

# Erfahrungen bei der Bestimmung der Gleisparameter für TF- Gleisstromkreise

Frank Schubert

Die Kenntnis der Gleisparameter mit dem Bettungswiderstand ist eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz von TF-Gleisstromkreisen. Der Artikel beschreibt die Möglichkeiten zur Bestimmung der Gleisparameter. Das vorgeschlagene Verfahren für die Messung der Gleisparameter erfordert Kurzschlüsse an den Grenzen des Gleisabschnittes. Ein Gerät zur Bestimmung des Bettungswiderstands in Teilabschnitten wird vorgestellt. Damit ist es möglich, die Kosten der lokalen Oberbauinstandsetzung zu minimieren. Die Messungen zeigen die deutliche Abhängigkeit der Gleisparameter von der Frequenz. Ein Vorschlag zeigt den Ersatz der Gleisparameter durch die kilometrische Gleisdämpfung.

## 1 Einleitung

Der Gleisstromkreis ist neben dem Achszähler eine wichtige Voraussetzung zur Automatisierung des Betriebsablaufs. NF-Gleisstromkreise (bis 100 Hz) benutzen zur Abschnitttrennung Isolierstöße. Gleisstromkreise moderner Bauart arbeiten mit elektrischen Trennstößen (TF-Gleisstromkreise). Der Einsatz von elektrischen Trennstößen erfordert im Vergleich zu NF-Gleisstromkreisen wesentlich höhere Arbeitsfrequenzen (bis 100 kHz). Voraussetzung für eine einwandfreie Funktion des Gleisstromkreises ist eine ausreichende Empfangsspannung im Freizustand und eine eindeutige Absenkung dieser Spannung im Besetztzustand. Für die Dimensionierung, Inbetriebnahme und den laufenden Betrieb von TF-Gleisstromkreisen ist die Kenntnis der Parameter der elektrischen Ersatzschaltung des Gleises erforderlich. Für die traditionelle Messung des für NF-Gleisstromkreise wichtigen Bettungswiderstands sind folgende Voraussetzungen zu erfüllen [1, 2]:

- Begrenzung des Gleisabschnitts durch Isolierstöße,
- Gleisabschnitt homogen (keine Erdanschlüsse am Gleis),
- niedrige Meßfrequenz (max. 100 Hz).

Für die Anwendung von TF-Gleisstromkreisen sind diese Voraussetzungen nur eingeschränkt gültig. Um die Bestimmung der Gleisparameter mit dem Bettungswiderstand praxistgerecht durchführen zu können, erfolgten neue Überlegungen zu bekannten Verfahren [3].

Die wesentlichen Vorgaben und Anforderungen waren:

- kurzer Meßabschnitt bzw. Gleisabschnitt,
- Messung auf isolierstoßlosen Gleisen,
- keine Beeinflussung vorhandener Signal- und Gleisfreimeldettechnik,
- keine Abschaltung der Traktionsspannung.

## 2 Elektrische Ersatzschaltung des Gleises und die Gleisparameter

Die theoretischen Grundlagen enthält [1]. Bekanntermaßen ist die elektrische Ersatzschaltung des Gleises eine elektrische Leitung mit den Grundgrößen der Leitung bzw. den Gleisparametern:

- Schienenlängswiderstand ( $R_L$ ),
- Schienenlängsinduktivität ( $L_L$ ),
- ohmsche Bettungsableitung ( $G_B$ ) bzw. Bettungswiderstand ( $R_B$ ),
- Bettungskapazität ( $C_B$ ).

Ausführliche Angaben zu den Gleisparametern enthält [3].

Die Gleisparameter  $R_L$  und  $L_L$  werden durch den Schientyp bestimmt. Während sich  $L_L$  mit steigender Frequenz nur wenig verringert, ist  $R_L$  sehr abhängig von der

Frequenz. Durch den Skineneffekt erfolgt mit steigender Frequenz eine stetige, nicht-lineare Verringerung des elektrischen Querschnitts der Schiene, damit erhöht sich der Schienenlängswiderstand  $R_L$ . Die Gleisparameter  $R_B$  und  $C_B$  werden vom Aufbau des Gleises und von der Witterung bestimmt und sind ebenfalls von der Frequenz abhängig.

## 3 Verfahren zur Bestimmung der Gleisparameter

### 3.1 Allgemeines

Es wurden nachfolgende Verfahren zur Bestimmung der Gleisparameter einschließlich des Bettungswiderstands untersucht:

- Verfahren der Leerlauf- und Kurzschlußmessung,
- Verfahren der zweifachen Kurzschlußmessung.

