

DIPLOMARBEIT

Bewertung und Ermittlung der Gleissteifigkeit an Straßenbahnoberbaukonstruktionen

BEARBEITER



Name: Steinike Lars
Studium: Verkehrsingenieurwesen

BETREUER

Professor: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Fengler
Betreuer (Uni): Dr.-Ing. Ulf Gerber

AUFGABE

In der Praxis ist die Gleissteifigkeit meist nur partiell bekannt, was auf den hohen experimentellen Aufwand zurückzuführen ist. Um eine flächendeckende Ermittlung der Gleissteifigkeit zu ermöglichen, stand die Entwicklung eines Verfahrens, mit dem es möglich ist die Gleissteifigkeit C_{GZ} mit minimalen technologischem und kostenintensivem Aufwand an einem Straßenbahnoberbauquerschnitt bestimmen zu können, im Vordergrund dieser Arbeit. Die Anwendung von potentiellen Verfahren sollte an ausgewählten Abschnitten im Gleisnetz der Dresdner Verkehrsbetriebe AG erfolgen.

Thesen

- (1) Die dynamischen Belastungen des Fahrweges und des Fahrzeuges können durch die Gleissteifigkeit verstärkt oder verringert werden.
- (2) Eine Minimierung der dynamischen Belastungen von Fahrweg und Fahrzeug durch die Optimierung der Gleissteifigkeit kann nur dann erfolgen, wenn sämtliche Einflussmöglichkeiten der Gleissteifigkeit auf das System Fahrweg - Fahrzeug untersucht werden.
- (3) Die Gleissteifigkeit kann in der Theorie mit wenig technischem Aufwand durch Dehnungsmessstreifen und Beschleunigungsaufnehmer ermittelt werden.
- (4) Anhand von Messversuchen konnte festgestellt werden, dass die Anwendung von Dehnungsmessstreifen zur Bestimmung der Gleissteifigkeit mit Hilfe der Langträgerberechnung nach Zimmermann [1930] nur bei gleichmäßigen Gleissteifigkeiten angewendet werden kann.
- (5) Die Verwendung von Beschleunigungsaufnehmern kann nicht für eine präzise Bestimmung der Gleissteifigkeit herangezogen werden, da die aus dem Beschleunigungssignal zu berechnende Einsenkung nach dem derzeitigen Kenntnisstand zu ungenau ist.
- (6) Durch den Einfluss der Radsatzstellungen ist es möglich, an ein und demselben Stützpunkt, je nach Befahrungsrichtung, unterschiedliche Stützpunktsteifigkeiten zu ermitteln.

Die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Verfahren zur Bestimmung der Gleissteifigkeit werden im Folgenden näher beschrieben.

Bestimmung der Gleissteifigkeit durch die Ermittlung der Einsenkung z

Die Gleissteifigkeit C_{GZ} beschreibt die Elastizität des Gleises und wird durch die Vertikalkraft F_z und die daraus resultierende Einsenkung z definiert (s. Gleichung (1)).

$$C_{GZ} = \frac{F_z}{z} \quad (1)$$

Wenn die Vertikalkraft durch das Fahrzeug definiert wird, kann die Bestimmung der Gleissteifigkeit anhand der Gleichung (1) über die Ermittlung der Einsenkung erfolgen. Die Ermittlung der Einsenkung ist dabei sowohl mit einem Wegaufnehmer (WA) als auch durch einen Beschleunigungsaufnehmer (BA) möglich (s. Abb. 1).

