Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 64 (1973)

Heft: 7

Artikel: Die Thyristor-Stromrichter-Lokomotive Re 4/4161 der Berner Alpenbahn-Gesellschaft Bern-Lötschberg-Simplon (BLS)

Autor: Grossmann, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915533

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Thyristor-Stromrichter-Lokomotive Re 4/4 161 der Berner Alpenbahn-Gesellschaft Bern–Lötschberg–Simplon (BLS)

Von *W. Grossmann*

621.335.2 : 621.314.632.049

Bei allen Bahnverwaltungen mit starkem Verkehr werden die Traktionsdienste immer wieder vor die Aufgabe gestellt, noch schwerere Züge mit grösserer Geschwindigkeit zu führen. Dies bedeutet, dass bei gleicher Triebachszahl und unverändertem Gewicht der Lokomotiven deren Triebmotoren grössere Drehmomente bzw. Zugkräfte und Leistungen entwickeln müssen. Die innerhalb eines Zeitraumes von knapp 10 Jahren gemachten Fortschritte im Lokomotivbau ermöglichen heute Leistungssteigerungen von 70...80 % bei unverändertem Fahrzeuggewicht.

Für derart leistungsfähige Lokomotiven erweisen sich bei mit Einphasen-Wechselstrom 16⅔ Hz elektrifizierten Bahnen die direkt mit Wechselstrom gespeisten Triebmotoren als weniger gut geeignet als solche, die mit welligem Gleichstrom betrieben werden. Im weitern bietet die als sog. Amplitudensteuerung bekannte Spannungssteuerung der für stark erhöhte Leistungen dimensionierten Triebmotoren mit den herkömmlichen Stufenschaltern zunehmende Schwierigkeiten.

Im Winter 1964/65 nahm die BLS ihre zwei ersten mit Wellenstrom-Traktionsmotoren, Diodengleichrichtern und Amplitudensteuerung durch Hochspannungsstufenschalter ausgerüsteten Bo'Bo'-Lokomotiven Re 4/4 161 und 162 (anfänglich als Ae 4/4 II 261 und 262 bezeichnet) in Betrieb (Fig. 1 und 2). Diese beiden Triebfahrzeuge mit einem Reibungs- und Dienstgewicht von 80 t und einer Stundenleistung von 4580 kW = 6240 PS bei einer Geschwindigkeit von 75 km/h (später konnte diese Leistung durch den Ersatz des Transformators und Erhöhung der Motor-Nennspannung auf 4980 kW = 6780 PS bei 77,6 km/h erhöht werden) sollten mindestens das Zugförderungsprogramm von bisherigen Co'Co'-Direktmotor-Lokomotiven mit einem Adhäsions- und Dienstgewicht von 120 t erfüllen können. Für die Beharrungsfahrt auf einer Steigung von 27 ‰ musste dabei der Reibwert von rund 0,19 auf ca. 0,28, d. h. um fast 50 %, erhöht werden. Ob dies zulässig und möglich war, konnte nur die praktische Erprobung über eine längere Zeit bestätigen.

Auf Grund der positiven Erfahrungen wurden von 1967 bis 1973 insgesamt 18 weitere solche Lokomotiven (Nr. 163–180) beschafft. Mit diesen Triebfahrzeugen werden bei allen Witterungsbedingungen Züge von 610 t Anhängelast auf 27 ‰ Steigung mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h befördert. Es ist vorgesehen, diese Anhängelast auf 630 t zu erhöhen. Die grössere Adhäsionsausnützung gegenüber den klassischen Wechselstrom-Lokomotiven mit Direktmotoren wurde durch verschiedene Massnahmen im mechanischen und elektrischen Teil ermöglicht. Es sind dies ein optimaler Achslastausgleich und die Anpassung der Triebmotordrehmomente im jeweils vorlaufenden und nachlaufenden Drehgestell an die sich bei der Zugkraftausübung ergebenden tatsächlichen Achslasten. Ganz besonders sind aber die flachen Geschwindigkeits-Zugkraft-Charakteristiken der Traktionsmotoren zu erwähnen, wofür der Wellenstrom-Seriemotor mit angepasstem Transformator gute Voraussetzungen bietet.

Im Jahre 1968 wurde die erste Diodengleichrichter-Lokomotive Re 4/4 161 versuchsweise in ein Thyristor-Triebfahrzeug mit Anschnittsteuerung umgebaut, wofür der bisherige Transformator mit Hochspannungsstufenschalter und die Diodengleichrichteranlage durch einen neuen Transformator mit festem Übersetzungsverhältnis und eine luftgekühlte Thyristor-Stromrichteranlage ersetzt wurden. Der damalige Stand der Halbleitertechnik gestattete mit Rücksicht auf die Gewichts- und Raumverhältnisse lediglich eine zweistufige Schaltung gemäss Fig. 3. Die beiden Triebmotoren jedes Drehgestells wurden durch je 2 Transformator-Sekundärwicklungen und 2 unsymmetrische und halbgesteuerte Stromrichterbrücken in Folgeschaltung gesteuert, so dass sich die Motorspannungen kontinuierlich und wiederum drehgestellweise angepasst auf ihren vollen Wert von rund 1000 V aufsteuern liessen.

Die Erprobung der Lokomotive bestätigte in traktionstechnischer Hinsicht die erwarteten Vorteile wie stufenlose und kontaktfreie Steuerung, noch flachere Geschwindigkeits-Zugkraft-Charakteristiken wegen des einfacheren und nur noch geringe Spannungsabfälle aufweisenden Transformators und die ideale Anpassbarkeit der Triebmotorspannungen und -drehmomente an die unterschiedlichen Achslasten im jeweils vor- und nachlaufenden Drehgestell. Wären von den Triebmotoren her keine Grenzen gesetzt, so könnten im Vergleich zu den Diodengleichrichter-Lokomotiven die Zugkraft und die Leistung nochmals gesteigert werden.

Es zeigte sich aber auch, dass die durch die Anschnittsteuerung erzeugten Stromoberwellen stärker als erwartet waren und einen Teil der mit 125 Hz überwachten Sicherungsanlagen sowie die älteren Bleimantelkabel mit den daran angeschlossenen Fernmeldeeinrichtungen unzulässig stark beeinflussten und störten. In den mit 125 Hz betriebenen Gleisstromkreisen (Streckenblockeinrichtungen) wirkten sich besonders die benachbarten Stromoberwellen der ungeraden Harmonischen 7. und 9. Ordnung störend aus.