Bei beiden Verfahren wird der Eingangswiderstand des Gleises bei unterschiedlichen Abschlußbedingungen des Gleises gemessen. Es wird ein Sender an das Gleis angeschlossen. Hierbei wird der Sender auf die Frequenz eingestellt, für welche die Gleisparameter ermittelt werden sollen. Über die Messung von Gleiseingangstrom, Gleiseingangsspannung und der Phasenverschiebung wird der komplexe Eingangswiderstand berechnet.

Bei beiden Verfahren wird das Gleis entsprechend dem Verfahren in einer bestimmten Entfernung zum Sender kurzgeschlossen. Bei höheren Frequenzen ist der Kurzschluß als Reihenresonanzkreis auszuführen, um die induktive Komponente der Kurzschlußseile zu kompensieren. Das Ergebnis beider Verfahren ist die Ermittlung des Wellenwiderstands und der Fortpflanzungskonstanten des Gleises bei der jeweiligen Frequenz. Auf der Grundlage der Leitungstheorie erfolgt aus diesen Daten die Berechnung des komplexen Längswiderstands und der komplexen Bettungsableitung. Damit können die Gleisparameter  $R_L$ ,  $L_L$ ,  $R_B$  und  $C_B$  berechnet werden.

### 3.2 Verfahren der Leerlauf- und Kurzschlußmessung

Voraussetzung des Verfahrens ist ein Gleisabschnitt, welcher an seinen Abschnittsen-

## DER AUTOR

Dipl.-Ing. Frank Schubert

Jahrgang 1957. Studium an der Technischen Hochschule Ilmenau. Seit 1984 tätig als Entwicklungsingenieur beim Geräte- und Reglerwerk Leipzig, Bereich Bahnsicherungstechnik. Seit 1993 bei der Fa. Signal Concept GmbH Markkleeberg. Entwicklungsingenieur.

Anschrift:

Am Bahnhof 1, 04416 Markkleeberg-Großstädteln

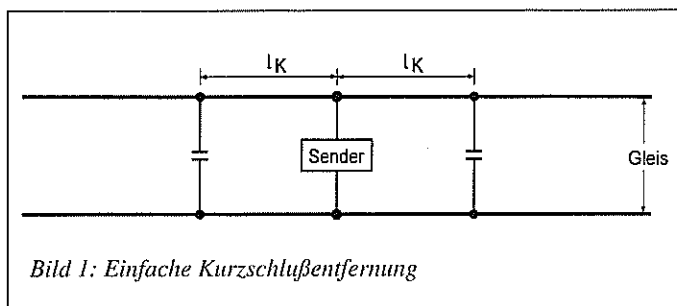


Bild 1: Einfache Kurzschlußentfernung

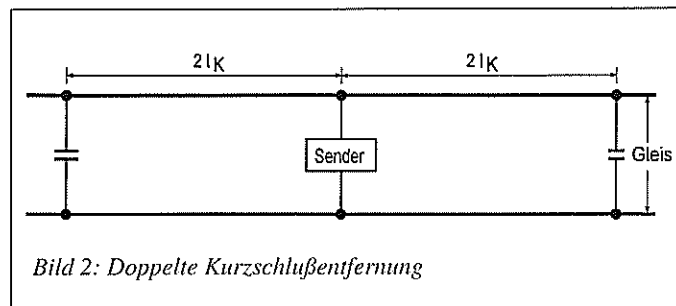
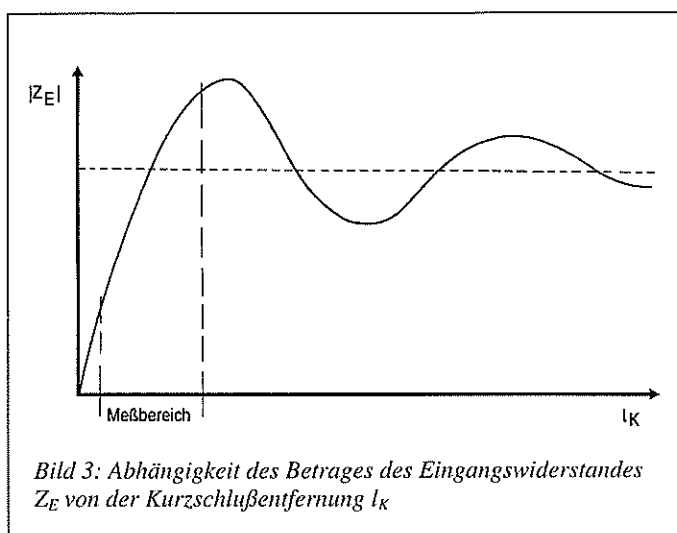
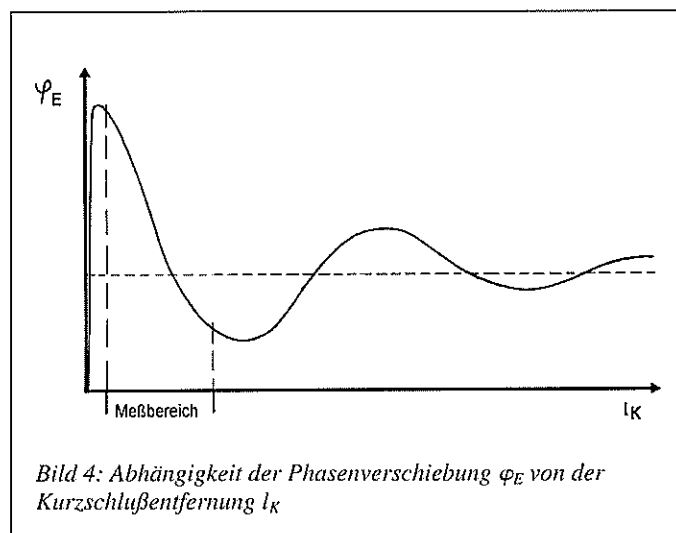


Bild 2: Doppelte Kurzschlußentfernung

Bild 3: Abhängigkeit des Betrages des Eingangswiderstandes  $Z_E$  von der Kurzschlußentfernung  $l_K$ Bild 4: Abhängigkeit der Phasenverschiebung  $\varphi_E$  von der Kurzschlußentfernung  $l_K$ 

den durch jeweils 2 Isolierstöße begrenzt wird. Wenn keine Isolierstöße vorhanden sind, ist dieses Verfahren nicht anwendbar. Dabei wird der Gleiseingangswiderstand bei leerlaufendem und kurzgeschlossenem Gleisabschnitt gemessen [1]. Mit steigender Frequenz nähert sich der Gleiseingangswiderstand dem Wellenwiderstand des Gleises. Um Meßfehler zu vermeiden, ist die Länge des Meß- bzw. Gleisabschnitts zu verringern. Das ist in der Praxis durch fehlende Isolierstöße nur eingeschränkt möglich. Wegen der genannten Nachteile ist dieses Verfahren wenig geeignet zur Bestimmung der Gleisparameter.

### 3.3 Verfahren der zweifachen Kurzschlußmessung

Bei diesem Verfahren wird der Gleisabschnitt durch 2 in gleicher Entfernung zum Sender befindliche Kurzschlüsse begrenzt, Isolierstöße sind deshalb nicht erforderlich [3]. Es wird der Gleiseingangswiderstand jeweils bei der einfachen und bei der doppelten Kurzschlußentfernung gemessen (Bilder 1 und 2). Die Länge des Gleisabschnitts bzw. der Entfernungen der Kurzschlüsse vom Sender ist nur in einem bestimmten Bereich frei wählbar. Der Gleisabschnitt muß so gewählt werden, daß mit steigender Entfernung des Kurzschlusses der Gleiseingangswiderstand monoton zu-

nimmt und der Phasenwinkel monoton abnimmt (Bilder 3 und 4). Die Phasenverschiebung und der Gleiseingangswiderstand sind von der Frequenz und dem Bettungswiderstand abhängig. So darf zum Beispiel bei einer Meßfrequenz von 100 kHz und einem Bettungswiderstand von 1,5 Ohm x km die Gesamtlänge des Meßabschnitts 100 m nicht überschreiten. Für die Bestimmung der Gleisparameter bei Meßfrequenzen unterhalb von 2 kHz ist eine Länge des Meßabschnitts von größer 1 km erforderlich. Die Messung bei niedrigen Frequenzen ist sehr aufwendig, weil das Gleis im gesamten Meßabschnitt eine homogene Struktur aufweisen muß. Dazu ist die Entfernung aller Anschlüsse von beiden Schienen erforderlich.

