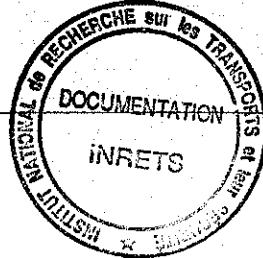


Literatur

- /1/ Chrostov, V. S.: Teoriya t'jagovo dvigateja elektrovosa. Moskva: Z. des Moskauer Instituts für Ingenieure des Eisenbahntransports, Ausg. 156.
- /2/ Richter, R.: Elektrische Maschinen, Bd. 1. Basel: Verlag Birkhäuser.
- /3/ Largräder, H.: Gesichtspunkte für die Bemessung umrichtergespeister ASM für die Traktion. Brown-Boveri-Mitt., H. 4 (1970).
- /4/ Borzov, P. I.: Uskorit sospansie beskollektornovo t'jagovo privoda. Zelenodol. Transp. /Moskva/ 61 (1979) 3, S. 41–43.
- /5/ Nachodkin, M. D.: Projektirovaniye t'jagovych elektritscheskikh maschin. Moskva: Transport 1976.
- /6/ Tichmenev, B. N.: Ventilnye dvigateli i ich primenie na elektro-nodvishnom sostave. Moskva: Transport 1976.
- /7/ Nürnberg, W.: Die Asynchronmaschine. Berlin—Göttingen—Heidelberg: Springer-Verlag.
- /8/ Vogt, K.: Berechnung rotierender elektrischer Maschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1972.

EbA 10.138

Hochschuldozent Dr. sc. techn. MANFRED ZSCHWEIGERT (KDT)
Dipl.-Ing. DIETER ARNDT (KDT), Dr.-Ing. GUNTHER FUHRER
Dr.-Ing. CLAUS GÜBEL (KDT), Dr.-Ing. KLAUS JORDAN (KDT)
Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden



DK 388.4.14.142.4(430.2)

Querschwellengleis für Straßenbahnen

Die unterschiedlichen Verformungseigenschaften von Straßenfahrbahn und Gleisbereich und die sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Ausbildung einer dauerhaften, sowohl den Belangen des Schienenverkehrs als auch des Straßenverkehrs entsprechenden Gleiskonstruktion und -abdeckung beschäftigen seit jeher die Fachleute und führten kaum zu Lösungen, die den heutigen Ansprüchen genügen.

Als beständigste Gleiskonstruktion sowohl im eigenen und besonderen Bahnkörper als auch in der Straßenfahrbahn hat sich international das Querschwellengleis erwiesen. Die Abdeckung geschieht vorwiegend mit Betonplatten als Gleis-, Mittel- und Randplatten. Großplatten- und Verbundplattengleise weisen neben dem nur bedingt möglichen Erreichen der angestrebten Auflagerbedingungen Nachteile auf, wie

- relativ geringe vertikale Verformbarkeit
- begrenzte Korrigierbarkeit bereits bei geringen Verlagerungen
- hoher Materialeinsatz und
- eine zu große Lärmemission /1/.

Nach wie vor ist auch der volkswirtschaftliche Gesamtaufwand an Kosten und Material im Vergleich zur Lebensdauer zu hoch. Auch die Budapester Bauart, die ausreichend breite, rd. 6 m lange Betonplatten mit eingelassenen Blockschienenkanälen verwendet, zeigt nach neueren Feststellungen Schäden infolge der ungenügend beherrschbaren Plattenlagerung.

Auf Grund dieser und weiterer Erkenntnisse beziehen sich die Aktivitäten des Bearbeiterkollektivs der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden (HfV) auf das bewährte Querschwellengleis, zu dem verschiedene neuere Untersuchungen und Berechnungen speziell für den Einsatz als abgedecktes Gleis in der Straßenfahrbahn vorliegen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen lassen Schlussfolgerungen zu, die bereits weitgehend Eingang in die Bau- und Betriebsordnung für Straßenbahnen (BO Strab) /2, 3/ gefunden haben.

