

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 27 (1936)
Heft: 19

Artikel: Die Ausbildung von Einphasen-Bahnmotoren für die Frequenzen der allgemeinen Kraft- und Licht-Netze
Autor: Kummer, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061511>

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: 16.05.2025

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

und Kochherde, sind schwer auseinanderzuhalten, weil die Preise z. T. stark ineinander hineingehen. Zone III umfasst die thermischen Kleinapparate. Für die Zone IV mussten die Kleinmotoren und die Beleuchtung zusammengefasst werden, da die Preise sehr oft dieselben sind, und der relativ kleine

Verbrauch der Kleinmotoren gegenüber der Beleuchtung hier nicht zum Ausdruck kommen kann.

Wir sprechen allen Unternehmungen, die durch das sorgfältige Ausfüllen der Fragebogen zum Gelingen unserer Erhebung wesentlich beitrugen, unsern besten Dank aus.

Die Ausbildung von Einphasen-Bahnmotoren für die Frequenzen der allgemeinen Kraft- und Licht-Netze.

Von W. Kummer, Zürich.

621.333.025.1

Nach einer Erläuterung der grundsätzlichen Schwierigkeiten der Ausbildung von guten Einphasen-Kommutator-Bahnmotoren für 50 Per./s wird gezeigt, dass die Ausführung solcher Motoren doch nicht so aussichtslos ist, wie bisher allgemein angenommen wurde. Im Doppelmotor von J. Döry und F. Etling für 300 PS Leistung wird das baureife Ausführungsbeispiel eines solchen Bahnmotors vorgeführt.

Après avoir démontré les difficultés du dimensionnement d'un bon moteur de traction à collecteur, alimenté directement par du courant monophasé de 50 pér./s, l'auteur décrit les mesures à prendre afin d'arriver à une solution pratique du problème. Un moteur jumelé de 300 CV, conçu par J. Döry et F. Etling, et étudié dans tous ses détails, est prêt pour la fabrication immédiate.

Die Speisung von Fahrleitungsanlagen elektrischer Hauptbahnbetriebe mit Einphasenwechselstrom, der unmittelbar allgemeinen Kraft- und Lichtnetzen entnommen werden kann, hat bisher praktisch befriedigende Lösungen nur über den Umweg von Umformerlokomotiven gefunden. Bei der europäischen Normalfrequenz von 50 Per./s hat die ungarische Eisenbahnlinie Budapest-Hegyeshalom mittels des von Kandó erfundenen Phasenumformers eine bemerkenswerte Anwendung aufzuweisen. Da heute den Bahnbetrieben durch die Konkurrenz der Beförderung von Personen und Gütern auf der Landstrasse die Ausbildung eines Leichtverkehrs mit zahlreichen Fahrgelegenheiten aufgezwungen wird, der mit Umformer-Fahrzeugen nicht befriedigend möglich sein dürfte, besteht für Einphasenbahnen mit Frequenzen der allgemeinen Kraft- und Lichtnetze ein dringendes Bedürfnis nach einem mit diesen Frequenzen unmittelbar gespeisten, betriebstauglichen Bahnmotor.

Im folgenden soll sowohl über die allgemeingültigen Beziehungen, die für die Ausbildung des benötigten Kommutator-Motors grundlegend in Betracht fallen, als auch über einen bereits baureif vorliegenden Entwurf eines solchen Motors Bericht erstattet werden ¹⁾.

1. Die grundlegenden Beziehungen.

Die Erfindung der Kompensation des Rotorfeldes, die Erfindung des phasenverschobenen Wendefeldes und die Wahl niedriger Frequenzen, insbesondere also der Zahl $16\frac{2}{3}$ pro s, haben den Kommutatormotor der Einphasenbahnbetriebe möglich und vorzüglich werden lassen. Wenn nun heute die Verwendung solcher Motoren für Einphasenstrom von 50 Per./s ernsthaft in Betracht

gezogen werden darf, so geschieht es nicht etwa dank einer umwälzenden Erfindung auf dem Gebiete der Elektrotechnik, sondern dank einer zielbewussten Verwertung allgemein zugänglicher Erkenntnisse und Erfahrungen und dank einer besonders Ausbildung des Einzelachsanantriebs, bei der Erfinderarbeit allerdings beteiligt ist. Eine Uebersicht über die Sachlage kann folgendermassen gewonnen werden:

Das Drehmoment der Nennleistung elektrischer Maschinen kann bekanntlich durch das Produkt $C \cdot L \cdot D^2$ gemessen werden, mit C als sog. «Grössenkonstante», mit L als Rotoreisenlänge in axialer Richtung und mit D als Rotordurchmesser; die Grösse C enthält als dimensionsbeschwerte Faktoren den Strombelag des Rotors und die massgebende magnetische Induktion. Schon bei der Ausbildung von Einphasen-Bahnmotoren für $16\frac{2}{3}$ Per./s wurde die Grösse C , gegenüber ihrem Werte für andere elektrische Maschinen von gleichem Nenn-Drehmoment, stark herabgesetzt, und zwar durch die Reduktion der magnetischen Induktion, zwecks Erzielung einer praktisch funkenfreien Kommutation beim Anlauf des Motors. Diese ist nämlich insbesondere durch Kleinhaltung der sog. Transformationsspannung möglich, d. h. durch Kleinhaltung des aus Frequenz, Polfläche und magnetischer Induktion gebildeten Produktes. Beim Uebergang auf Einphasenstrom von 50 Per./s könnte man also durch weitere Senkung der magnetischen Induktion, und zwar um 67 %, die Transformationsspannung konstant halten. Ohne Aenderung der Rotorabmessungen würde dann aber das Nenndrehmoment im selben Verhältnis fallen, und zwar bei konstant bleibendem Motorgewicht; eine solche Massnahme ist durchaus unannehmbar, um so mehr als die übermässige Senkung der magnetischen Induktion auch die Anlaufverhältnisse selbst erheblich verschlechtert. Annehmbare Konstruktionsgrundlagen für 50 Per./s entstehen jedoch, wenn man die für $16\frac{2}{3}$ Per./s gewählte magnetische Induktion auch bei Motoren für 50 Per./s beibehält, dabei aber die Polfläche, und zwar im

¹⁾ Einen Versuch, auch schwere Lokomotiven mit grossen Leistungen bei unmittelbar 50 Per./s mittels Kommutatormotoren auszurüsten, bildet die Probelokomotive der Siemens-Schuckertwerke für die Höllental- und Dreiseenbahn im Schwarzwald; dieser Versuchsbetrieb der Deutschen Reichsbahn verwendet weiter auch Probelokomotiven mit Gleichrichtern (Systeme AEG und BBC) sowie eine Probelokomotive mit Partialumformung (System Krupp).

wesentlichen durch die Reduktion der Rotorlänge L , herabsetzt, so dass die Transformationsspannung für $16\frac{2}{3}$ Per./s auch für 50 Per./s unverändert bestehen bleibt; die Reduktion von L wird natürlich für den Motor für 50 Per./s ein entsprechend verkleinertes Nenndrehmoment nach sich ziehen, wobei nun aber auch das Motorgewicht fallen wird; dieses wird zwar weniger als proportional der Reduktion von L fallen, aber doch erheblich genug, um die getroffene Disposition als wertvoll erscheinen zu lassen. Grundsätzlich stempelt die Verkleinerung der Abmessung L an einem Motor für 50 Per./s gegenüber dem Motor gleichen Rotordurchmessers für $16\frac{2}{3}$ Per./s den ersten zum Typus geringerer Schnellläufigkeit, soweit diese durch das Verhältnis $\frac{L}{D}$ gekennzeichnet wird. Nun ist aber, bei höherer Frequenz f , allgemein eine höhere Drehzahl n , d. h. also eine höhere Schnellläufigkeit,

doch die höhere Schnellläufigkeit erhalten als der Bahnmotor für $16\frac{2}{3}$ Per./s. Die Grenze für die Vergrößerung von n wird durch die Zentrifugalfestigkeit des Rotors gesetzt. Die im weiteren allenfalls noch in Betracht kommenden Steigerungen der Polzahl und der Räderübersetzung finden ihre Grenzen folgendermassen: die Grenze der Erhöhung der Polzahl, die auch für den Blindverbrauch im Anlauf günstig wirkt, wird durch die Rücksicht auf den Kommutator und auf die Bewicklungen gesetzt; anderseits ist die Begrenzung der Uebersetzungsverhältnisse von Zahnrädern in deren eigenem Verhalten begründet. Nun erweist sich endlich die Verkleinerung der Rotorlänge L der Motoren für 50 Per./s weiter namentlich auch als geeignet zur Ausbildung von Doppelmotoren zum Einzelachsantrieb; über eine bezügliche, die Tazzenlagerbauart bereichernde Anordnung soll im folgenden eingehend berichtet werden ²⁾.

