

# Untersuchungen an Holzschwellen aus Tunnelgleisen

**Journal Article****Author(s):**

Popper, Rudolf; Eberle, Gerhild

**Publication date:**

1997

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006104731>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

**Originally published in:**

Drevársky Výskum 42(2)

## UNTERSUCHUNGEN AN HOLZSCHWELLEN AUS TUNNELGLEISEN

RUDOLF POPPER—GERHILD EBERLE

ETH Zürich, Departement Wald- und Holzforschung,  
Professur für Holztechnologie

### ZUSSAMMENFASSUNG

Aus den vorgenommenen Untersuchungen geht hervor, daß die Tragfähigkeit, und demzufolge auch die Liegedauer der mit Salz belasteten, teerölimprägnierten Buchenholzschnellen aus klimabeanpruchten, elektrisch gesicherten Tunnelgleisen nach relativ kurzer Zeit herabgesetzt werden. Es hat sich gezeigt, daß die Schwächung der Schwelle auf die elektrolytischen Vorgänge zurückzuführen ist. Auf die möglichen Reaktionsmechanismen wurde eingegangen. Abgesehen von der Beeinträchtigung des Sicherheitssystems sollte man bei der Qualitätsbeurteilung einer solchen Schwelle in Betracht ziehen, daß die elektrolytischen Holzabbaureaktionen hauptsächlich direkt unter der Schiene stattfinden, also gerade dort wo die Schwelle am stärksten mechanisch beansprucht wird.

SCHLÜSSERWÖRTER: Buchenholzschnellen, Biegefestigkeit, Elektrolyse, Korrosion

### 1 EINLEITUNG

In Eisenbahntunnels ist das Gleis meist hoher Luftfeuchtigkeit, relativ hohen Temperaturen und je nach hydrogeologischer Situation und Gesteinsbeschaffenheit mit Chlorid- und/oder Sulfatsalzen angereichertem Bergwasser ausgesetzt. In einigen Bahnführungen werden Autos verladen, was einer zusätzlichen Streusalzbelastung des Gleises gleichkommt. Diese Salzbelastung kann Herabsetzung des elektrischen Widerstandes der Holzschwelle verursachen, was zu einer Beeinträchtigung des Sicherheitssystems führen kann. Die Korrosionserscheinungen an Schienen sind unter solchen Bedingungen bekanntlich groß. Deshalb muß man diese öfter auswechseln als diejenigen im offenen Gleis. Ist dann die Gebrauchsfähigkeit und die Traglast der Holzschwelle genügend groß, um sie im Gleis zu belassen, sie im offenen Gleis noch weiter zu gebrauchen oder

ist sie ebenfalls auszuwechseln? Die Kosten, die damit verbunden sind, können je nach Beantwortung dieser Frage beträchtlich ausfallen. Die vorliegenden Untersuchungen sollen helfen, diese Frage zu beantworten.

## 2 MATERIAL UND METHODE

Die Untersuchungen wurden an teerölimprägnierten Buchenholzschwellen mit einer durchschnittlichen Liegedauer von  $9 \pm 1$  Jahren aus drei verschiedenen Gleisabschnitten (Standort TS, TU und 0) vorgenommen. Der Standort TS (Tunnel) zeichnete sich durch ein feucht-warmes Klima mit hoher Salzbelastung aus, Standort TU (Tunnel) wies vergleichbare Klimabedingungen aus, jedoch praktisch ohne Salzbelastung und die Versuchsproben vom Standort 0 stammten aus offenem Gleis. Aus jedem dieser Gleisabschnitte wurden je 5 Schwellen entnommen. Dieser relativ kleine Stichprobenumfang wurde darin begründet, daß man einen schnellen und kostengünstigen Qualitätshinweis für Schwellen aus Tunnelgleis suchte, wobei nur ein relativer Qualitätsvergleich angestrebt wurde. Die Stichprobenschärfe hat man dadurch zu erhöhen versucht, indem man Versuchsproben aus dem höchstexponierten (Salzbelastung, Klimabedingungen) Tunnelabschnitt entnommen hat. Die nicht untersuchten Einflußfaktoren (z. B. Zeitfaktor) versuchte man auszuschalten, indem man Vergleichsprobenkollektive mit gleicher Liegedauer in diese Untersuchung einbezog.