1. Das moderne Querschwellengleis

Das von der Eisenbahn seit Jahrzehnten ausreichend erprobte und funktionssichere, elastisch und kraftschlüssig wirkende Querschwellengleis kann bei ordnungsgemäßem Herstellen und Instandhalten auch bei höchster Belastung eine große Lebensdauer erreichen. Bild 1 zeigt die Ausbildung dieser Gleisbauart für den besonderen Bahnkörper der Straßenbahn mit Anordnung eines Randtiefbords zum seitlichen Abgrenzen und Aussteifen des lückenlos geschweißten Gleises. Das bei dieser Variante mit mittiger Planumsentwässerung ausgebildete Gleis verwendet entweder die Reichsbahnswelle BS 65 oder die neu entwickelte Einheitsschwelle B 1 500

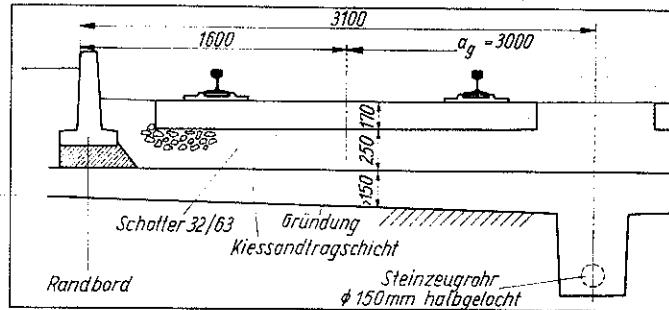


Bild 1. Querschnitt des Querschwellengleises mit Randbord als besonderer Bahnkörper (Maße in mm)

(B 1 000) für Straßenbahnen, die sowohl für Kopf- als auch für Rillenschienen einsetzbar ist. Detaillierte Ausführungen zu diesem Schwellentyp sind in /4/ zu finden. Im Bild 2 ist das abgedeckte Querschwellengleis mit Rillenschienen unter Verwenden der Einheitsschwelle B 1 500 (B 1 000) und des Randbords angegeben. Der Schwellenabstand ist bei beiden Varianten entsprechend /3/ auf $a = 0,75$ m verringert worden. Die Funktion des neuartigen Randbords, der seit 1980 im Betonwerk Chemnitztal gefertigt wird, besteht in der

- eindeutigen Trennung des Straßenbereichs vom Gleisbereich, um deren unterschiedliche Verformungseigenschaften zu berücksichtigen
- eindeutigen Begrenzung des Gleisbereichs bei Gleisreparaturen oder Straßenfahrbahnrekonstruktionen
- der Verhinderung von Abbrucherscheinungen an der Straßenfahrbahnkante
- Erhöhung der Verwerfungssicherheit und des Querverschiebewiderstands
- Verhinderung des Entwässerns benachbarter Straßentragsschichten in das Gleis
- Brechung oder Minderung der seitlichen Körperschallemission.

Für die Gleisdeckung wird z. Z. auf der Basis der vom VEB Ingenieur- und Verkehrsbaukombinat Karl-Marx-Stadt angewendeten Abdeckplatten GP unter Federführung der Versuchs- und Entwicklungsstelle für Kraftverkehr und innerstädtischen Verkehr (VES K) ein vereinheitlichtes Sortiment eingeführt, das die unterschiedlichen Spurweiten und Gleisabstände berücksichtigt. Als ein

