

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 24 (1933)  
**Heft:** 13

**Artikel:** Terrestrische Bestimmung von Freileitungsmesswerten mit Spezial-Theodolit  
**Autor:** Schnittger, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059526>

### **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>**

Ventils in der Gleichstromtechnik. Wenn wir heute auch die Anwendungsmöglichkeiten dieser Ventile zu erkennen beginnen, so wird ihre Entwicklung in der Richtung grosser Spannungen und grosser Einheitsleistungen noch eine Riesenarbeit erfordern.

### 5. Zusammenfassung.

Zusammenfassend ergibt sich heute folgendes Bild von der zukünftigen Gleichstromübertragung: Die Gleichstromkraftübertragung ist nur da wirtschaftlich, wo die Einsparung in den Kosten für die Uebertragungsleitungen mit Einschluss der kapitalisierten Uebertragungsverluste wesentlich grösser ist als der Mehraufwand für die Umformer selbst wird. Sie kann infolgedessen nur für sehr grosse Uebertragungsdistanzen von mehreren Hundert Kilometern und nur unter Voraussetzung einer gewissen Konzentration in der Energiezufuhr und Energieabgabe, d. h. unter Voraussetzung grosser Einheitsleistungen, Vorteile bieten. Die Gleich-

stromkraftübertragung muss voraussichtlich auf der Grundlage konstanter Spannung und variablen Stromes aufgebaut werden. Die Uebertragungsleitung selbst wird mit grossem Vorteil als Kabel in die Erde verlegt. Die Gleichstromkraftübertragung unterscheidet sich unter diesen Voraussetzungen von der Drehstromkraftübertragung im wesentlichen nur durch das Dazwischentreten des Gleichrichters und des Wechselrichters und gestattet gleich wie die Drehstromübertragung die Entnahme sowohl von Drehstrom als auch von mechanischer Leistung unmittelbar aus dem Gleichstromnetz. Die Regulierung der übertragenen Leistungsanteile erfolgt genau wie bei Gleichstromanlagen durch Regulierung der Spannung der einzelnen Gruppen mit Hilfe der Steuergitter oder von Stufenschaltern an den Transformatoren. Der Ausbau der erforderlichen Apparatur nach den heute erkennbaren Richtlinien hinsichtlich Beherrschung der grossen Spannungen, Leistungen und der Ueberströme wird noch gewaltige Anstrengungen erfordern.

## Terrestrische Bestimmung von Freileitungsmesswerten mit Spezial-Theodolit.

Von *W. Schnitger*, Berlin.

621.315.056.1

Nach kritischer Erwähnung verschiedener bekannt gewordener Methoden zur Bestimmung von Freileitungsdurchhängen wird das allgemein brauchbare Verfahren von Küppers, Besser und Böhm beschrieben, bei dem ein Spezial-Theodolit zur Verwendung kommt. Durch Messbeispiele wird die praktische Anwendung erläutert.

Après un exposé critique des différentes méthodes connues pour la détermination de la flèche des lignes aériennes, l'auteur décrit le procédé de Küppers, Besser et Böhm utilisant un théodolite spécial, puis en montre l'application pratique à l'aide de quelques exemples.

### 1. Einleitung.

Bei der Bauausführung von Freileitungen grosser Spannweiten — elektrische Fernleitungen oder Seilbahnen — ist die Ermittlung bestimmter Messgrössen erforderlich. Bauaufsicht und Abnahmebehörde sind ganz besonders an der exakten Bestimmung des Leitungsdurchhanges interessiert, da ein Untermass bei ungünstigen meteorologischen Verhältnissen zum Zerreißen der Leitungen führen kann und ein Uebermass aus Kostengründen unerwünscht ist. Im nachfolgenden ist daher die für den Ingenieur geeignete terrestrische Messmethode zur Ermittlung der genannten Werte, bei der trigonometrische Höhenmessungen mit Spezial-Theodolit erfolgen, ausführlich besprochen und andere Verfahren ihrer geringeren Bedeutung wegen nur kurz behandelt.