Folgende chemische und physikalische Untersuchungsmethoden wurden für die Beurteilung der Schwellenqualität angewendet: Bestimmung des Biege-*E*-Moduls, Bestimmung der Normalrohddichte, Bestimmung der Biegefestigkeit, Bestimmung des Feuchtegehaltes und Bestimmung des Mineralstoffgehaltes.

Für die physikalisch-mechanischen Untersuchungen wurden aus jeder Schwelle 24 Proben (Transversal-Ausmasse  $5 \times 5$  cm, Axial-Ausmasse 90 cm) grob herausgeschnitten und anschließend im Normalklima (DIN 50 014-65) vorkonditioniert. Die Abmessungen des normalklimatisierten Fertigungszuschnitts betragen  $40 \times 40$  mm in der Transversal- und 700 mm in der Axialrichtung.

Die Biege-*E*-Modul- sowie die Biegefestigkeitsprüfung erfolgten mit einem Kraftangriff, verteilt auf zwei, zur Feldmitte symmetrische Stellen, bei konstanter Verformungsgeschwindigkeit in Anlehnung an DIN 52 186. Der Prüfling wurde im Biegeprüfstand so eingebaut, daß die Seite mit der größeren Astigkeit in der Zugzone lag. Der Abstand der Kraftangriffspunkte betrug 200 mm bei einer Stützweite von 600 mm. Für die Bestimmung des Biege-*E*-Moduls und der Normal-Rohddichte (in Anlehnung an DIN 68 364) wurden die gleichen Proben verwendet, die anschließend für die Biegefestigkeitsbestimmung gebraucht wurden.

Die Wassergehaltsbestimmung diente für die Erfassung der Anfangs- und

Gleichgewichtsfeuchtigkeit des Untersuchungsmaterials. Angewendet wurde die titrimetrische Methode nach Karl Fischer, die auch bei teeröl-imprägnierten Proben genaue Resultate liefert (EBERIUS 1958, KOLLMANN et al. 1962).

Zur Abschätzung der Salz-Kontamination der Versuchsschwellen wurde die Aschengehaltsbestimmung (BROWNING 1967) beigezogen und als Mineralstoffgehalt der Probe deklariert.

### 3 VERSUCHSERGEBNISSE UND DISKUSSION

Die mechanischen Eigenschaften wurden als Hauptkriterium für die Wiederverwertung der aus dem salz- und klimabeanspruchten Tunnelabschnitt (TS) ausgebauten Eisenbahnschwellen gewählt. Die Schienen beider Tunnelabschnitte (TS und TU) waren an ein elektrisches Gleichstrom-Sicherungssystem angeschlossen. Die isolierte Schiene bildete den positiven Pol (Anode), die geerdete Schiene den negativen Pol (Kathode). In Anwesenheit von dissoziationsfähigen Ionen ist mit elektrolytischen Reaktionen zu rechnen. Um den Einfluß des Sicherungssystems auf die Qualität der Schwellen beurteilen zu können, wurden Proben jeweils aus der isolierten als auch aus der geerdeten Seite der Schwelle entnommen.

#### 3.1 Mechanische Eigenschaften

Die Prüflinge aus den ausgebauten Holzschwellen waren in Hinsicht auf einen fehlerfreien Zustand alles andere als ideal. Sie stammten aus Kern- und Splintholz, enthielten Äste, der Faserverlauf verlief nicht immer parallel zu den Seitenflächen der Probe und die Jahrringe waren unterschiedlich breit. Sie wiesen Trocknungsrisse auf und bei einigen Proben wurde der Querschnitt durch Schienenbefestigungs- und/oder Imprägnierlöcher vermindert. Die Holzfehler der Versuchsproben wurden vor der mechanischen Prüfung beurteilt (Astigkeit, Rißbildung, Schrägfaserigkeit und reduzierter Querschnitt) und zusammen mit dem Bruchbild bei der statistischen Auswertung berücksichtigt.