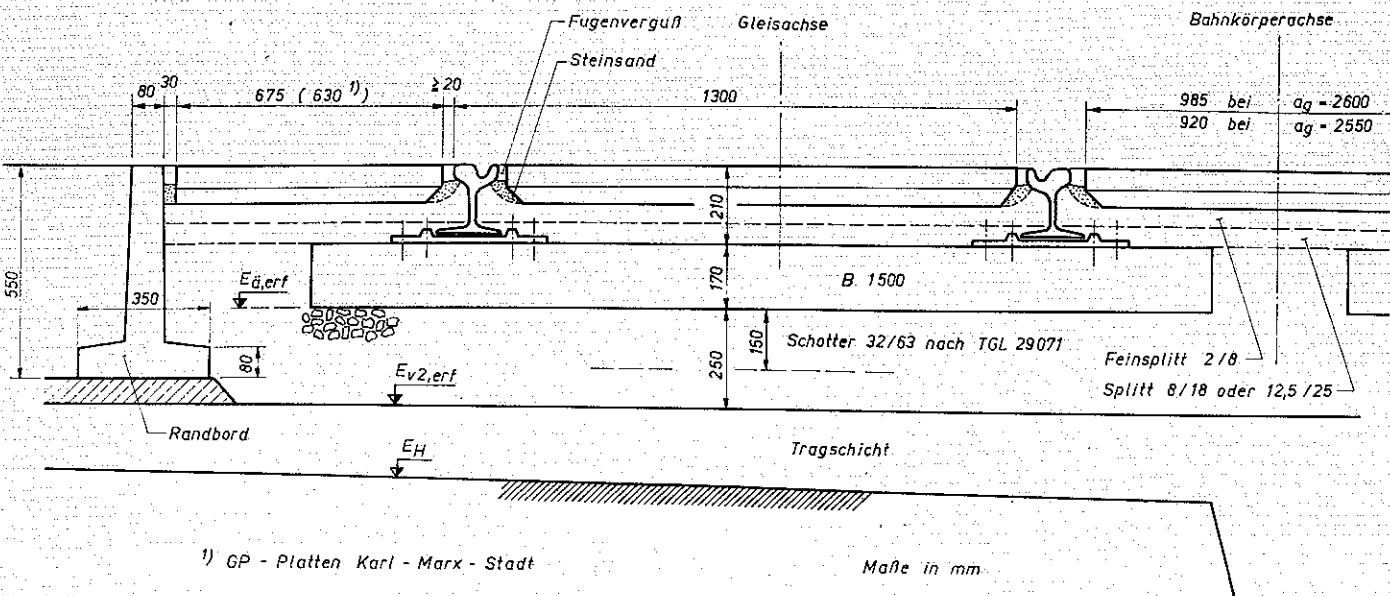


Bild 2. Querschnitt des abgedeckten Querschwellengleises mit Randbord und Abdeckplatten

wesentliches Kriterium wurde durch das Anwenden derartiger Platten auch der Einsatz der hinsichtlich der Verspannung wirkungsvollsten Oberbauart K möglich.

2. Tragkonstruktion

Bezüglich der Anforderungen, die an die Tragfähigkeit des Unterbaus unter Querschwellengleisen zu stellen sind, werden zwei Fälle unterschieden:

Fall 1:

Abgedecktes Querschwellengleis in Straßenlage mit öffentlichem Fahrverkehr

Fall 2:

Unabgedecktes Querschwellengleis im eigenen oder besonderen Bahnkörper und abgedecktes Querschwellengleis ohne öffentlichen Fahrverkehr.

Die ständig zu gewährleistende Tragfähigkeit des Unterbaus für Fall 1, die durch die Größe des erforderlichen äquivalenten Verfor-

mungsmoduls E_d,erf ausgedrückt wird, hängt von den durch die Verkehrsbeanspruchungen hervorgerufenen relativen vertikalen Verschiebungen zwischen Gleiskonstruktion und angrenzender Straße ab. Diese Verschiebungen dürfen nur so groß sein, daß die langzeitliche Funktionstüchtigkeit aller Konstruktionsteile und speziell des Fugenvergusses gewährleistet wird. Aus /5/ und aus weiteren Untersuchungen geht hervor, daß dies gesichert ist, wenn die elastische Formänderung des Gleises den Wert von max. 0,5 mm nicht übersteigt. Daraus ergibt sich für das abgedeckte Querschwellengleis in Straßenlage mit öffentlichem Fahrverkehr bei Verwenden von Rillenschienen TW 60 oder TW 65 und bei einem vorgeschriebenen Schwellenabstand von 0,75 m ein äquivalenter Verformungsmodul des Gesamtsystems Unterbau von $E_d,erf \geq 80 \text{ N/mm}^2$.

