

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 91 (1973)  
**Heft:** 14: Schweizer Mustermesse Basel, 7. bis 17. April 1973

**Artikel:** Die Thyristor-Stromrichter-Lokomotive Re4/4 161 der Berner Alpenbahn-Gesellschaft Bern-Lötschberg-Simplon (BLS)  
**Autor:** Grossmann, Walter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-71839>

### **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:** 17.04.2026

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

## Aufruf zur Schweizer Mustermesse 1973



Zum 57. Mal öffnet die Schweizer Mustermesse Basel vom 7. bis 17. April 1973 ihre Tore, um vielen Tausend Besuchern aus aller Welt ein buntes Bild einheimischen Schaffens zu präsentieren. Gleichzeitig bietet sie den Interessenten im In- und Ausland die ausgezeichnete Möglichkeit, dass sich in verschiedenen Fachgruppen die Aussteller schweizerischer Produkte mit ihren ausländischen Konkurrenten messen können. Dies trifft insbesondere für die traditionelle Schweizer Uhrenmesse zu, welche nunmehr zur Europäischen Uhren- und Bijouteriemesse erweitert wurde. Aber auch in anderen Gebieten bietet die Mustermesse entweder in nationaler oder sogar in internationaler Sicht einen Treffpunkt der Wirtschaft, wo Produktion, Handel und Konsum in ihrer engsten Verpflichtung in Erscheinung treten. Ausserdem hat sie auch dieses Jahr wieder instruktive und attraktive Sonderschauen aufzuweisen.

Ich hoffe, die Schweizer Mustermesse leiste in ihrer besonderen Art einen Beitrag einestils zur europäischen Zusammenarbeit und andernteils zur Förderung des Verständnisses für die Lage unseres Landes. Ich heisse darum die Besucher aus dem In- und Ausland herzlich willkommen und entbiete der diesjährigen Mustermesse meine besten Wünsche zu einem vollen Erfolg.

Roger Bonvin, Bundespräsident

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

Von W. Grossmann, Bern

DK 621.335.2

Bei allen Bahnverwaltungen mit starkem Verkehr werden die Traktionsdienste immer wieder vor die Aufgabe gestellt, noch schwerere Züge mit noch 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 zehn Jahren gemachten Fortschritte im Lokomotivbau ermöglichen heute Leistungssteigerungen von 70 bis 80% bei unverändertem Fahrzeuggewicht.

Für derart leistungsfähige Lokomotiven erweisen sich bei mit Einphasen-Wechselstrom  $16\frac{2}{3}$  Hz elektrifizierten Bahnen die direkt mit Wechselstrom gespeisten Triebmotoren als weniger gut geeignet als solche, die mit welligem Gleichstrom betrieben werden. Im weiteren bietet die als sogenannte Amplitudensteuerung bekannte Spannungssteuerung der für stark erhöhte Leistungen bemessenen Triebmotoren mit den herkömmlichen Stufenschaltern zunehmende Schwierigkeiten.

### 1. Mit Wellenstrommotoren und Diodengleichrichtern ausgerüstete Lokomotiven

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 (Bilder 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 Promille musste dabei der Reibwert von rund 0,19 auf etwa 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. Tabelle 1 enthält die Hauptdaten dieser Lokomotive.

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 Promille Steigung mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h

Tabelle 1.

Hauptdaten der Dioden-Gleichrichter-Lokomotive Re 4/4 162 sowie der Thyristor-Stromrichter-Lokomotive Re 4/4 161

|  |                   |
|--|-------------------|
| Spurweite  | 1435 mm           |
| Triebbraddurchmesser   | 1250 mm           |
| Übersetzungsgetriebe   | 1:3,346 (26:87)   |
| Anzahl Fahrmotoren   | 4                 |
| Gewicht des mechanischen Teiles  | 39,7 t            |
| Gewicht des elektrischen Teiles  | 40,3 t            |
| Dienstgewicht  | 80,0 t            |
| Stundenleistung an den Motorwellen bei Fahrt mit max. Feld (86% Erregergrad) | 4980 kW = 6780 PS |
| entsprechende Zugkraft am Radumfang  | 23 600 kg         |
| entsprechende Geschwindigkeit  | 77,6 km/h         |
| Dauerleistung an den Motorwellen bei Fahrt mit max. Feld (86% Erregergrad)   | 4740 kW = 6440 PS |
| entsprechende Zugkraft am Radumfang  | 21 500 kg         |
| entsprechende Geschwindigkeit  | 79,3 km/h         |
| Max. Anfahrzugkraft  | 32 000 kg         |
| Max. Geschwindigkeit   | 140 km/h          |