Liegen beide Aufhängepunkte in gleicher Höhe über dem horizontalen Erdboden (Fig. 1), so ist der grösste Durchhang als Differenz der Masthöhe und des tiefsten Leitungspunktes gegeben, wogegen bei nicht horizontaler Aufhängung (Fig. 2) als Mass des Durchhanges der *lotrechte* Abstand zwischen der Verbindungslinie der Aufhängepunkte und der parallel zu dieser an die Seilkurve gelegten Tangente gilt.

Jede frei aufgehängte Leitung folgt der Gleich-

ung der Kettenlinie<sup>1)</sup>; nach dieser liegt der grösste Durchhangswert im ersten Fall in der Mitte

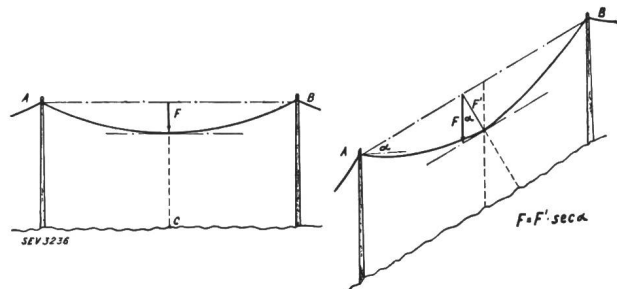


Fig. 1.

Fig. 2.

und im zweiten dem oberen Aufhängepunkt genähert. Das Mass der Näherung und der Durchhang selbst sind bei überhöhter Aufhängung nur durch besondere Methoden festzustellen.

### 2. Messverfahren für die Ermittlung des Leitungsdurchhanges.

a) Bei horizontaler Aufhängung, stromloser Leitung und zugänglichem Fusspunkt C kann man den Durchhang mit Messlatte in *direkter Messung* be-

<sup>1)</sup> v. Schober: Die Anwendung der Bildmessung für die Bestimmung von Seilkurven bei Seilfähren und Seilbahnen. Bildmessung und Luftbildwesen 1932, Nr. 3.

stimmen. Infolge der hochliegenden Ablesestelle der besonders zu ermittelnden Masthöhe und durch die unhandliche Latte wird die Ausführung sehr erschwert.

b) Steht eine Leitung nicht unter Strom, so kann man sowohl bei horizontaler als auch bei überhöhter Aufhängung den Durchhangswert nach der *Pendelmethode*<sup>2)</sup> feststellen, bei der aus der Schwingungszahl in der Zeiteinheit ein relativ guter Wert zu erhalten ist. Das Einschwingen der Leitung erfordert aber grosse Geschicklichkeit.

c) *Photogrammetrische Messungen* bedingen besonders geschultes Personal, teure Apparate und sind erst nach Entwickeln der Platte auswertbar. Für die Abnahme können sie wegen der dokumentarischen Festlegung von Wert sein, für den Bau hingegen sind sie von keiner praktischen Bedeutung.

### 3. Eine universelle terrestrische Methode.

In den letzten Jahrzehnten wurden terrestrische Methoden entwickelt, die von den genannten Beschränkungen frei sind. Besonders erhebt das von den Askania-Werken gemeinsam mit Küppers, Besser und Böhm entwickelte Verfahren Anspruch auf universelle Anwendung und grosse Genauigkeit bei geringem Aufwand an Mess- und Rechenarbeit. Bevor dieses eingehend behandelt wird, sei einiges über die Theodolitmessung gesagt.

a) *Die messtechnischen Grundlagen.* Vielfach besteht die Annahme, dass man mit einem normalen Theodoliten, der mit vertikaler Hauptachse, horizontaler Nebenachse und rechtwinklig zur Nebenachse stehender Ziellinie versehen ist (Fig. 3), den Durchhang bestimmen kann. Dies wäre an sich durch punktweise Ermittlung der Bodenabstände, Auswahl des kleinsten Abstandes und Messung der Masthöhe möglich. Das Verfahren ist aber zu umständlich und versagt bei Geländeunterbrechung und nicht horizontaler Aufhängung.

