

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 46 (1955)
Heft: 25

Artikel: Die Elektrifizierung der Strecke Basel-Karlsruhe der Deutschen Bundesbahn mit Einphasenwechselstrom von 16 Hz
Autor: Degen, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060967>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

GEMEINSAMES PUBLIKATIONSORGAN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS (SEV) UND
DES VERBANDES SCHWEIZERISCHER ELEKTRIZITÄTSWERKE (VSE)

Die Elektrifizierung der Strecke Basel–Karlsruhe der Deutschen Bundesbahn mit Einphasenwechselstrom von $16\frac{2}{3}$ Hz

Von A. Degen, Basel

621.331 : 625.1(43)

Die stationären Einrichtungen sowie die energiewirtschaftlichen Verhältnisse werden dargestellt. Es wird gezeigt, was für Gründe zur Aufgabe des Dampfbetriebes auf dieser ausgesprochenen Flachlandlinie geführt haben. Ferner wird auf die besonderen Verhältnisse im Bahnhof Freiburg im Breisgau eingegangen, wo sich zwei Einphasensysteme mit verschiedenen Spannungen und verschiedenen Frequenzen gegenüberstehen. Am Schluss befindet sich noch ein kurzer Hinweis auf die im Mai 1955 zwischen Basel und Freiburg in Betrieb gesetzten elektrischen Triebfahrzeuge.

Description des installations stationnaires et exposé des problèmes d'ordre économique concernant l'alimentation en énergie électrique. Motifs de l'abandon de la traction à vapeur sur cette ligne de plaine. Conditions particulières à la gare de Fribourg-en-Brisgau, avec deux systèmes de courant monophasés à des tensions et fréquences différentes. Brèves remarques au sujet des véhicules de traction électrique mis en service, en mai 1955, entre Bâle et Fribourg.

Historisches

Die rund 200 km lange Rheintalstrecke Basel–Karlsruhe wurde in den Jahren 1844 bis 1855 etappenweise mit der Eisenbahn (Dampftrieb) versehen. Ihrem Charakter nach handelt es sich um eine ausgesprochene Flachlandlinie mit einer maximalen Steigung von nicht ganz 7 ‰, die nur etwas nördlich von Basel am Westhang des Isteinerklotzes zwischen Efringen-Kirchen und Schliengen drei Tunnels und zahlreiche Kurven aufweist. Mit der Eröffnung der Basler Verbindungsbahn am 3. November 1873, die im Jahre 1956 ebenfalls elektrifiziert wird, wurde der Anschluss an das schweizerische Bahnnetz hergestellt. Auf diese Weise war eine internationale Transitlinie entstanden, deren Bedeutung mit der durchgehenden Eröffnung der Gotthardbahn am 1. Juni 1882 noch zunehmen sollte. Heute weist die Strecke Basel–Karlsruhe einen intensiven Personen- und Güterverkehr auf, sie spielt besonders im internationalen Durchgangsverkehr aus Skandinavien und aus Norddeutschland nach Italien eine grosse Rolle.

Gründe der Elektrifizierung

Nach den Erfahrungen der Deutschen Bundesbahn ist die Umstellung vom Dampftrieb auf elektrische Traktion bei einer Flachland- oder einer Hügellandstrecke heute wirtschaftlich dann gerechtfertigt, wenn der jährliche Bedarf an elektrischer Energie pro Streckenkilometer mindestens 250 000 kWh beträgt. Für die rund 200 km lange Strecke Basel–Karlsruhe müssten somit pro Jahr mindestens $50 \cdot 10^6$ kWh konsumiert werden, während der auf Grund der effektiven Streckenbelastung feststellbare Energiebedarf bedeutend höher ist und zu rund 130 bis $140 \cdot 10^6$ kWh berechnet werden kann. Dazu kommt noch, dass es sich um

eine Strecke handelt, bei der die Kohle zum Betrieb der Dampflokomotiven aus dem Norden des Landes herantransportiert werden muss, da Süddeutschland sich hier in der gleichen Lage wie die Schweiz befindet. Es fehlen an beiden Orten ausbaufähige Gruben mit qualitativ hochwertiger Steinkohle, während Wasserkräfte am Hochrhein zu wirtschaftlich günstigen Bedingungen zur Verfügung stehen. Dazu kommt noch eine wesentliche Verbesserung der Leistungsfähigkeit, die besonders im Hinblick auf die Konkurrenzierung durch andere Verkehrsträger (linksrheinische Linie im Elsass, Rheinschiffahrt im Güterverkehr und Automobile im Personenverkehr) erwünscht ist.

Die schon vor dem Ersten Weltkrieg in Baden gemachten Vorstösse zur Einführung des elektrischen Betriebes¹⁾, die aber aus Mangel an Geldmitteln und wegen des Einspruches militärischer Instanzen des Dritten Reiches immer wieder zurückgestellt werden mussten, können nun dank eines Beitrages der Schweiz von 140 Millionen Franken realisiert werden; der entsprechende Vertrag wurde im Herbst 1953 abgeschlossen. Dieser Beitrag wurde gewährt, weil die Schweiz am Ausbau einer leistungsfähigen Nord–Südverbindung als Konkurrent der ausserhalb der Schweiz gelegenen Alpenübergänge stark interessiert ist. Die Aufnahme des elektrischen Betriebes wird es der Deutschen Bundesbahn gestatten, die Entfernung benachbarter Betriebsstützpunkte (Depots), die bisher rund 70 Kilometer betrug, auf ungefähr den doppelten Wert zu erhöhen.