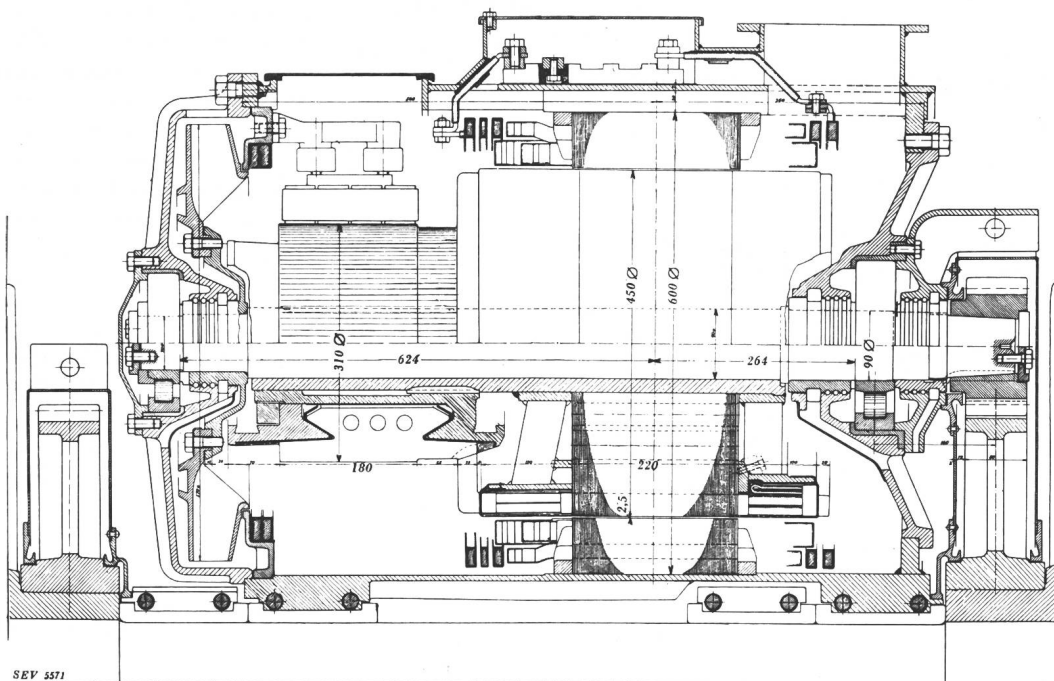


Fig. 1.
Längsschnitt des Einzelmotors.

wünschbar. Einerseits wird ein günstiger Leistungsfaktor durch höchstmögliche Werte des Grades $\ddot{u}$ des Uebersynchronismus:

$$\ddot{u} = \frac{p \cdot n}{f}$$

bewirkt, wobei neben hoher Drehzahl n auch hohe Polpaarzahl p als günstig erscheint; anderseits kann bei Bahnmotoren mit Zahnräderübersetzungen eine Erhöhung des Fahrzeug-Triebachsen-Drehmoments auch durch die Steigerung von n und zugleich der Räderübersetzung von der Motorwelle zur Triebachse erlangt werden. So muss also der Bahnmotor für 50 Per./s trotz des grundsätzlich im Wege stehenden, verkleinerten Verhältnisses $\frac{L}{D}$

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass auf Grund der entwickelten Beziehungen begründete, gute Aussichten für die Ausbildung praktisch brauchbarer Bahnmotoren für Einphasenstrom von 50 Per./s bestehen, wobei für den Konstrukteur übrigens noch eine ausreichende Bewegungsfreiheit offen bleibt.

²⁾ Auch für die in Anmerkung 1 erwähnte Probelokomotive der SSW werden Doppelmotoren an jeder Triebachse, und zwar für insgesamt etwa 3000 PS bei vier Achsen verwendet. Die Anwendung von Doppelmotoren an jeder Triebachse liegt ja auch deshalb nahe, weil ihre elektrische Reihenschaltung den Nachteil der niedrigen Rotorspannung teilweise aufhebt, die bei 50 Per./s zufolge des aus Kommutationsrücksichten unbedingt niedrigen magnetischen Polflusses entsteht.