Hingegen ist die direkte Durchhangsermittlung bei Horizontallage mit einer Abart des nach Tetens

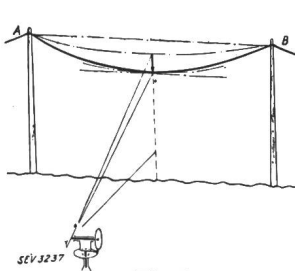


Fig. 3.

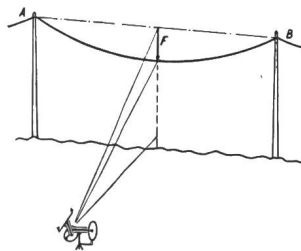


Fig. 4.

genannten Theodoliten stets ausführbar. Ein wesentlicher Vorteil bei Anwendung dieses Instrumentes besteht darin, dass man auf die Geländeform keine Rücksicht zu nehmen braucht, da die Messung statt auf schlecht bestimmbare Geländepunkte auf die Verbindungslinie *AB* bezogen wird.

<sup>2)</sup> Dreisbach: Neue Methode zur Prüfung des Durchhangs von Freileitungen. ETZ 1909, Nr. 50.

Gekennzeichnet ist der Tetens-Theodolit durch die horizontale Hauptachse, die rechtwinklig zur Hauptachse angesetzt und um diese zu kippende Nebenachse und die rechtwinklig zur Nebenachse stehende, um letztere zu drehende Ziellinie. Fig. 4 zeigt das Achsensystem und die Teilkreisordnung des genannten Instrumentes, das in Sonderfällen für die Festlegung der Bewegungsbahn von Luftzielen Anwendung findet.

Für die Durchhangsmessung ist die Parallelstellung der horizontalen Hauptachse zur Spannebene, die leicht mit Hilfe des Teilkreises auf der Nebenachse ausführbar ist, Bedingung. Wird ein Aufhängepunkt angezielt, so zeigt bei horizontaler Aufhängung die um die Nebenachse geschwenkte Ziellinie auch auf den zweiten Aufhängepunkt. Beim Schwenken beschreibt die Ziellinie in der Spannebene eine gerade Linie, und kippt man das Visier um die Hauptachse, bis sie die Seilkurve im tiefsten Punkt tangiert, so liegt die Tangente zur Verbindungslinie *AB* genau parallel. Aus dem Mass der Kippung  $\beta$  und der ermittelten Horizontalentfernung vom Standort bis Spannebene lässt sich der Abstand der beiden Parallelen und somit der Durchhang rechnerisch bestimmen. Der Instrumentenstandort kann dabei sowohl innerhalb als auch ausserhalb des Spannungsfeldes liegen, ohne dass das Ergebnis beeinflusst wird.

Diese Messung wäre mit einem Theodolit des alten Achsensystems unmöglich. Hier würde die Ziellinie in der Spannebene keine Gerade, sondern eine Schmitthyperbel zeichnen, da bei voller azimuthaler Drehung von der Ziellinie ein Kegelmantel beschrieben wird, dessen Spitzenwinkel im umgekehrten Verhältnis zum Höhenwinkel des Fernrohrs steht. Wäre das Instrument auf der Mittelsenkrechten zum Spannungsfeld aufgestellt, so würde am Höhenkreis ein Mass für den senkrechten Abstand der Scheitelpunkte abzulesen sein, das aber vom grössten Durchhangswert um so mehr entfernt ist, je näher der Meßstandort an der Spannebene liegt. Praktisch könnte sogar der Fall eintreten, dass kein Durchhang im Gegensatz zur direkten Beobachtung gemessen wird<sup>3)</sup>.

