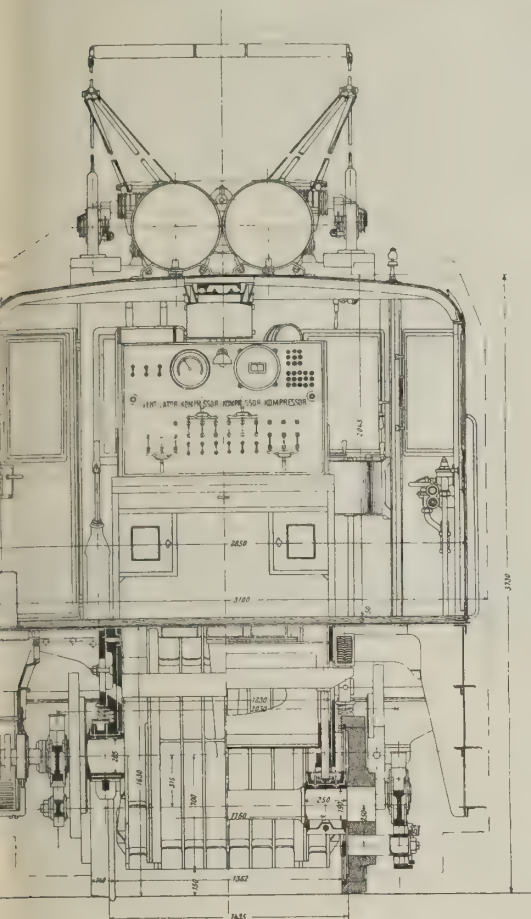




Querschnitte zu Abb. 22.

Über Drehstrombahnen.

Von K. v. Kandó.

Die Schriftleitung der „ETZ“ gab mir, als dem Konstrukteur der im vorstehenden Berichte „Neue elektrische Güterzuglokomotive der Italienischen Staatsbahnen“ behandelten Drehstromlokomotiven, Gelegenheit, mich zu den in dem genannten Aufsatz ausgesprochenen Ansichten vom Standpunkte der Drehstrombahnen aus zu äußern. Zunächst möchte ich erwähnen, daß der mechanische Teil der von mir in der „Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure“ beschriebenen Drehstrom-Lastzuglokomotive nicht von mir, sondern, wie ich am genannten Orte schon bemerkte, vom Florentiner Bureau der Italienischen Staatsbahnen entworfen worden ist.

Die Behauptung des vorstehenden Aufsatzes, daß die Überlegenheit der Drehstromlokomotiven bezüglich der spezifischen Leistung belanglos sei, ist eine Folgerung, die auf unrichtigen Zahlenwerten beruht. Es heißt daselbst nämlich, der Reibungskoeffizient betrage für mittlere Verhältnisse, bei einer Geschwindigkeit von 45 km/Std nur etwa 0,125, woraus dann berechnet wird, daß bei dieser Geschwindigkeit ein Reibungsgewicht von mindestens 45,5 kg pro PS notwendig sei und somit die Leistung auf 22 PS pro t begrenzt bleibe. Dies ist aber eher ein „pium desiderium“ der Konstrukteure der Einphasen-Wechselstromlokomotiven, die damit das überaus große Gewicht der letzteren rechtfertigen wollen.

Wenn wir unsere Rechnung, anstatt auf unkontrollierbare Koeffizienten, auf die in der Praxis mit Dampflokomotiven erzielten Resultate basieren, so bekommen wir viel höhere Werte der durch die Reibung begrenzten Leistungsfähigkeit, als die von Herrn Heyden berechneten. Nehmen wir z. B. die Lokomotiven Type C 4/5 und A 3/5 der Gotthardbahn, und schauen wir, welche Leistungen diese Lokomotiven nach den Belastungsnormen auf der Strecke Biasca-Airolo zu entwickeln haben. Die Lokomotive C 4/5 hat ein Gesamteigengewicht mit vollem Tender von 115,3 t, wovon 62,4 t auf die Triebäder kommen, und ist imstande, Expreß- und Schnellzüge der Kategorie I mit einem Gewichte von 200 t zu befördern. Wenn wir nun die Züge 118, 126, 128 und 132 in Betracht ziehen, so sehen wir, daß sie die 45,6 km zwischen Biasca und Airolo, mit Abrechnung der Haltezeit in Faïdo, in 68, 68, 66 beziehungsweise 70 Minuten zurücklegen. Wenn wir für die zwei Anfahrten und die zwei Bremsungen 6 Minuten Zeitverlust rechnen, so kommt die durchschnittliche Geschwindigkeit im Beharrungszustande zwischen 43,4 und 45,6 km/Std heraus. Die größte Steigung dieses Streckenteiles ist 27 ‰ und der kleinste Krümmungshalbmesser rund 300 m; somit wird der Bewegungswiderstand, den die Dampflokomotive am Radumfang zu entwickeln hat, 10 720 kg¹⁾, was bei 45 km/Std einer Leistung von 28,7 PS/t des Reibungs-