2. Die Tatzenlagerbauart Döry-Ettling.

Von Jwan Döry und von Fritz Ettling sind uns die von ihnen entworfenen Berechnungen und

stellung der Richtigkeit und der Brauchbarkeit der Neukonstruktion bringen wir diese, im Einverständnis mit ihren Schöpfern, gemäss den Fig. 1, 2 und 3 veranschaulichten Schnitt- und Einbauzeichnungen zur Darstellung, um die Fachwelt auf die neue und wertvolle technische Lösung aufmerksam zu machen. Es handelt sich um einen Tatzenlagermotor und um den Aufbau von zwei identischen Ausführungen auf eine Fahrzeug-Triebachse. Während für Einphasen-Fahrzeuge bei $16\frac{2}{3}$ Per./s auf eine Triebachse für 300 PS Leistung normal ein Einzelmotor von 300 PS aufgebaut wird, ordnet die neue Ausführung für 50 Per./s der Triebachse zwei Motoren zu je 150 PS zu, wobei die bei der Motorbestimmung vorgenommene Reduktion der axialen Rotor-Eisenlänge dazu benutzt wird, um zwischen den Triebrädern längs der Fahrzeugachse den erforderlichen Platz zu schaffen. Es wird sich zeigen, dass die Lösung technisch und wirtschaftlich gerechtfertigt ist.

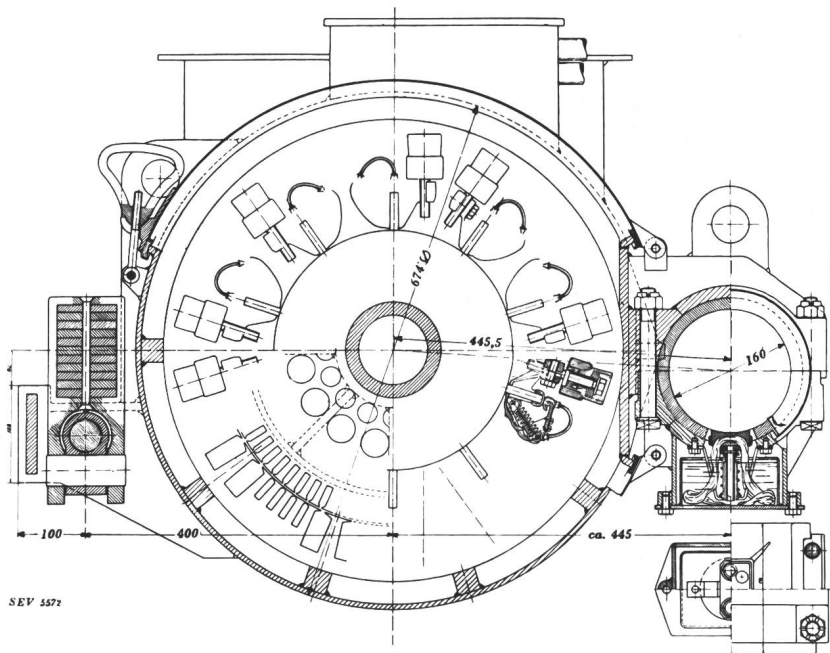


Fig. 2.
Querschnitt des Einzelmotors.

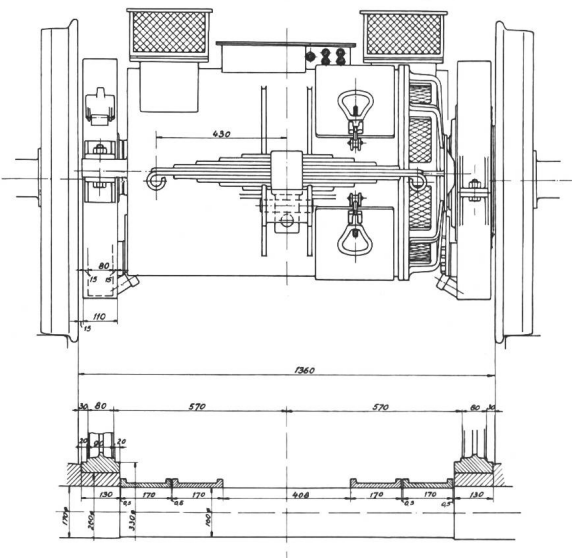
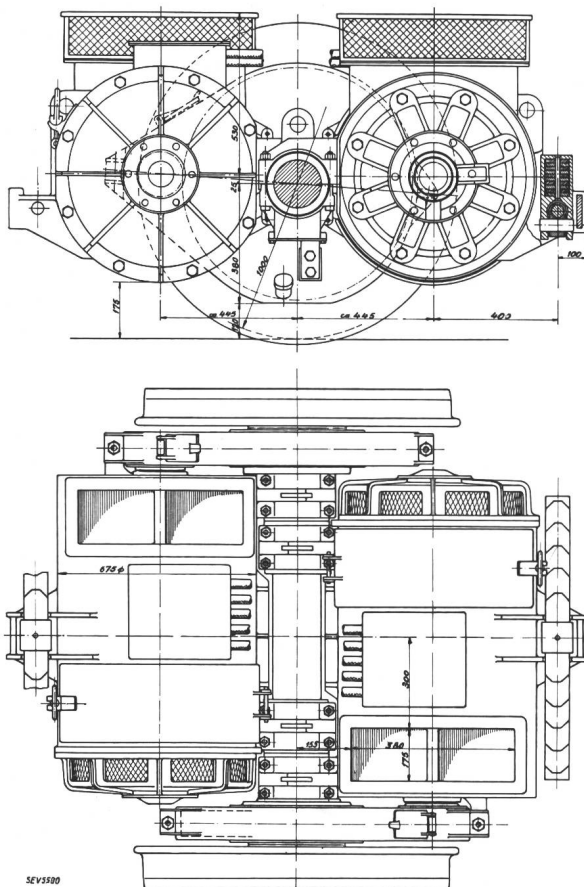