Das unabgedeckte Querschwellengleis im eigenen oder besonderen Bahnkörper (Fall 2) läßt sich wie ein Eisenbahngleis bemessen. Dabei werden die durch die Verkehrsbelastungen entstehenden vertikalen elastischen Formänderungen nur durch die Forderung begrenzt, daß die zulässigen Spannungen in den Schienen nicht überschritten werden dürfen. Die entsprechenden Berechnungen er-

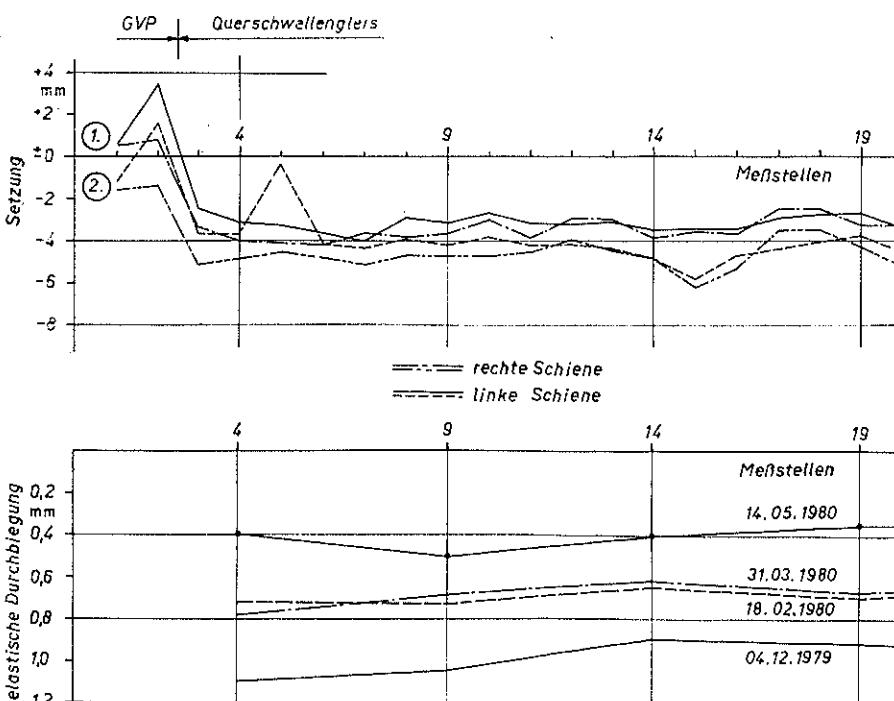


Bild 3
Setzungs- und Durchbiegungsmessungen auf der Versuchsbaustraße
Meßpunktabstand 3 m; Nullmessung am 3. 12. 79;
Wiederholungsmessungen: 1. am 24. 1. 80; 2. am 21. 3. 80; 3. am 8. 5. 80 (Werte wie bei 2.)

gaben: Der erforderliche äquivalente Verformungsmodul für das unabgedeckte Querschwellengleis im eigenen oder besonderen Balkenkörper muß bei Verwenden der Schienen S 49 und R 50 nur $E_{a,erf} \geq 25 \text{ N/mm}^2$ betragen.

Der erforderliche äquivalente Verformungsmodul $E_{a,erf}$ ist ganzjährig zu gewährleisten. Die sich daraus ergebende Bemessungsaufgabe zum Ermitteln der in Abhängigkeit von der Tragfähigkeit des Untergrunds erforderlichen Dicken der Tragschichten kann für den Neubau nach /3/ gelöst werden.

Bei Rekonstruktionen sollte man aus wirtschaftlichen Gründen anstreben, die vorhandene Tragschicht weiter zu verwenden. Ob dies möglich ist, hängt allein davon ab, ob mit dieser Tragschicht der erforderliche äquivalente Verformungsmodul $E_{a,erf}$ des Gesamtsystems erreicht werden kann oder nicht. Zur Einschätzung der Tragfähigkeit der vorhandenen Tragschicht werden grundsätzlich Tragfähigkeitsmessungen gefordert. Über diese Tragfähigkeitsmessungen und deren Auswertung sind in /3/ ebenfalls Ausführungen zu finden.

