

TEMPERATURPROBLEME BEIM BAU UND BEI DER ERHALTUNG DES ZEITGEMÄSSEN EISENBAHNOBERBAUES

Von

S. KECSKÉS

Lehrstuhl für Eisenbahnbau, Technische Universität Budapest
(Eingegangen am 12. Februar 1971)

Vorgelegt von Dozent Dr. E. KERKÁPOLY

Bau- und Erhaltungsarbeiten des zeitgemäßen Eisenbahnoberbaues werden durch meteorologische Erscheinungen, vor allem durch die Temperatur stark beeinflusst.

Die Neutraltemperatur, die sich aus den positiven bzw. negativen Werten des Eisenbahnnetzes ergibt, kann möglicherweise von den aus beiden Bereichen errechneten Mittelwerten unterschiedlich sein, gerade, weil versucht wird, die Arbeitszeit für Bau und Erhaltung zu verlängern. In Kenntnis dieser Werte lassen sich die Zug- oder Druckspannungen in den Schienen regeln: erhöhen oder vermindern.

Es wäre also vorteilhaft, eine morgendliche Prognose über die Schienentemperaturen tagsüber einzuführen, da durch eine rasche Umgruppierung der Arbeitskräfte in der kritischen Periode die Arbeit wirtschaftlicher gestaltet und die Arbeitsmittel besser ausgenützt werden könnten.

Dazu muß jedoch die Abhängigkeit der Schientemperatur von meteorologischen Erscheinungen bekannt sein; es sind Beziehungen zu ermitteln, mit deren Hilfe die voraussichtlichen Temperaturen im Laufe des Tages innerhalb gewisser Grenzen geschätzt werden können.

Die französischen Eisenbahnen haben sich bereits mit der Prognostik der Schientemperaturänderungen im Laufe des Tages beschäftigt. Es fragt sich, aufgrund welcher Faktoren und Zusammenhänge auch für die Strecken der Ungarischen Staatseisenbahnen ein Näherungsverfahren gegeben werden könnte?

Einflußfaktoren der Schientemperatur

Diese lassen sich in zwei große Gruppen unterteilen:

1. *Materialbedingte Faktoren*, von den Werkstoffeigenschaften der Schiene abhängige Werte. Durch diese wird die Schientemperatur praktisch gar nicht oder lediglich im Bereich von Zehntelgraden beeinflusst; für den Bau und die Erhaltung von durchgehend geschweißten Gleisen sind sie also belanglos.

Hierzu gehören:

- Querschnittsfläche der Schiene,
- Umfang der Schienenprofile,
- spezifisches Gewicht und Eigenwärme des Werkstoffes Stahl.

2. *Umgebungsfaktoren*. In der Natur ist jedes lebende Wesen oder jeder leblose Gegenstand dem *Einfluß* des wichtigsten Teils der Umgebung, der *Luft* ausgesetzt. Bauanlagen stehen unter verschiedenen Umgebungswirkungen; unter denen von

- meteorologischen,
- biotischen,
- geologischen,
- bodenmechanischen Faktoren.

Für die Gestaltung der Schienentemperatur sind die meteorologischen, die Witterungsfaktoren von der größten Bedeutung, mit deren Beobachtung sich die *Eisenbahnbau-Meteorologie* beschäftigt.

Die Meteorologie beschäftigt sich mit den atmosphärischen Erscheinungen. Als Witterung wird der augenblickliche physikalische Atmosphärenzustand mit den Elementen: Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Luftbewegung, elektrischer Luftzustand, Verunreinigung, Niederschläge usw. bezeichnet, die sich gemäß langjähriger Beobachtungen an einem gegebenen Orte bestimmten Gesetzmäßigkeiten folgend periodisch wiederholen.

Die Wiederholung ist von örtlichen Gegebenheiten abhängig. Die Gesamtheit der Witterungsercheinungen wird als Klima eines bestimmten Gebietes bezeichnet.