Bei der BLS selbst wurden lediglich die Sicherungsanlagen von drei Stationen mit einschienig isolierten Gleisstromkreisen gestört. Durch den Einbau von Filtern konnten diese Anlagen mit einem relativ kleinen Aufwand unempfindlich gemacht werden. Da der Ersatz der noch aus der Bauzeit der Bahn (1913) stammenden Fernmeldekabel ohnehin vorgesehen war, erwies sich die Feststellung der von der Thyristor-Lokomotive Re 4/4 161 in ihrer damaligen Ausführung ver-

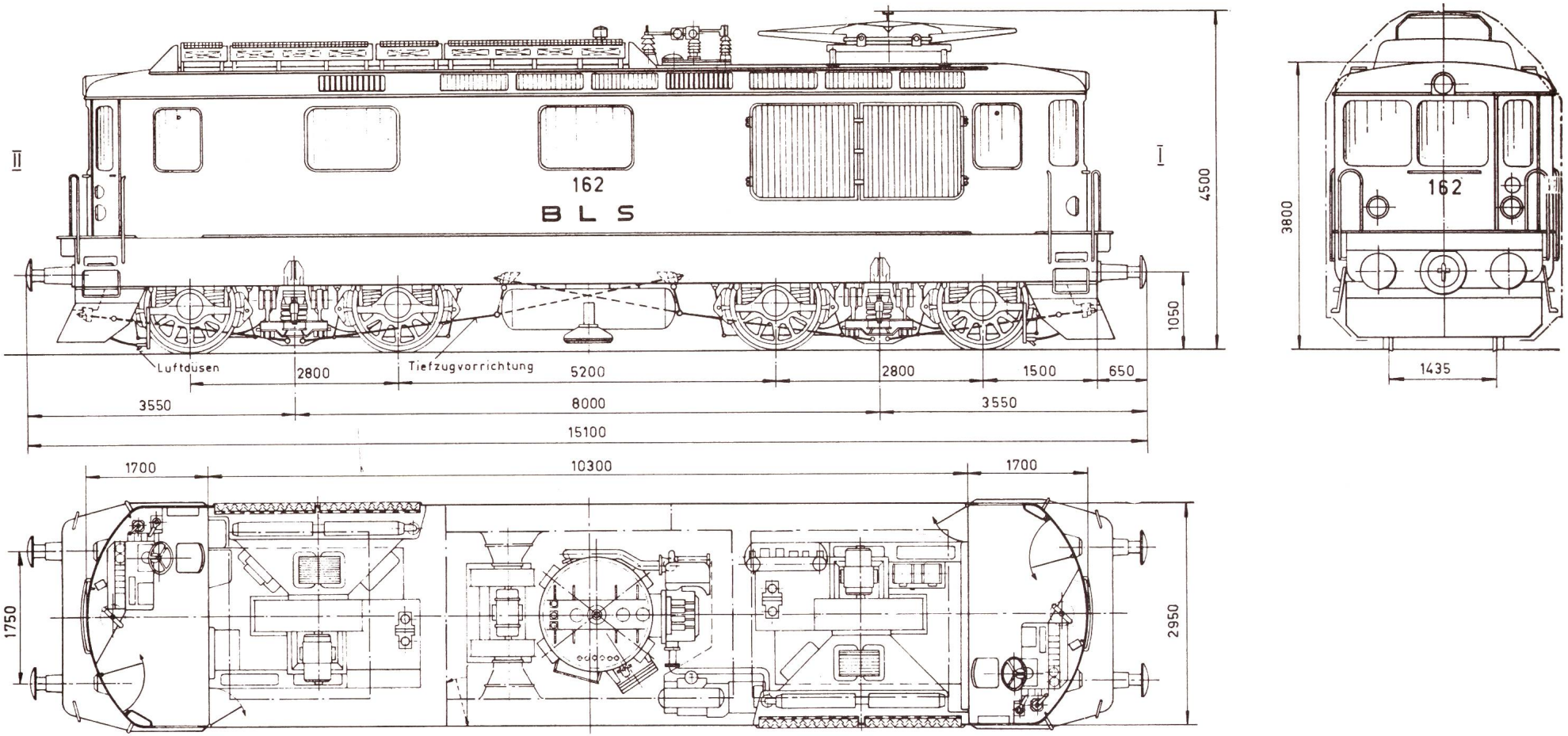

Fig. 1
Dioden-Gleichrichter-Lokomotive BLS Re 4/4 162-173

Treibraddurchmesser	1250 mm	Stundenzugkraft am Rad	bei v = 77,6 km/h, 678 PS
Antrieb-Übersetzung	1 : 3,346	Max. Anfahrzugkraft	32 t
Anzahl Triebmotoren	4	Höchstgeschwindigkeit	125/140 km/h
Dienstgewicht	80 t	Siliziumgleichrichter BBC	
Achsdruck	20 t	Hochspannungssteuerung BBC, 32 Fahrstufen	
Stundenzugkraft am Rad	bei v = 77,6 km/h, 23,6 t	Elektrische Widerstandsbremse	

ursachten Störungen in dieser entscheidenden Phase als ausgesprochener Glücksfall, indem auf Grund der gewonnenen Erkenntnisse nunmehr die Ersatzkabel in einer neuen Ausführung beschafft werden konnten, die gegenüber den Oberwellen praktisch unempfindlich sind.

Die umfangreichen Versuchsfahrten (Fig. 4), Messungen und Berechnungen ergaben Schaltungen und Massnahmen, mit denen sich die Erzeugung der Oberwellen auf den Triebfahrzeugen selbst wesentlich herabsetzen lässt. Bekanntlich entstehen Oberwellen immer dann, wenn der Verlauf des Primärstromes von der Sinusform abweicht und wie bei den Leistungsstromrichtern eine Trapez- oder Treppenform annimmt. Die Form der Stromkurve und das Mass der Abweichung von der reinen Sinuslinie hängt von verschiedenen Faktoren (elektrische Eigenschaften des Laststromkreises, Anschnittsleistung usw.) ab. Auch die bei ausländischen Bahnen gemachten Erfahrungen zeigten, dass die Anschnittsleistung nicht grösser als rund 1500...2000 kW sein sollte. Ferner wurde festgestellt, dass in einzelnen Fällen auch Oberwellen entstehen, wenn Lokomotivtransformatoren ohne Phasenanschnitt an die volle Fahrdrahtspannung zu- oder abgeschaltet werden. Dieser seit den ersten Bahnelektrifikationen vorhandene Effekt blieb bis heute ohne besondere Beachtung wie auch die Tatsache, dass stark gesättigte Lokomotiv- und Unterwerktransformatoren Oberwellen erzeugen.

In Zusammenarbeit mit den SBB und der PTT sowie der Lieferfirma BBC wurde die Thyristor-Lokomotive Re 4/4 161 im Winter 1971/72 von der zweistufigen auf eine 8stufige Schaltung umgebaut. Obwohl diese Schaltung einen grösseren Aufwand an Halbleiterelementen bedingt, ermöglichte die in der Zwischenzeit erfolgte technische Weiterentwicklung die Unterbringung dieser Elemente im vorhandenen Volumen und praktisch ohne jegliche Gewichtsvermehrung (Fig. 5). Verglichen mit 1968 können die Dioden und Thyristoren heute sowohl spannungs- als auch strommässig doppelt so stark beansprucht werden, während ihr Preis auf die Hälfte gefallen ist.

Die Schaltung der Stromrichteranlage der Lokomotive Re 4/4 161 wurde derart aufgebaut, dass die volle Triebmotorspannung wahlweise in 2, 4 oder 8 Stufen aufgesteuert werden kann (Fig. 6, 7). Damit wurde die Möglichkeit geschaffen, unter genau gleichen Voraussetzungen in bezug auf das Triebfahrzeug die Unterschiede im Oberwellengehalt des Primärstroms (bezüglich Amplituden und Frequenzspektrum) und im Blindstrombedarf (Leistungsfaktor) zu bestimmen. Tabelle I und die dargestellten Kurven (Fig. 8...11) zeigen die Vergleichswerte für die unter genau gleichen Verhältnissen durchgeführten Messfahrten bei je einem Beschleunigungsvorgang vom Stillstand auf die volle Triebmotorspannung und Leistung, wobei selbstverständlich immer der gleiche Streckenabschnitt befahren wurde.