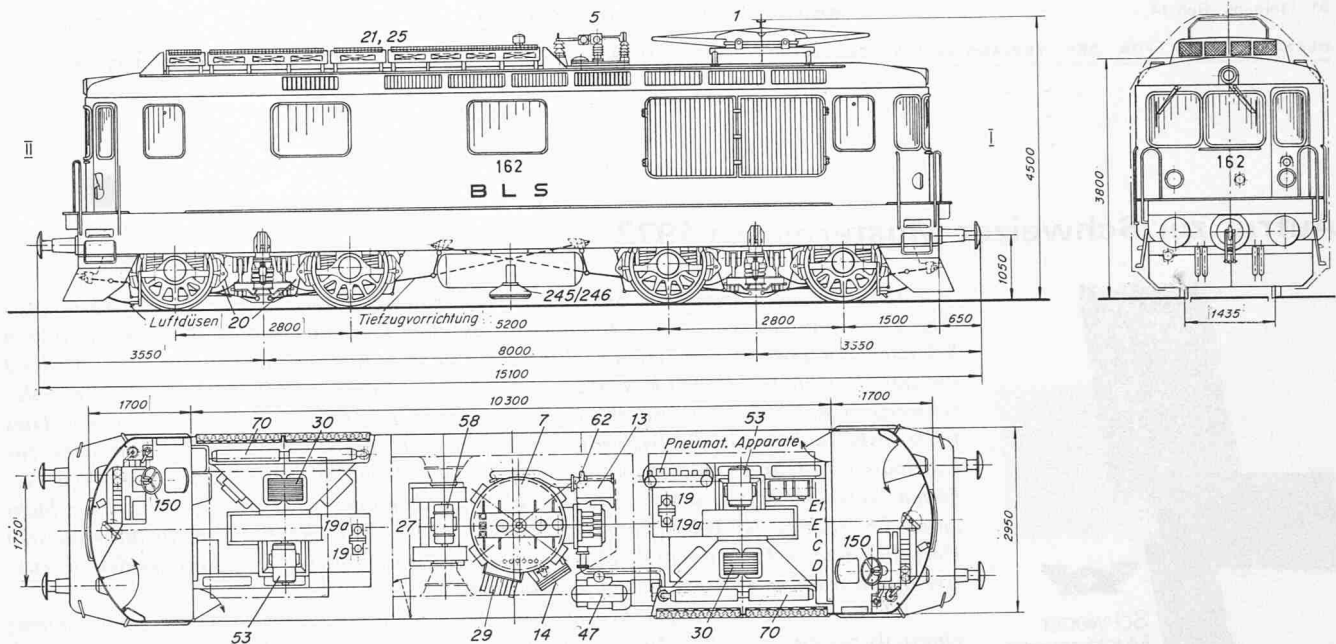
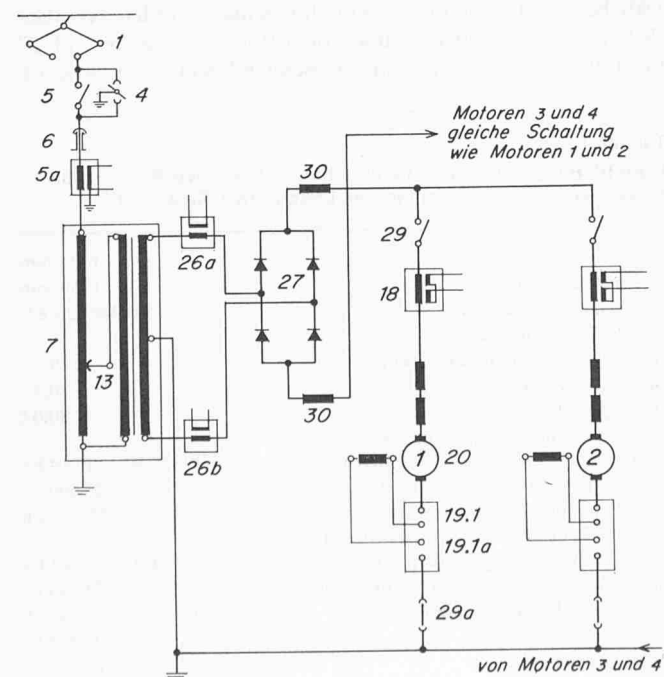


Bild 1. Typenbild der Dioden-Gleichrichter-Lokomotive Re 4/4 162 der Bern-Lötschberg-Simplon-Bahn

|                           |                               |                                      |
|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Stromabnehmer           | 21 Shunts                     | 58 Ventilatormotor für Gleichrichter |
| 5 Druckluft Hauptschalter | 25 Bremswiderstand            | 62 Ölpumpe für Transformator-        |
| 7 Stufentransformator     | 27 Dioden-Gleichrichter       | kühlung                              |
| 13 Stufenschalter         | 29 Motor-Trennschütze         | 70 Ölkühler                          |
| 14 Überschaltwiderstand   | 30 Traktionsdrossel           | 150 Steuerkontroller                 |
| 19 Wendeschalter          | 47 Kompressor                 | 245/246 Zugsicherungsmagnete         |
| 19a Fahr-/Bremsumschalter | 53 Ventilatormotor für Trieb- | C, D, E, E1 Schalttafeln             |
| 20 Triebmotoren           |                               |                                      |

Bild 2. Prinzipschaltbild der Dioden-Gleichrichter-Lokomotive Re 4/4 162

|                                 |                             |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 1 Stromabnehmer                 | 19.1 Wendeschalter          |
| 4 Erdungsschalter               | 19.1a Fahr-/Bremsumschalter |
| 5 Druckluft Hauptschalter       | 20 Triebmotor               |
| 5a Hauptstromwandler            | 26 a,b Stromwandler für     |
| 6 Hochspannungseinführung       | Gleichrichterschutz         |
| 7 Stufentransformator           | 27 Traktionsgleichrichter   |
| 13 Hochspannungs-Stufenschalter | 29 Trennschütze             |
| 18 Gleichstromwandler für       | 29 a Trennmesser            |
| Triebmotorschutz                | 30 Glättungsdrossel         |



befördert. Es ist vorgesehen, diese Anhängelast auf 630 t zu erhöhen. Die grössere Adhäsionsausnutzung gegenüber den klassischen Wechselstrom-Lokomotiven mit Direktmotoren wurde durch verschiedene Massnahmen im mechanischen und im elektrischen Teil ermöglicht. Es sind dies ein optimaler Achslastausgleich und die Anpassung der Triebmotordrehmomente an die jeweils vorlaufenden und nachlaufenden Drehgestelle 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.

