

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 46 (1955)
Heft: 14

Artikel: Die Übergangsmöglichkeiten bei elektrischen Bahnen mit verschiedenen Stromsystemen
Autor: Degen, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060941>

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: 03.04.2026

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

Die Übergangsmöglichkeiten bei elektrischen Bahnen mit verschiedenen Stromsystemen

Von A. Degen, Basel

621.331.3

Es werden die Verhältnisse in Übergangsbahnhöfen mit elektrischem Betrieb behandelt, in die Linien mit verschiedenen Stromsystemen einmünden. Es wird besonders auf die Probleme eingegangen, die sich im Bahnbetrieb für die Triebfahrzeuge ergeben.

L'auteur traite des conditions dans les gares auxquelles aboutissent des lignes de contact alimentées selon différents systèmes de courant. Il examine plus particulièrement les problèmes qui intéressent dans ce cas les véhicules de traction.

A. Einleitung

Eine Dampflokomotive als Fahrzeug mit eigener Energieerzeugung stellt im Eisenbahnverkehr ein Triebfahrzeug dar, das bei gleicher Spurweite innerhalb von Europa unter bestimmten Voraussetzungen in jedem Land verkehren kann. Diese Voraussetzungen bestehen in der Einhaltung gewisser technischer Bedingungen, die sich auf das Gewicht, die zulässigen Achsdrücke und Radstände, die Kurvenbeweglichkeit und das Lichtraum-(Umgrenzungs-)profil beziehen.

Bedeutend vielgestaltiger werden die Verhältnisse bei der elektrischen Zugförderung. Dort gibt es verschiedene Stromsysteme, die sowohl für die ortsfesten Anlagen als auch für die Triebfahrzeuge verschiedene Bauformen bedingen. Normalerweise ist deshalb der Übergang von einem Land zum anderen bei elektrischer Traktion nur dann möglich, wenn ausser in den bereits erwähnten technischen Bestimmungen auch im Stromsystem Übereinstimmung herrscht. Oftmals ist es möglich, die Triebfahrzeuge eines bestimmten Stromsystems mit gewissen zusätzlichen Einrichtungen auszurüsten, damit Schwierigkeiten in Übergangs- und in Gemeinschaftsbahnhöfen vermieden werden. Derartige Installationen sind jedoch in der Anschaffung teuer; ausserdem vergrössern sie die Unterhaltskosten. Triebfahrzeuge mit solchen zusätzlichen Einrichtungen spielen besonders in Grenzbahnhöfen eine Rolle, wo Normalspurbahnen aus verschiedenen Ländern einmünden. Hierbei stehen sich das Gleichstrom- und das Einphasenwechselstromsystem mit einpoligen Fahrleitungen gegenüber. Der Drehstrom mit seiner zweipoligen Oberleitung ist heute veraltet und kommt praktisch nicht mehr in Betracht, weshalb er in den folgenden Ausführungen unberücksichtigt bleiben soll. Ganz allgemein lässt sich feststellen, dass die Verhältnisse am einfachsten werden, wenn einander zwei gleichartige Systeme gegenüberstehen, die sich nur durch die Höhe der Spannung und bei Einphasenwechselstrom zusätzlich noch durch verschiedene Frequenzen unterscheiden.

B. Gleichstrom — Gleichstrom

Die einfachste und rationellste Lösung besteht darin, die Fahrleitungen innerhalb des gemeinsam benützten Bahnhofgebietes mit der niedrigeren der beiden Spannungen zu speisen. Dann ist ein ungehinderter Verkehr aller Triebfahrzeuge möglich, wobei die Geschwindigkeit der für die höhere Spannung gebauten Triebfahrzeuge eine entsprechende Reduktion erfährt, sofern jene infolge ihrer speziellen Bauart nicht universell für beide Spannungen verwendet werden können. Ist dies nicht der Fall, so