Es fällt deutlich auf, dass mit der verkleinerten angeschnittenen Leistung, d. h. mit vergrösserter Stufenzahl der Stromrichter, der Oberwellenanteil des Primär- bzw. Netzstroms sowohl in der Amplitude als auch im Frequenzspektrum verkleinert wird. Gleichzeitig wird der Leistungsfaktor stark verbessert, d. h. die Blindstromaufnahme abgebaut. Die Thyristor-Lokomotive Re 4/4 161 in 8stufiger Schaltung hat praktisch keinen grösseren Oberwellenanteil als die amplitudengesteuerten Diodengleichrichter-Lokomotiven Re 4/4 162 u. f. Im weitern werden die Beeinflussungen der Gleis-

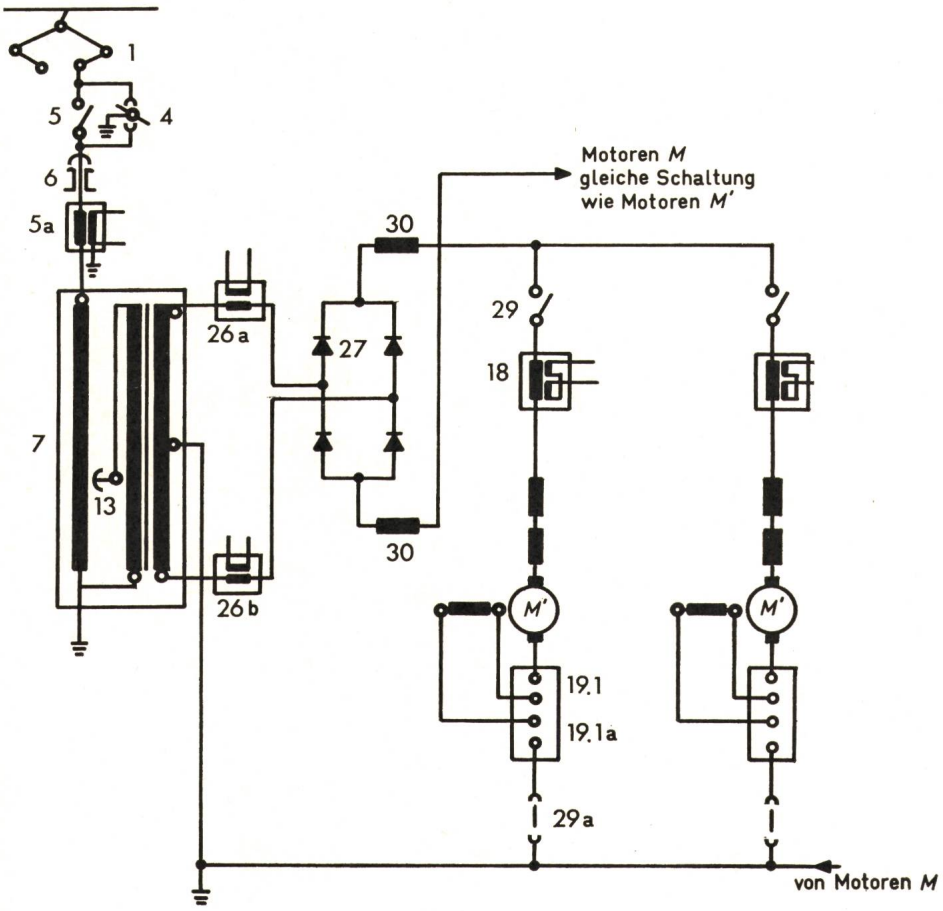

Fig. 2
Prinzipschaltbild der Diodengleichrichter-Lokomotive Re 4/4 162-18o

1	Stromabnehmer
4	Erdungsschalter
5	Drucklufthauptschalter
5a	Hauptstromwandler
6	Hochspannungseinführung
7	Stufentransformator
13	Hochspannungs-Stufenschalter
18	Gleichstromwandler für Triebmotorschutz
19.1	Wendeschalter
19.1a	Fahr-/Bremsumschalter
20	Triebmotor
26a, b	Stromwandler für Gleichrichterschutz
27	Traktionsgleichrichter
29	Trennschütze
29a	Trennmesser
30	Glättungsdrosselspule
M	Motoren 3 und 4
M'	Motoren 1 und 2

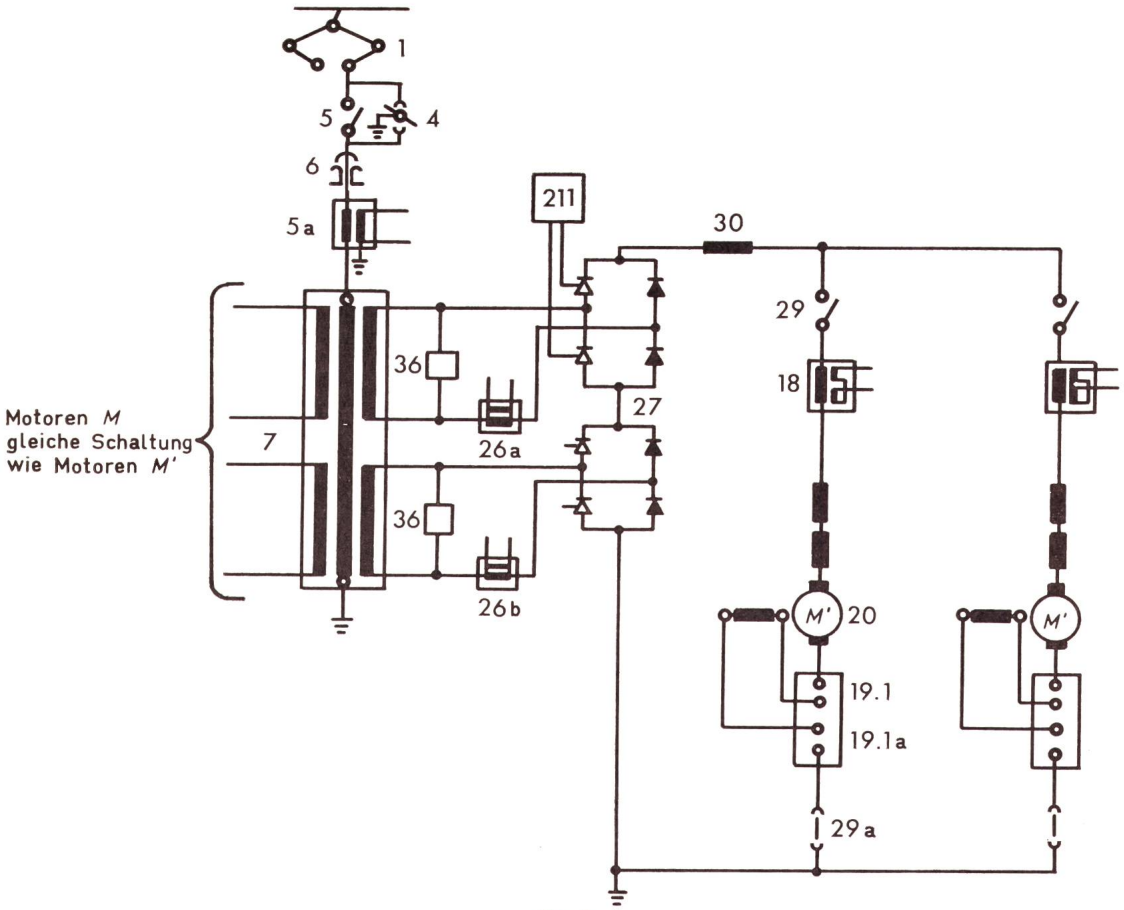

Fig. 3
Prinzipschaltbild der Thyristor-Lokomotive Re 4/4 161
(ursprüngliche Ausführung, 2stufig)