$16\frac{2}{3}$ oder 50 Hz

Die auf der Höllentalbahn vor rund 20 Jahren begonnenen Versuche mit Einphasenwechselstrom

¹⁾ siehe Bull. SEV Bd. 46(1955), Nr. 1, S. 34...40.

von 50 Hz¹) und die seither in Frankreich gemachten Erfahrungen haben gezeigt, dass sich Hauptlinien auf diese Weise ebenfalls einwandfrei betreiben lassen. Trotzdem sich der Einphasen-Kommutatormotor für 50 Hz im Bahnbetrieb durchaus bewährt hat, bedürfen noch gewisse Fragen einer Abklärung im praktischen Betrieb, z. B. die Verwendung von Ignitrons und von Gleichstrom-Traktionsmotoren an Stelle von Direktmotoren. Andererseits wendet die Deutsche Bundesbahn in grösseren Gebieten seit vielen Jahren das Einphasensystem mit $16\frac{2}{3}$ Hz an, das sich gleich wie in der Schweiz gesamthaft auch unter schwierigen Verhältnissen durchaus bewährt hat.

In Deutschland existiert heute — im Gegensatz etwa zu Schweden, das auch das Einphasensystem von $16\frac{2}{3}$ Hz anwendet — bereits ein umfangreiches bahneigenes Hochspannungs-Übertragungsnetz für 110 kV; die damit gemachten Betriebserfahrungen lauten durchaus günstig. Es besteht damit für die Deutsche Bundesbahn die Möglichkeit, jederzeit die erforderlichen Energiemengen nach den entsprechenden Schwerpunkten des Verkehrs, die örtlich und zeitlich wechseln, transportieren zu können. Die Bahn besitzt somit die Möglichkeit, sowohl im Fahrleitungs- als auch im Hochspannungsnetz entsprechend den Bedürfnissen des Betriebes Schaltungen vornehmen zu können. Diese Tatsache hat sich auf Grund der Erfahrungen der Deutschen Bundesbahn schon oft beim Zusammenbrechen der öffentlichen Energieversorgung als äusserst wertvoll erwiesen, da sonst der Eisenbahnbetrieb in empfindlicher Weise gestört worden wäre. Es lag deshalb für die Deutsche Bundesbahn kein Grund vor, hier eine Änderung eintreten zu lassen und auf die äusserst wertvolle Eigenschaft der Schaltbarkeit im Hochspannungsnetz zu verzichten. Auch wäre die bisherige Einheitlichkeit und die freizügige Verwendbarkeit der elektrischen Triebfahrzeuge innerhalb von Deutschland verunmöglicht worden.

Ganz allgemein gesehen hatte die Deutsche Bundesbahn somit keine Veranlassung, vom bewährten $16\frac{2}{3}$ -Hz-System abzugehen. Die auf Grund ihrer langjährigen Erfahrungen mit beiden Systemen erzielten Ergebnisse sowie die entsprechenden wissenschaftlichen Überlegungen ergaben eindeutig, dass für Strecken mit schwachem Verkehr und bei begrenzten Zuglasten das 50-Hz-System sehr wohl in Frage kommen kann, sofern ein Anschluss an ein $16\frac{2}{3}$ -Hz-System nicht möglich ist. Dagegen erwies sich das $16\frac{2}{3}$ -Hz-System für stark belegte Strecken mit hohen Geschwindigkeiten und schweren Zuglasten als vorteilhafter.

Grundsätzlich ist die Elektrifizierung kein Problem der Energieversorgung, sondern der Wirtschaftlichkeit des Verkehrs. Von allen in Betracht kommenden Systemen muss immer dasjenige angewendet werden, das bei grösster Betriebssicherheit gleichzeitig auch die beste Gesamtwirtschaftlichkeit ergibt. In dieser Hinsicht hat sich das $16\frac{2}{3}$ -Hz-System sowohl technisch als auch wirtschaftlich in Mitteleuropa bewährt, während das 50-Hz-System mit direkter Speisung der Fahrmoto-

ren infolge der Einsparung von Verlusten energiewirtschaftlich etwas günstiger dasteht.

Energiequellen

Als wichtigster Energielieferant der Strecke Basel—Karlsruhe muss zunächst das thermische Grosskraftwerk Mannheim genannt werden, das sich im Hinblick auf den Schwerpunkt des Verkehrs sowohl auf der Rheintallinie als auch in Richtung Stuttgart in günstiger Lage befindet. Die Erweiterung des Drehstromteiles gab der Deutschen Bundesbahn die Möglichkeit einer raschen Inbetriebnahme einer Einphasengruppe und sicherte ihr damit einen Anteil an der reichlich vorhandenen Kesselleistung dieses Dampfkraftwerkes. Dies ist deshalb wichtig, weil in einem Dampfkraftwerk die Kesselanlagen bedeutend mehr Störungen aufweisen und der Abnützung unterworfen sind als die gesamten elektrischen Einrichtungen inkl. Dampfturbine.