3. Neuere Erfahrungen mit dem abgedeckten Querschwellengleis

Im Dezember 1979 wurde in Dresden auf der Bautzener Straße ein Versuchsschnitt in abgedeckter Querschwellenbauweise in einer überhöhten Bogenlage mit einem Radius von 150 m und einer Länge von rd. 75 m ausgeführt. Der bereits erwähnte Randbord konnte noch nicht eingesetzt werden; anstelle der zu dieser Zeit noch nicht verfügbaren Schwellen BS 1 500 kamen Holzschwellen zum Einsatz. Die Plattendruckversuche auf der Schottertragschicht ergaben einen Mittelwert von $E_a > 90 \text{ N/mm}^2$. Der zweite Stoßgang erfolgte noch vor Inbetriebnahme des Gleises als Feststopfgang gemäß /3/. Damit ist die Möglichkeit gegeben, das Gleis noch vor Betriebsaufnahme, also ohne Betriebsbehinderung, abzudecken und eine sofortige Verkehrs freigabe der Straße zu erreichen. Im Bild 3 sind die Gleissetzungen des stadtwärtigen Gleises angegeben; sie betrugen nach 5 Monaten Betriebsdauer rd. 3 bis 5 mm, im Gegengleis nur 2 bis 4 mm. Am Übergang vom Querschwellen- auf das GVP-Gleis (Großverbundplatte) bildete sich anfänglich eine Plattenauflöhlung aus, die als „stehende“ Biegewelle zu deuten ist. Hier zeigt sich u. a. die nachteilige Wirkung eines häufigen Bauartwechsels.