### 4 Ein Gerät zur Bestimmung des Bettungswiderstands

Nachfolgend wird die Konzeption eines Gerätes vorgestellt, dessen Aufgabe es ist, den Bettungszustand eines Gleises beurteilen zu können. Mit diesem Gerät können Teilbereiche schlechter Bettung im Gleisverlauf bestimmt werden. Grundlage des Gerätes ist das Verfahren der zweifachen Kurzschlußmessung.

Wie im Abschnitt 3 bereits festgestellt, sind für dieses Verfahren keine Isolierstöße erforderlich. Um möglichst kleine Meß-

abschnitte bilden zu können, arbeitet das Gerät mit einer Meßfrequenz von 100 kHz. Damit ist die Messung des Bettungswiderstands in kurzen Gleisabschnitten, zum Beispiel zwischen 2 Fahrleitungsmasten, möglich. Das Verfahren der zweifachen Kurzschlußmessung kann unter der Voraussetzung, daß der Schienenlängswiderstand und die Schienenlängsinduktivität bekannt sind, auf ein Verfahren mit einfacher Kurzschlußentfernung reduziert werden. Nach Anschluß des Senders und der beiden Kurzschlüsse erfolgt die Messung des komplexen Eingangswiderstands des Gleisabschnitts. Mittels eines geräteinternen Rechners werden aus diesem die Gleisparameter Bettungswiderstand und Bettungskapazität berechnet. Nach den erfolgten Messungen ist der so ermittelte Bettungswiderstand erheblich geringer als der Bettungswiderstand bei einer Meßfrequenz unter 100 Hz. Ursache ist die im Abschnitt 5 erläuterte Frequenzabhängigkeit des Bettungswiderstands.

### 5 Meßergebnisse zur Bestimmung der Gleisparameter

Von der Fa. Signal Concept GmbH wurden umfangreiche Messungen zur Bestimmung der Gleisparameter durchgeführt. Die Messungen erfolgten an einem Gleis mit dem Oberbau W 14S (Betonschwelle

B 70 W – 60; Schiene UIC 60) mit dem Verfahren der zweifachen Kurzschlußmessung. Mittels dieser Messungen wurden der komplexe Schienenlängswiderstand und die komplexe Bettungsableitung in Abhängigkeit von der Frequenz ermittelt. Auf der Basis des komplexen Schienenlängswiderstands und der komplexen Bettungsableitung erfolgte die Berechnung der Gleisparameter.

### 5.1 Schienenlängswiderstand $R_L$ und Schienenlängsinduktivität $L_L$

Die gemessene Abhängigkeit der Schienenlängsinduktivität von der Frequenz bestätigt die Angaben in [3]. Für den Schienenlängswiderstand wurden im Vergleich zu [3] wesentlich größere Werte ermittelt, er steigt mit wachsender Frequenz überproportional an (Skinneffekt).

### 5.2 Bettungswiderstand $R_B$ und Bettungskapazität $C_B$

$R_B$  und  $C_B$  sind Ersatzschaltungselemente des Leitungsvierpols und werden aus der komplexen Bettungsableitung berechnet, können aber nicht unabhängig voneinander auf Grund der Struktur des Gleises gemessen werden. Die Ersatzschaltung der Bettungskapazität beinhaltet einen zum verlustfreien Kondensator parallelgeschalteten Widerstand (Verlustwiderstand). Dieser Widerstand verringert sich durch die dielektrischen Verluste (Umladeverluste) bei Wechselstrombetrieb mit steigender Frequenz. Der Verlustwiderstand von  $C_B$  des Gleises liegt somit parallel zu  $R_B$ . Da aus der komplexen Bettungsableitung nur „ein“ ohmscher Anteil herausgerechnet werden kann, ist damit die getrennte Angabe des Verlustwiderstands von  $C_B$  und von  $R_B$  nicht möglich. Das bedeutet, daß der  $R_B$  bei TF-Gleisstromkreisen durch den parallelgeschalteten Verlustwiderstand von  $C_B$  ebenfalls wie alle anderen Gleisparameter von der Frequenz abhängig ist. Deshalb ist die Übertragung des  $R_B$  bei NF-Gleisstromkreisen auf Gleise mit TF-Gleisstromkreisen unzulässig. Aus diesem Grund ist der für den Betrieb des TF-Gleisstromkreises erforderliche minimale  $R_B$  in Abhängigkeit von der Gleisstromkreisfrequenz festzulegen.  $C_B$  ist Bestandteil der komplexen Bettungsableitung und somit bei der Angabe des minimalen  $R_B$  zu berücksichtigen.