Die Meteorologie hat mehrere selbständige Fachgebiete:

1. dynamische Meteorologie.
2. physikalische Meteorologie.
3. Klimatologie, die die Witterungsverhältnisse bestimmter Gebiete der Erdoberfläche behandelt.
4. *angewandte Meteorologie*, durch die die meteorologischen Ergebnisse für andere Wissenszweige verwertet werden, mit den Zweigen:
 - a) *synoptische Meteorologie*, die sich mit den Witterungsprognosen beschäftigt;
 - b) *Biometeorologie*, die den Einfluß von meteorologischen Faktoren auf Lebewesen analysiert;
 - c) *Verkehrsmeteorologie*;
 - d) *angewandte Meteorologie in Verbindung mit den technischen Wissenschaften*, wie z. B. Hochwasserschutz-, *Eisenbahnbau-Meteorologie*. Letztere beschäftigt sich mit den Beziehungen der Eisenbahnanlagen zur Witterung. Die durch die Meteorologie gelieferten Kenntnisse werden beim Eisenbahnbau und in der Erhaltung nutzbar gemacht und angewandt.

Die Feststellungen der vorliegenden Arbeit beruhen auf mehrjährigen Schienentemperaturmessungen in den wichtigsten klimatischen Gebieten von Ungarn.

Anstelle der gesamten Witterung wird im weiteren der Einfluß eines einzigen Faktors, der Wärmestrahlung, auf die Schienentemperatur untersucht.

Arten und Wirkung der Wärmestrahlung

Unter natürlichen Bedingungen wird die Temperatur der Eisenbahnschiene vor allem durch die *Strahlungsverhältnisse* bestimmt. Auf die Schiene im Gleis wirken zwei verschiedene Strahlungsarten:

1. *unmittelbare Strahlung*, an heiteren Tagen die unmittelbare Wärme-
strahlung der Sonne,

2. *mittelbare Strahlung*, durch die die Temperatur der Schiene im Gleis
sowohl am Tage als auch in der Nacht beeinflusst wird.

Die mittelbare Strahlung hat zwei verschiedene Typen:

a) *Einstrahlung*, die am Tage zur Geltung kommt. Diese rührt daher, daß die Luft
in Bodennähe die höchste Temperatur hat und nach oben allmählich kälter wird.

Diese Erscheinung hat ihre physikalische Erklärung darin, daß die Luftschichten in
Bodennähe durch die Besonnung stärker erwärmt werden. Der Großteil der Strahlung wird
nämlich von der Luft durchgelassen, wobei die Wärme durch die Bodenoberfläche absorbiert
wird, deren Temperatur in Ungarn sogar 60°C erreichen kann.

Von der etwa 1 mm starken Oberflächenschicht des Bodens wird die Wärme an die
unmittelbar darüber befindliche sog. Grenzschicht von einigen Zentimetern durch Strömung
übermittelt, somit pflanzt sich die Wärme in dieser Schicht von Molekül zu Molekül fort.
In der Reibungsschicht oberhalb der Grenzschicht ist die Luftströmung turbulent. Von hier
aus wird die Bodenwärme bereits durch den aufsteigenden bzw. absteigenden Luftstrom in
die höheren Schichten befördert. Die untersten Luftschichten erhalten die Wärme in erster
Linie vom Boden und nicht durch Besonnung.

b) *Ausstrahlung*, die in der Nacht zur Geltung kommt. Sie entsteht dadurch, daß sich
die Luftschichten in unmittelbarer Bodennähe am stärksten abkühlen, während die Temperatur
der höheren Luftschichten mit der Höhe zunimmt.