gewichtes entspricht. Noch höher sind diese Werte bei den Typen A 3/5 (ältere Ausführung Nr. 252 bis 230) mit einem Gesamtgewichte von 104 t, wovon 46,8 t auf den Triebädern ruhen, welche Lokomotiven nach den Belastungsnormen zwischen Biasca und Airolo die 140 t schweren Expreß- und Schnellzüge der Kategorie I befördern können, was bei 45 km/Std einer Leistung von 29,2 PS/t Reibungsgewicht entspricht. Noch günstiger sind diese Zahlen bei der Lokomotive Type A 3/5 (neuere Ausführung Nr. 931 bis 938); diese Lokomotive hat ein Gesamtgewicht von 118,2 t, wovon 49,5 t auf die Triebäder kommen, und ist imstande, wie die Proben¹⁾ nachgewiesen haben, ein Gewicht von 150 t auf der Steigung zwischen Biasca und Airolo zu befördern, was einer Zugkraft von 18,23 t am Radumfang und einer Leistung der Maschine von 30,4 PS/t Reibungsgewicht entspricht.

Wie wir sehen, nimmt schon bei Dampflokomotiven die gute Praxis beinahe 40 ‰ größere Leistungen pro t Reibungsgewicht an, als Herr Heyden für die elektrischen Lokomotiven als mögliches Maximum berechnet. Es ist aber eine bekannte Tatsache, daß elektrische Lokomotiven infolge der gleichmäßigen Zugkraft ihr Reibungsgewicht besser ausnutzen können als Dampflokomotiven, bei denen die Zugkraft während jeder Umdrehung sich um 20 bis 25 ‰ gegen den durchschnittlichen Wert ändert. Folglich, wenn wir aus diesen bei Dampflokomotiven erzielten Werten auf die Möglichkeit bei elektrischen Lokomotiven schließen wollen, so bekommen wir einen rund 70 ‰ höheren Wert als der von Herrn Heyden berechnete. Diese aus theoretischer Überlegung abgeleitete Annahme ist aber schon in den ersten Jahren des elektrischen Bahnbetriebes mit schweren Lokomotiven durch die Praxis bestätigt worden. Die erste schwere elektrische Lokomotive, welche im praktischen Betriebe schwere Züge zu befördern hatte, die Gleichstromlokomotive der „Baltimore und Ohio-Bahn“, war imstande, bei 96 t Reibungsgewicht 60 000 Pfund am Zughaken zu entwickeln (siehe Bericht von Kolonel M. Heft vor dem Internationalen Eisenbahnerkongreß im Jahre 1900), was einem Reibungskoeffizienten von 0,31 entspricht.

Seit dieser Zeit ist, jedesmal wenn eine große elektrische Lokomotive zur Probe gekommen ist, die Tatsache konstatiert worden, daß dieselbe mehr als 1/4 ihres Reibungsgewichtes als Zugkraft am Radumfang entwickeln kann. Dies ist schon so weit die Überzeugung der Konstrukteure elektrischer Lokomotiven geworden, daß man sich nicht scheut, Garantien für eine maximale Zugkraft bis über 28 ‰ des Reibungsgewichtes zu übernehmen. (Siehe „Pennsylvania electric locomotives for the New York terminal service“, „Electric Railway Journal“, 6. XI. 1909, S. 982). Wir sehen also, daß sich das große Gewicht der Einphasen-Wechselstromlokomotiven mit der Notwendigkeit eines so hohen Reibungsgewichtes nicht begründen läßt.