## 2. Der Umbau in ein Thyristor-Triebfahrzeug

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 (Bild 3). Der damalige Stand der Halbleitertechnik gestattete mit Rücksicht auf die Gewichts- und Raumverhältnisse lediglich eine zwei-stufige Schaltung gemäss Bild 4. Die beiden Triebmotoren jedes Drehgestells wurden durch je zwei Transformator-Sekundärwicklungen und zwei 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 traktions-technischer Hinsicht die erwarteten Vorteile wie stufenlose und kontaktfreie Steuerung, noch flachere Geschwindigkeits-Zugkraft-Charakteristiken wegen des einfacheren und nur

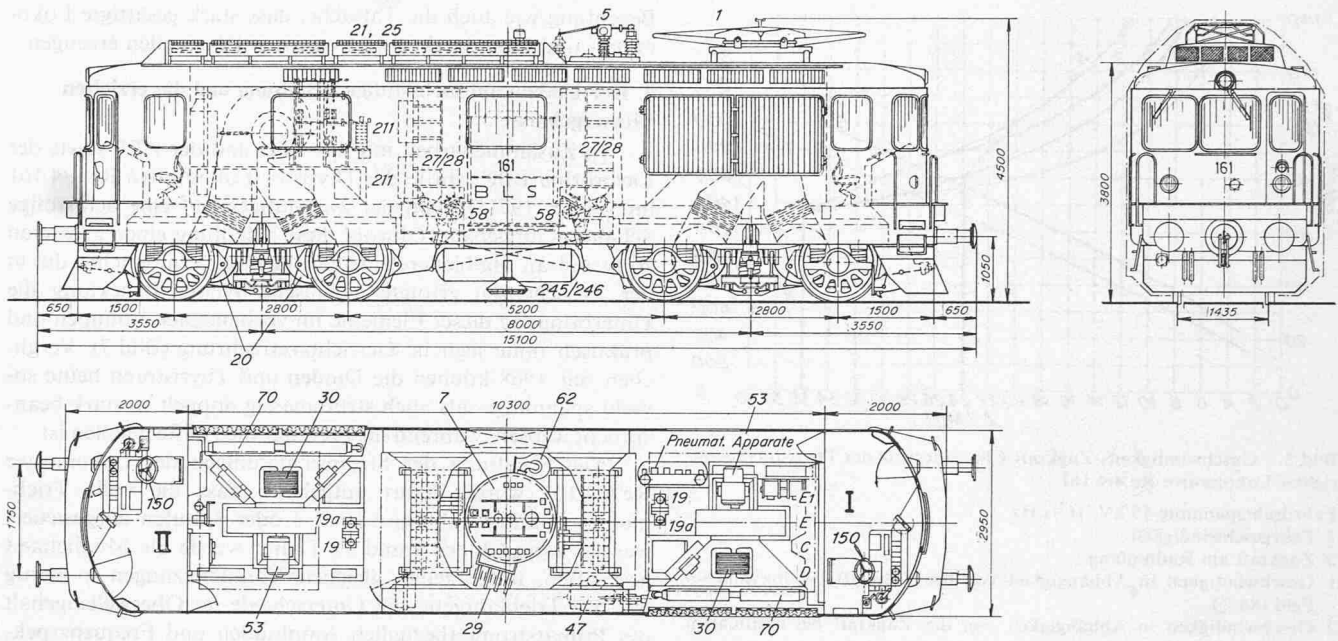


Bild 3. Typenbild der Thyristor-Stromrichter-Lokomotive Re 4/4 161 der Bern-Lötschberg-Simplon-Bahn

|     |                         |       |   |             |                                       |
|-----|-------------------------|-------|---|-------------|---------------------------------------|
| 1   | Stromabnehmer           | 27/28 | Thyristor-Stromrichter                          | 62          | Ölpumpe für Transformator-<br>kühlung |
| 5   | Druckluft Hauptschalter | 29    | Motor-Trennschütze                              | 70          | Ölkühler                              |
| 7   | Haupttransformator      | 30    | Traktionsdrossel                                | 150         | Steuercontroller                      |
| 19  | Wendeschalter           | 47    | Kompressor                                      | 211         | Steuer- und Regelsatz                 |
| 19a | Fahr-/Bremsumschalter   | 53    | Ventilatormotor für<br>Triebmotorkühlung        | 245/246     | Zugsicherungsmagnete                  |
| 20  | Triebmotor              | 58    | Ventilatormotor für<br>Stromrichter-<br>kühlung | C, D, E, E1 | Schalttafeln                          |
| 21  | Shunts                  |       |   |             |                                       |
| 25  | Bremswiderstand         |       |   |             |                                       |

noch geringe Spannungsabfälle aufweisenden Transformators (Bild 5) 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 Zugkraft und Leistung nochmals gesteigert werden.

### 3. Auswirkungen auf die Sicherungsanlagen

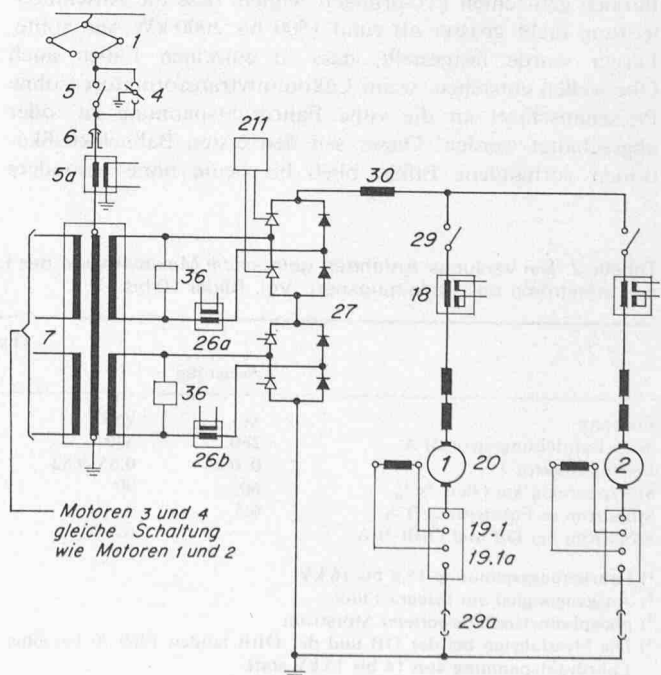
Es zeigte sich aber auch, dass die durch die Anchnittsteuerung erzeugten Stromoberwellen stärker als erwartet waren und einen Teil der mit 125 Hz überwachten Sicherungsanlagen sowie die älteren Bleimantelkabel mit den daran angeschlossenen Fernmeldeinrichtungen unzulässig stark beeinflussten und störten. 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 verursachten Störungen in dieser entscheidenden Phase als ausgesprochenen 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 (Bild 6), Messungen und Berechnungen ergaben Schaltungen und Massnahmen, mit denen sich die Erzeugung der Oberwellen auf den