##### 3.1.1 Biegefestigkeit

Bei der Biegefestigkeitsprüfung wurde das Bruchbild nach folgenden Kriterien beurteilt: Biegebruch, Schubbruch, Astbruch, Rißbruch und Bruch infolge eines reduzierten Querschnitts. Für die statistische Auswertung wurden von den ursprünglich 360 Proben ausschließlich diejenigen mit Biegebruchbild und vollständigem Querschnitt berücksichtigt. Ergebnisse der Variationsanalyse der Biegefestigkeit faßt *Tabelle 1* zusammen.

Tabelle 1

## ERGEBNISSE DER BIEGEFESTIGKEIT DER UNTERSUCHTEN PROBENKOLLEKTIVE

Entnahmeort	Position im Gleis	Biegefestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )				
		Anzahl Proben <i>n</i>	Mittelwert $\bar{x}$	Standardfehler (intern)	95 % Vertrauensgrenze des Mittelwertes	
					Minimum	Maximum
Tunnel mit Salzbelastung (Standort TS)	isoliert	20	80	4,1	70	89
	geerdet	25	95	4,2	86	103
	isoliert + geerdet	45	88	3,1	82	94
Tunnel ohne Salzbelastung (Standort TU)	isoliert	24	88	4,6	79	96
	geerdet	26	93	3,4	85	101
	isoliert + geerdet	50	90	2,8	84	96
Offenes Gleis (Standort O)	,isoliert'	18	100	5,4	91	110
	,geerdet'	26	96	4,5	90	104
	,isoliert + geerdet'	44	98	3,4	92	104

Aus *Tabelle 1* ergeben sich folgende Tendenzen:

- Schwellen aus dem offenen Gleis (O) scheinen höhere Biegefestigkeit aufzuweisen als diejenigen aus den beiden Tunnelabschnitten (TS und TU).

- Bei den Versuchsproben aus Standort TS ist der Festigkeitsunterschied zwischen der isolierten und der geerdeten Seite der Schwelle auffallend. Die isolierte Seite der Schwelle zeigt gegenüber der geerdeten Seite tiefere Festigkeitswerte.

- Betrachtet man nur die isolierte Seite der Schwelle, so besteht zwischen dem Tunnelabschnitt TS und dem offenen Gleis (O) ein signifikanter Unterschied. Die Versuchsproben aus dem offenen Gleis weisen allgemein deutlich höhere Festigkeitswerte auf als diejenigen aus dem Tunnelabschnitt TS. Bemerkung: Die Bezeichnung ,isoliert' resp. ,geerdet' ist bei den Schwellen aus offenem Gleis willkürlich, da dieser Gleisabschnitt nicht an das Sicherheitssystem angeschlossen war.

- Ein Festigkeitsunterschied zwischen isolierter und geerdeter Seite der Schwelle innerhalb des jeweiligen Entnahmeortes scheint lediglich beim Tunnelabschnitt TS zu bestehen. Demnach kann für die etwas tieferen Festigkeitswerte der Schwellen aus dem Tunnelabschnitt TS die isolierte Seite verantwortlich gemacht werden.

### 3.1.2 Biegeelastizität

Die Steifigkeit der Versuchsproben zeigt eine ähnliche Tendenzen wie bei der Biegefestigkeit:

- Die Biege-*E*-Moduli der Probenkollektive aus dem Tunnelabschnitt TU und aus dem offenen Gleis unterscheiden sich kaum voneinander. Die Steifigkeit der Schwellen aus dem Tunnelabschnitt TS liegt hingegen tendenziell tiefer als bei den übrigen Entnahmeorten.

- Die Position im Gleis hat keinen Einfluß auf die Steifigkeit des Versuchsmaterials gezeigt.

Tabelle 2

ERGEBNISSE DER BIEGE-*E*-MODULI DER UNTERSUCHTEN PROBENKOLLEKTIVE

Entnahmeort	Biege- <i>E</i> -Modul (N/mm <sup>2</sup> )					
	Isoliertes + geerdetes Gleis		Isoliertes Gleis		Geerdetes Gleis	
	Mittelwert	Stdabw.	Mittelwert	Stdabw.	Mittelwert	Stdabw.
Tunnelabschnitt TS	11 663	1 594	11 384	1 202	12 032	1 941
Tunnelabschnitt TU	13 377	853	12 892	389	13 863	913
Offenes Gleis O	13 625	2 149	14 850	2 073	12 401	1 393

### 3.2 Mineralstoffgehalt — Einfluß der Elektrolyten

Aus den Biegeversuchsprüflingen wurden Proben für den Mineralstoffgehalt entnommen. Diese wurden jeweils aus unmittelbarer Nähe der Schienenbefestigungslöcher entnommen, wobei darauf geachtet wurde, daß die Stichproben möglichst korrespondierende Proben aus beiden Seiten der Schwellen enthielten.