Weiterhin besteht noch die Möglichkeit, vom grössten Elektrizitätsunternehmen in Baden, der Badenwerk A.-G., die auch die Höllentalbahn im Schwarzwald mit Energie beliefert¹), aus dem thermischen Kraftwerk Karlsruhe Energie zu beziehen. Eine Umformergruppe mit einem Asynchronmotor für 50 Hz wird einen Einphasengenerator für $16\frac{2}{3}$ Hz antreiben. Die Leistung der Gruppe beträgt 25 000 kW mit einem maximalen Wirkungsgrad von etwas mehr als 93 %. Dieser liegt etwas höher als derjenige des Umformerwerkes Nürnberg, wo Einheiten mit 7500 kW Leistung rund 90 % erreichen. Im Bedarfsfalle kann später in Karlsruhe noch ein weiterer Umformer aufgestellt werden, wofür bereits heute der nötige Platz vorgesehen ist.

Eine dritte Möglichkeit besteht darin, im südlichen Teil der neu elektrifizierten Linie Stützpunkte zu suchen. Hier wird nur ein Wasserkraftwerk in Frage kommen, da weisse Kohle in ausreichendem Masse vorhanden ist. Allerdings sind gegenwärtig keine entsprechenden Leistungen für die elektrische Traktion disponibel. Doch wird damit gerechnet, dass dies in etwa zwei bis drei Jahren der Fall sein wird, z. B. aus dem umgebauten Kraftwerk Rheinfeldern und aus dem projektierten Kraftwerk Säckingen. Die entsprechenden Leistungen werden voraussichtlich im Minimum etwa 8000 kW und im Maximum etwa 15 000 kW pro Werk betragen.

Die im Sommer 1955 noch unbefriedigenden Verhältnisse für die Energieversorgung der Strecke Basel—Freiburg i. Br. haben dazu geführt, dass die Deutsche Bundesbahn auf Grund einer vertraglichen Abmachung aus dem Unterwerk Muttenz der SBB über eine neuerstellte Speiseleitung Einphasenenergie von 15 kV beziehen kann, die im Badischen Bahnhof in Basel übernommen und in die Fahrleitung eingespeist wird. In einem späteren Zeitpunkt ist auch die Erstellung einer Leitung nach dem Unterwerk Muttenz für eine Spannung von 66 kV entsprechend der dort von Ruppertsweiler kommenden Einphasenenergie vorgesehen. Über diese Verbindung können zwischen den bei-

den Bahnverwaltungen bis maximal 13 500 kW ausgetauscht werden. Dies ist für die SBB mit ihrer auf rein hydraulischer Basis beruhenden Erzeugung von Einphasenenergie besonders bei prekären Wasserverhältnissen von Vorteil, da der Deutschen Bundesbahn aus Dampfkraftwerken grössere thermische Einphasenleistungen zur Verfügung stehen. Damit gelangt eine schon vor rund zwanzig Jahren angestrebte Verbindung zwischen den schweizerischen und den deutschen Bahnen, die damals für die Energieversorgung der Wiesental- und der Wehratalbahn ins Auge gefasst worden war, in bedeutend erweiterter Form und unter dem wichtigen Gesichtspunkt des Austausches von Einphasenenergie zur Ausführung.

Die Erzeugung von Einphasenenergie

Für die Erzeugung von Einphasenenergie für Traktionszwecke gibt es praktisch zwei Möglichkeiten. Im ersten Fall wird direkt Einphasenenergie mit niedriger Frequenz erzeugt, während die zweite Möglichkeit darin besteht, Drehstrom aus dem Netz der Allgemeinversorgung mit 50 Hz zu entnehmen und entweder durch rotierende Umformer oder durch ruhende Umrichter in Einphasenwechselstrom von $16\frac{2}{3}$ Hz umzuwandeln.

Aus der Lage der Kraftwerke, wie sie für die Versorgung der Linie Basel—Karlsruhe von Seiten der Deutschen Bundesbahn ins Auge gefasst wurden, lässt sich eindeutig die Tendenz erkennen, die Einphasenenergie direkt in den Schwerpunkten des Verbrauches zu erzeugen. Hierbei zeigte es sich, dass die Leistung eines Einphasengenerators im Hinblick auf eine wirtschaftliche Betriebsführung und auf eine ausreichende Reserve in Störungsfällen ungefähr 15 000 kW betragen muss. Diese Leistung entspricht ungefähr der Grösse der Einphasengeneratoren für $16\frac{2}{3}$ Hz, wie sie bisher von der Industrie Deutschlands für Dampfkraftwerke ohne weiteres geliefert werden konnten. Dies gilt auch für die erforderlichen Übersetzungsgetriebe im Verhältnis 1 : 3, die zur Reduktion der Drehzahl des Generators auf 1000 U./min benötigt werden. Da jedoch reine Bahnturbinen für $16\frac{2}{3}$ Hz bei derartigen Leistungen in Dampfkraftwerken pro kWh mehr Dampf benötigen als grosse Maschineneinheiten, so wurde auf zwei Arten versucht, die Erzeugung von Einphasenenergie wirtschaftlicher zu gestalten.