Bild 4. Prinzipschaltbild der Thyristor-Lokomotive Re 4/4 161, ursprüngliche zweistufige Ausführung

|        |  |        |  |
|--------|--|--------|--|
| 1      | Stromabnehmer                              | 20     | Triebmotor                             |
| 4      | Erdungsschalter                            | 26 a,b | Stromwandler für<br>Stromrichterschutz |
| 5      | Druckluft Hauptschalter                    | 27     | Traktionsstromrichter                  |
| 5a     | Hauptstromwandler                          | 29     | Trennschütze                           |
| 6      | Hochspannungseinführung                    | 29 a   | Trennmesser                            |
| 7      | Haupttransformator                         | 30     | Glättungsdrossel                       |
| 18     | Gleichstromwandler für<br>Triebmotorschutz | 36     | Überspannungsschutz                    |
| 19.1   | Wendeschalter                              | 211    | Steuer- und Regelsatz                  |
| 19.1 a | Fahr-/Bremsumschalter                      |        |  |



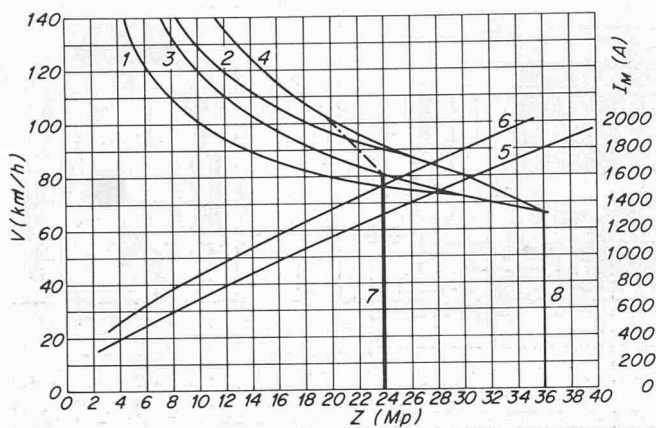


Bild 5. Geschwindigkeits-Zugkraft-Charakteristik der Thyristor-Stromrichter-Lokomotive Re 4/4 161

Fahrdrahtspannung 15 kV,  $16\frac{2}{3}$  Hz

V Fahrgeschwindigkeit

Z Zugkraft am Radumfang

- 1 Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zugkraft bei maximalem Feld (86%)
  - 2 Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zugkraft bei minimalem Feld (45%)
  - 3 Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zugkraft bei maximalem Feld (86%)
  - 4 Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zugkraft bei minimalem Feld (45%)
- Die Kurven 1 und 2 gelten für die Fahrmotor-Nennspannung von 1030 V; die Kurven 3 und 4 für die Transformatorspannung bei der primären Nennspannung von 15 kV
- 5 Fahrmotorstrom  $I_M$  im Abhängigkeit von der Zugkraft bei maximalem Feld (86%)
  - 6 Fahrmotorstrom  $I_M$  in Abhängigkeit von der Zugkraft bei minimalem Feld (45%)
  - 7 Einstundenbetrieb
  - 8 Anfahrt

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, Anschnittleistung usw.) ab. Auch die bei ausländischen Bahnen gemachten Erfahrungen zeigten, dass die Anschnittleistung nicht grösser als rund 1500 bis 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.

#### 4. Der Umbau auf mehrstufige Schaltung und die erzielten Messergebnisse

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 achtstufige 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 (Bild 7). 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 (Bilder 8 und 9). 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 2 und die Kurven der Bilder 10 bis 13 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 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 achtstufiger Schaltung hat praktisch keinen grösseren Oberwellenanteil als die amplitudengesteuerten Diodengleichrichter-Lokomotiven Re 4/4 162 u. f. Im weiteren werden die Beeinflussungen der Gleisstromkreise und der Fernmeldeanlagen ganz beträchtlich vermindert. Einen wesentlichen Anteil für die Reduktion der Oberwellen oberhalb rund 300 Hz hat dabei auch die Kommutierungsdrosselspule Pos. 15.3, 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 vierstufige Schaltung ist gegenüber der hier vorliegenden Ausführung noch eine weitere Optimierung der Kommutierungsdrosselspule möglich.