muss dafür gesorgt werden, dass die Hilfsbetriebe auch bei reduzierter Fahrdrachtspannung richtig arbeiten, was im Hinblick auf die Bremseinrichtungen (Druckluftherzeugung) und die Steuerung von Bedeutung ist. Für den Verkehr einzelner Triebfahrzeuge innerhalb eines Bahnhofes wird die reduzierte Geschwindigkeit keine Rolle spielen, da diese immer kleiner ist als auf der freien Strecke. In der Regel müssen auch keine grossen Zuggewichte befördert werden, sondern es handelt sich nur um das Umstellen von Lokomotiven und gegebenenfalls noch um leichte Rangierbewegungen ohne grosse Belastungen. Der Abschluss des Bahnhofes gegen das Fahrleitungsnetz der mit höherer Spannung einmündenden Linie bedingt den Einbau einer Schutzstrecke, d. h. eines spannungslosen Zwischenstückes in die Fahrleitung von entsprechender Länge, das von den Zügen im Schwung durchfahren werden muss. Für die Ausfahrt der Züge nach der Linie mit der hohen Fahrleitungsspannung kann es von Vorteil sein, wenn die Fahrleitungen der betreffenden Geleise umschaltbar sind, um ein einwandfreies Anfahren und ein normales Beschleunigen von schweren Zügen zu erreichen. Dies ist aber nur dann nötig, wenn die Fahrmotoren einer nicht universell verwendbaren Lokomotive in normaler Weise gespiesen werden sollen. Für die Einfahrt ist ein Umschalten kaum nötig, da diese unter normalen Verhältnissen immer im Schwung erfolgen kann.

Gegenüber dem Betrieb mit nur einer Fahrdrachtspannung ergeben sich gewisse Einschränkungen, die aber nicht von grosser praktischer Bedeutung sind. Man wird unter normalen Verhältnissen zweckmässige Lösungen erhalten, ohne dass ein vom Fahrdracht unabhängiges Triebfahrzeug (Dampf- oder Diesellokomotive) eingesetzt werden muss.

In Italien und in Belgien werden die Normalspurbahnen mit 3000 V und in Frankreich und in Holland mit nur 1500 V elektrifiziert. Die angestellten Überlegungen werden somit für italienisch-französische, belgisch-französische und holländisch-belgische Grenzbahnhöfe Geltung haben, in die elektrifizierte Linien aus beiden Ländern einmünden. Sie beziehen sich aber ganz allgemein auch auf zwei Gleichstrombahnen, die teilweise die gleichen Geleiseanlagen benützen und für verschiedene Spannungen gebaut sind, z. B. städtische Tramlinien und ins Innere einer Stadt führende Überlandbahnen.

C. Gleichstrom — Einphasenwechselstrom

Hier stehen sich zwei verschiedene Systeme gegenüber, die wohl ähnlich gebaute Traktionsmotoren aufweisen, jedoch hinsichtlich der Regu-

lierung der Fahrgeschwindigkeit andere Wege gehen (Anfahrwiderstände, bzw. Stufentransformator). In Chiasso und in Domodossola begegnen sich heute schon das Einphasensystem der SBB (15 000 V, 16²/₃ Hz) und das Gleichstromsystem der italienischen Staatsbahnen (3000 V). Später wird noch Genf-Cornavin dazukommen, da Frankreich auf der Linie Genf—Bellegarde Gleichstrom von 1500 V anwenden wird.

In Chiasso erfolgt der Verkehr normalerweise mit Einphasenwechselstrom. Die auf einem Gefälle einfahrenden italienischen Züge senken rechtzeitig ihre Stromabnehmer, wenn sie ins Gebiet des Einphasenwechselstromes gelangen, was eine ungehinderte Durchfahrt gestattet. Nach dem Anhalten des Zuges muss die Gleichstromlokomotive durch ein Triebfahrzeug mit Einphasenwechselstrom oder ein solches, das vom Fahrdraht unabhängig ist (Dampf- oder Diesellokomotive), nach ihrem Fahrleitungsbezirk zurückgeführt werden. Für die Ausfahrt der Züge werden die erforderlichen Fahrleitungen, die normalerweise mit Einphasenstrom gespiesen werden, vorübergehend auf Gleichstrom umgeschaltet. Ähnliche Verhältnisse liegen auch in Domodossola vor, wo die Züge sowohl aus dem Norden, als auch aus dem Süden mit Schwung und mit gesenkten Stromabnehmern einfahren. Nach dem Anhalten befinden sie sich in einem Fahrleitungsbezirk, von dem aus sie sich nicht mehr mit eigener Kraft in Bewegung setzen können. Sie müssen deshalb durch ein vom Fahrdraht unabhängiges Triebfahrzeug (Dampf- oder Diesellokomotive) wieder in ihren Fahrleitungsabschnitt zurückbefördert werden. In Genf-Cornavin ist vorgesehen, die Geleiseanlagen in zwei Zonen einzuteilen, die mit Einphasenwechselstrom bzw. mit Gleichstrom gespiesen werden. Dazu kommen noch Geleise mit umschaltbaren Fahrleitungen, die je nach den Erfordernissen des Betriebes mit Einphasen- oder mit Gleichstromtriebfahrzeugen befahren werden.