Bei einer Holz/Elektrolyt-Interaktion sind je nach vorhandenen Reaktionsbedingungen verschiedene physikalische, physikal-chemische und chemische Vorgänge im Spiel. Bei ionisierbaren Salzen kommt es zur Ionensorption und zum Ionenaustausch (POPPER 1978, 1987). Wenn durch das Holz/Elektrolyt-System noch elektrischer Gleichstrom fließt, was beim untersuchten Material auch der Fall war, so ist mit weiteren elektrolytischen Reaktionen zu rechnen. Auf die möglichen Reaktionsmechanismen wird weiter eingegangen. Den Mineralstoffgehalt der untersuchten Buchenholzschnellen mit Rücksicht auf dessen Verteilung innerhalb der Schwelle (isolierte und geerdete Seite) stellt *Tabelle 3* dar.

Wie *Tabelle 3* zeigt, liegt der Mineralstoffgehalt der Proben aus dem Tunnelabschnitt TS höher als derjenige aus den übrigen Standorten. Dies ist vor

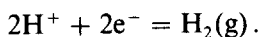
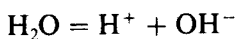
Tabelle 3

## MINERALSTOFFGEHALT UND DESSEN VERTEILUNG INNERHALB DER SCHWELLE

Enthahmoert	Position im Gleis	Aschengehalt (%)	Farbe
Tunnel (Standort TS)	isoliert geerdet	1,24 0,82	stark rot weiß
Tunnel (Standort TU)	isoliert geerdet	0,73 0,40	hell beige weiß
Offenes Gleis (O)	„isoliert“ „geerdet“	0,60 0,69	weiß weiß
Unbehandeltes Buchenholz		0,33	weiß

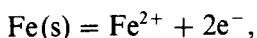
allem auf den Aschengehalt der isolierten Seite der Schwelle zurückzuführen. Die starke rote Verfärbung der Asche aus diesem Bereich läßt auf ein Eisenvorkommen schließen. Das Probenmaterial für die Aschengehaltsbestimmung wurde aus den mittleren Regionen der Schwelle und aus unmittelbarer Nähe der Schienenbefestigungslöcher entnommen. Der Grund dafür lag darin, daß man vor allem Hinweise auf die möglichen elektrolytischen Abbaureaktionen suchte. Den Hauptbestandteil der Asche bildeten das Natrium- und Kalziumchlorid (Streusalz).

Beim elektrischen Stromfluß durch Elektrolyte wird die Ladung durch die Ionen getragen. Grundsätzlich werden Kationen des Elektrolyten an der Kathode reduziert und die Anionen an der Anode oxidiert. Je nach Ionenart können verschiedene Elektroden- und Folgereaktionen im Elektrolyten stattfinden. Bei Elektrolyse einer wäßrigen NaCl-Lösung (resp. CaCl<sub>2</sub>-Lösung) kommt es an der geerdeten Schiene zu folgenden Reaktionen:

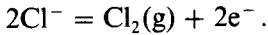


An dieser Schiene werden nicht die Na<sup>+</sup>-Ionen (resp. Ca<sup>2+</sup>-Ionen), sondern die H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>-Ionen (vereinfacht H<sup>+</sup>-Ionen) entladen. Diese werden als Wasserstoffgas abgeschieden, wodurch in der Umgebung der geerdeten Schiene ein basisches Milieu entsteht.

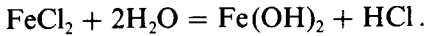
Durch den im Sicherungsstromkreis fließenden Gleichstrom wird die isolierte Schiene einerseits gemäß der unten aufgeführten Reaktionsgleichung aufgelöst:



andererseits scheidet sich nach folgender Reaktion das Chlorgas ab:



Es ist anzunehmen, daß die oben aufgeführten Anodenprozesse durch folgende hydrolytische Reaktion begleitet werden:



Durch diese Reaktion entsteht in der Umgebung der isolierten Schiene ein saures Milieu.