Tabelle 2. Bei Versuchs-Anfahrten gemessene Maximalwerte des Leistungsfaktors im Fahrleitungsnetz, der Störspannung am Gleis und der Störströme im Fahrleitungsnetz. Vgl. Bilder 10 bis 13.

|  | Thyristorlokomotive |           |            |           |            |          | Diodenlok. |
|--|---------------------|-----------|------------|-----------|------------|----------|------------|
|  | zweistufig          |           | vierstufig |           | achtstufig |          |            |
| Leistung                                 | 1/2                 | voll      | 1/2        | voll      | 1/2        | voll     | voll       |
| max. Fahrleitungsstrom <sup>1)</sup> A   | 260                 | 530       | 260        | 530       | 260        | 530      | 510        |
| Leistungsfaktor $\lambda$                | 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 <sup>2)</sup> %    | 60                  | 90        | 55         | 78        | 50         | 72       | 47         |
| Störstrom in Fahrleitung <sup>3)</sup> A | 6,5                 | 9         | 4          | 4         | 2,2        | 3,5      | 3,3        |
| Störstrom bei DB und ÖBB <sup>4)</sup> A |                     | 6,8-7     |            |           |            |          |            |

<sup>1)</sup> Fahrleitungsspannung 15,8 bis 16 kV

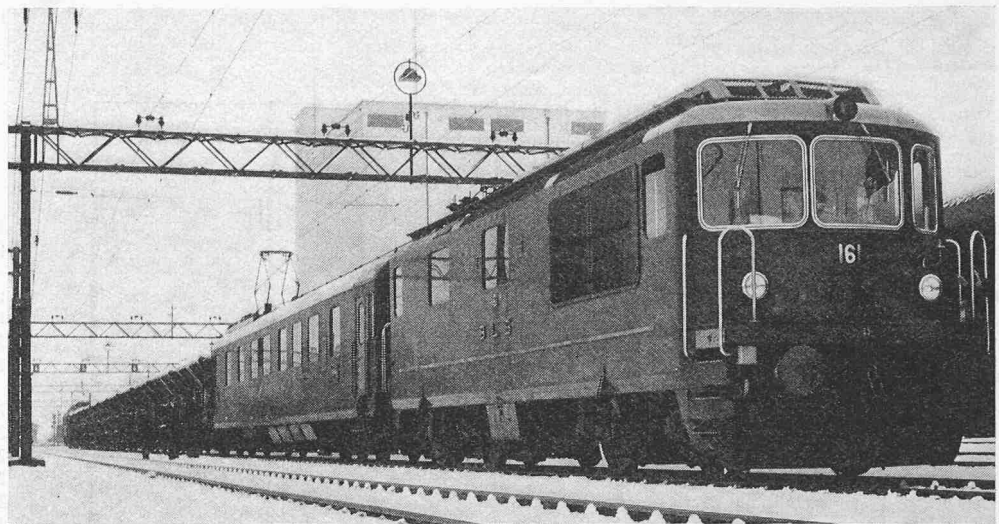
<sup>2)</sup> Ausgangssignal am Integra-Filter

<sup>3)</sup> phosphometrisch bewerteter Störstrom

<sup>4)</sup> Die Messfahrten bei der DB und der ÖBB fanden 1969/70 bei einer Fahrdrahtspannung von 14 bis 15 kV statt.

*Bemerkung:* Bei allen Messfahrten auf der Versuchsstrecke der BLS wurden am Fernmeldekabel im Bleimantelkabel mit CF-Armierung Längsspannungen von 15 bis 25 mV und im Aluminiummantelkabel mit CF-Armierung Längsspannungen von 5 bis 6 mV gemessen. Diese Werte verstehen sich in mV pro km und pro Ampère Störstrom.

Bild 6. Thyristor-Lokomotive Re 4/4 161 mit Messwagen bei einer Versuchsfahrt mit einer Anhängelast von 670 t.



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. September 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.

##### 5. Zusammenfassung

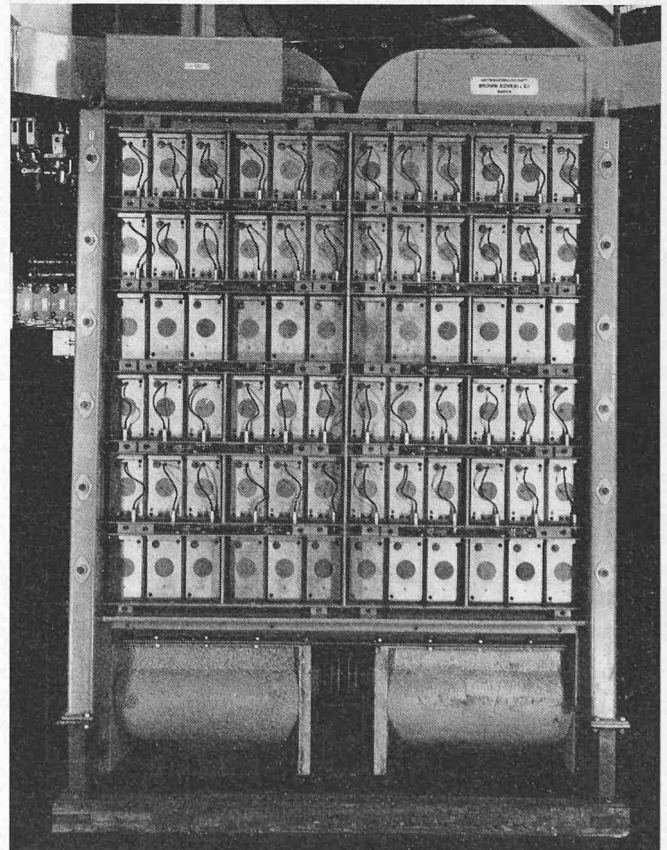
Bei der herkömmlichen Wechselstrom-Lokomotive mit Direktmotoren wird deren Spannung und damit die Zugkraft und Geschwindigkeit durch Verwendung der Amplitudensteuerung stufenweise geregelt. Zugkraftsprünge sind beim Übergang von einer Fahrstufe auf die nächste unvermeidlich. Das Drehmoment der Triebmotoren 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 gehalten werden können. Die praktisch pulsationsfreien Drehmomente sowie die kleineren Motor- und Drehstellgewichte ergeben auch geringere und übersichtlichere Beanspruchungen der Achsantriebe. Im weiteren 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 über einen weiten Geschwindigkeitsbereich und für hohe Maximalgeschwindigkeiten lässt sich nach unseren Erfahrungen z. Zt. nur mit Wellenstrommotoren und