Die Umstellung von Triebfahrzeugen wie auch die wahlweise Benützung der gleichen Fahrleitung für Gleich- oder für Wechselstrom bringen naturgemäss für den Betrieb gewisse Komplikationen mit sich. Es besteht die Möglichkeit von Fehlschaltungen, wenn nicht entsprechende Verriegelungen mit den Weichen und den Fahrstrassen vorhanden sind, die recht hohe Kosten bedingen. Derartige Installationen stehen einer flüssigen Abwicklung des Verkehrs eher hindernd entgegen. Daneben ist auch schon der Weg beschritten worden, auf Einphasenlokomotiven gewisse zusätzliche Einrichtungen anzubringen, damit das Triebfahrzeug in einen mit Gleichstrom gespiesenen Bahnhof ein- und aus einem solchen ausfahren kann. Dies ist beispielsweise bei der von der Maschinenfabrik Oerlikon für die französischen Staatsbahnen gelieferten Lokomotive Nr. 6051 der Bauart C₀-C₀ für die Versuchsstrecke Aix-les-Bains—Annecy—La Roche-sur-Foron in Savoyen, die mit 20 000 V Fahrdratspannung und 50 Hz betrieben wird, der Fall. Die Lokomotive besitzt eine besondere Umformergruppe mit einem Gleichstrom-Kompoundmotor für 1500 V Gleichstrom und einen Einphasengenerator von 400 kW

Dauerleistung. Auf diese Weise ist es möglich, dass die Lokomotive auch in den mit 1500 V Gleichstrom elektrifizierten Bahnhöfen wenigstens mit reduzierter Leistung verkehren kann¹⁾.

Es liegt auf der Hand, dass derartige Triebfahrzeuge für zwei Stromsysteme schwerer werden als ein normales Gleichstrom- oder Einphasenfahrzeug. Auch im Preise werden sie teurer sein, so dass ihre Anwendung auf Sonderfälle beschränkt bleiben wird.

D. Einphasenwechselstrom — Einphasenwechselstrom

Hier stehen sich das heute klassisch gewordene 16²/₃-Hz-System (Schweiz, Deutschland, Österreich, Schweden und Norwegen) und das noch in Entwicklung begriffene 50-Hz-System (Deutschland, Frankreich, Ungarn usw.) gegenüber. Wenn beide Systeme mit der gleichen Fahrleitungsspannung arbeiten würden, so wäre die Lösung einfach, da die Drehzahl des Einphasen-Kommutatormotors für Traktionszwecke von der Frequenz nicht in gleich starkem Masse abhängig ist wie beim Asynchronmotor. Die Frequenz, für die man Seriomotoren bauen kann, ist hinsichtlich der Drehzahl keiner Beschränkung unterworfen. Ändert sich die Periodenzahl pro Sekunde, so tritt beim Einphasen-Seriemotor im Falle einer Erhöhung eine Abnahme der Drehzahl und eine Verschlechterung des Leistungsfaktors ein, sofern die Klemmenspannung und das Drehmoment gleichzeitig unverändert bleiben. Doch ist der Rückgang der Drehzahl, im Gegensatz zum Asynchronmotor, nicht sehr gross. Da das 16²/₃-Hz-System mit einer Fahrleitungsspannung von 15 000 V und dasjenige von 50 Hz wegen des grösseren induktiven Spannungsabfalles mit 20 000 bis 25 000 V arbeiten, so ergeben sich sowohl für die Fahrmotoren als auch für die Transformatoren gewisse Schwierigkeiten. Doch sind die Verhältnisse viel günstiger als beim Übergang von Einphasenwechselstrom auf Gleichstrom oder umgekehrt, da sich hier zwei verwandte Systeme gegenüberstehen. Bereits ist deshalb auch der Gedanke des Baues derartiger Bi- oder Zweifrequenz-Triebfahrzeuge aufgetaucht, und zwar zunächst theoretisch in der Literatur. Auf Grund der heute vorliegenden Informationen, die allerdings keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, kann folgendes gesagt werden:

In Österreich wurden im Jahre 1952 zwei derartige Lokomotiven für folgende Daten in Auftrag gegeben:

| | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Achsfolge | B ₀ ' B ₀ ' |
| Dienstgewicht | 82 t |
| Stundenleistung bei 77 km/h | 2060 kW |
| Maximale Geschwindigkeit | 110 km/h |
| Grösste Zugkraft | 18 000 kg |

Diese beiden Triebfahrzeuge sollen im Inland mit 16²/₃ Hz sowie auf einer ausländischen Strecke (Höllental, Frankreich) mit 50 Hz eingehend ausprobiert werden, um Erfahrungen zu sammeln. Da der Anteil der elektrifizierten Strecken kleiner ist als in der Schweiz, besteht grosses Interesse an der Frage, wie sich das 50-Hz-System im praktischen

¹⁾ siehe Bull. Oerlikon Bd. —(1950), Nr. 285.

Vollbahnbetrieb verhält. Gegenwärtig wird die Erstellung eines 50-Hz-Systems in Betracht gezogen, wobei man zunächst an die Umstellung der rund 60 km langen Strecke Graz—Fehring in Richtung der ungarischen Grenze denkt, die heute mit Dampflokomotiven betrieben wird.

In Westdeutschland verfügt die Bundesbahn heute auf der Höllental- und der Drei-Seen-Bahn²⁾ über fünf elektrische Lokomotiven sowie über einen Triebwagen für 50 Hz. Damit ein Teil dieser Triebfahrzeuge später auch auf der gegenwärtig im Übergang zur elektrischen Traktion mit $16\frac{2}{3}$ Hz befindlichen Rheintallinie Basel—Karlsruhe verwendet werden kann, sollen zwei 50-Hz-Lokomotiven zu Zweifrequenz-Triebfahrzeugen umgebaut werden. Hiefür sind die Maschinen Nr. E 22421 und E 24422 vorgesehen, die beide Einphasen-Kommutatormotoren für 50 Hz besitzen. In der Hauptsache wird der elektrische Teil der beiden Lokomotiven so abgeändert, dass ein wahlweises Befahren von Fahrleitungen mit 50 Hz oder mit $16\frac{2}{3}$ Hz möglich sein wird.

In Frankreich haben die Staatsbahnen (SNCF) für die Strecke Basel—Strassburg zwei Zweifrequenz-Lokomotiven in Auftrag gegeben, die sowohl auf dem Netz der SBB (15 000 V, $16\frac{2}{3}$ Hz) als auch auf demjenigen Frankreichs (25 000 V, 50 Hz) verkehren können. Brown Boveri in Baden wird den vollständigen elektrischen Teil der beiden Lokomotiven (Bauart B₀' B₀') mit einer Leistung von je 3500 kW (4800 PS) und einer maximalen Geschwindigkeit von 140 km/h liefern. Beide Lokomotiven werden mit neu entwickelten, pumpenlosen, luftge-

²⁾ siehe Degen, A.: Der Versuchsbetrieb auf der Höllentalbahn im Schwarzwald mit Einphasenwechselstrom von 50 Hz. Bull. SEV Bd. 46 (1955), Nr. 1, S. 34...40.

kühlten Einanodenmutatoren sowie mit einem Triebmotor pro Drehgestell ausgerüstet werden.

Für die konstruktive Durchbildung von Zweifrequenz-Lokomotiven gibt es zwei Möglichkeiten. Man kann entweder den direkten Weg beschreiten und auf dem Triebfahrzeug einen für $16\frac{2}{3}$ Hz konstruierten Transformator aufstellen, der mit entsprechenden Anzapfungen ausgerüstet sein muss und primär mit Spannungen bis 25 000 V gespiesen werden kann. Als Traktionsmittel kommen Einphasenkommutatormotoren für 50 Hz in Betracht. Die zweite Möglichkeit besteht in der Verwendung von Gleichstrom-Seriemotoren, die bei beiden Frequenzen über einen Gleichrichter gespiesen werden müssen. Der Lokomotivtransformator muss wiederum entsprechend den Fahrleitungsspannungen die erforderlichen Anzapfungen aufweisen. Als Gleichrichter kommt hierbei das Ignitron in Betracht, das in Frankreich auch bei normalen Wechselstromlokomotiven für 50 Hz zur Anwendung kommen soll. Im Gegensatz zum Quecksilberdampfgleichrichter auf Triebfahrzeugen liegen heute beim Ignitron in Europa für ähnliche Betriebsverhältnisse noch keine Erfahrungen vor, während der Einphasenkommutatormotor für 50 Hz den Beweis seiner Brauchbarkeit für Traktionszwecke erbracht hat.