Aber sollte auch das Eigengewicht einer Drehstromlokomotive als Reibungsgewicht nicht genügen und die Anwendung von Ballast notwendig sein, so trifft die Behauptung des Herrn Heyden nicht zu, nämlich „daß es gleichgültig sei, in welcher Weise dieser notwendige Ballast untergebracht werde“. Es ist nicht gleichgültig, ob Gußeisen, welches etwa 5 bis 8 Pf/kg kostet, oder elektrische Motoren und Apparate, die 1,50 bis 2 M/kg kosten, als Ballast verwendet werden.

¹⁾ M. Richter, „Die Lokomotiven der Gotthardbahn“, „Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure“ vom 12. XII. 1908, S. 2001.

¹⁾ Als Widerstand des gezogenen Gewichtes einschließlich Tender und des auf den Laufrädern der Lokomotive ruhenden Gewichtes ist

$$1,6 + 0,015 V + 0,0003 V^2 \text{ kg/t,}$$

genommen worden, wo V die Geschwindigkeit in km/Std ist. Als Widerstand entsprechend dem Reibungsgewichte ist

$$2,6 \sqrt{a} + 0,00075 a V^2 \text{ kg/t}$$

genommen worden, wobei a die Anzahl der gekuppelten Achsen ist.

Die Inbetrachtziehung des Reibungswiderstandes der Triebäder ist in diesem Falle berechtigt, weil wir diese Rechnungen zur möglichen maximalen Leistung der Motoren einer elektrischen Lokomotive, welche auch diese Reibungswiderstände zu überwinden hat, benutzen wollen.

Der Krümmungswiderstand ist = 650 : (r - 60) kg/t, wobei r gleich dem Krümmungshalbmesser in Metern ist.

Zusammenfassung.

Im Anschluß an einen Aufsatz von v. Kandó in der „Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure“ werden die für die elektrische Zugförderung auf den italienischen Staatsbahnen ausgebauten und in Aussicht genommenen Strecken aufgeführt. Es folgen eine Beschreibung einer neuen elektrischen Güterzuglokomotive und eine kurze Beleuchtung der Punkte, welche v. Kandó in seinem Aufsatz zugunsten der Verwendung des Drehstromes für den Vollbahnbetrieb auslegt. Es wird darauf hingewiesen, daß die von v. Kandó erwähnten Vorteile für die Wahl des Drehstromsystems nicht ausschlaggebend sein können, daß vielmehr nach den heutigen Erfahrungen für Vollbahnzwecke nur der einphasige Wechselstrom in Frage kommt.

Was Herr Heyden über die praktische Möglichkeit von Stromrückgewinn bei der Talfahrt sagt, ist vollständig richtig, nur fehlt die Folgerung daraus, nämlich daß alle Nachteile, die er als eine Folge der stufenweisen Regulierung der Stromrückgewinnung erwähnt, bei der Stromrückgewinnung mit Drehstrommotoren nicht vorkommen. Gerade der Umstand, daß die Stromrückgewinnung bei Drehstromlokomotiven mit einer konstanten Geschwindigkeit erfolgt, schließt die gefährlichen Stöße vollständig aus. Dadurch, daß die Drehstromlokomotiven keine Beschleunigung und keine Verzögerung des Zuges zulassen, erlauben dieselben ein ruhiges, stoßfreies Fahren des Zuges bei der Talfahrt, was bei Einphasen-Wechselstrom-Reihenschlußmotoren nicht möglich ist; bei denselben treten allerdings alle diejenigen Übelstände ein, die Herr Heyden erwähnt.