Die nächtliche Abkühlung der Bodenoberfläche wird durch die Wärmeausstrahlung ver-
ursacht. Ähnlich wie bei der Erwärmung, geht die Abkühlung der Grenzschicht von der obersten
Bodenschicht aus. Durch die Ausstrahlung des Bodens wird die Bodenoberfläche abgekühlt,
damit kühlt sich auch die Luftschicht in der Nähe der Bodenoberfläche rasch ab. Die Tempe-
ratur an der Bodenoberfläche unterschreitet die Lufttemperatur in 2 m Höhe um 5 bis 6°C .

Durch einen reinen, schneebedeckten Boden wird der Großteil der Sonnenstrahlen reflektiert,
daher erwärmt er sich tagsüber nicht. Seine Eigenausstrahlung ist jedoch stärker als aller
anderer Oberflächen, daher kühlt er sich nachts stark ab, wodurch die darüber liegenden Luft-
schichten ebenfalls stark abgekühlt werden. Wenn nach Schneefall klares Wetter folgt, ist mit
einer starken Abkühlung zu rechnen, weil die Ausstrahlung wenig beschränkt ist. Unter den kli-
matischen Verhältnissen Ungarns entsteht lediglich bei Vorhandensein einer verhältnismäßig
frischen Schneedecke extrem kaltes Wetter.

Es läßt sich also feststellen, daß bei unbewölktem Himmel in den Tages-
stunden die Temperatur der direkt besonnenen Schiene vor allem durch die
unmittelbare Bestrahlung bestimmt wird. Ist die Schiene keiner direkten
Sonnenbestrahlung ausgesetzt, spielt die mittelbare nächtliche oder Tages-
strahlung die erste Rolle (Abb. 1).

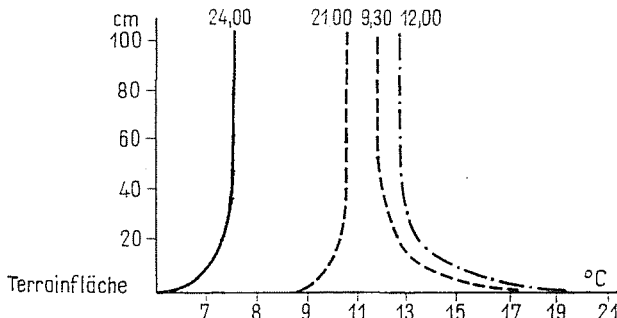


Abb. 1. Temperaturverteilung in Bodennähe unter Bestrahlungswirkung

Die Wirkung der Wärmestrahlung auf die Schientemperatur

Physikalische Erklärung der Wirkung der Strahlungsverhältnisse auf die Schientemperatur:

Die Wärmemenge oder Wärmeenergie ist die kinetische Energie der ungeordneten Schwingbewegungen der Stoffatome und -moleküle. Bei Temperaturerhöhung beschleunigt sich die Schwingbewegung — meistens unter direktem Einfluß der Sonnenbestrahlung —, bei Temperaturabnahme verlangsamt sie sich. Die Abkühlung läßt sich jedoch mit keiner technischen Maßnahme unter eine gewisse Grenze — unter den »absoluten Nullpunkt« — weiterführen, wo jede Bewegung aufhört.

Bei Extremwerten unter Null kann die Schiene nie kälter sein als die Temperatur der umgebenden Luft. Steht genügend Zeit zur Verfügung, wird