Fig. 3.
Einbauzeichnungen des Doppelmotors in drei Projektionen.

Uebersetzung 4,48 : 1.
Achsabstand 445,5 mm.
Zähnezahl 82/17.
Treibraddurchmesser 1000 mm.

werkstattreifen Konstruktionszeichnungen eines 300-PS-Doppelmotors für 50 Per./s, 280 V und 1020 A zur Prüfung vorgelegt worden. Nach Fest-

Wie aus den Figuren ersichtlich ist, bezieht sich der Konstruktionsentwurf auf einen normalspurigen Radsatz mit Rädern von 1000 mm Laufkreisdurchmesser. Die zwei zugeordneten Motoren sollen je Rotordurchmesser von 450 mm und axiale Rotoreisenlängen von 220 mm erhalten; von beiden Motoren zusammen, d. h. also von 440 mm Ge-

samtlänge des Rotoreisens werden beim angegebenen Rotordurchmesser 111 mkg Nenndrehmoment erwartet. Vergleichsweise sei erwähnt, dass ein normaler Bahnmotor für $16\frac{2}{3}$ Per./s dieses Nenndrehmoment bei etwa 300 mm Gesamtlänge des Eisens eines Rotors von gleichem Durchmesser abgeben würde, dabei eine um 32 % günstigere Grössenkonstante C aufweist, die lediglich durch das grössere Modell begründet ist, da grundsätzlich die Zahlenwerte des Rotorstrombelags und der magnetischen Induktion bei 50 Per./s und bei $16\frac{2}{3}$ Per./s je ungefähr gleich bleiben könnten, wenn dieselbe Modellgrösse betrachtet wird; beim vorliegenden Vergleich wird aber für $16\frac{2}{3}$ Per./s ein Modell für 111 mkg, für 50 Per./s ein solches für nur 55,5 mkg betrachtet. Hinsichtlich der Motorgewichte ist festzustellen, dass nach den Berechnungen der entworfene Doppelmotor für 50 Per./s samt Ritzeln, Radkasten und Tatzenlagern rund 2720 kg schwer werden wird, damit eine Gewichts-ziffer von 24,5 kg/mkg erlangt, während der analog ausgerüstete Normalmotor für $16\frac{2}{3}$ Per./s nur auf eine Gewichts-ziffer von rund 15,0 kg/mkg gelangt; bezogen auf die Leistung wird der Doppelmotor für 50 Per./s weniger ungünstig abschneiden, da er ohnehin für viel höhere Schnellläufigkeit bemessen werden muss. Die im Entwurf für ihn bei 300 PS vorgesehene Nenndrehzahl von 1930/min verschafft ihm eine Gewichts-ziffer von 9,1 kg/PS, während die analoge Ziffer eines Normalmotors für 300 PS bei $16\frac{2}{3}$ Per./s bei 7,8 kg/PS liegt.