Bei überhöhter Aufhängung ist ein Tetens-Theodolit unzweckmässig, da die Hauptachse nicht geneigt werden kann. Man hat ihn

daher mit einer dritten Achse versehen, um welche die bisher horizontale Achse, entsprechend dem Masse der Ueberhöhung, zu neigen

ist, bis sie parallel zur Verbindungslinie der Aufhängepunkte steht. Die zueinander rechtwinklig angeordneten Achsen des dritten Theo-

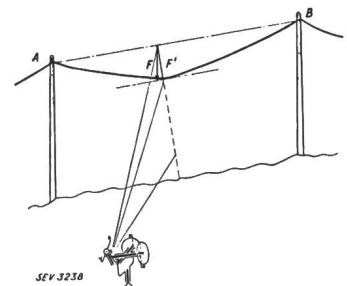


Fig. 5.

<sup>3)</sup> Heimberger: Die Messung von Durchhängen. ETZ 1930, Nr. 35.

doliten - Durchhangsmessers (Fig. 5) werden im Gegensatz zum Tetens-Theodolit als Haupt-, Neben- und Fernrohrachse bezeichnet. Nur Haupt- und Nebenachse sind mit Teilkreisen versehen, während die Fernrohrstellung rechtwinklig zur Nebenachse durch einen Index angezeigt wird.

b) *Beschreibung des Durchhangsmessers.* In Fig. 6 ist das neue Instrument, welches in verschiedenem von der schematischen Darstellung in Fig. 5 abweicht, abgebildet. Insbesondere die Anordnung der Teilkreise — hier Teiltrommeln mit Stirnteilung — und die Konstruktion des auswechselbaren Fernrohres (1) über dem Trommelgehäuse (3) zeigt beim praktischen Modell eine ganz andere Ausführung.

Die Teiltrommeln sind drehbar auf der Nebenachse aufgesetzt. Beim Kippen des Fernrohres um die Nebenachse und beim Neigen der Nebenachse um die Hauptachse durch Drehen an den Rändelscheiben (6/12) werden sie mit sehr präzisen Zahnradübertragungen in einem mehrfachen Uebersetzungsverhältnis mitgedreht. Das Mass der Kippung und Neigung wird an Indices durch die Fenster (4) abgelesen. Die Ablesung ist vom Beobachter sehr bequem in der Zielrichtungsstellung auszuführen. Zur Vereinfachung der nachfolgenden Rechnung sind die Teiltrommeln an Stelle von Gradteilung mit den entsprechenden numerischen Werten der Tangens- und Sekansfunktion versehen. Diese hat man noch durch Auswahl von runden Zahlenwerten für die Rechnung vereinfacht.

Die Anordnung des Fernrohres über dem Trommelgehäuse gestattet freie Schwenkung in jeder

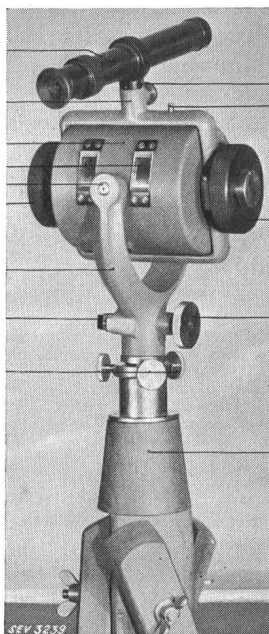


Fig. 6.

Kippstellung. Es ist mit seiner Achse fest verbunden und kann mit dieser nach Zurückziehen des Knopfes (11) aus der Buchse (2) herausgenommen u. gegen ein anderes Visier ausgewechselt werden. Die Stellung der Fernrohrziellinie rechtwinklig zur Nebenachse kennzeichnet ein Index (10). Vielfach besteht die Ansicht, dass für die Zielweiten bei Freileitungen einfache Visiere (Kimme und Korn) ausreichen. Praktische Gegenüberstellungen haben aber stets gezeigt, dass man ein bildaufrichtendes, vergrößerndes Fernrohr benötigt. Für die vorliegende Ausführung kommt daher ein 8fach vergrößerndes Fernrohr zur Anwendung, das gute

Zielgenauigkeit gewährleistet und, mit Gelbglas versehen, auch gegen die Sonne benutzt werden kann. Für geringere Anforderungen genügt ein optischer Richtstab, bei dem keine Akkomodation nötig ist und Zielgenauigkeiten bis zu 2' möglich sind.