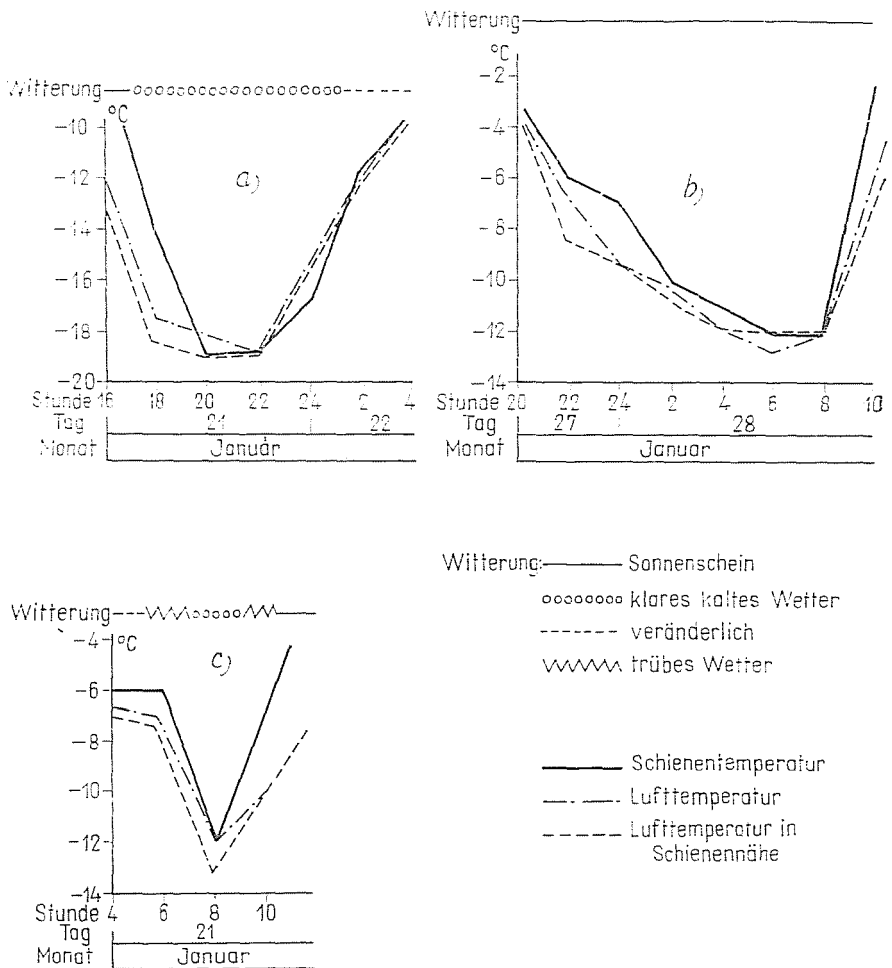


Abb. 2. Temperaturen unter Null im Jahre 1966

diese extreme Kälte auch durch die Schiene erreicht. Das wird mit Hilfe von an einer der Meßstellen gemessenen Werten an drei reellen Beispielen gezeigt:

1. Durch die Schiene wurde die Temperatur der umgebenden Luft angenommen, *da hinlängliche Zeit zur Verfügung stand*. Die Schientemperatur beträgt -19°C und paßt sich der Lufttemperatur, den Schienenkopf entlang, gut an, da diese schon zwei bis drei Stunden früher um 4 bis 5°C niedriger als die Schientemperatur war. Die Lufttemperatur war hingegen noch beim Eintreten des Extremwertes über der Schientemperatur und erreichte diese gerade noch am Ende der Meßzeit (Abb. 2a).

2. Die Schiene hat die Temperatur der umgebenden Luft angenommen, wobei die *Lufttemperatur niedriger als diese ist*. Es ist die Schmiegun g von Schientemperatur und Temperatur am Schienenkopf zu erkennen, doch sinkt hier die Lufttemperatur zu Beginn der Entstehung des Extrems unter die Schientemperatur bzw. die Temperatur am Schienenkopf. Durch diesen Umstand wird die Schientemperatur weiter nicht beeinflußt (Abb. 2b).

3. *Es stand nicht genügende Zeit zur Verfügung*, damit durch die Schiene die Temperatur der umgebenden Luft angenommen wird (Abb. 2c).

Zusammenhänge zwischen Luft- und Schientemperaturen im Bereich unter Null

Im Bereich unter Null lassen sich für den Zusammenhang zwischen Lufttemperatur und Schientemperatur keine allgemeingültigen, genauen, zahlenmäßigen Beziehungen festlegen. Dagegen kann aus zahlreichen Messungen eine — bei der Gleichheit der wichtigsten Bedingungen verläßliche — Beziehung bestimmt werden.