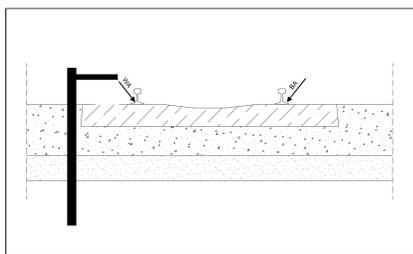


Abb. 1: Schematische Darstellung von der Erfassung der Einsenkung sowie der Beschleunigung

Entscheidend ist bei der Verwendung eines WA, dass der verwendete Träger zur Befestigung des WA so tief in den Untergrund reicht, dass nur die absolute Einsenkung des Gleises gemessen wird. Des Weiteren wird durch die Anwendung einer solchen Messkonstruktion (s. Abb.1) in das Lichtraumprofil eingegriffen, was zu einer Beeinträchtigung des Betriebsablaufes führen kann und der Aufwand unverhältnismäßig groß wird. Aus diesem Grund ist dieses Verfahren in dieser Arbeit nicht näher angewendet und untersucht worden.

Bei der Verwendung eines BA zur Ermittlung der Einsenkung muss dieser lediglich an einem Stützpunkt befestigt werden. Um die Einsenkung zu erhalten, ist es notwendig, das gemessene Beschleunigungssignal zweimal über der Zeit zu integrieren.

$$C_{GZ} = f(F_z, \ddot{z}) \quad (2)$$

Da sich aber auf dem Messsignal ein zufälliger Fehler (Rauschen) befindet, der nicht herausgefiltert werden kann, ist eine exakte Ermittlung der Einsenkung durch die zweimalige Integration des Messsignals nicht möglich und eine Anwendung dieses Verfahrens ebenso nicht.

Bestimmung der Gleissteifigkeit C_{GZ} durch die Ermittlung der Wellenlänge $\lambda/2$

Eine weitere Möglichkeit zur Ermittlung der Gleissteifigkeit ist die Anwendung der Langträgerberechnung nach Zimmermann [1930], wobei sich die Gleissteifigkeit in Abhängigkeit

von der Stützpunktsteifigkeit C_{SZ} , der Biegesteifigkeit $E \cdot I$ der Schiene und dem Schwellenabstand a_s ausdrücken lässt.

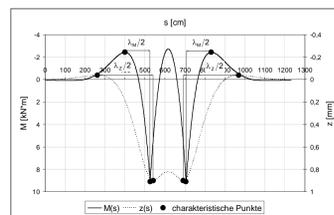


Abb. 2: Schematische Darstellung der Einsenkung und des Biegemomentes für ein NGT6DD Fahrzeug

Betrachtet man den Verlauf der Einsenkung und des Biegemomentes eines Dreh- bzw. Fahrgestells (s. Abb. 2) nach der Langträgerberechnung von Zimmermann [1930], so ergeben sich in Abhängigkeit vom Langträger-Grundwert L und dem Achsabstand a_A jeweils vier charakteristische Punkte, aus denen sich die Wellenlängen $\lambda/2$ (Einsenkung) und $\lambda_M/2$ (Biegemoment) bestimmen lassen.

$$L = \sqrt{\frac{4 \cdot E \cdot I \cdot a_s}{C_{SZ}}} \longrightarrow \lambda/2 = f(L, a_A) \quad (3)$$

Um jedoch die Gleissteifigkeit mit Hilfe der Wellenlänge bestimmen zu können ist es notwendig Näherungsfunktionen zu berechnen, die den funktionellen Verlauf der Stützpunktsteifigkeit in Abhängigkeit von der Wellenlänge für die zu untersuchende Oberbauart darstellen (s. Abb. 3).

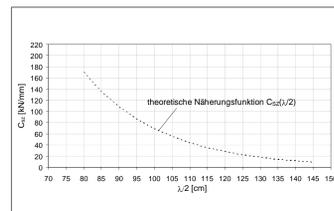


Abb. 3: Schematische Darstellung der Näherungsfunktion zur Berechnung der Stützpunktsteifigkeit

Die Wellenlänge $\lambda/2$ wird anhand der Messwertfunktion, die den Verlauf der Einsenkung bzw. des Biegemomentes wiedergibt, erfasst und in die jeweilige Näherungsgleichung eingesetzt. Somit ist es möglich die Stützpunktsteifigkeit und darauf aufbauend die Gleissteifigkeit bestimmen zu können.

$$\lambda/2 \longrightarrow C_{SZ}(\lambda/2) \longrightarrow C_{GZ} = \frac{2 \cdot \sqrt{4 \cdot E \cdot I \cdot a_s} \cdot C_{SZ}(\lambda/2)}{a_s} \quad (4)$$

Die Einsenkung wird dabei über einen Wegaufnehmer gemessen und für das Biegemoment ist ein Dehnungsmessstreifen (DMS) erforderlich.