Thyristor-Stromrichtern erreichen. Mit dieser neuen Technik kann die Wirtschaftlichkeit der Zugförderung wesentlich gesteigert werden. Um die Unterhaltsansprüche möglichst weit herabzusetzen und jegliche Beeinträchtigung der Betriebssicherheit durch Einwirkung von Staub, Schmutz und Feuchtigkeit zu vermeiden, 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 Stromrich-

Bild 7. Frontansicht eines der beiden Stromrichterblöcke der Lokomotive Re 4/4 161, Zustand 1972



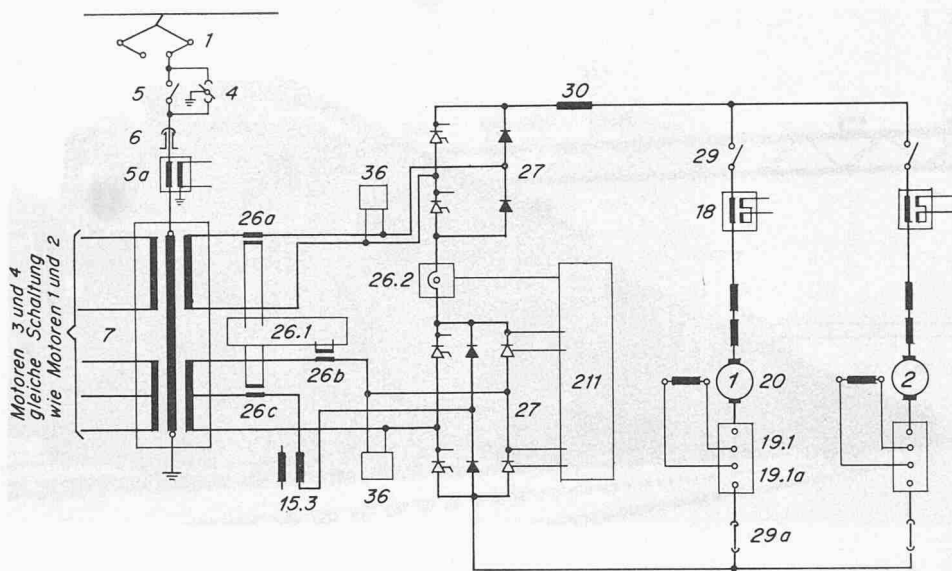


Bild 8. Prinzipschaltbild der umgeänderten Lokomotive Re 4/4 161 mit vierstufiger Stromrichterschaltung

- 1 Stromabnehmer
- 4 Erdungsschalter
- 5 Druckluft-Hauptschalter
- 5 a Hauptstromwandler
- 6 Hochspannungseinführung
- 7 Haupttransformator
- 15.3 Kommutierungsdrössel
- 18 Gleichstromwandler für Triebmotorschutz
- 19.1 Wendeschalter
- 19.1a Fahr-/Bremsumschalter
- 20 Triebmotor
- 26 a-c Stromwandler für Stromrichterschutz
- 26.1 Wandler-Zusatzgerät
- 26.2 Strom-Istwertgeber
- 27 Traktionsstromrichter
- 29 Trennschütze
- 29 a Trennmesser
- 30 Glättungsdrössel
- 36 Überspannungsschutz
- 211 Steuer- und Regelsatz

terschaltungen 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.

## 6. Rückblick

Die Entwicklung und Erprobung der ersten schweizerischen Thyristor-Hochleistungslokomotive dauerte mehr als sieben Jahre und brachten 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 erst nach Abschluss der Erprobung freigegeben werden konnte und somit lange Zeit 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 über das gute 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 Oesterreichischen 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.

## 7. 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. Dem kommt die ebenfalls rasche Weiterentwicklung

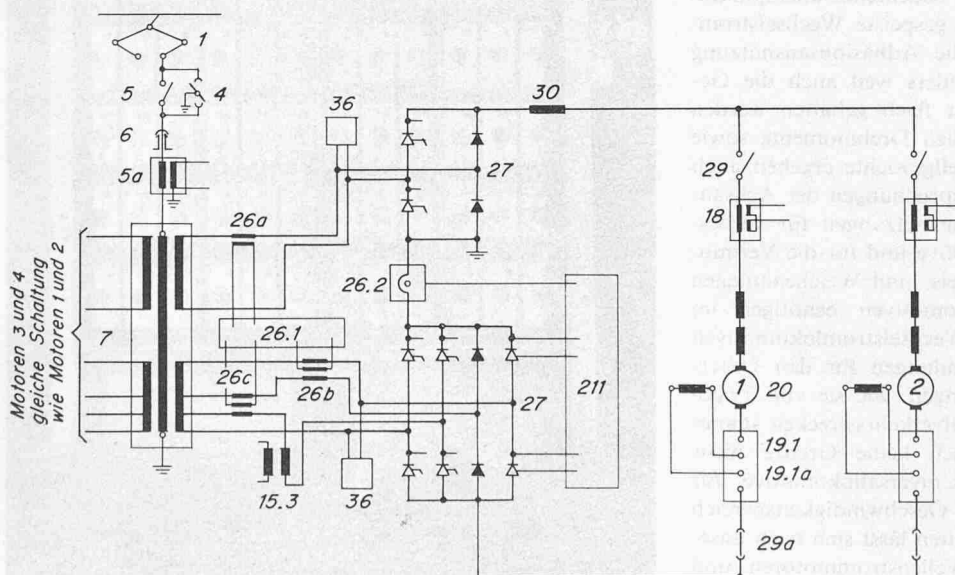


Bild 9. Prinzipschaltbild der umgeänderten Lokomotive Re 4/4 161 mit achtstufiger Stromrichterschaltung