Diese Gesetzmäßigkeit wurde durch die Verarbeitung der in den kalten Jahreszeiten der Jahre 1963/66 erzielten Meßergebnisse festgelegt. Bei der Aufschlüsselung der Meßdaten nach Beobachtungszeiten ist es augenfällig, daß die Ergebnisse der in den Stunden 20—22—24 und 2—4—6 durchgeführten Messungen in einen bestimmten Bereich fallen. In einen nahezu gleichen, doch vom vorigen unterschiedlichen Bereich fallen die in den Stunden 10—12—14—16 ermittelten Meßergebnisse; dasselbe läßt sich auch für die Messungen um 8 und 18 Uhr aussagen.

Die Daten ergeben sich lediglich aus Messungen bei heiterem Wetter, tagsüber bei Sonnenschein, in den Nachtstunden bei vollkommen unbewölktem Himmel. Eine weitere Voraussetzung ist bei den bereits zwei Stunden vorangehenden Messungen ein unbewölkter Himmel.

Anhand der Datenverarbeitung ergeben sich für die verschiedenen Tageszeiten die Gesetzmäßigkeiten:

1. Der schraffierte Teil in Abb. 3a stellt den 95 prozentigen Bereich für die Messungen zwischen 20 h und 6 h morgens dar.

Auch die Verteilung mit den aus dem Bereich fallenen 5% ist zu erkennen sowie der Umstand, wie die Häufigkeit an den beiden Seiten des Bereichs ist.

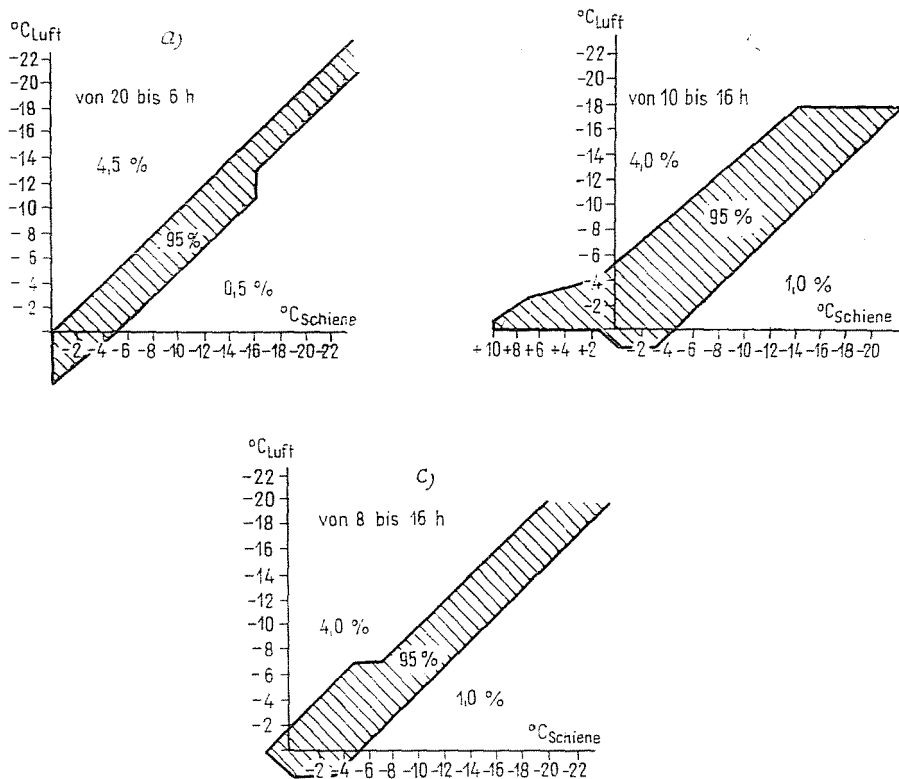


Abb. 3. Zusammenhang zwischen Lufttemperatur und Schienentemperatur im Bereich unter Null

Für diese Tageszeit ist kennzeichnend, daß bei einer Lufttemperatur zwischen 0 und -11°C die Schienentemperatur um 0°C (-5°C) niedriger ist, während bei Lufttemperaturen unter -11°C dieser Bereich auf 0 (-3°C) herabsinkt. Eine Schienentemperatur über der Lufttemperatur kommt in 4,5 Prozent der Fälle vor.