Noch nie haben sich Fachleute in der Aussprache von Axiomen so geirrt, wie in der Aufstellung des Dogmas, daß Zugbeförderung nur mit Motoren mit veränderlicher Geschwindigkeits-Charakteristik praktisch möglich sei. Diese Behauptungen tauchen von Zeit zu Zeit in der Fachliteratur wieder auf, obwohl die vieljährige Praxis mit Drehstrombetrieb es bewiesen hat, daß die mit diesem verbundenen Synchron-Geschwindigkeiten im praktischen Betriebe gar keine fühlbaren Nachteile haben. Die Erfahrung der Valtellina-Bahn zeigt, daß in den Verkehrsperioden, wo die Dampfzüge wegen Überlastung große Verspätungen haben, die Drehstromzüge regelmäßig verkehren, sogar imstande sind, die von den Dampfzügen gemachten Verspätungen ganz oder teilweise einzuholen. Dies ist auch natürlich, wenn wir bedenken, daß die Geschwindigkeit der Drehstromlokomotiven von Überlastungen des Zuges, von Wind oder ungünstigen Gleiszuständen, Schnee usw. unabhängig ist, und folglich die planmäßige Fahrzeit eingehalten werden kann. Dies ist besonders bei eingleisigen Strecken von besonderer Wichtigkeit, wo die Verspätung eines Zuges infolge der Kreuzungen Verspätungen anderer Züge verursacht. Die Verspätungen von Dampfbahnen rühren hauptsächlich von der Lokomotive her; die verspäteten Abfahrten der Züge sind gewöhnlich die Folgen verspäteten Anschlusses oder verspäteter Kreuzung; diese Ursachen der Verspätung fallen bei Drehstrombetrieb fort. Was nun die Möglichkeit der Einholung von Verspätungen anbelangt, so steht der Drehstromlokomotive jener Spielraum, welcher zwischen der planmäßigen Fahrzeit und der kürzesten möglichen Fahrzeit gelassen ist, zur Einholung von Verspätungen stets zur Verfügung; nicht so bei Lokomotiven mit veränderlicher Geschwindigkeits-Charakteristik, wie die Dampflokomotive oder elektrische Lokomotive mit Reihenschlußmotoren, die gerade dann, wenn sie Verspätungen einzuholen hätten, wie bei Überlastung, schlechten Bahnverhältnissen usw. nicht einmal die normale Fahrzeit einhalten können.

Die konstante Fahrgeschwindigkeit hat aber in speziellen Fällen große Vorteile, dort nämlich, wo die größte Geschwindigkeit durch die Betriebssicherheit begrenzt ist, was da, wo viele Krümmungen und stark wechselnde Steigungsverhältnisse vorkommen, der Fall ist. In solchen Fällen kann eine Drehstromlokomotive mit ihrer konstanten Geschwindigkeit, welche das aus Sicherheitsrücksichten bestimmte Maximum betragen darf, die kürzeste Fahrzeit erreichen; eine Lokomotive mit veränderlicher Geschwindigkeits-Charakteristik bleibt mit ihrer mittleren Geschwindigkeit wesent-

lich unter dem zugelassenen Maximum. Wie wir also sehen, bietet der Drehstrommotor mit seiner konstanten Geschwindigkeit große Vorteile gegenüber den Motoren mit veränderlicher Geschwindigkeits-Charakteristik.

Zusammenfassung.

Bezüglich des Drehstrommotors als Bahnmotor kommen in der Fachliteratur wiederholt auf mehr oder weniger theoretischer Überlegung fußende Behauptungen vor, welche sich in der Praxis nicht bestätigen lassen und in denen dem Drehstrommotor oft die konstante Geschwindigkeit als Nachteil vorgeworfen wird. Es wird darauf hingewiesen, daß die konstante Geschwindigkeit in der Praxis nennenswerte Vorteile bietet und andererseits die große Leistungsfähigkeit des Drehstrommotors pro Gewichtseinheit die Drehstromlokomotive für Strecken mit großen Steigungen besonders geeignet macht.

Über die Abhängigkeit der Stoßzahl beim Wienschen Sender.

Von Dipl.-Ing. Dr. Mosler.

Zur Bestimmung der Entladungszahl im Primärkreis bei Stoßerregung benutzte Wasmus¹⁾ eine senkrecht zu einer rasch umlaufenden Motorwelle befestigte photographische Platte, auf welche er schwache Entladungen einer mit dem Stoßkreis lose gekoppelten Strahlspule übergehen ließ.

Bewegt man das Ende dieser Spule schnell über die lichtempfindliche Schicht, so erhält man jedem Funkenübergange entsprechend eine Belichtung.

Nach der Entwicklung zeigen sich die einzelnen Entladungen als Punkte auf einer enggewundenen Spirale.

Wasmus hat auf diese Weise 48 900 Stöße gelegentlich eines Versuches feststellen können, ohne jedoch auf Stromstärke, Selbstinduktion und Kapazität näher einzugehen. Die Abhängigkeit der Stoßzahl von den genannten Größen, die zweifellos bestehen muß, näher zu untersuchen, soll der Zweck nachstehender Ausführungen sein.