Die Festigkeit des Holzes wird vor allem auf das kettenförmige Polymer, die Zellulose zurückgeführt. Die Anhydroglukoseeinheiten der Zellulose sind miteinander durch  $\beta$ -glycosidische Bindungen in 1,4-Stellung verknüpft. Diese Bindungen werden relativ leicht, besonders durch Säuren, angegriffen. Durch Zerstörung dieser Bindungen kommt es zur Depolymerisation der Zellulose. Das Großmolekül zerfällt in kleinere Einheiten, was zur Schwächung des Holzes führt.

*Tabelle 4*

SEMIQUANTITATIVER NACHWEIS VON EISEN-III-IONEN IN DER SCHWELLE

Entnahmeort	Position im Gleis	Eisen-III-Konzentration
Tunnel (Standort TS)	isoliert geerdet	Hoch Spuren
Tunnel (Standort TU)	isoliert geerdet	Niedrig Spuren
Offenes Gleis (O)	„isoliert“ „geerdet“	Spuren Spuren

Für den semiquantitativen Nachweis von Eisen in der Asche wurde die Farbreaktion mit Kaliumrhodanid verwendet. Wie aus *Tabelle 4* hervorgeht hat diese Reaktion den Beweis erbracht, daß es auf der isolierten Seite der Schwellen aus dem Tunnelabschnitt TS zur starken Ausscheidung von Eisenionen infolge von elektrolytischen Prozessen gekommen ist. Bei den Schwellen aus Tunnelabschnitt TU war die Eisenionenkonzentration der isolierten Seite nachweislich höher als auf der geerdeten Seite. Obwohl es sich hier lediglich um eine geringe Eisenkonzentration handelte, muß angenommen werden, daß mindestens zeitweilig (d. h. nur bei günstigen Reaktionsbedingungen) auch an diesem Standort elektrolytische Prozesse stattgefunden haben.

Die Dissoziation eines starken Elektrolyten wird um so größer, je verdünnter die Elektrolytlösung ist. Bezogen auf die mit Salz beladene Eisenbahn-



schwelle wird die Protolyse durch das im Holz vorhandene Wasser begünstigt. Das Gleichgewicht der elektrolytischen Reaktion verschiebt sich nach rechts, d. h. es werden mehr Reaktionsprodukte gebildet als Adduktore zurückgebildet. Die Anfangsfeuchte der Versuchsschwellen aus dem Tunnelabschnitt TS betrug 21 % gegenüber 16 % aus dem Tunnelabschnitt TU und 8 % aus dem offenen Gleis. Aus dem über ein Jahr gemessenen Klimaprofil geht hervor, daß die höchste relative Luftfeuchtigkeit (ca. 85 %—95 %) im Tunnelabschnitt TS war. Das Durchlüften des Tunnelabschnitts TU war besser gewährleistet, auf was die niedrigere Materialfeuchte der Versuchsproben hindeutet. Die Jahrestemperatur-Schwankungen im Tunnelabschnitt TS liegen zwischen 16 °C und 21 °C und somit um einiges höher als die durchschnittliche Außentemperatur von 2,8 °C. Die protolytischen Reaktionen verlaufen um so schneller, je höher die Temperatur ist.

### 3.3 Normal-Rohdichte

Aus *Tabelle 5* geht hervor, daß zwischen den Schwellen aus den beiden Tunnelabschnitten kein relevanter Unterschied in der Normal-Rohdichte besteht. Die Rohdichte der Schwellen aus dem offenen Gleis unterscheidet sich von den übrigen Standorten hingegen signifikant. Die durchschnittliche Normal-Rohdichte des unbehandelten Buchenholzes beträgt 690 kg/m<sup>3</sup> (DIN 68 364).