1	Stromabnehmer	20	Triebmotor
4	Erdungsschalter	26a, b	Stromwandler für Stromrichterschutz
5	Drucklufthauptschalter		
5a	Hauptstromwandler	27	Traktionsstromrichter
6	Hochspannungseinführung	29	Trennschütze
18	Gleichstromwandler für Triebmotorschutz	29a	Trennmesser
		30	Glättungsdrossel
19.1	Wendeschalter	36	Überspannungsschutz
19.1a	Fahr-/Bremsumschalter	211	Steuer- und Regelsatz

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 2

Zusammenstellung der Werte des Leistungsfaktors im Fahrleitungs-Netz, der Vergleichswerte der Störspannung am Gleis und der psophometrisch bewerteten Störströme im Fahrleitungs-Netz

Für je eine genau gleich ausgeführte Beschleunigungsfahrt mit 1250 A Motorstrom (1-h-Wert) vom Stillstand bis zur vollen Leistung der Thyristorlokomotive Re 4/4 161 in 2, 4- und 8-stufiger Schaltung sowie als Vergleich mit einer Diodenlokomotive (Zusammenstellung der registrierten Maximalwerte gemäss den Kurven 8...11)

Tabelle I

	Re 4/4 Thyristorlokomotive						Dioden-lokomotive
	2-stufig		4-stufig		8-stufig		
Max. Leistung der Lokomotive	½	voll	½	voll	½	voll	voll
Max. Fahrleitungsstrom I_F (Fahrleitungsspannung U_F 15,8...16 kV)	260 A	530 A	260 A	530 A	260 A	530 A	510 A
Leistungsfaktor λ	0...0,83	0,65...0,82	0...0,82	0,76...0,82	0...0,86	0,8...0,82	0,76
Störspannung am Gleis (Ausgangssignal am Integra-Filter)	60 %	90 %	55 %	78 %	50 %	72 %	47 %
Psophometrisch bewerteter Fahrleitungsstrom I_p	6,5 A	9 A	4 A	4 A	2,2 A	3,5 A	3,3 A
Werte anlässlich der Messfahrten bei der DB+ÖBB 1969/70		6,8...7 A[1])					
Messwerte an Fernmeldekabel							
Gemessene Längsspannung U_{Lp} bei BLS Millivolt pro km und pro A Störstrom							
Bleimantelkabel mit CF Armierung	. . . . .			15...25 mV			
Aluminiummantelkabel mit CF Armierung	. . . . .			5...6 mV			

[1]) bei 14...15 kV Fahrdrahtspannung

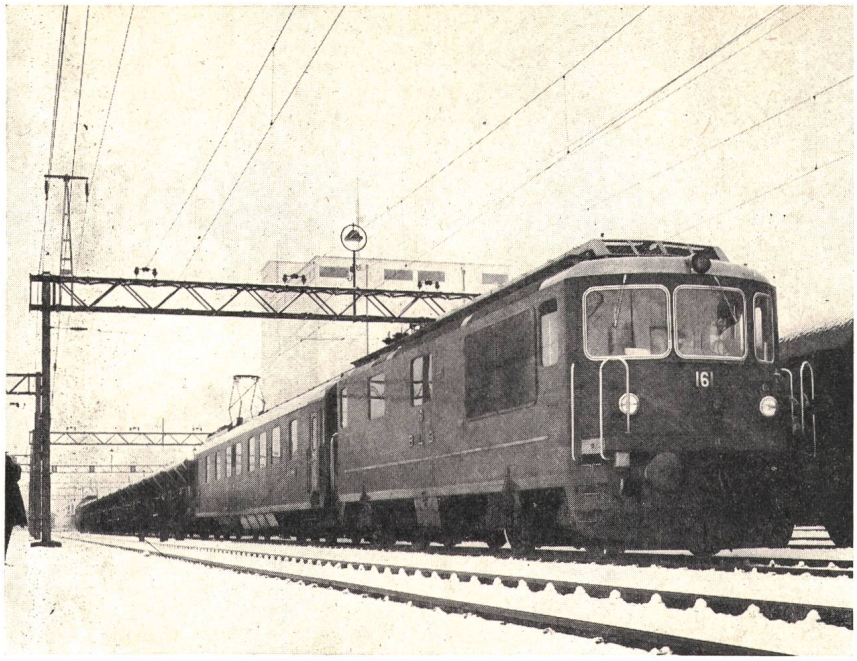

Fig. 4
Lokomotvie Re 4/4 161 zusammen mit Messwagen bei einer Versuchsfahrt mit einer Anhängelast von 670 t

stromkreise und der Fernmeldeanlagen ganz beträchtlich vermindert. Einen wesentlichen Anteil für die Reduktion der Oberwellen oberhalb ca. 300 Hz hat dabei auch die Kommutierungsdrosselspule (Pos. 15.3, in Fig. 6), mit der die Transformator-Streuinduktivität im Aufsteuerbereich derart beeinflusst werden kann, dass sich eine günstigere und weniger Oberwellen erzeugende Form des Netzstromes ergibt. Die nur 240 kg schwere Drosselspule setzt die Steilheit des Stromanstiegs im Phasenanschnitt herab. Für die 4stufige Schaltung ist gegenüber der hier vorliegenden Ausführung noch eine weitere Optimierung der Kommutierungsdrosselspule möglich.

Auf der SBB-Strecke Bern–Thun wurden die nur einschienig isolierten und mit 125 Hz gespeisten Gleisstromkreise ebenfalls gestört. Die über 100 m langen Isolierabschnitte wurden wie bereits früher auf der BLS-Strecke ebenfalls mit Filtern ausgerüstet. Seit dem 18. 9. 1972 kann nun die Thyristor-Lokomotive Re 4/4 161 fahrplanmässig zwischen Brig und Bern eingesetzt werden. Weitere Messungen auf dem Netz der SBB sind für 1973 vorgesehen.

Zusammenfassung

Bei der herkömmlichen Wechselstrom-Lokomotive mit Direktmotoren wird deren Spannung und damit die Zugkraft und Geschwindigkeit durch Verwendung der Amplitudensteuerung stufenweise geregelt. Zugkraftsprünge sind beim Übergang von einer Fahrstufe auf die nächste unvermeidlich. Das Drehmoment der Triebmotoren pulsiert mit der doppelten Netzfrequenz. Die Geschwindigkeits-Zugkraft-Charakteristiken der Motoren und somit des Triebfahrzeugs sind relativ steil. Alle diese Faktoren beschränken die Ausnützung der Reibwerte zwischen Rad und Schiene.

