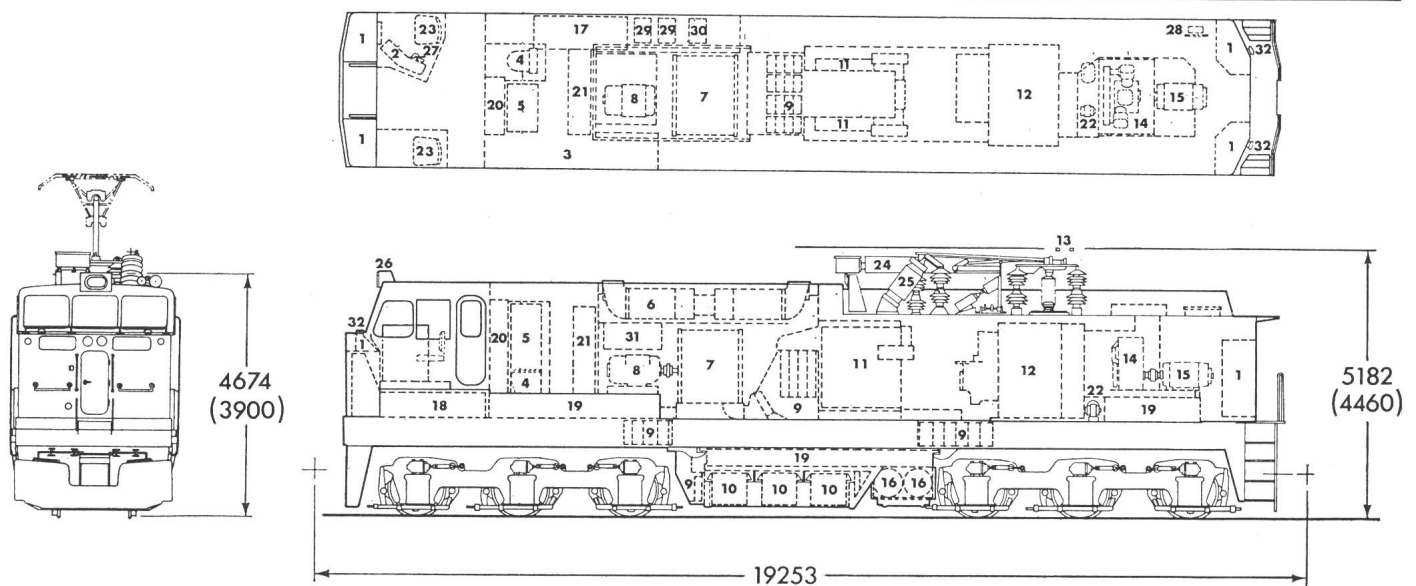


Fig. 1 Typenbild der 50-kV-Lokomotiven der Black Mesa & Lake Powell Railroad

Dauerleistung am Radumfang	3750 kW	9 Luftfilter	23 Einstellbarer Sitz
Dauerzugkraft	343 kN	10 Glättungsdrosselspule	24 Vakuum-Hauptschalter
Dienstmasse	106 t	11 Gleichrichter	25 Blitzschutz-Spannungsableiter
Radstand der Drehgestelle	4040 mm	12 Transformator	26 Blinklicht-Stirnlampen
		13 Stromabnehmer	27 Druckluft-Bremsventil
		14 Kompressor	28 Handbremse
1 Sandbehälter		15 Kompressormotor	29 Glättungsdrosselspule für Ventilatormotor
2 Führerstand		16 Luftbehälter	30 Glättungsdrosselspule für Kompressormotor
3 Steuerabteil		17 Batterien	31 Widerstands-Zusatzbremse
4 Toilette		18 Druckluftbremsausrüstung	32 Sandeinfüllstutzen
5 Schleuderschutz		19 Ballast	
6 Bremswiderstand		20 Relaisraum	
7 Ventilator		21 Automatikraum	
8 Ventilatormotor		22 Hilfskompressor	

In Klammern:
Vergleichsmasse von 25-kV-Lokomotiven

In Russland ist ein Versuchs-Triebzug für 6-kV-Gleichstrom auf dem bei Moskau gelegenen, 6 km langen Versuchsring des zentralen Eisenbahn-Forschungsinstitutes bereits erprobt worden [3].

3. Wechselstrombahnen mit 50 kV am Fahrdrabt

Im Gegensatz zu einigen Gleichstrombahnen drängt sich ein Übergang zu höheren Spannungen bei schon bestehenden Wechselstrombahnen zur Steigerung ihrer Transportkapazität zurzeit noch nirgends auf. Die laufenden Studien und bereits durchgeführten Elektrifikationen mit 50 kV betreffen ausschliesslich neue oder bisher nicht elektrifizierte Strecken. Die Gründe dafür liegen dabei nicht bei Problemen der Streckenleistungsfähigkeit, sondern anderswo. Es kann nämlich Fälle geben, wo es notwendig oder zweckmässig erscheint, mit einer möglichst geringen Zahl von Unterwerken auszukommen, beispielsweise dann, wenn nur ein zwar starkes, aber sehr weitmaschiges Hochspannungsnetz vorhanden ist, das der Bahn nur wenige gut gelegene Einspeisestellen bieten kann. Ein anderer Grund kann darin liegen, dass es auf langen Einspurstrecken, die in schwach oder gar nicht besiedelten Gegenden ohne Unterwegsverkehr verlaufen, aus betrieblichen Gründen als zweckmässig erachtet wird, möglichst wenige, dafür aber sehr schwere Züge zu führen.