Die Aufstellung des Instrumentes erfolgt auf einem mit dem Stativ (14) verbundenen Tragzapfen, welcher mit Stellschrauben (9) nach der am Instrument befindlichen Dosenlibelle (8) vertikal gestellt wird. Diese Dosenlibelle ist an einer Gabel (7) angesetzt, die mit der Druckschraube (13) auf dem Tragzapfen festgeklemmt wird. In der Gabel ist die Hauptachse (5) eingesetzt, welche bei einspielender Libelle genau horizontal steht.

c) *Messbeispiele.* Soll der Durchhang einer um rund 15° überhöhten Leitung (Fig. 7) bestimmt werden, so muss man zunächst eine Normale zur Spannebene festlegen. Der Fusspunkt der Normalen kann sowohl innerhalb als auch ausserhalb des Spannungsfeldes liegen. Der Abstand des Instrumentes von der Spannebene ist beliebig, doch darf er nicht kürzer als die Masthöhe sein. Nacheinander wird nun die Horizontalstellung der Hauptachse nach der Libelle mittels der Stellschrauben, die Einstellung der Nebenachse parallel zur Spannebene durch Anzielen des Fusspunktes mit dem rechtwinklig zur Nebenachse stehenden Fernrohr und die Neigung der Nebenachse in Parallelstellung zur Linie AB durch Anzielen der Aufhängepunkte vorgenommen. Dann erfolgt die Ablesung des Tangenswertes  $\beta_1$ , die Kippung und gleichzeitige Schwenkung der Fernrohrziellinie zum Anlegen der Tangente an die Seilkurve und die Ablesung des Tan-

genswertes  $\beta_2$  und des Sekanswertes  $\alpha$ . Ist die Horizontalentfernung gemessen, so geschieht die Errechnung des Durchhangswertes nach der Formel

$$F = L \cdot (\beta_1 - \beta_2) \cdot \alpha.$$

Liegen die Aufhängepunkte in gleicher Höhe, so wird  $\alpha = 1$ .

Kann die Horizontalentfernung  $L$  nur schwer ermittelt werden, beispielsweise in sehr bergigem Gelände, so wird die Durchhangsbestimmung mit Hilfe eines Bezugsmasses  $h$  vorgenommen. Dieses Mass muss stets senkrecht in der Spannebene aufgestellt sein, darf aber an einem vollkommen beliebigen Standort stehen. Auch bekannte Mast-

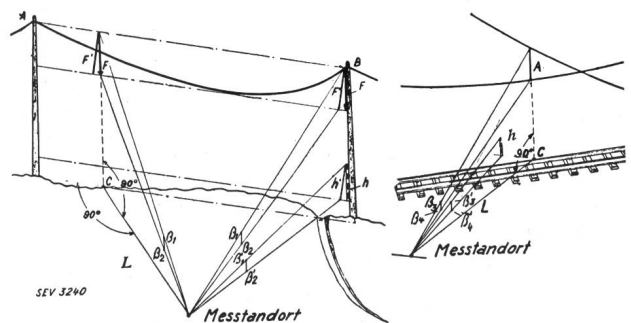


Fig. 7.