Auf der Thyristor-Lokomotive dagegen ist die Regelung der Triebmotorspannung und folglich der Zugkraft und der Geschwindigkeit vollkommen stufen- und kontaktlos. Die Traktionsmotoren werden mit gleichstromähnlichem Wellenstrom gespeist. Die Pulsationen des Drehmomentes und der induktive Spannungsabfall in den Motoren entfallen weitgehend. Wellenstrommotoren sind bedeutend unempfindlicher, kleiner und leichter als direkt gespeiste Wechselstrommotoren. Gegenüber diesen fällt die Adhäsionsausnützung um 30 bis 40 % grösser aus, besonders weil auch die Geschwindigkeits-Zugkraft-Kurven sehr flach ausgelegt werden können. Die praktisch pulsationsfreien Drehmomente sowie die kleineren Motor- und Drehgestellgewichte ergeben auch geringere und übersichtlichere Beanspruchungen der Achsantriebe. Im weitern werden die Voraussetzungen für verbesserte Laufeigenschaften der Lokomotive und für die Verminderung des Verschleisses an den Gleis- und Weichenanlagen günstiger. Thyristorgesteuerte Lokomotiven benötigen im Vergleich mit den konventionellen Wechselstromlokomotiven mit Direktmotoren weniger Aufwendungen für den Unterhalt. Der Steuerung grösster Leistungen, wie sie von Triebfahrzeugen für Gebirgs- und Schnellverkehrsstrecken immer mehr verlangt werden, ist praktisch keine Grenze mehr gesetzt. Die Optimierung einer Universallokomotive für grosse Zugkräfte

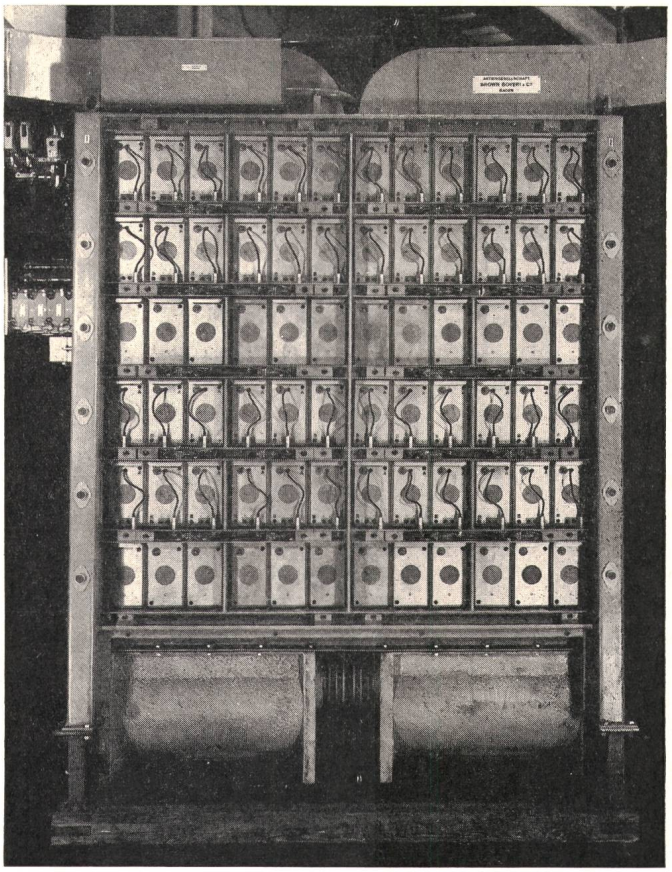

Fig. 5
Frontansicht einer der beiden Stromrichterblöcke der Lok. Re 4/4 161
(Zustand 1972)

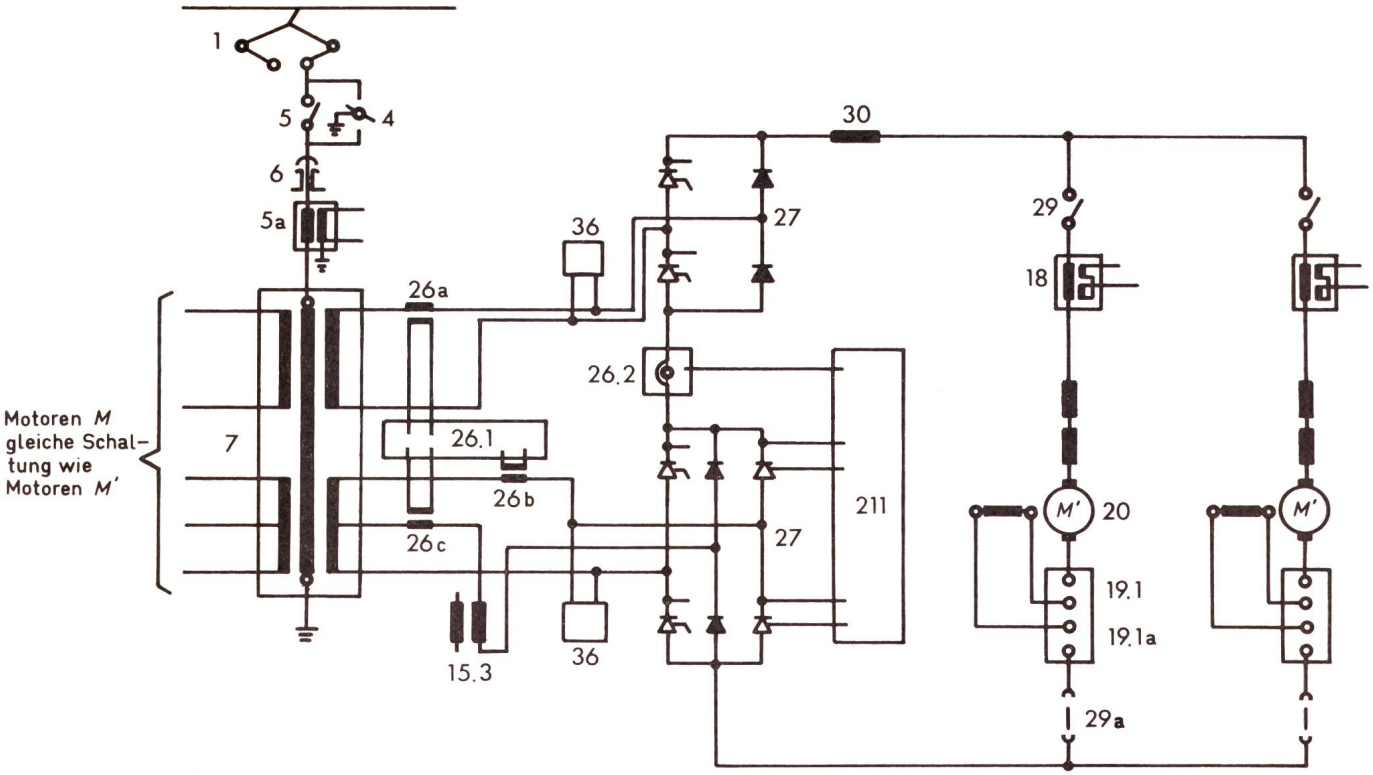

Fig. 6
Prinzipschaltbild der umgeänderten Lokomotive Re 4/4 161 mit 4stufiger Stromrichterschaltung