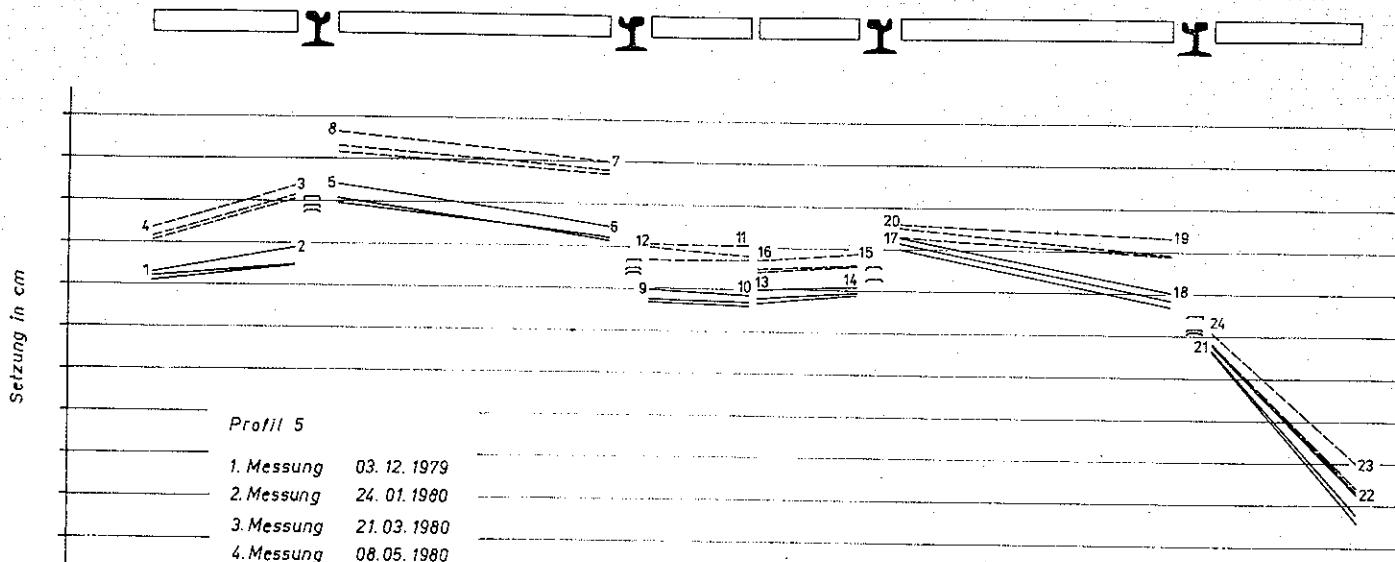


Bild 4. Setzungen der Abdeckplatten auf der Versuchsbauweise

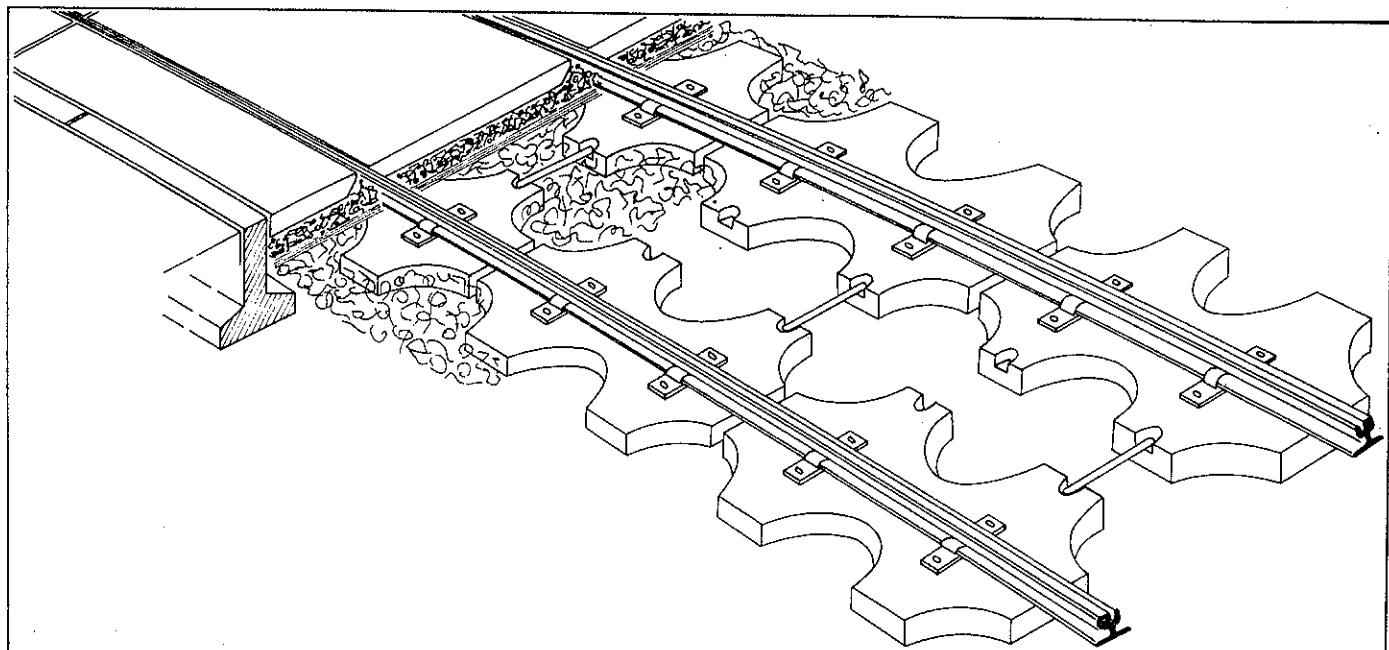


Bild 5. Ansicht des Kreuzlangschwellengleises

Die elastische Durchbiegung ist nach gleicher Betriebsdauer auf $y = 0,5$ bis $0,4$ mm, in der Gegenrichtung sogar auf $0,5$ bis $0,3$ mm abgeklungen. Es wurde damit festgestellt: Bei anfänglich größeren Setzungsbeträgen des Gleises infolge Nachverdichtung der Tragschichten treten so geringe elastische Verformungen auf, so daß eine einwandfreie Abdeckplattenauflagerung und damit eine lange Lebensdauer erzielt werden kann.

Aus Bild 2 ist der konstruktive Aufbau der Plattenabdeckung ersichtlich. Wichtig ist eine gute Schwellenfach- und Schwellenvorkopfverdichtung, die nicht nur der Stabilisierung der Gleislage, sondern auch der guten Auflagerung der weiteren Splittschichten dient. Die untere Splittschicht $8 \text{ mm}/18 \text{ mm}$ oder $12,5 \text{ mm}/25 \text{ mm}$ wird am zweckmäßigsten mit einem Vibroplattenverdichter verdichtet.