Es ist weiterhin für diese Tageszeit kennzeichnend, daß die Häufigkeit von 95 Prozent einen verhältnismäßig schmalen Bereich darstellt, was unter Berücksichtigung aller Messungen in der Tageszeit auch bedeutet, daß die Streuung zwischen Luft- und Schienentemperatur die kleinste war.

2. Die Zusammenhänge der Messungen in der Tageszeit zwischen 10 und 16 h werden in Abb. 3b gezeigt.

Kennzeichnend für diese Tageszeit ist, daß zu einer gegebenen Lufttemperatur sowohl niedrigere als auch höhere Schienentemperaturen gehören, was eine Folge der direkten Besonnung ist. Der Bereich wird bei Lufttemperaturen unter Null gestreckter. Der schraffierte Teil in der Abbildung stellt die Häufigkeit von 95% der in dieser Tageszeit gemessenen Zusammenhänge dar.

Für diesen Bereich ist kennzeichnend, daß bei Lufttemperaturen unter etwa -4 bis -5 °C die Schiene um 4 °C wärmer oder kälter als die Lufttemperatur sein kann. Bei Lufttemperaturen unter Null wurden bereits um $10-11$ °C wärmere Schienentemperaturen gemessen. Im Häufigkeitsbereich von 95% war die Schienentemperatur bei solchen Lufttemperaturen lediglich um etwa 4 °C kälter. Ein weiterer kennzeichnender Zug für den Zusammenhang dieser Tageszeit besteht darin, daß bei der breiten Zone des Bereichs die erhaltenen Streuungen doch ziemlich groß sind.

Bei unbewölktem Himmel und einer Lufttemperatur von -5 °C wurden um 10 h äußerste Werte der Schienentemperatur von 7 °C und -8 °C erhalten, somit betrug der Unterschied 15 °C. Bei Messungen *unter unbewölktem Himmel*, bei einer Lufttemperatur von -1 °C, wurden um 12 h Schienentemperatur-Extremwerte von 14 °C und -7 °C gemessen, die einem Unterschied von 21 °C entsprechen. Bei der um 14 h ausgeführten Messung wurden bei einer Lufttemperatur von -2 °C auch Schienentemperaturen von 12 °C und -7 °C beobachtet.

Für diese Tageszeit ist es kennzeichnend, daß sämtliche bei den 16 Beobachtungen erfaßten Daten in den Häufigkeitsbereich von 95% fallen. Die Streuungen bei Tag beweisen, daß sich für den Zusammenhang zwischen Lufttemperatur und Schienentemperatur keine genaue, jederzeit gültige Regel festlegen läßt. Für dieselben Stunden des Tages und auch bei dem niedrigen und gleichen Stand der Sonne in sonnigen Wintermonaten kann der Einfluß der Witterungsfaktoren nicht anhand einer jederzeit gültigen Formel genau berechnet werden.

3. *Meßergebnisse in den Übergangsperioden zwischen Tag und Nacht, um 8 und 18 h.* Die Zusammenhänge in diesen beiden Meßzeiten sind annähernd gleich (Abb. 3c). Beide stellen Tageszeiten mit den Eigenschaften einer Übergangsperiode dar. Der Bereich der 95 prozentigen Häufigkeit ist im Häufigkeitsbild ziemlich schmal. Bei Lufttemperaturen über -7 °C, doch unter Null, wird dieser Bereich breiter und umfaßt etwa 7 °C der Skale gegenüber den Lufttemperaturen unter -7 °C, wo sich eine Bandbreite der 95 prozentigen Häufigkeit von nur 5 °C ergab.