Der erste Vorschlag stammt von Prof. Marguerre vom thermischen Grosskraftwerk in Mannheim. Die Dampfturbine mit einer Leistung von 50 000 kW ist direkt mit einem Drehstromgenerator für 50 Hz gekuppelt, dessen Leistung 35 000 kW beträgt. Über ein Getriebe und über eine elastische Kupplung wird ausserdem ein Einphasengenerator mit einer Leistung von 15 000 kW ($16\frac{2}{3}$ Hz) angetrieben. Die prinzipielle Anordnung eines derartigen Aggregates geht aus Fig. 1 hervor, in welche auch die verschiedenen Erregermaschinen eingezeichnet sind. Die Erregermaschine 6 dient gleichzeitig auch als Anwurfsmotor, wenn das Aggregat als Umformer bei abgekuppelter Dampfturbine in Betrieb gesetzt werden muss.

Dieser Vorschlag wurde im thermischen Grosskraftwerk Mannheim zur Energieversorgung der Linie Basel—Karlsruhe verwirklicht. Dort läuft bereits ein derartiges Aggregat, das gegenüber dem ursprünglichen Bauprogramm leider erst mit einer gewissen Verspätung in Betrieb gesetzt werden konnte. Auf Grund der bis jetzt vorliegenden Erfahrungen kann festgestellt werden, dass sich die gehegten Erwartungen erfüllen werden. Später soll gegebenenfalls noch ein zweites Aggregat mit einer Einphasenleistung von 18 000 kW aufgestellt werden, dessen Drehstromteil heute bereits im Betrieb ist. Für weitere Einheiten wurde der nötige Platz vorgesehen; voraussichtlich wird die Leistung des Einphasenteiles bis auf 25 000 kW erhöht.

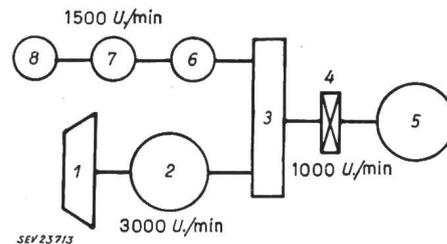


Fig. 1

Prinzipielle Anordnung von Einphasen- und Drehstromgenerator in einem Dampfkraftwerk nach dem Vorschlag von Prof. Marguerre

1 Dampfturbine; 2 Drehstromgenerator; 3 Getriebe; 4 elastische Kupplung; 5 Einphasengenerator; 6 Erreger für den Einphasengenerator; 7 Erreger für den Drehstromgenerator; 8 Hilfserreger

Derartige Einphasen-Drehstromgruppen sind sehr vielseitig verwendbar, da gleichzeitig beide Stromarten erzeugt werden können. Die vorhandene Flüssigkeitskupplung (Voith—Marguerre-Netzkupplung) bringt für den Einphasen- und für den Drehstromgenerator den Vorteil, dass die Frequenzen der beiden Netze von einander unabhängig werden. Sie müssen nicht dauernd entsprechend den Drehzahlen im Verhältnis 1 : 3 stehen, was besonders bei Störungen in einem der beiden Netze mit entsprechenden Frequenzschwankungen vorteilhaft ist. Auch ist es möglich, die Gruppe direkt als Umformer zu verwenden, um aus dem 50-Hz-Netz der Allgemeinversorgung Einphasenenergie von $16\frac{2}{3}$ Hz zu erzeugen (wobei die Dampfturbine vorher abgekuppelt werden muss). Die im Grosskraftwerk Mannheim aufgestellte Gruppe, die als Kondensationsmaschine arbeitet, ist die erste Einheit dieser Art, bei der ein Einphasen- und ein Drehstromgenerator von der gleichen Dampfturbine aus angetrieben werden. Entsprechend der reichlich vorhandenen Kesselleistung und der Möglichkeit des Umformerbetriebes beim Ausfall der antreibenden Dampfturbine ist damit die sichere Belieferung des Bahnbetriebes weitgehend gewährleistet. Der im Zuge weiterer Elektrifikationen erforderliche Bedarf an elektrischer Energie wird deshalb entsprechend den vertraglich festgelegten Bedingungen weitgehend durch das Grosskraftwerk Mannheim gedeckt werden.

Der zweite Weg besteht darin, die bisherige Leistung der Einphasengeneratoren in Dampfkraftwerken von 15 000 auf 25 000 kW zu erhöhen. Während früher der Bau von Einphasengeneratoren mit

1000 U./min und der zugehörigen Getriebe mit einem Übersetzungsverhältnis von 1:3 für so grosse Leistungen mit Schwierigkeiten verbunden war, ist es heute möglich geworden, Einheiten von 25 000 kW herzustellen. Durch die Kombination von zwei Generatoren von 15 000 und von 25 000 kW ergeben sich gute Möglichkeiten für eine rationelle Betriebsführung eines thermischen Kraftwerkes, dessen Energie für Traktionszwecke bestimmt ist, wo die Belastungen innerhalb von 24 h stark schwanken.