Die Zugförderung mit Wechselstrom mit einer Fahrdrabtspannung im Bereich von 15 bis 25 kV ermöglicht eine optimale Dimensionierung der Fahrleitung, sowohl in bezug auf die mechanische Beanspruchung wie auf die Strombelastung.

Es ist daher nicht ratsam, daran etwas zu ändern, auch wenn infolge einer Erhöhung der Fahrdrabtspannung der Fahrleitungsstrom kleiner wird. Damit erlaubt eine Verdoppelung der Spannung am Fahrdrabt bei einer unveränderten Fahrleitung und einem ebenfalls gleichbleibenden zulässigen Fahrleitungsstrom auch eine Verdoppelung der übertragbaren Leistung und der Zuggewichte. Andererseits erfordert sie aber auch eine Verdoppelung der Unterwerksleistung. Bei unverändertem Fahrleitungsstrom wird auch der auf die verdoppelte Nennspannung bezogene Spannungsabfall nur halb so gross, was eine Vergrösserung der Unterwerksabstände bzw. eine Verminderung ihrer Anzahl gestattet. Vorbedingung ist aber eine Verlängerung der Zugsabstände. Es kann somit die von einer Verdoppelung der Fahrdrabtspannung erwartete Vereinfachung und Verbilligung der Anlagen der Energieversorgung und der Wunsch, sehr schwere Züge zu führen, nur verwirklicht werden, wenn dabei auf eine hohe Zugsdichte verzichtet wird.

Die Steigerung der bisher höchsten Fahrdrabtspannung von 25 kV auf den doppelten Wert hat natürlich auch Rückwirkungen auf die Gestaltung der Fahrleitung, der Unterwerke und der Triebfahrzeuge.

3.1 Fahrleitung und Lichtraumprofil

Die für 25-kV-Wechselstrom entwickelten und bewährten Bauarten von Fahrleitungen können im Prinzip auch für 50 kV verwendet werden, sofern die Mindestabstände zwischen spannungsführenden und geerdeten Teilen entsprechend vergrössert und die Isolationen verstärkt werden. Die zur Fahrleitung

gehörende Schaltapparatur, wie stromlos oder unter Last schaltende Trenn- und Speisepunktschalter, müssen für die höhere Nennspannung bemessen und geprüft sein. Es ist ohne weiteres möglich, sie aus den für andere Anwendungen vorhandenen Typen auszuwählen und nötigenfalls dem besonderen Zweck anzupassen. Vermehrte Aufmerksamkeit erfordert die Gestaltung der Phasentrennstellen, wo Momentanwerte der Spannungsdifferenz von mehr als 100 kV auftreten können.

Im Vergleich zur Fahrleitung für 25 kV wird bei gegebenem Fahrzeugbegrenzungsprofil die minimale Fahrdrathöhe bei 50 kV grösser sein, und das Lichtraumprofil muss im oberen Teil um 350...500 mm erweitert werden. Diese Erweiterung bietet bei Strecken mit zahlreichen Überbauten und Tunnels erhebliche Schwierigkeiten, und die entsprechenden Mehrkosten werden nicht ohne Einfluss auf die Wahl des Stromsystems sein. Es ist jedenfalls bezeichnend, dass die bisher mit 50 kV elektrifizierten Strecken durchwegs in offenem Gelände verlaufen und unterwegs keine Tunnels und nur wenige Überbauten aufweisen. Es handelt sich dabei um die in Arizona USA in Betrieb stehende Black Mesa & Lake Powell Railroad, die über eine Entfernung von 125 km ausschliesslich dem Kohlentransport zwischen einer Mine und einem Kraftwerk dient, ferner um eine im Westen der Republik Südafrika gelegene 862 km lange Strecke, welche die Eisenerzmine von Sishen mit dem Verschiffungshafen in der Saldanha Bay verbindet und auf welcher demnächst nach Eröffnung des elektrischen Betriebes 20000 t schwere Züge mit drei vielfach gesteuerten sechssachsigen und 168 t schweren Lokomotiven geführt werden sollen [5; 6].

3.2 Unterwerke und Energieversorgung

Da mit der höheren Fahrdrathspannung eine Erhöhung der von der Fahrleitung übertragbaren Leistung verbunden ist, wird auch die Leistung der Unterwerke im allgemeinen grösser sein als bei 25 kV, besonders dann, wenn deren Anzahl kleiner gewählt wird. Beim Entwurf der Unterwerke werden sich jedoch keine besonderen Probleme stellen, da deren Komponenten samt der Apparatur für Fernsteuerung und Fernmessung für eine Sekundärspannung von 50 kV und für höhere Leistungen in bewährten Bauarten vorhanden sind.