*Tabelle 5*

NORMAL-ROHDICHTE DER UNTERSUCHTEN EISENBAHNSCHWELLEN

Entnahmeort	Anzahl Proben <i>n</i>	Normal-Rohdichte (N/mm <sup>3</sup> )			
		Mittelwert $\bar{x}$	Standardfehler (intern)	95 % Vertrauensgrenze des Mittelwertes	
				Minimum	Maximum
Tunnel (TS)	66	878	7	865	891
Tunnel (TU)	71	874	6	862	887
Offenes Gleis (O)	71	837	6	824	850

Unter der Annahme, daß die Rohdichtedifferenz zwischen der imprägnierten Schwelle und dem unbehandelten Buchenholz der Teeröl-Restmenge entspricht, ergibt sich rechnerisch für das Versuchsmaterial aus den beiden Tunnelabschnitten eine solche von ca. 27 Gew. %, für die Schwellen aus dem offenen Gleis eine solche von etwa 20 Gew. %, bezogen auf die unbehandelte Buchenholzschwelle.

## 4 SCHULSSFOLGERUNGEN

Eine Eisenbahnschwelle mit Liegedauer von  $9 \pm 1$  Jahren im normalen Gleis soll keine Qualitätseinbußen aufweisen. Die durchschnittliche Liegedauer einer teerölgetränkten Buchenholzschwelle wird mit etwa 40 bis 45 Jahren angegeben (BELLMANN 1955). Die vorgelegten Untersuchungen sollten die Qualität von Buchenholzschwellen im Tunnelgleis unter extremen Klima- und Salzbelastungen unter Beweis stellen.

Für die Biegefestigkeit des unbehandelten Buchenholzes (Holzfeuchte = 12 %) gibt KOLLMANN (1951) im Durchschnitt  $121 \text{ N/mm}^2$  (Min./Max.  $73/206 \text{ N/mm}^2$ ) an. Vergleicht man diese Festigkeit mit derjenigen des Untersuchungsmaterials, so ergibt sich für Schwellen aus Tunnelgleis eine mittlere Festigkeitseinbuße von etwa 27 % gegenüber 19 % aus dem offenen Gleis. Zieht man nur die isolierte Seite der Schwelle in Betracht, so sind für die mittleren relativen Festigkeitseinbußen der einzelnen Schwellenstandorte folgende Festigkeitsänderungen zu verzeichnen: Tunnel (Standort TS) 34 %, Tunnel (Standort TU) 27 % und offenes Gleis 17 %.

Zieht man die mittlere Steifigkeit des unbehandelten Buchenholzes gemäß DIN 68 364 in Betracht ( $E_B = 14000 \text{ N/mm}^2$ ), so tendieren die Schwellen aus Tunnelabschnitt TS zu einer höheren Steifigkeitseinbuße gegenüber dem unbehandelten Buchenholz, als jene aus den übrigen Schwellenstandorten.

Absolut lag die Festigkeit des Versuchsmaterials, mit Ausnahme der isolierten Seite der Schwellen aus Tunnelabschnitt TS, im Streubereich des unbehandelten Buchenholzes. Es war nicht zu erwarten, daß die Festigkeit imprägnierter Schwellen jene des unbehandelten Holzes erreicht. Der Imprägniervorgang bedeutet für das Holz eine gewisse Beanspruchung.

Es ist hier zu bemerken, daß die Eisenbahnschwelle vor allem im Bereich unter der Schiene mechanisch beansprucht wird. Wie die Resultate der vorgenommenen Untersuchungen zeigen, wird dieser Bereich auch durch die elektrolytischen Holzabbaureaktionen im elektrisch gesicherten Gleis am meisten gefährdet. Die signifikant niedrigere Biegefestigkeit der isolierten Seite der Schwelle aus Tunnelstandort TS, die höheren Mineralstoffgehalte und nicht zuletzt die Ablagerungen der Produkte der elektrolytischen Reaktion im gleichen Schwellenbereich liefern einen deutlichen Beweis dafür.

Wegen der starken Korrosion der Schienen aus dem Tunnelstandort TS mußten diese ausgewechselt werden. Aufgrund der vorgenommenen Untersuchungen mit Hinsicht auf die Gefährdung des Sicherheitssystems konnten die Schwellen aus dem Tunnelgleis TS weiter im offenen, nicht elektrisch gesicherten Gleis Verwendung finden.