Die Erzeugung von Einphasenenergie mit Hilfe der in Fig. 1 dargestellten Maschinengruppe wirkt sich in verschiedener Hinsicht günstig aus. Der Preis der elastischen Kupplung inkl. Zubehör macht nur rund 5...6 % des Preises des Einphasengenerators aus. Dies ist im Verhältnis zum ganzen Aggregat inkl. Dampfturbine und Drehstromgenerator ein geringer und nicht ins Gewicht fallender Betrag. Ausserdem wird infolge der elastischen Kupplung die Lebensdauer des Getriebes erhöht, da die Pulsationen auf der Einphasenseite das Getriebe nicht mehr erreichen. Dazu kommt, dass der Dampfverbrauch der grossen, gut auslastbaren Dampfturbine um ca. 7...8 % geringer ist als derjenige einer reinen Einphasenmaschine für $16\frac{2}{3}$ Hz kleiner Leistung. Auch die Baukosten lassen sich durch eine solche Kombination gegenüber getrennten Anlagen reduzieren, während ein Aufbau gemäss Fig. 1 baulich als Fortschritt angesehen werden muss, da die Aufstellung besonderer Einphasen-Turbogeneratorgruppen für $16\frac{2}{3}$ Hz, die mit ihrem erhöhten Platzbedarf die ganze Disposition der übrigen Anlagenteile für 50 Hz ungünstig beeinflussen, in Wegfall kommt. Mit der in Fig. 1 im Prinzip dargestellten Maschinengruppe erhält man vom Standpunkte des Bahnbetriebes aus eine Dampfturbine mit hoher Wirtschaftlichkeit, die ausserdem noch einen Verbundbetrieb zwischen dem Einphasen- und dem Drehstromnetz gestattet.

Einphasenstrom kann auch durch Umformung von Drehstrom mit Hilfe von sog. Umrichtern erzeugt werden. Hier ist zu erwähnen, dass die Deutsche Bundesbahn bzw. ihre Vorgängerin im Jahre 1934 im Unterwerk Basel an Stelle einer alten Umformergruppe und einer Pufferbatterie einen solchen Umrichter mit einer Dauerleistung von 3600 kVA in Betrieb genommen hat. Er wird mit Drehstrom von 45 kV, 50 Hz, aus dem Kraftwerk Rheinfeldern gespeist und gibt Einphasenwechselstrom von 15 kV, $16\frac{2}{3}$ Hz, ab. Die mit diesem Umformer gemachten Erfahrungen gehen nun dahin, dass Anlagen dieser Art kompliziert und empfindlich sind. Trotz des hohen Wirkungsgrades sowohl bei Voll- als auch bei Teillast ist der Betrieb teuer und eignet sich weniger für den von Haus aus rauen Bahnbetrieb als derjenige des Umformers. Deshalb wird der Umrichter in Basel im Laufe der Elektrifikationsarbeiten, insbesondere nach der Inbetriebnahme des Unterwerkes Haltingen vor den Toren Basels, stillgelegt werden. Im Gegensatz dazu haben sich die rotierenden Umformer, die auch in der Schweiz Eingang gefunden haben, durchaus bewährt. Wenn auch ihr Wir-

kungsgrad im Jahresmittel bei guter Ausnützung mit etwa 87 % etwas tiefer liegt als derjenige eines gleich stark belasteten Umrichters, so haben sie betrieblich den grossen Vorteil, dass sie sehr rasch eingesetzt werden können.

Der Aufwand für die Erzeugung von Einphasenenergie

Der gesamte Wirkungsgrad einer normalen Dampflokomotive, bezogen auf die im zugeführten Brennstoff enthaltene Wärme, beträgt ca. 8 %, während ein modernes thermisches Dampfkraftwerk auf ca. 28 % kommt. Der Übergang zur elektrischen Traktion ergibt somit eine Reduktion des Brennstoffbedarfes auf ungefähr den dritten Teil. Naturgemäss spielen die Stromsysteme und die Art der Erzeugung der Einphasenenergie eine gewisse Rolle, wie dies Tabelle I zeigt. Die totalen Wirkungsgrade in Tabelle I basieren auf der Voraussetzung, dass die den Dampfkesseln des thermischen Kraftwerkes im Brennstoff zugeführte

Table I
Totale Wirkungsgrade für verschiedene Arten der Erzeugung von Einphasenenergie für Traktionszwecke