Dagegen wird in jedem Einzelfall zu prüfen sein, ob das speisende Drehstromnetz stark genug ist, um die erhöhte und stark schwankende Einphasenlast ohne nachteilige Folgen für die anderen Energiebezügler abzugeben. Wenn das nicht der Fall ist, können die von der höheren Fahrdrathspannung erwarteten Vorteile gar nicht ausgeschöpft werden.

3.3 Triebfahrzeuge

Im Gegensatz zum Gleichstrom hat eine Verdoppelung der Spannung am Fahrdraht bei Wechselstrom nur beschränkte Auswirkungen auf die Bauart der Triebfahrzeuge (Fig. 1). Durch zweckentsprechende Wahl des Übersetzungsverhältnisses des im Triebfahrzeug ohnehin vorhandenen Transformators kann erreicht werden, dass die Sekundärspannung von der höheren Primärspannung unbeeinflusst bleibt. Die für die Fahrmotoren und die Leistungsstromkreise von Wechsel-

stromtriebfahrzeugen gefundenen optimalen Spannungsbereiche können somit unverändert beibehalten werden. Das gleiche gilt für die verschiedenen in letzter Zeit für Wechselstromtriebfahrzeuge entwickelten Steuerverfahren, wie Dioden-, Thyristor- oder Umrichtersteuerungen, die unabhängig von der Fahrdrathspannung anwendbar sind. Die Konstruktionsänderungen beschränken sich auf die Primärseite des Transformators, also auf Stromabnehmer, Dachleitungen, Hauptschalter, den Transformator und die zugehörigen Mess- und Schutzrichtungen. Wie schon bei 25 kV wird man bei 50 kV erst recht bestrebt sein, diese Organe ausserhalb des Maschinenraumes, d.h. ausschliesslich auf dem Dach der Triebfahrzeuge unterzubringen. Die notwendigerweise grösseren Isolations- und Kriechwegabstände und die voluminöseren Isolatoren bieten bei den Stromabnehmern und Dachinstallationen allenfalls gewisse Dispositionsschwierigkeiten [4; 7].

Als Hauptschalter sind bei 50 kV bisher ausnahmslos Vakuumschalter verwendet worden, die eine entsprechend grössere Anzahl von in Serie geschalteten Schaltelementen enthalten. Der höheren Spannung angepasste Überspannungsableiter sind ebenfalls marktgängig. Der Bau eines Lokomotivtransformators für 50 kV Eingangsspannung, sein Einbau und seine Ausrüstung mit einer über das Dach reichenden genügend isolierten Durchführung bieten keine nennenswerten Probleme. Der Gesamtpreis des Triebfahrzeugs wird daher durch die Verdoppelung der eingespeisten Wechselspannung nicht wesentlich beeinflusst.

Die Frage, ob und gegebenenfalls welche Vorteile eine Erhöhung der Fahrdrathspannung über die bei Wechselstrombahnen heute üblichen 25 kV hinaus bieten kann, lässt sich nicht generell beantworten. Sie ist in jedem Einzelfall abzuklären und wird entscheidend beeinflusst von den topographischen Verhältnissen der Strecke, den Gegebenheiten des die Traktionsenergie liefernden Hochspannungsnetzes, der verlangten Leistungsfähigkeit der Strecke und den an die Betriebsabwicklung gestellten Anforderungen. Bei den bis jetzt in den USA und in Südafrika durchgeführten bzw. in Durchführung begriffenen Elektrifikationen mit 50-kV-Fahrdrathspannung sind diese Voraussetzungen in mancher Hinsicht aussergewöhnlich. Mit Bezug auf die getroffene Systemwahl dürften sie daher eher als Sonderfälle zu betrachten sein.

Literatur

- [1] F. Bareghi e.a.: Fattabilità e convenienza della trazione elettrica in corrente continua a 6000 Volt. *Ingegneria Ferroviaria* 28(1973)10, p. 828...835.
- [2] G. Giovanardi e L. Pascucci: Prospettive per l'impiego del nuovo sistema di trazione a 6 kV c.c. sulla rete F.S. già elettrificata a 3 kV. *Ingegneria Ferroviaria* 29(1974)2, p. 95...109.
- [3] Erster sowjetischer Gleichstromtriebzug für 6 kV. *Elektrische Bahnen* 47(1976)12, S. 296.
- [4] Automated locomotives for 50 kV system. *Modern Railways* 31(1974)309, p. 238.
- [5] W. H. Siemens: Sishen to Saldanha: first major 50 kV scheme. *Railway Gazette International* 133(1977)9, p. 333...335.
- [6] W. H. Siemens: Will 50 kV become a world standard? *Railway Gazette International* 134(1978)4, p. 201...204.
- [7] First series-built 50 kV locos delivered. *Railway Gazette International* 134(1978)5, p. 301...305.

Adresse des Autors

Prof. Dr. Erwin Meyer, 8702 Zollikon, Rebwiessstrasse 1.