Für den Einsatz von Zweifrequenz-Triebfahrzeugen kommen zur Zeit die Bahnhöfe Basel SBB und Freiburg im Breisgau in Frage. Hier werden sich in den Fahrleitungsanlagen jedesmal das klassische Einphasensystem mit niedriger Frequenz (15 000 V, $16\frac{2}{3}$ Hz) und ein Einphasensystem von 50 Hz (Basel SBB 25 000 V, Freiburg 20 000 V) gegenüberstellen.

Adresse des Autors:

A. Degen, Dipl. El.-Ing. ETH, Colmarerstrasse 85, Basel

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Über den Entwurf von Regelsystemen mit Rücksicht auf die Eigenschaften einer Bedienungsperson

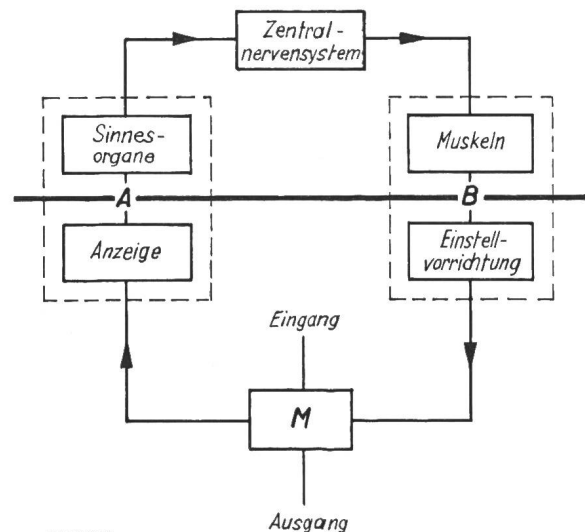
621-53 : 658.3
[Nach H. P. Birmingham und V. F. Taylor: A Design Philosophy for Man-Machine Control Systems. Proc. IRE Bd. 42 (1954), Nr. 12, S. 1748...1758]

In vielen Regelsystemen erfolgt die Feststellung einer Abweichung vom Sollwert durch eine Bedienungsperson. Beispiele dafür sind das Führen eines Fahrzeuges auf einem vorgeschriebenen Kurs oder das Richten eines Zielgerätes auf ein Flugzeug. Will man solche Regelsysteme mit hoher Genauigkeit und Stabilität bauen, so ist es unerlässlich, die Eigenschaften der Bedienungsperson mit zu berücksichtigen. Eine neue Wissenschaftsrichtung, als «engineering psychology» oder «human engineering» bezeichnet, befasst sich mit diesen Zusammenhängen.

Der aus Mensch und Gerät bestehende geschlossene Wirkungskreis ist in Fig. 1 schematisch dargestellt. Das Eingangssignal bewirkt über einen Mechanismus M eine gewisse Anzeige, die von den Sinnesorganen erfasst und dem Gehirn mitgeteilt wird. Dort wird diese Information verarbeitet, den Muskeln ein bestimmter Befehl erteilt und über die Einstellorgane des Mechanismus das Ausgangssignal beeinflusst. Der Geräteteil dieses Wirkungskreises soll nun so entworfen werden, dass an die Bedienungsperson möglichst wenig Anforderungen hinsichtlich besonderer Eignung oder Ausbildung gestellt werden müssen.

Die Information, die der Bedienungsperson zugeleitet wird, ist fast immer optischer Art. Sie kann z. B. in Form

einer Zeigerstellung, eines Lichtpunktes auf einem Leuchtschirm oder in Gestalt eines Zieles im Fadenzug zur Verfügung stehen. Seltener wird auch das Gehör herangezogen. Das grosse Auflösungsvermögen und besonders die Fähigkeit,



SEV 23386

Fig. 1
System aus Mensch und Gerät
A Anregung; B Ausführung