Nr.	Frequenz des einphasigen Wechselstromes in der Fahrleitung Hz	Art der Energieerzeugung im Dampfkraftwerk	Totaler Wirkungsgrad %
1	$16\frac{2}{3}$	Dampfturbine mit 3000 U./min. Einphasengenerator mit 1000 U./min. Übersetzungsgetriebe. Übertragung nach den Unterwerken mit 110 kV. Zweimalige Transformierung. Fahrdrachtspannung 15 kV	≈ 27
2	$16\frac{2}{3}$	Antrieb des Einphasengenerators gemäss Fig. 1. Übertragung nach den Unterwerken mit 110 kV. Zweimalige Transformierung. Fahrdrachtspannung 15 kV	≈ 30
3	$16\frac{2}{3}$	Erzeugung von Drehstrom 50 Hz in einem direkt angetriebenen Turbogenerator. Übertragung nach dem Umformerwerk mit 110 kV (3 ~, 50 Hz) mit zweimaliger Transformierung. Umformergruppe mit Einphasengenerator für $16\frac{2}{3}$ Hz. Übertragung nach den Unterwerken mit 110 kV mit zweimaliger Transformierung. Fahrdrachtspannung 15 kV	≈ 29
4	50	Erzeugung von Drehstrom 50 Hz in einem direkt angetriebenen Turbogenerator. Übertragung nach den Unterwerken mit 110 kV. Zweimalige Transformierung. Fahrdrachtspannung 20...25 kV	≈ 33

Wärme 100 % sei. Aus dem Vergleich der angeführten Zahlen folgt ferner, dass sich die Verwendung von Doppelmaschinen nach Fig. 1 im Grosskraftwerk Mannheim günstig für die Deutsche Bundesbahn auswirkt, da der Wirkungsgrad gegenüber reiner Einphasenerzeugung mit $16\frac{2}{3}$ Hz rund 3 % höher wird und auf der Strecke Basel—Karlsruhe die Einsparung pro Jahr von über 2000 t hochwer-

tiger Steinkohle gestattet. Die Deutsche Bundesbahn muss deshalb mit einem Aufwand von nur rund 0,43 kg Kohle/kWh (zugehöriger Wärmehaufwand ca. 3000 kcal/kWh) rechnen, was für Einphasenenergie von $16\frac{2}{3}$ Hz als günstig bezeichnet werden kann.

Der Übergang zur elektrischen Traktion zwischen Basel und Karlsruhe hat somit einen starken Rückgang des Kohlebedarfes zur Folge, was hinsichtlich des Antransportes, z. B. aus dem Ruhrgebiet, eine grosse Entlastung für die Deutsche Bundesbahn bedeutet. Die effektive Einsparung pro Jahr für die rund 200 km lange Strecke Basel—Karlsruhe wurde zu rund 250 000 t berechnet, was bei einem Kohlenpreis von DM 80.— rund 20 Millionen DM ausmacht.

Die Verteilung nach den 110-kV-Unterwerken

Die Versorgung der einzelnen Unterwerke, die ihrerseits die verschiedenen Fahrleitungsabschnitte speisen, geschieht mit 110 kV. Diese Spannung, die schon früher von der Deutschen Bundesbahn verwendet wurde, erlaubt einen wirtschaftlichen Transport von Einphasenenergie mit $16\frac{2}{3}$ Hz auf grössere Distanzen nach den Schwerpunkten des Verkehrs. Da die Erstellung solcher Fernleitungen im Rahmen der gesamten Elektrifizierung nur ca. 4..5 % ausmacht, so lohnt sich dieser Aufwand im Hinblick auf die zahlreichen Vorteile für den Bahnbetrieb.

Der vorübergehende Mangel an Energiequellen für den Betrieb der Linie Basel—Karlsruhe im südlichen Teil, d. h. bis zum Anschluss von Wasserkraftwerken, wirkt sich auch auf den Bau der 110-kV-Fernleitungen aus. So wird in Karlsruhe der Anschluss an das bereits vorhandene 110-kV-Netz Süddeutschlands (Distanz bis Mühlacker ca. 35 km) mit Hilfe von zwei Schleifen (4 Stahl-Aluminiumseile $240/40$ mm² und ein Stahl-Erdseil von 50 mm²) hergestellt, während die stark belastete Strecke Karlsruhe—Mannheim (Distanz ca. 70 km) vier Stahl-Aluminiumseile $300/50$ mm² und ein Stahl-Erdseil von 70 mm² besitzt. In südlicher Richtung wird das Fernleitungsnetz bis nach Haltingen vor die Tore Basels ausgedehnt und wie folgt ausgeführt (Tabelle II):

Querschnitte der 110-kV-Übertragungsleitungen
Karlsruhe—Freiburg i. Br.

Tabelle II

Strecke	Querschnitte
Karlsruhe— Offenburg	4 Stahl-Aluminiumseile $240/40$ mm ² + 1 Stahl-Erdseil 50 mm ²
Offenburg— Freiburg	4 Stahl-Aluminiumseile $185/32$ mm ² + 1 Stahl-Erdseil 50 mm ²

Mit diesen Fernleitungen wird die Verbindung zum bereits vorhandenen süddeutschen Netz hergestellt, das die aus verschiedenen Wärme- und Wasserkraftwerken stammende Einphasenenergie nach den betreffenden Unterwerken weitertransportiert. Auf diese Weise wird nach Durchführung der Elektrifizierung auf der ganzen Strecke Basel—

Karlsruhe im Jahre 1957 die Sicherheit des elektrischen Betriebes weitgehend gewährleistet.