## 5 LITERATUR

1. BELLMANN, H.: Statistische Untersuchungen über Abgangsursachen teerölimprägnierter Buchenholzschnellen. Holzschwelle (16): 5—24, 1955.
2. BROWNING, B. L.: Methods of wood chemistry. Vol. 1, Interscience Publishers, A Division of John Wiley & Sons, New York, London, Sydney, 384 pp., 1967.
3. DIN 50 014: Normalklima, 1965.
4. DIN 52 186: Prüfung von Holz. Biegeversuch, 1978.
5. DIN 68 364: Kennwerte von Holzarten. Festigkeit, Elastizität, Resistenz, 1979.
6. EBERIUS, E.: Wasserbestimmung mit Karl Fischer Lösung. Verlag Chemie GmbH., Weinheim/Bergstrasse. 178 s., 1958.
7. KOLLMANN, F.: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Bd. 1, Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg, München, 1951.
8. KOLLMANN, F., HÖCKELE, G.: Kritischer Vergleich einiger Bestimmungsverfahren der Holzfeuchtigkeit. Holz Roh- Werkstoff 20 (12): 461—473, 1962.
9. POPPER, R.: Über die Ionensorption und die Protolysengleichgewichte von Holz in Elektrolyten. Holzforschung 32 (3): 77—82, 1978.
10. POPPER, R.: Ionenaufnahme des Holzes in Abhängigkeit von pH-Wert und Ionenstärke der Lösung. Holz Roh- Werkstoff 45 (7): 296, 1978.

## VÝSKUM USKUTOČNENÝ NA DREVENÝCH PODVALOCH ZO ŽELEZNIČNÝCH TUNELOV

R. POPPER—G. EBERLE

Na vyhodnotenie nosnej kapacity sa kreozotom upravili tunelové železničné podvaly, ktoré boli vystavené pôsobeniu minerálnych solí v klimaticky vysokých expozíciách a zabezpečené elektrickým prúdom v kofajniciach, podrobené skúške ohybom. Výsledky naznačujú, že relatívne krátky čas vystavenia daným podmienkam má za následok pokles nosnej kapacity dreva a v dôsledku toho priemernú životnosť podvalov. Článok sa zaoberá možným elektrolytickým mechanizmom v blízkosti železničných podvalov, kde sa vyskytlo poškodenie. Kvôli zvýšeniu bezpečnosti trati by sa mali urobiť opatrenia minimalizujúce elektrolytický rozklad dreva, ktorý sa uskutočňuje priamo pod kofajnicou, kde sú kofajnice mechanicky namáhané.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** bukové železničné podvaly, pevnosť v ohybe, elektrolyza, korózia

## INVESTIGATIONS ON WOOD TIES FROM RAILWAY TUNNELS

R. POPPER—G. EBERLE

To evaluate the supporting capacity of salt stressed, climatically high exposed tunnel railway ties, creosoted beech ties from tunnels and safeguarded by electrical current in the rails have been submitted to bending test. The results indicate that a relatively short period of time of exposure result in a decrease in the supporting capacity of the wood and, consequently, the average service life of the ties. The paper discusses a possible electrolytic mechanism in the vicinity of the rail plates where the damage occurred. To enhance safety of the tracks, measures should be taken to minimise electrolytic wood decomposition that takes place directly under the rail where the ties are mechanically stressed.

**KEY WORDS:** Beechwood railway ties, bending strength, electrolysis, corrosion

## ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ ИЗ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТУННЕЛЕЙ

Р. ПОППЕР— Г. ЭБЕРЛЕ

Для оценки несущей способности проводились испытания прочности на изгиб обработанных креозотом железнодорожных шпал, которые подвергались воздействию минеральных солей в затруднительных климатических условиях и воздействию электрического тока в рельсах. Результаты показали, что в таких условиях уже за относительно короткое время снижается несущая способность древесины, вследствие чего срок службы шпал не долговечен (средняя долговечность). В статье говорится о возможном электролитическом механизме вблизи железнодорожных шпал в тех местах, где было отмечено их повреждение. Для повышения безопасности дороги было бы необходимо провести мероприятия, минимизирующие электролитическое разложение древесины, которое протекает прямо под рельсами, где имеет место механическая нагрузка шпал.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** буковые железнодорожные шпалы, прочность на изгиб, электролиз, коррозия

Dipl. Ing. RUDOLF POPPER  
GERHILD EBERLE  
Eidgenössische Technische Hochschule  
Professur für Holztechnologie  
ETH — Hönggerberg  
8093 ZÜRICH  
Schweiz