Erläuterungen siehe Bild 8

Bild 10. Verlauf des Leistungsfaktors  $\lambda$  im Fahrleitungsnetz

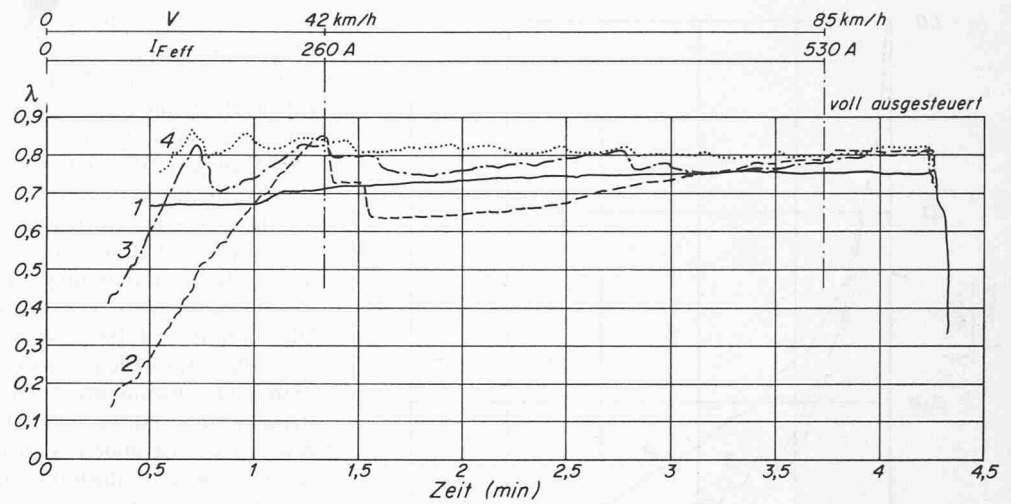


Bild 11. Verlauf der Störspannung am Gleis (Ausgangssignal am Integra-Filter)

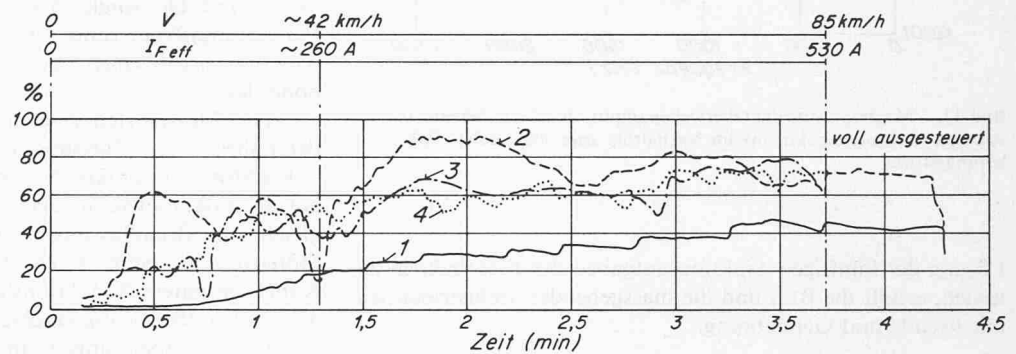
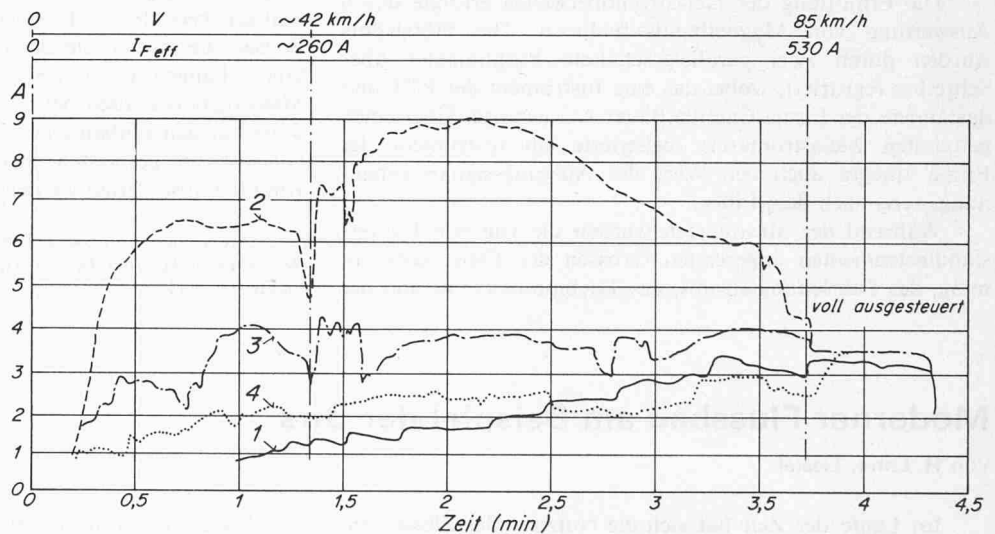


Bild 12. Verlauf der psophometrisch bewerteten Störströme im Fahrleitungsnetz

Die Bilder 10 bis 13 beziehen sich auf genau gleich ausgeführte Beschleunigungsfahrten mit einem Motorstrom von 1250 A der Thyristor-Lokomotive Re 4/4 161 in zwei-, vier- und achtstufiger Schaltung und als Vergleich einer Dioden-Lokomotive Re 4/4 vom Stillstand bis zur vollen Leistung; Fahrdrachtspannung 15,8 bis 16,6 kV

- 1 Dioden-Lokomotive
- 2 Thyristor-Lokomotive zweistufiger Stromrichter
- 3 Thyristor-Lokomotive vierstufiger Stromrichter
- 4 Thyristor-Lokomotive achtstufiger Stromrichter



der Halbleiterelemente entgegen, indem sie den Bau von leistungsstarken Stromrichteranlagen immer mehr erleichtert und wirtschaftlicher gestaltet.