Unterwerke

Für die Versorgung der Strecke Basel—Karlsruhe sind vier Unterwerke vorgesehen (Haltingen, Freiburg, Offenburg und Karlsruhe). Jedes Unterwerk mit Ausnahme von Karlsruhe erhält zwei Transformatoren mit einer Leistung von je 7000 bis 10 000 kVA; in Karlsruhe werden vier Einheiten aufgestellt. Der kleinere der beiden Werte gilt für natürliche Kühlung, während bei der höheren Leistung ein besonderer Ventilator in Betrieb gesetzt wird. Diese Transformatorenleistungen wurden auf Grund der einzelnen Streckenbelastungen ermittelt. In sämtlichen Unterwerken ist ferner der nötige Platz für je eine weitere Einheit vorgesehen.

Im Aufbau entsprechen die Unterwerke den bei Einphasenwechselstrom mit $16\frac{2}{3}$ Hz üblichen Ausführungen mit Sammelschienen für 110 kV und für 15 kV, den erforderlichen Sammelschienen-Kupferschaltern und der Eigenbedarfsanlage. Die einzelnen Unterwerke müssen jeweils auf den Zeitpunkt der betreffenden Teilstrecken betriebsbereit sein und zwar:

1. Unterwerk Freiburg im Mai 1955 bei der Aufnahme des elektrischen Betriebes zwischen Basel und Freiburg i. Br.
2. Unterwerk Haltingen im Jahre 1956 mit der Aufnahme des vollelektrischen Betriebes zwischen Basel und Freiburg bzw. Offenburg.
3. Unterwerk Offenburg im Jahre 1956 bei der Einführung der elektrischen Traktion zwischen Freiburg und Offenburg.
4. Unterwerk Karlsruhe im Jahre 1957, wenn die letzte Etappe Offenburg—Karlsruhe zur Ausführung kommt. Der Hochspannungsteil für 110 kV musste jedoch bereits im Frühjahr 1955 betriebsbereit sein, um im Transit Energie nach dem Unterwerk Freiburg i. Br. übertragen zu können.

Mit der Inbetriebnahme des Unterwerkes Haltingen nördlich von Basel wird der Umrichter, der im Jahre 1934 für die Versorgung der Wiesentalbahn aufgestellt worden war, sowohl aus betrieblichen als auch aus wirtschaftlichen Gründen stillgelegt werden. Hierbei lässt sich auch die Betriebsführung gegenüber dem heutigen Zustand vereinfachen. Der südlichste Punkt, der dann von Haltingen aus mit Einphasenenergie von $16\frac{2}{3}$ Hz versorgt wird, wird in Säckingen am Rhein liegen.

Die Fahrleitungen

Bevor die Montage der Fahrleitungen in Angriff genommen werden konnte, mussten zunächst gewisse bauliche Arbeiten ausgeführt werden, um das Lichtprofil den Anforderungen der elektrischen Zugförderung anzupassen. In den drei Tunnels bei Istein wurde die Tunnelsohle um bis 40 cm abgesenkt, während gleichzeitig zahlreiche Überführungen gehoben werden mussten, um bei den unter Spannung stehenden Anlageteilen die vorgeschriebenen Abstände zu erreichen. Grundsätzlich ist zu bemerken, dass der Umfang dieser Änderungen für das $16\frac{2}{3}$ -Hz-System geringer ausfällt als beim 50-Hz-System, da bei diesem wegen der höheren Fahrleitungsspannung (20 oder 25 kV gegenüber 15 kV bei $16\frac{2}{3}$ Hz) grössere Distanzen eingehalten werden müssen.

In Deutschland wurden seit der Aufnahme der elektrischen Traktion auf Hauptlinien vor mehr als 40 Jahren eine grosse Zahl von Fahrleitungsbauarten ausprobiert, bis die heute allgemein verwendete «Einheitsfahrleitung 1950» entwickelt war. Da die Geschwindigkeiten der Züge mit Dampflokomotiven im Laufe der Jahre und ganz besonders nach der Aufgabe des Dampfbetriebes immer mehr erhöht wurden, so war es nötig, dem einwandfreien Zusammenarbeiten von Fahrdraht und Stromabnehmer die nötige Aufmerksamkeit zu schenken und die gewonnenen Erfahrungen zweckmässig auszuwerten. Die heute verwendete «Einheitsfahrleitung 1950» ist durch verschiedene Eigenschaften gekennzeichnet. Im Aufbau ist sie einfach und billig. Dazu besitzt sie eine grosse Betriebssicherheit, so dass ihr Unterhalt nur wenig Personal erfordert. Sie eignet sich für Fahrleistungen bis 160 km/h.

Der Fahrdraht ist nicht durchgehend über der Geleisemitte aufgehängt, sondern weicht nach rechts und nach links um je 400 mm aus, um die Schleifstücke der Triebfahrzeuge gleichmässig abnützen zu können. Die Rheintallinie kann später mit einer maximalen Geschwindigkeit von 160 km/h befahren werden, ohne dass grössere bauliche Änderungen des Tracés nötig sind; die Fahrleitung wird von Anfang an hierfür vorgesehen. Eine Herabsetzung der Geschwindigkeit ist nur in besonderen Fällen, z. B. am Westhang des Isteinerklotzes, nötig, wo zahlreiche Kurven vorhanden sind. Die totale Länge aller Geleise mit Fahrleitungen auf der doppelspurigen Linie Basel—Karlsruhe beträgt rund 850 km.