1	Stromabnehmer	26a–c	Stromwandler für Stromrichterschutz
4	Erdungsschalter	26.1	Wandler-Zusatzgerät
5	Drucklufthauptschalter	26.2	Strom-Istwertgeber
5a	Hauptstromwandler	27	Traktionsstromrichter
6	Hochspannungseinführung	29	Trennschütze
7	Haupttransformator	29a	Trennmesser
15.3	Kommutierungsdrossel	30	Glättungsdrossel
18	Gleichstromwandler für Triebmotorschutz	36	Überspannungsschutz
		211	Steuer- und Regelsatz
19.1	Wendeschalter	*M*	Motoren 3 und 4
19.1a	Fahr-/Bremsumschalter	*M'*	Motoren 1 und 2
20	Triebmotor		

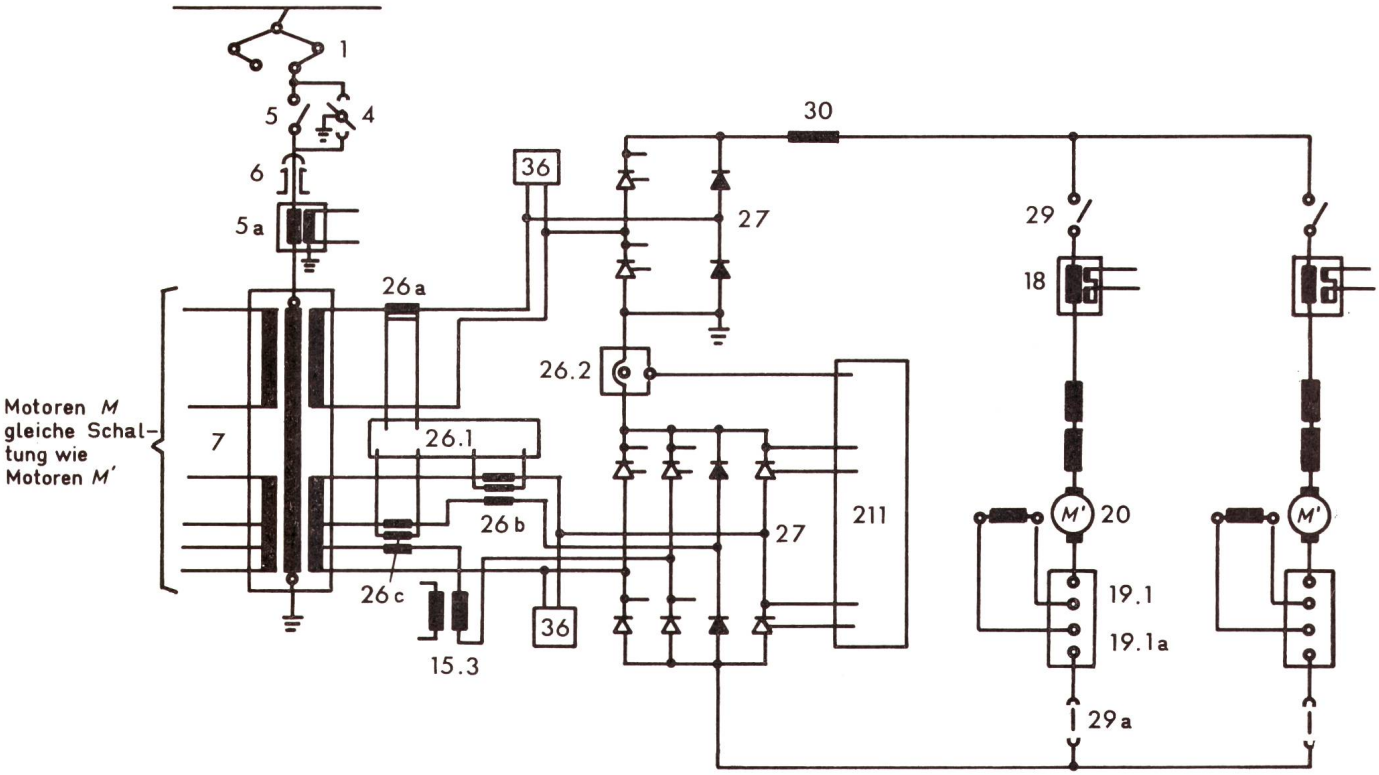

Fig. 7
Prinzipschaltbild der umgeänderten Lokomotive Re 4/4 161 mit 8stufiger Stromrichterschaltung
Bezeichnungen siehe Fig. 6

über einen weiten Geschwindigkeitsbereich *und* für hohe Maximalgeschwindigkeiten lässt sich nach unseren Erfahrungen zurzeit nur mit Wellenstrommotoren und Thyristor-Stromrichtern erreichen. Mit dieser neuen Technik lässt sich die Wirtschaftlichkeit der Zugförderung wesentlich steigern. Damit die Unterhaltsansprüche auf ein Minimum herabgesetzt werden können und sich jegliche Beeinträchtigung der Betriebssicherheit durch Einwirkung von Staub, Schmutz und Feuchtigkeit vermeiden lässt, müssen unseres Erachtens die kompletten Stromrichter in Ölkessel eingebaut und mit dem Lokomotivtransformator zusammen in einem gemeinsamen Ölkreislauf gekühlt werden, was die Hilfsbetriebsstromkreise durch den Wegfall einer Ventilationsgruppe weiter vereinfacht.

Unsere Erfahrungen zeigen, dass sich die Probleme der Oberwellen und des Leistungsfaktors auch bei sehr leistungsstarken Thyristor-Lokomotiven durch mehrstufige Stromrichterschaltungen beherrschen lassen. Gewisse Anpassungen an einen Teil der älteren Sicherungs- und Fernmeldeanlagen sind unvermeidlich, doch hätten sich diese nach unserer Meinung auch bei einer weiteren Leistungssteigerung der Zugförderung mit klassischen Wechselstrom-Lokomotiven mit Direktmotoren aufgedrängt.

Rückblick

Die Entwicklung und Erprobung der ersten schweizerischen Thyristor-Hochleistungslokomotive dauerte mehr als 7 Jahre und brachte viele vorher unbekannte Probleme mit sich. Dabei boten die Messungen besondere Schwierigkeiten, da die geeigneten Geräte für die exakte und aussagekräftige Bestimmung der Oberwellen anfänglich nicht zur Verfügung standen. Die Erprobung war auch deshalb kostspielig, weil die Lokomotive für den fahrplanmässigen Einsatz zwischen Thun und Bern so lange nicht freigegeben werden konnte und somit nicht freizügig verwendbar war. Es liess sich nicht vermeiden, dass bei der Lösung der umfangreichen und komplexen Probleme die verschiedenen Dienststellen der BLS zeitweilig über ihre Möglichkeiten hinaus beansprucht wurden. Im Interesse der Förderung des technischen Fortschrittes bei den Eisenbahnen und den einschlägigen Industriefirmen war die naturgemäss aufwendige Durchführung der Versuche aber notwendig. Heute freuen wir uns am guten Ende und gedenken in grosser Dankbarkeit der wenigen Freunde, die uns immer mit tatkräftiger Hilfe und Unterstützung zugetan waren. Die Thyristor-Lokomotive Re 4/4 161 der BLS war für Versuchs- und Messfahrten sowie für die betriebsmässige Erprobung auch im Ausland eingesetzt, und zwar bei der Deutschen Bundesbahn sowie bei den Österreichischen Bundesbahnen. Sie stellte auch dort ihre überlegene Zugkraft und Leistungsfähigkeit eindrücklich unter Beweis. Die BLS stellte sämtliche Erkenntnisse und Ergebnisse allen interessierten Instanzen und Unternehmungen zur Verfügung.