Fig. 8.

abmessungen (Masthöhe) können als Bezugsmass gelten.

$$F = h \cdot \frac{\beta_1 - \beta_2}{\beta'_1 - \beta'_2}$$

Bei einem anderen Beispiel soll der oft sehr wichtige Abstand zwischen zwei sich kreuzenden Leitungen genau gemessen werden (Fig. 8). Die Messung kann hier sowohl mittels des Bezugsmasses  $h$  oder mit Hilfe der Horizontalentfernung  $L$  erfolgen.  $h$  braucht nicht unter dem Kreuzungspunkt aufgestellt zu sein, muss aber in einer zur Nebenachse des Instrumentes parallelen Ebene stehen.

$$A = h \cdot \frac{\beta_3 - \beta_4}{\beta'_3 - \beta'_4} \quad A = L \cdot (\beta_3 - \beta_4)$$

Von weiteren Anwendungsbeispielen seien als wichtigste die Bestimmung des senkrechten Abstandes eines Leitungspunktes über einem Dach oder über einer Bahnstrecke, die Ermittlung von Masthöhe, die Messung von Horizontalabständen und die Festlegung des Höhenunterschiedes zweier Aufhängepunkte genannt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die beschriebene Messmethode absolut exakte Werte ergibt und dass das Instrument Höhen- und Durchgangsmessungen auf 1 bis 2 cm genau gewährleistet.

## Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

### Ueber die Wirkungsweise des Highfield-Transverters.

Von W. E. Highfield und J. E. Calverley <sup>621.314.622</sup> wurde vor einigen Jahren ein Apparat zur Umformung von Wechselstrom in Gleichstrom hoher Spannung angegeben, der auch zur Umformung von Gleichstrom in Wechselstrom geeignet ist. Er beruht auf folgendem Prinzip:

Es sei eine Gleichstromdynamo betrachtet, deren Ankerwicklung und Kommutator ruhen, während ihre Feldwicklung und der Bürstenapparat rotieren. Die rotierende Feldwicklung stellt nun für die Ankerwicklung nichts anderes dar als ein magnetisches Drehfeld, welches sich ebensogut durch die Mehrphasenwicklung eines Synchronmotors erzeugen lässt. Lassen wir daher die ruhende Ankerwicklung von einem solchen Drehfeld durchfluten und den Bürstenapparat synchron mit dem Drehfeld rotieren, so kann in gleicher Weise am Bürstenpaar eine Gleichspannung abgenommen werden. Wird die Gleichstromseite belastet, so entnimmt die Mehrphasenwicklung dem Wechselstromnetz einen Belastungsstrom, der das von der Ankerwicklung erzeugte magnetische Feld kompensiert. Mit diesem Apparat lässt sich demnach Wechselstrom in Gleichstrom umformen. Beide Wicklungen des Umformers, sowohl die das Drehfeld erzeugende Mehrphasenwicklung als auch die vom Drehfeld induzierte Ankerwicklung, ruhen, ebenso ruht der Kommutator, so dass wir im wesentlichen einen statischen Umformer vor uns haben. Der einzige rotierende Teil ist der Bürstenapparat, welcher durch einen vom Wechselstromnetz gespeisten Synchronmotor anzureiben ist.

In Fig. 1 ist die Schaltung eines solchen Umformers dargestellt. Darin stellt 1 das Wechselstromnetz dar, 2 den

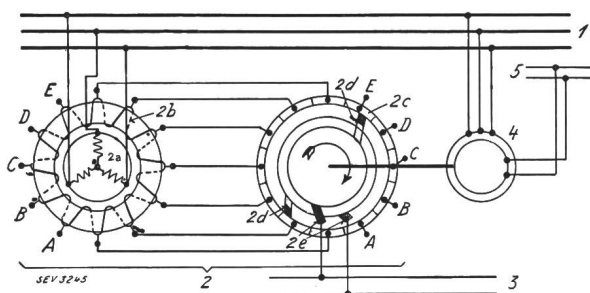


Fig. 1.