Alle notwendigen Messungen zur Untersuchung dieses Verfahrens wurden an einem Streckenabschnitt der Straßenbahnlinie 8 zwischen der Königsbrücker Straße und dem Klotzcher Weg durchgeführt. Die auf diesem Streckenabschnitt verkehrenden Fahrzeuge waren vom Typ NGT6DD und T4D/TB4D.

Die Messungen fanden an vier Schwellen statt (s. Abb. 4). Bei allen vier Schwellen sind an der Schiene Dehnungsmessstreifen und Beschleunigungsaufnehmer (BA) für weitere Untersuchungen befestigt worden (s. Abb. 5 u. 6). Weiterhin konnte an der Schwelle 2 ein Wegaufnehmer befestigt werden (s. Abb. 6).

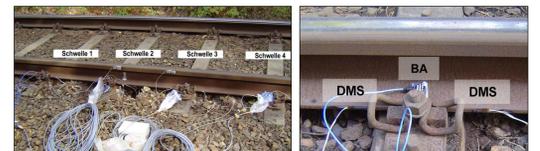


Abb. 4: Messstelle

Abb. 5: Anordnung von DMS und BA

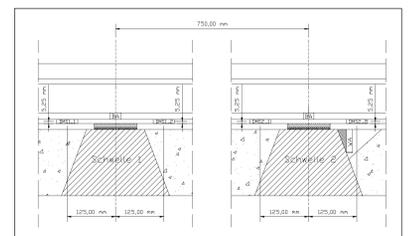


Abb. 6: Messversuchsaufbau, der mit Ausnahme des Wegaufnehmers (WA) auf die Schwellen 3 und 4 zu übertragen sind

Bei der Bestimmung der Gleissteifigkeit mit dem oben beschriebenen Verfahren musste festgestellt werden, dass sich die ermittelten Gleissteifigkeiten, in Abhängigkeit von der Befahrungsrichtung, unterschiedlich verhalten (s. Abb.7 u. Tab.1). Weiterhin ergaben sich zum Teil sehr große Streuungen (s. Tab.1) zwischen den einzelnen Gleissteifigkeiten. Aufgrund dieser Auswertungsergebnisse ist eine genaue Aussage über die örtliche Gleissteifigkeit nicht möglich.

	Schwelle 1		Schwelle 2		Schwelle 3		Schwelle 4
	aus Hellerau	nach Hellerau	aus Hellerau	nach Hellerau	aus Hellerau	nach Hellerau	aus Hellerau
Mittelwert C_{GZ} [kN/mm]	64,123	68,998	69,679	84,709	45,747	55,799	6,272
Streuung [kN/mm ²]	14,995	18,394	15,514	18,574	28,708	20,856	2,316

Tab. 1: Darstellung der Ergebnisse

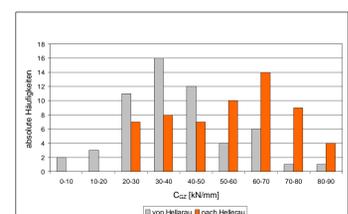


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung der ermittelten Gleissteifigkeiten an der Schwelle 2

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit, ein wenig aufwendiges Verfahren zur Bestimmung der Gleissteifigkeit zu entwickeln, konnte nur zum Teil erfüllt werden. Mit der Anwendung der Langträgerberechnung nach Zimmermann [1930] ist es zwar möglich, Schwellenhohllagen zu erkennen, jedoch können keine exakten Aussagen über die Gleissteifigkeit getroffen werden sobald örtliche Inhomogenitäten bei der Elastizität des Gleises auftreten.