Ausblick

Es besteht kein Zweifel, dass die seit geraumer Zeit geradezu stürmisch verlaufende technische Entwicklung auf dem Gebiete der elektrischen Triebfahrzeuge anhält. Die unaufhaltsame Steigerung des Güterverkehrs und die sich deutlich abzeichnende Notwendigkeit, die Geschwindigkeit der Reisezüge erheblich zu steigern, werden noch leistungsfähigere Lokomotiven verlangen, so dass die herkömmlichen Wechselstrom-Direktmotoren und Stufenschalter früher oder später ihre Aufgaben nicht mehr zufriedenstellend erfüllen können. Andererseits wird die ebenfalls rasche Weiterentwicklung der Halbleiterelemente den Bau von leistungsstarken Stromrichteranlagen immer mehr erleichtern und wirtschaftlicher gestalten.

Da der mit Thyristoren bestückte Stromrichter sich nicht nur als steuerbarer Gleichrichter verwenden lässt, sondern auch als Wechselrichter und mit entsprechendem Mehrauf-

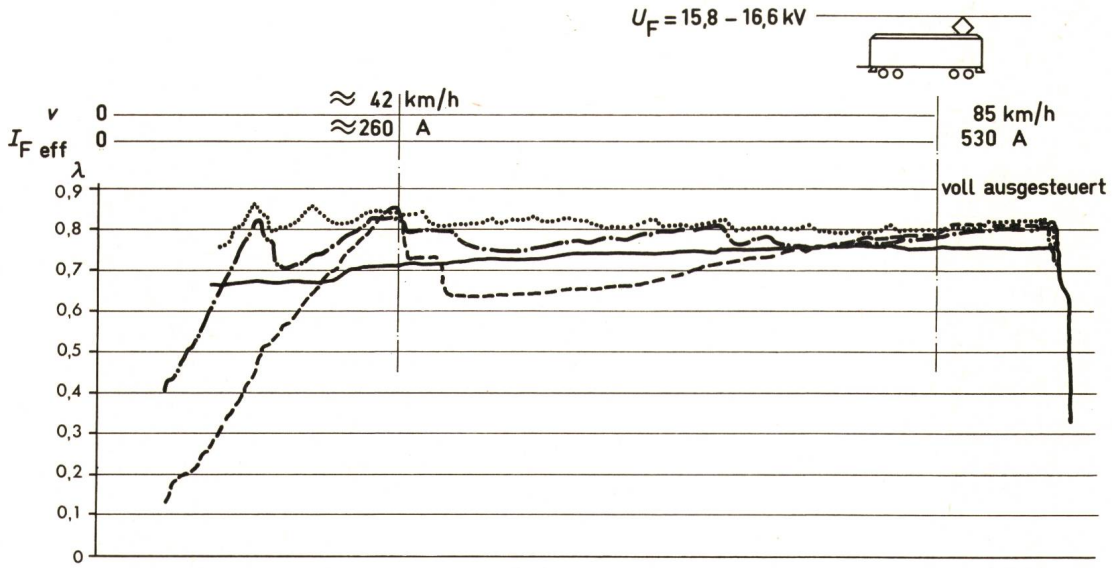

Fig. 8
Leistungsfaktor λ

——— Diodenlokomotive
– – – – – Thyristorlokomotive, 2stufiger Stromrichter
—— · —— Thyristorlokomotive, 4stufiger Stromrichter
..... Thyristorlokomotive, 8stufiger Stromrichter

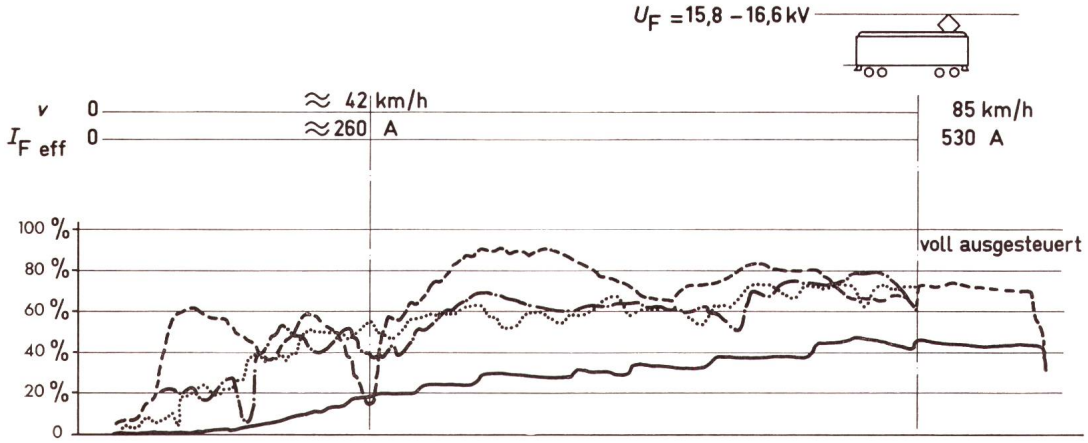

Fig. 9
Ausgangssignal am Integra-Filter
(Spannungswert)
Bezeichnungen siehe Fig. 8

wand an Halbleiterelementen ganz allgemein als Phasen- und Frequenz-Umrichter, rückt die Realisierung der von den Bahnen als Ideallösung herbeigesehnten Wechselstrom-Lokomotive mit kollektorlosen Triebmotoren in Form der unempfindlichen, leichten und praktisch keiner Wartung mehr benötigenden Drehstrom-Kurzschlussankermotoren in greifbare Nähe. Gerade in diesen Tagen finden bei den SBB die ersten Probefahrten einer derartigen Prototyp-Umrichterlokomotive statt. Der Weg von diesem Prototyp zu seriereifen Hochleistungs-Umrichterlokomotiven mit Stundenleistungen von 1250 kW und mehr pro Triebachse wird vermutlich noch weit sein und viel Zeit erfordern. Neben der technischen Realisierbarkeit müssen auch noch preislich vertretbare Herstellungskosten erzielt werden.

Mit Thyristor-Stromrichter-Lokomotiven kann aber bereits heute dem wachsenden Bedürfnis der Bahnverwaltungen nach leistungsfähigeren und wirtschaftlichen Triebfahrzeugen voll Rechnung getragen werden. Dass es gelungen ist, mit der Lokomotive Re 4/4 161 einen entscheidenden Beitrag zur Schaffung dieser Art von Triebfahrzeugen und damit zur Lösung der künftigen Traktionsaufgaben der Eisenbahnen zu leisten, erfüllt die BLS und die massgebenden Industriefirmen mit Freude und Genugtuung.

Bemerkungen zu den Messresultaten
(Fig. 7...11)

Die Ermittlung der Netzstromoberwellen erfolgte durch Auswertung von Magnetbandaufnahmen. Die Störströme wurden durch zwei parallelgeschaltete Psophometer über Schreiber registriert, wobei ein Instrument der PTT und das andere der Camille Bauer AG gehörte. Über einen separaten Mess-Stromkreis registrierte ein Instrument der Integra AG auch den Wert des Ausgangssignals (Spannungswert) nach dem Filter.