Im Badischen Bahnhof in Basel werden nach der Aufnahme des elektrischen Betriebes vertragsmässig auch Lokomotiven der Schweizerischen Bundesbahnen zirkulieren. Dies bedingt für die Fahrleitungen des Bahnhofgebietes die Anwendung einer speziellen Bauart, bei der die Fahrleitung nur ± 200 mm von der Achse des Geleises abweichen darf, da die Stromabnehmer der Triebfahrzeuge der Schweizerischen Bundesbahnen schmaler sind als diejenigen der Deutschen Bundesbahn.

Besondere Verhältnisse des Bahnhofes Freiburg i. Br.

Im Bahnhof Freiburg i. Br. stellt sich für die Deutsche Bundesbahn erstmals das Problem, innerhalb des gleichen Bahnhofes zwei Fahrleitungsbezirke mit verschiedenen Spannungen und verschiedenen Frequenzen zu betreiben, da dort der Anfangspunkt der Höllentalbahn liegt (Fahrdraht-

spannung 20 kV, 50 Hz). Dies bedingt gewisse Änderungen an den Fahrleitungs- und an den Geleiseanlagen. Auch werden die Triebfahrzeuge der beiden Systeme, $16\frac{2}{3}$ Hz und 50 Hz, in ihrer Bewegungsfreiheit innerhalb der Bahnhofsanlagen gewissen Beschränkungen unterworfen sein, was zu betrieblichen Komplikationen führen wird. Die Trennung in zwei getrennte Fahrleitungsbezirke, wie sie heute angewendet ist, wird deshalb nur als vorübergehend angesehen. Es wird danach getrachtet, mit einer einzigen Frequenz und zwar mit $16\frac{2}{3}$ Hz auszukommen. In dieser Richtung weist auch die Absicht der Deutschen Bundesbahn, zwei Lokomotiven der Höllentalbahn zu Zweifrequenz-Triebfahrzeugen umzubauen²⁾, um sie sowohl im Höllental als auch auf der Rheintallinie verwenden zu können.

Die Triebfahrzeuge

Im Sommerfahrplan 1955 werden nur Personenzüge zwischen Basel und Freiburg elektrisch verkehren; der Vorortverkehr nach Efringen-Kirchen wird mit elektrischen Triebfahrzeugen abgewickelt. Die Schnellzüge und die Güterzüge werden mit Dampflokomotiven geführt, da sich bei den ersteren ein Wechsel des Triebfahrzeuges in Freiburg nach rund 60 km nicht lohnt und ausserdem die nötigen Triebfahrzeuge nicht verfügbar sind. Im Vorortverkehr zwischen Basel und Efringen-Kirchen werden teilweise auch Akkumulatoren-Triebwagen, eingesetzt, wie dies schon früher vor der Aufnahme des elektrischen Betriebes im Jahre 1952 der Fall war.

Bei den zwischen Basel und Freiburg eingesetzten elektrischen Lokomotiven handelt es sich in erster Linie um ältere Bauarten, die von andern Linien abgezogen wurden.

Die verwendeten Triebwagen werden zum Teil direkt von der Fahrleitung aus ($16\frac{2}{3}$ Hz, 15 kV) mit Energie versorgt, zum Teil sind sie vom Fahrdraht unabhängig und besitzen Akkumulatoren. Die Motorwagen für $16\frac{2}{3}$ Hz verkehren zum Teil auch auf der Wiesen- und der Wehratalbahn, wo sie erstmals vor rund 20 Jahren bei ihrem Aufkommen in den fahrplanmässigen Betrieb eingesetzt wurden. Bei den Akkumulatoren-Triebwagen, die als Einzelfahrer verkehren, ist die Platzzahl geringer. Neben Wagen älterer Bauart kommen auch neuere Konstruktionen zum Einsatz.

Adresse des Autors:

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

²⁾ siehe Bull. SEV Bd. 46(1955), Nr. 14, S. 648...650.

Aufbau und Wirkungsweise der Fernmesseinrichtungen des Lastverteilers der Atel, Olten¹⁾

Von A. de Quervain, Baden (AG)

621.3.083.7

Sowohl die Fernmesseinrichtungen des Lastverteilers wie auch die Regelkanäle der verschiedenen nach dem Prinzip der Frequenz-Leistungsregelung arbeitenden Kraftwerke verwenden das Fre-

quenz-Variationsprinzip. Sie sind mit grundsätzlich denselben Geber- und Empfangseinrichtungen ausgerüstet.

Während im Regelnetz pro Messkanal nur 1 Messwert übertragen wird, sind die Fernmesskanäle des Lastverteilers zyklisch mehrfach aus-

¹⁾ siehe Bull. SEV Bd. 46(1955), Nr. 14, S. 657...659 und Nr. 16, S. 742...744.