Das Setzungsverhalten der Abdeckplatten wurde auf der genannten Versuchsbauweise in mehreren Querschnitten über den Gleiskörper wiederholt gemessen, die Ergebnisse des Profils 5 zeigt Bild 4. Hieraus ist ein synchrones Setzen von Platten und Gleis ersichtlich. Die im Bild 4 angegebenen gestrichelten Linien geben die hinteren Plattenkanten an, die infolge der Gleislängsneigung höher liegen; die Werte für die Schienenoberkanten beziehen sich auf den nächstgelegenen Meßpunkt. Es ist jedoch noch zu untersuchen, inwieweit Platten mit Längen von rd. $2,25 \text{ m}$ gegenüber jetzt rd. $1,50 \text{ m}$ eine noch verbesserte Lagestabilität erwarten lassen. Das Beobachten dieses Versuchsbauweises und das Einrichten weiterer Versuchsbauweisen soll hierüber Aufschluß geben.

4. Kreuzlangschwellengleis

Hierbei handelt es sich um eine Neuentwicklung, die erstmals 1980 in Dresden zur Erprobung kommt. Diese Bauart (Bild 5) vereint die Vorteile der Querschwelle mit der der Plattenauflagerung. Bei fast verdoppelter Auflagerfläche gegenüber der Querschwelle, deren elastisches Verhalten beibehalten wird, werden dennoch eindeutige Auflagerverhältnisse erreicht, die bei Plattengleisen nur bedingt vorausgesetzt werden können. Die Schwelle sind mit zwei Auflagern versehen und werden mit Hakenstangen verbunden. Die Gesamtbauhöhe läßt sich gegenüber dem Querschwellingleis merklich reduzieren. Die Bauart ist ausschließlich für eingedeckte Gleisbereiche vorgesehen. Zu gegebener Zeit wird über diese Bauart ausführlicher zu berichten sein.

5. Lagesicherheit von Straßenbahngleisen

Lückenlose Gleise sind für die Straßenbahnen nicht neu. Die Probleme der temperaturbedingten Druck- oder Zugkräfte kamen nicht zum Tragen, weil durch die Einbettung der Schienen bis nahezu Schienenoberkante zum einen ein hoher Querverschiebewiderstand garantiert wird und zum anderen die Sonneneinstrahlung nicht voll auf die gesamte Schienenoberfläche wirksam werden kann. Ganz anders liegen die Verhältnisse bei eigenem und besonderem Bahnkörper. Aus der Erfahrung in jüngster Zeit muß betont wer-

den, daß die entspannten Schienen nur zwischen 12°C und 25°C im Gleis verspannt werden dürfen. Sind diese Schienentemperaturen nicht vorhanden, dann müssen durch künstliche Längung — das ist mit der von der DR bekannten Schienenklemmvorrichtung möglich — die Verhältnisse entsprechend dem genannten Temperaturbereich simuliert werden. Diese Feststellung trifft ebenfalls für die richtige Beseitigung von Schienenbrüchen zu. In diesem Zusammenhang wird häufig zu viel Schienenstahl eingebaut und somit die Voraussetzung für sehr hohe Druckspannungen geschaffen, die wiederum die Hauptursache für mögliche Gleisverwerfungen sind.

Im Vergleich zu den Gleisen der DR liegen bei der Straßenbahn z. T. erhebliche Abweichungen vor. Sie beziehen sich vorwiegend auf den hier größeren Schwellenabstand $a = 0,75 \text{ m}$ und $1,0 \text{ m}$, auf die geringere maschinelle sowie verkehrsbedingte Verdichtung des Schotters und auf die wesentlich kleineren Radien. Der Querverschiebewiderstand des Gleises nimmt bei $1,0 \text{ m}$ Schwellenabstand im Vergleich zu $0,75 \text{ m}$ um 25 Prozent ab. Durch eine halbjährige Verkehrsbelastung steigt der Querverschiebewiderstand um 100 Prozent. Diese Feststellungen sind besonders wichtig für die Wahl der Radien; denn die Verwerfungsgefahr nimmt mit der Krümmung zu.

Die Wirkung des genannten Randtiefbords hinsichtlich der Lagesicherheit zeigt Bild 6. Die Lagesicherheit, die sich aus der Differenz zwischen den im Gleis auftretenden max. Druckkräften von 1590 kN für das Querschwellingleis und dem Kurvenminimum des maßgebenden Querverschiebewiderstands ergibt, ist bei Einsatz des Randbords beachtlich höher.