Da der mit Thyristoren bestückte Stromrichter sich nicht nur als steuerbarer Gleichrichter verwenden lässt, sondern auch als Wechselrichter und mit entsprechendem Mehraufwand an Halbleiterelementen ganz allgemein als Phasen- und Frequenz-Umrichter, rückt die Verwirklichung der von den Bahnen als Ideallösung herbeigesehnten Wechselstrom-Lokomotive mit kollektorlosen Triebmotoren in Form der unempfindlichen, leichten und praktisch keine Wartung mehr benötigenden Drehstrom-Kurzschlussankeromotoren 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 wirtschaftlich 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

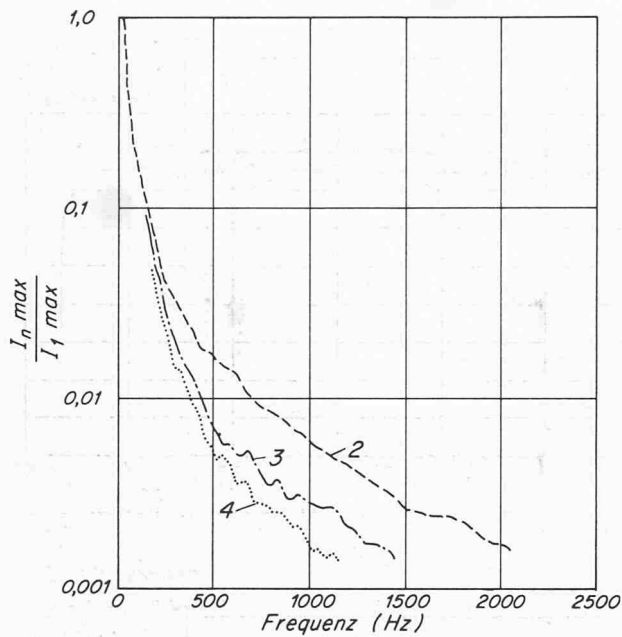


Bild 13. Maximalwerte der Oberwellenamplituden des Fahrleitungsstromes (Frequenzspektrum) im Verhältnis zum maximalen Fahrleitungsstrom

Lösung der künftigen Traktionsaufgaben der Eisenbahnen zu leisten, erfüllt die BLS und die massgebenden Industriefirmen mit Freude und Genugtuung.

#### 8. Bemerkungen zu den Messergebnissen (Bilder 10 bis 13)

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

Während der Messfahrten wurden die von den Führerstandinstrumenten angezeigten Grössen der Fahrdrachtspannung, des Fahrleitungsstroms, des Triebmotorstroms und der

Geschwindigkeit alle 15 Sekunden abgelesen und auf das Magnetband eingesprochen. Während aller Beschleunigungsfahrten betrug der Motorstrom durchgehend 1250 A und entsprach damit dem früheren Stunden- 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 eindruckliche Verminderung der Oberwellen bewirkt, und zwar sowohl bezüglich der Amplituden als auch der Frequenzen. Gleichzeitig wird der Leistungsfaktor erheblich verbessert.

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

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 rund 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 bis 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 Verfassers: *Walter Grossmann*, Zugförderungs- und Werkstättenendienst der Berner Alpenbahn-Gesellschaft BLS, 3011 Bern, Genfergasse 11.

## Moderner Flussbau am Beispiel der Birs

DK 627.42

Von *H. Lohe*, Liestal

Im Laufe der Zeit hat sich die Nutzung der Flüsse vielfach gewandelt. Am Anfang gebrauchte der Mensch die Flüsse als Fischlieferant, als Transportweg oder auch als Verteidigungslinie. Später begann die Wasserkraftnutzung. In der Neuzeit dienen die Flüsse als Abwasserträger. Der heutige moderne Flussbau kann nicht mehr auf ein einziges Ziel gerichtet werden, sondern es müssen die vielfältigen Aufgaben, die der Fluss zu erfüllen hat, erwogen und alle Gesichtspunkte müssen soweit wie möglich berücksichtigt werden.

Die heutigen Ziele des Flussbaues können wie folgt umschrieben werden:

- Schutz vor Überschwemmungen
- Verhinderung von Erosionen, Laufänderungen und Zerstörung der Uferzonen
- Einpassung des neuen Flusslaufes in das Landschaftsbild
- Hebung der natürlichen Lebensgemeinschaft im Fluss.

Diese Forderungen gelten auch für die Korrektur der Birs. Die Birskorrektionsstrecke liegt im Bereich der Gemeinden Aesch/BL und Dornach/SO. Die Grundlagenwerte für die Flusscharakteristik lauten:

Das Einzugsgebiet bei der Korrektionsstrecke umfasst 910 km<sup>2</sup>. Die grösste Höhe des Einzugsgebietes liegt auf 1445 m ü.M. Die mittlere Höhe beträgt 740 m ü.M. Die Korrektionsstrecke liegt auf 290 m ü.M. Die maximale Wassermenge wurde am 20.7.1908 mit 340 m<sup>3</sup>/s ermittelt. Die Mittelwassermenge beträgt 15 m<sup>3</sup>/s. Bei Trockenheit kann die Wassermenge auf 0,83 m<sup>3</sup>/s zurückgehen. Das Einzugsgebiet ist zum Teil bewaldet. Das geologische Einzugsgebiet ist etwas kleiner als das topographisch erkennbare Abflussgebiet. Der Untergrund des Einzugsgebietes besteht zum grossen Teil aus Juragestein (Kalk). Die Birs ist ein typischer Fluss des Mittellandes. Bei Trockenheit geht die Wasser-