Zunächst wurde die Anordnung des Funkenzählers in folgender Weise modifiziert. Wegen der großen Masse der photographischen Platte ist sowohl die Befestigung derselben auf der Motorwelle, wie die Erzielung bedeutender Umdrehungszahlen erschwert, ferner ist das Zählen der auf einer Spirale mit relativ kleinem Durchmesser liegenden Punkte etwas mühevoll.

Darum wurde an Stelle der Platte ein Kinematographen-Film gewählt, der mittels Heftzwecken auf dem Umfange einer Holz-scheibe A (Abb. 23) festgesteckt war. Diese

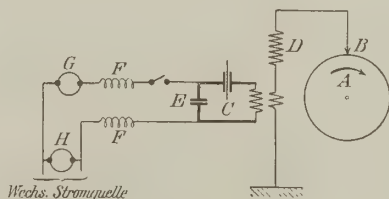


Abb. 23.

Scheibe, die zwecks erhöhter Festigkeit spezielle Verleimung erhielt, saß auf der Motorwelle.

Die Aufnahme der einzelnen Entladungen geschah durch Überfahren des Filmes in Richtung parallel zur Scheibenachse mit dem zugespitzten Ende B der durch den Stoßkreis C erregten Sekundärspule D.

Der Filmstreifen zeigt nach der Entwicklung die Entladungspunkte auf geraden

¹⁾ Wasmus, „Über Versuche am Peukertschen Hochfrequenzgenerator“, Braunschweiger Dissertation, 1909.

Linien, und die Bestimmung der Stoßzahlen kann mit großer Genauigkeit erfolgen. Hierzu kommt, daß es bei höheren Stoßzahlen, um die Punkte mehr auseinander zu ziehen, bei gleicher Tourenzahl des Motors nur einer Vergrößerung des Scheibendurchmessers bedarf, und daß das Aufspannen und Abnehmen des Filmes sehr schnell vorzunehmen ist.

Die Untersuchungen wurden mit einer Kupfer-Funkenstrecke E vorgenommen. Große, besonders gekühlte, Metallelektroden und Kohlenwasserstoffbildung durch in der Funkenstrecke verbrennendes Papier lieferten die nach jedem Funkendurchgang erforderliche Entionisierung.

Zwischen Generator E und der Stromquelle liegen noch die Drosseln F, sowie Amperemeter G und Voltmeter H.

Abb. 24.

Abb. 24 zeigt die Aufnahme der Stoßzahl bei 1440 Umdr/Min der Filmscheibe und einem Durchmesser derselben von 29,6 cm.

Der Umfang des Filmes beträgt demnach 93 cm. Die Umfangsgeschwindigkeit v berechnet sich zu

$$v = \frac{93 \times 1440}{60} = 2232 \text{ cm.}$$

Ein Punkt des Streifens durchläuft also in 1 Sek 2232 cm, oder einer Strecke von 1 cm auf dem Film entspricht eine Zeit von

$$1 : 2232 = 0,00045 \text{ Sek.}$$

Eine größere Anzahl von Messungen ergab als Mittelwert 4,2 Entladungen pro 1 cm Filmlänge.

Demnach berechnet sich die Stoßzahl:

$$\nu = \frac{4,2}{0,00045} = 9350.$$

In der Funkenstrecke gehen folglich pro Sekunde 9350 Entladungen vor sich.

Zunächst wurde die Abhängigkeit der Stoßzahl von der Stromstärke untersucht und bei diesen und den folgenden Versuchen Gleichstrom von 580 V Spannung verwendet.

Abhängigkeit von der Stromstärke.

$$A. \nu = f.(J).$$

Selbstinduktion $L = 9200 \text{ cm.}$

Kapazität $C = 200 \text{ 300 cm.}$

Wellenlänge $\lambda = 2698 \text{ m.}$

Stromstärke i	Stoßzahl ν
1,1	6 680
1,5	7 780
2,4	9 900
3,4	12 200

Größere Stromstärken zu untersuchen, war nicht empfehlenswert, da die Messungen infolge des kraterförmigen Aufwerfens der Elektroden unregelmäßig, beziehungsweise illusorisch wurden, wenn ein Zusammenfrühen der Metallplatten auftrat.

Abb. 25 läßt die Abhängigkeit der Stoßzahl von der Stromstärke erkennen. Die Stoßzahl wächst demnach innerhalb des beobachteten Gebietes proportional zur Stromstärke.