Die Kreuzlangschwelle bringt gegenüber dem Querschwellingleis insofern abweichende Bedingungen, da hier die Rahmenwirkung des Gleises nicht in Ansatz gebracht werden kann, dafür aber der Querverschiebewiderstand durch die Formgebung erheblich vergrößert wird. Die zu erwartende Lagesicherheit ist ebenfalls aus Bild 6 zu entnehmen. Die Ergebnisse erreichen und überschreiten die Sicherheiten des Querschwellingleises.

Die Wirkung der temperaturbedingten Längskräfte in eingedeckten Gleisen bedürfen noch einiger Untersuchungen, deren Ergebnisse zu gegebener Zeit Bestandteil der Vorschriften werden müssen.

6. Schlußfolgerungen

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß eine funktionstüchtige Planumsentwässerung, das Erreichen der geforderten Tragfähigkeit des Gesamtsystems und ein ausreichendes Feststopfen des Gleises bei der Herstellung die wesentlichen Voraussetzungen für eine dauerhafte Abdeckplattenlagerung sind. Versuchsbauweisen geben hierzu wichtige Aufschlüsse. Als eine Variante zum abgedeckten Querschwellingleis wird das Kreuzlangschwellingleis als eine bauhöhepende Bauart erprobt. Die optimale Lösung für die Lagestabilität der Gleisabdeckung ist noch zu ermitteln.

Schwerpunkte unserer künftigen Arbeit bestehen in der weiteren Untersuchung des Tragschichtverhaltens, der Entwässerung, der Gleisbautechnologien, der optimalen Abdeckplattenausbildung und -lagerung sowie in ökonomischen Aussagen.

Literatur

- 1/ Zschweigert, M.; Führer, G.: Erkenntnisse für die Weiterentwicklung von Oberbauarten der Straßenbahn der DDR. Gleisbauinformationen /Berlin/ 16 (1980) 1, S. 12–15.
- 2/ Bau- und Betriebsordnung für Straßenbahnen (BO Strab) vom 22. Januar 1976. Berlin: Staatsverlag der DDR.
- 3/ Führer, G.; Göbel, C.; Jordan, K.; Zschweigert, M.: Neuformulierung der Anforderungen an die Tragkonstruktion unter Querschwellingleisen der Straßenbahn im Rahmen der Überarbeitung der BO Strab. (Bestätigter Entwurf, Stand Juli 1979.) Gleisbauinformationen /Berlin/ 15 (1979) 10/11, S. 262–266.
- 4/ Gläser, W.: B 1500 und B 1000 — neue Betonschwelle für die Straßenbahnen der DDR. DET — Die Eisenbahntechnik /Berlin/ 28 (1980) 2, S. 64–66.
- 5/ Strunck, K.: Das Zusammenwirken von Straßenbahnschiene, Straßenbefestigung, Unterbau und Untergrund. Das Straßenwesen /Berlin/ Sonderheft Nr. 18 (1963). EBA 10 483

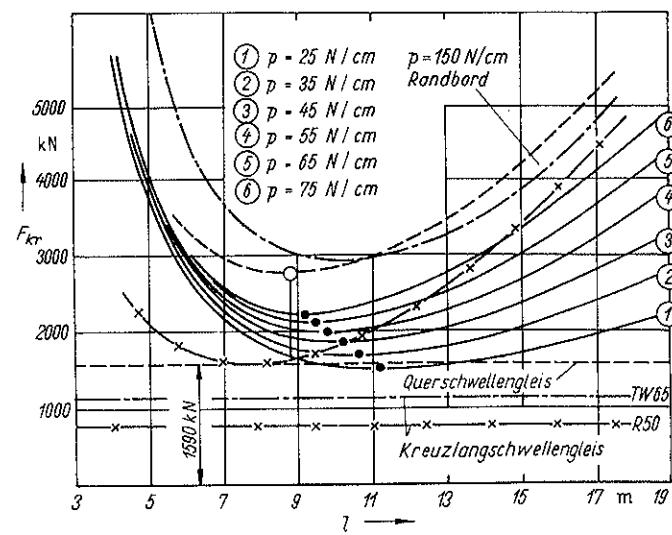


Bild 6. Kritische Verwerfungskraft F_{kr} in Abhängigkeit von der Lagefehlerlänge l und dem Querverschiebewiderstand p