## 6 Die kilometrische Gleisdämpfung

Für das Übertragungsverhalten von Gleisen mit TF-Gleisstromkreisen ist, wie bereits festgestellt, die Angabe aller Gleisparameter erforderlich (siehe Abschnitte 1 und 5). Das ist Voraussetzung, um unterschiedliche Oberbauarten auf ihre Eignung für Gleisstromkreise beurteilen zu können.

Um möglichst unkompliziert und schnell das Übertragungsverhalten bewerten zu können, ist die Angabe der kilometrischen Gleisdämpfung anstelle der Angabe der Gleisparameter möglich. Kilometrische Gleisdämpfung und Wellenwiderstand werden aus den Gleisparametern berechnet. Dazu wird ein Gleisvierpol, welcher einem Gleisabschnitt von 1 km entspricht, gebildet. Der Gleisvierpol wird beidseitig mit dem Wellenwiderstand des Gleises abgeschlossen. Aus dem Verhältnis der Gleisspannungen am Anfang und Ende des Gleisvierpols wird die kilometrische Gleisdämpfung berechnet.

Wie die Gleisparameter sind der Wellenwiderstand des Gleises und die kilometrische Gleisdämpfung abhängig von der Frequenz. Die kilometrische Gleisdämpfung als Festlegung der unteren Grenzwerte für verschiedene Oberbauarten kann damit als Grundlage für die Projektierung von TF-Gleisstromkreisen verwendet werden.

Zusätzlich zur kilometrischen Gleisdämpfung müssen die sich durch Vermaschungen bedingten Veränderungen des elektrischen Übertragungsverhaltens des Gleises bei der Projektierung berücksichtigt werden. Als kilometrische Gleisdämpfung wurde zum Beispiel bei einem trockenen Oberbau W 14S mit Betonschwelle B 70 W – 60 und einer Frequenz von 100 kHz 82 dB und bei einer Festen Fahrbahn Bauart BTB V1 im trockenen Zustand 20 dB ermittelt.

## 7 Ausblick

Das Verfahren der zweifachen Kurzschlußmessung ist für die Bestimmung der Gleisparameter geeignet. Die Meßergebnisse bestätigen die Abhängigkeit der Gleisparameter von der Frequenz. Im Abschnitt 4 wurde die Funktion eines Gerätes zur Lokalisierung schlechter Bettungsbereiche vorgestellt. Ziel weiterer Untersuchungen ist es, den minimalen Bet-

tungswiderstand in Abhängigkeit von der Frequenz für den Einsatz von TF-Gleisstromkreisen neu zu bestimmen. Es wird geprüft, in welchem Zusammenhang der bei hohen Frequenzen (bis 100 kHz) ermittelte Bettungswiderstand zu dem Bettungswiderstand bei NF-Gleisstromkreisen steht. Damit könnte der traditionelle Bettungswiderstand isolierstoßfrei in einem kurzen Gleis- bzw. Meßabschnitt mittels eines durch die Fa. Signal Concept GmbH entwickelten Gerätes gemessen werden.

### Literatur

- [1] Pollmer, L.: Vier Näherungsverfahren zur Bestimmung des Bettungswiderstands von isolierten Gleisabschnitten. SIGNAL+DRAHT, 1967, Heft 2 und 3
- [2] Vorschrift der DR von 1968: Anleitung zur Bestimmung des Bettungswiderstandes von isolierten Gleisabschnitten (Näherungsverfahren)
- [3] Isensee, A.: Der Einfluß verschiedener Betriebsarten und Parameter auf das Verhalten isolierstoßloser Gleisstromkreise bei höheren Frequenzen. Dissertation, TU Braunschweig, 1970

## SUMMARY

### Experience by the determination of track parameters for audio-frequencies track circuits

The knowledge of the track parameters especially of the ballast resistance is an important requirement for the use of audio-frequencies track circuits. The essay describes the possibilities for the determination of track parameters. The given procedure for measuring the track parameters needs short-circuits at the ends of the track section. A device for the determination of the ballast resistance and the ballast response in sections is given. So it's possible to optimize the cost of the local permanent way types repair. The measuring results show the clear dependence of the track parameters upon frequency. A suggestion to substitute the track parameters for attenuation of the track voltage per kilometer is given.