Umformer. Die Mehrphasenwicklung ist durch die Dreiphasenwicklung 2 a dargestellt, 2 b ist die Ankerwicklung, 2 c der zugehörige Kommutator, 2 d der rotierende Bürstenapparat und 2 e sind Hilfsbürsten, die den gleichgerichteten Strom dem Gleichstromnetz 3 zuführen. Der Rotor des Antriebsmotors 4 wird von der Hilfgleichstromquelle 5 gespeist. Das Anfahren des Antriebsmotors kann mit Hilfe einer Dämpferwicklung geschehen.

Für grössere Leistungen ist die durch diese Figur gekennzeichnete, schon lange bekannte Ausführung wegen zu

grossen Platzbedarfs ungeeignet. Nach dem Vorschlag von Highfield und Calverley kann man nun diese Schwierigkeit wie folgt umgehen:

Jede Spule der in der Figur dargestellten Ankerwicklung wird von den Kraftlinien des Drehfeldes durchsetzt. Dabei sind die in zwei um den elektrischen Winkel  $\alpha$  auseinanderliegenden Spulen induzierten Spannungen um den gleichen Winkel  $\alpha$  phasenverschoben. Besitzt die Wicklung  $n$  Spulen, so können die Spannungen statt durch das Drehfeld ebensogut durch  $n$  um den Winkel  $\frac{2\pi}{n}$  gegeneinander verschobene

magnetische Wechselfelder induziert werden. Damit ist eine für grössere Leistungen geeignetere Bauart gefunden: Die Mehrphasenwicklung lässt sich ersetzen durch die Primärwicklung einer Anzahl Mehrphasentransformatoren, in welchen durch entsprechende Phasenkombination die um den Winkel  $\frac{2\pi}{n}$  gegeneinander verschobenen magnetischen Felder erzeugt werden. Die Ankerwicklung wird ersetzt durch die  $n$  Sekundärspulen der Mehrphasentransformatoren. Damit ist der Aufbau des Umformers geändert, ohne dass dies auf seine Wirkungsweise einen Einfluss hat. Die Umformung lässt sich zusammenfassend wie folgt kennzeichnen:

1. Die Wechselspannung des Primärnetzes wird transformiert und gleichzeitig die sekundäre Phasenzahl gegenüber der primären erheblich erhöht. Damit kann gleichseitig der gewünschte Spannungswert erhalten und die Welligkeit der Gleichspannung weitgehend vermindert werden.

2. Die eigentliche Umformung von Wechselstrom in Gleichstrom geschieht durch die rotierende Bewegung der Bürsten relativ zum ruhenden Kommutator, und zwar durch Summation der in den Sekundärwicklungen induzierten Momentanspannungen. Die Rotation der Bürsten muss im Takte der primären Wechselspannung geschehen. Der Bürstenapparat wird daher durch einen am Wechselstromnetz angeschlossenen Synchronmotor angetrieben.

Der Umformer besteht demnach aus einer Kombination eines Transformators und eines rotierenden Umformers und ist von seinen Erfindern kurz als Transverter bezeichnet worden (transverter = transformer + rotary converter).

Da die Wicklungen des Transverters ruhen, ist die Verwendung von Oel als Isolations- und Kühlmittel ohne weiteres zulässig; der Transverter eignet sich daher besonders zur Erzeugung hoher Gleichspannungen. Er besitzt ferner einen hohen Wirkungsgrad, auch bei kleineren Belastungen.

Für grössere Leistungen bietet aber das Kommutationsproblem erhebliche Schwierigkeiten. Bei der Gleichstrommaschine ist dieses Problem mit Hilfe der Wendepole gelöst worden. Auch beim Transverter lässt sich eine analoge Einrichtung finden, doch bedeutet dies stets eine Verteuerung, so dass meistens vorgezogen wird, das magnetische Hauptfeld zur Stromwendung heranzuziehen. Dieses Verfahren entspricht der bei Gleichstrommaschinen ohne Wendepole bekannten Verschiebung der Bürsten aus der neutralen Zone und kann beim Transverter durch Drehung des Stators des Antriebsmotors erfolgen. Da die Grösse dieser Drehung von