Die eigentlichen elektrischen Bestimmungsdaten des Doppelmotors für 50 Per./s beruhen weiter auf der Annahme zehnpoliger Einzelmotoren, deren Rotoren je eine Schleifenwicklung von 10 Kreisen erhalten und einen Polfluss von 1,04 Millionen Maxwell beim Nenndrehmoment aufweisen. Als Grundbedingung praktisch funkenfreien Anlaufs ergibt sich damit die niedrige Transformations-spannung von nur 2,3 V. Bei 45 Rotorleitern in Reihe berechnet sich die elektromotorische Kraft des Rotors zu rund 108 V, der bei der Nennstromstärke von 1020 A die Einzelleistung 110 kW = 150 PS gerade entspricht; der dauernd seriegelgeschalteten Gruppe der beiden Einzelmotoren wird eine Klemmenspannung von $2 \times 140 = 280$ V aufgedrückt. Die Rotorwicklung liegt in 75 halbgeschlossenen Nuten. Die Statorbewicklung besteht aus einer Erregerwicklung von 10 parallelen Kreisen mit 18 Leitern in Reihe, aus einer Kompensationswicklung von 5 parallelen Kreisen mit 24 Leitern in Reihe und aus einer Wendewicklung von 10 parallelen Kreisen mit 28 Leitern in Reihe. Der mit einem Durchmesser von 310 mm vorgesehene Kommutator soll 225 Segmente aufweisen. Der Luftspalt zwischen Stator und Rotor misst einseitig 2,5 mm.

In bezug auf Leistungsfaktor und Wirkungsgrad des Doppelmotors für 50 Per./s sei folgendes mitgeteilt: In seiner, 1919 als Heft 44 der «Sammlung Vieweg» veröffentlichten Arbeit «Einphasenbahnmotoren» hat J. Döry in besonders übersichtlicher Weise die Vorausberechnung des Leistungsfaktors behandelt; auf Grund der in dieser Arbeit bekanntgegebenen Formeln und Erfahrungszahlen ergibt sich, dass die Motoren des vorliegenden Entwurfs schon für die Synchrondrehzahl von 600 pro min einen Leistungsfaktor von rund 0,8 besitzen, der sich bei der Nenndrehzahl nur um wenige Prozente unter 1 hält. Gegenüber einem Normalmotor für $16\frac{2}{3}$ Per./s wird also der Doppelmotor für 50 Per./s im Leistungsfaktor nicht nachstehen. Andererseits wird der Normalmotor für $16\frac{2}{3}$ Per./s einen um 1 bis 2 % höhern Wirkungsgrad aufweisen.

In den elektrischen Ausrüstungen der Triebfahrzeuge für Einphasenbetrieb ist neben dem Motorgewicht besonders auch das Transformatorgewicht von erheblicher Bedeutung. Während nun beim Uebergang von $16\frac{2}{3}$ auf 50 Per./s das Motorgewicht steigt, fällt hingegen das Transformatorgewicht. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel von Triebachsenleistungen zu je 300 PS reicht die in einem Fahrzeugtransformator erreichbare Gewichtsreduktion beim Uebergang von $16\frac{2}{3}$ auf 50 Per./s gerade aus, um die gleichzeitig auftretende Gewichtszunahme der Motoren zu kompensieren. Dieses praktisch bedeutungsvolle Resultat dürfte wohl auch für einen gewissen Bereich verschiedener Triebachsenleistungen, bei deren Gebrauch die für 300 PS näher untersuchten Anordnungen für $16\frac{2}{3}$ und für 50 Per./s im Wettbewerb stehen, noch gültig bleiben. Jedenfalls darf für die hier gewürdigte Anordnung für 300 PS Leistung das Urteil gefällt werden, dass sie technisch und wirtschaftlich vollauf gerechtfertigt ist.

Einphasen-Bahnbetriebe, die ohne weiteres die Frequenzen der allgemeinen Kraft- und Lichtnetze in der Speisung der Fahrleitungsanlagen beizubehalten wünschen, erscheinen nunmehr, auf Grund der Ausführbarkeit betriebstauglicher Kommutator-Bahnmotoren für 50 Per./s, in Zukunft wesentlich erstrebenswerter als bisher³⁾. Bedenkt man den kleinen Anteil, den bisher der elektrische Betrieb im Fahrdienst der Hauptbahnen unseres Erdballs erst aufweist, so darf man gewiss noch eine wesentliche Entwicklung der Einphasenbahnbetriebe bei 50 Per./s erwarten.

³⁾ Dabei können natürlich nicht nur für die hier näher gewürdigte Bauart des Motors mit Tatzenlagern, sondern auch für weitere Bahnmotor-Bauarten auf analogem Wege geeignete Ausführungsformen gefunden werden.