Während der Messfahrten wurden die von den Führerstandinstrumenten angezeigten Grössen der Fahrdrahtspannung, des Fahrleitungsstroms, des Triebmotorstroms und der Geschwindigkeit alle 15 s abgelesen und auf das Magnetband eingesprochen. Während aller Beschleunigungsfahrten betrug der Motorstrom durchgehend 1250 A und entsprach damit dem früheren Stunden-

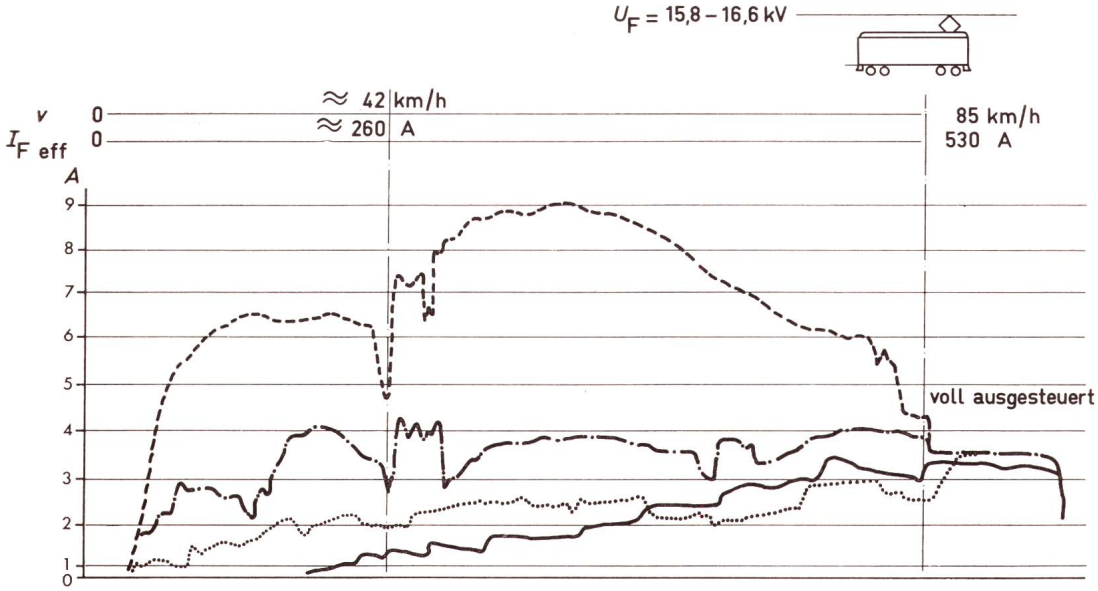

Fig. 10
Psophometrisch bewerteter Fahrleitungsstrom
Bezeichnungen siehe Fig. 8

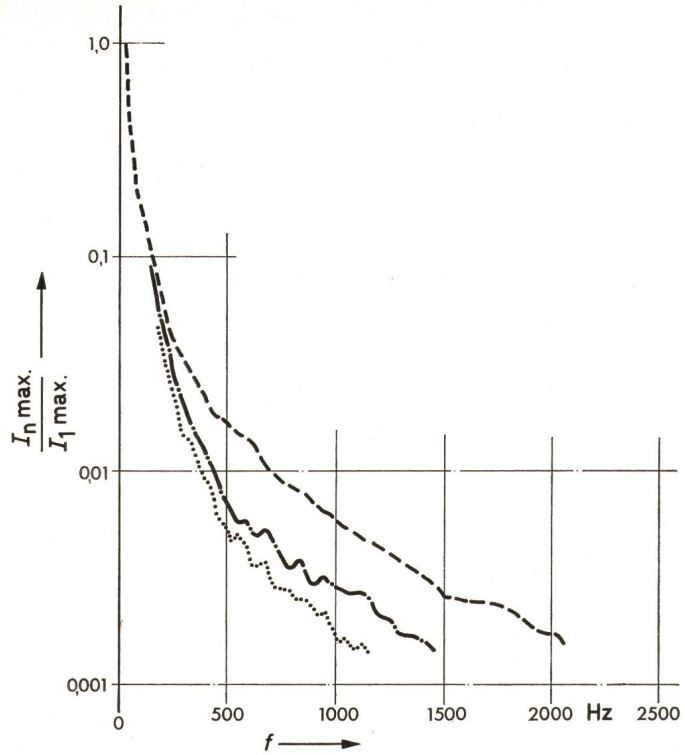

Fig. 11
Maximalwerte der Oberwellenamplituden im Fahrleitungsstrom
(Frequenzspektrum)

$\frac{I_{n\,max}}{I_{1\,max}}$ Amplitudenwert im Verhältnis zur Grundfrequenz von $16^2/_3$ Hz

f Frequenz Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 8

bzw. dem nunmehr zulässigen Dauerbetrieb. Die Gleichstromwelligkeit machte im Maximum 50 % aus, ist aber bei niedriger Geschwindigkeit bedeutend kleiner.

Die Messungen zeigten, dass besonders die vierstufige Stromrichterschaltung gegenüber der zweistufigen eine eindrückliche Verminderung der Oberwellen bewirkt, und zwar sowohl bezüglich der Amplituden als auch bezüglich der Frequenzen. Gleichzeitig wird der Leistungsfaktor erheblich verbessert.

Alle Messungen wurden bei relativ hoher Fahrdrahtspannung aufgenommen. Die Störspannungen in den Gleisstromkreisen und die sich auf die Fernmeldekabel auswirkenden Störströme ändern sich praktisch um den gleichen Prozentsatz wie die Fahrdrahtspannung.

Bei Doppeltraktion mit der Thyristor-Lokomotive Re 4/4 161 und einer ungefähr gleich leistungsfähigen Lokomotive mit Diodengleichrichter (Nr. 162 u. f.) erreichte der Fahrleitungsstrom ca. 980 A. Die vierstufige Stromrichterschaltung ergab einen bewerteten Störstrom, der rund 10 % höher lag.

Die Messfahrten zeigten auch, dass der Schaltzustand der Fahrleitung – Speisung im Insel- und im Verbundbetrieb – den Störstrom praktisch nicht beeinflusst. Dieser ist sowohl auf der Lokomotive als auch im Fahrleitungsnetz so gut wie gleich. Die Beeinflussungen der Fernmeldekabel folgen dem Störstrom im Netz. Nach Aussagen der PTT werden für Kabel mit gutem Reduktionsfaktor bewertete Störströme von 3,5...4 A als zulässig erachtet.

Die Störspannungen an einschienig isolierten Gleichstromkreisen sind dagegen vom Schaltzustand der Fahrleitung abhängig. Zweischienig isolierte Stromkreise werden weniger beeinflusst als solche mit einschieniger Isolierung. Weisen die Abschnitte der einschienig isolierten Gleisstromkreise Längen unter 100 m auf, so kann auf Grund der Messergebnisse auch bei der Speisung mit 125 Hz normalerweise auf den Einbau eines Filters verzichtet werden. Die mit Gleichstrom gespeisten Stromkreise für die Überwachung von Gleisabschnitten werden nicht gestört.

Adresse des Autors:
W. Grossmann, Obermaschineningenieur der Berner Alpenbahn-Gesellschaft Bern–Lötschberg–Simplon, Postfach, 3001 Bern.