Für Übergangsperioden ist es weiterhin charakteristisch, daß sich bei Lufttemperaturen unter -7 °C der Bereich gegen die niedrigeren Schienentemperaturen erweitert. Die Schiene ist um 5 °C kälter als die Lufttemperatur, bei einer Lufttemperatur von -7 °C und darüber, jedoch unter Null, kann die Schiene um 2 °C wärmer oder um 5 °C kälter als die Lufttemperatur sein.

Verteilung der Schienentemperatur im Querschnitt und auf der Oberfläche der Schiene

Bei heiterem, sonnigem Wetter wird unter der Strahlungswirkung in der Schiene Wärme gespeichert. Werden im Inneren und auf der Oberfläche der Schiene Temperaturmessungen durchgeführt, findet man eine unterschiedliche Temperaturverteilung im Schienenquerschnitt und auf der Oberfläche.

Diese Untersuchung wurde an zwei Schienenabschnitten von N—S- und O—W-Richtung vorgenommen. Es wurden in die Schiene 12 Löcher mit einem Durchmesser von 4 mm und von 22 mm Tiefe gebohrt, deren Anordnung

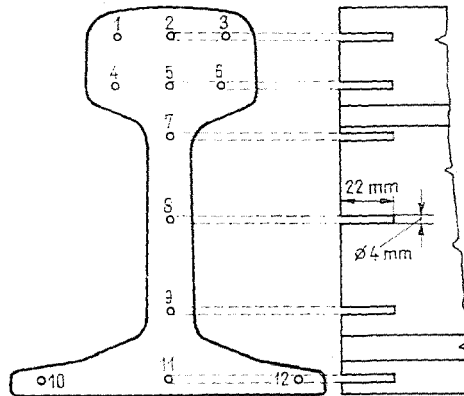


Abb. 4. Meßstellen im Schienenquerschnitt

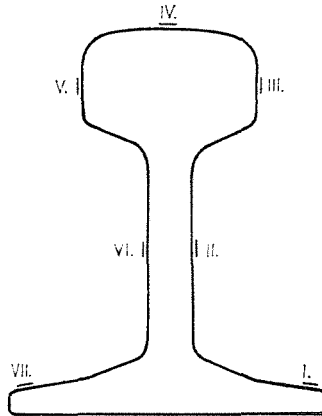
in Abb. 4 zu sehen ist. An der gereinigten Schienenoberfläche wurden in sieben Punkten (Abb. 5) elektrische Temperaturmessungen mit einem Thermistor-Temperaturmeßgerät Typ TUH-3 unternommen. Der benutzte, spezielle Meßkopf befand sich am Ende einer 25 mm langen Glasröhre von 3,5 mm Durchmesser mit einer konischen Spitze. Die Meßseiten der Meßglieder waren nach O bzw. N gerichtet.

Die in verschiedenen Zeitpunkten im Inneren der Schiene von O—W-Richtung erfaßten Temperaturverhältnisse werden durch die Isothermen der Temperaturen in den Querschnittspunkten in Abb. 6 veranschaulicht. Die Isothermen hüllen sich ein ohne sich zu schneiden oder enden am Querschnittsrand auf der Schienenoberfläche. Eine dunklere Schraffierung deutet auf höhere Temperaturen.

Aus den Abbildungen ist zu erkennen, daß sich eine homogenere Temperaturverteilung im Schienenkopf am Nachmittag zu entwickeln beginnt, während sie in den Mittagsstunden noch ziemlich inhomogen ist. In den Nachmittagsstunden ist bereits der obere Teil des Schienenkopfes gleicher Temperatur.

In den Mittagsstunden ist der Endquerschnitt des Schienenfußes an der der Bestrahlung ausgesetzten Seite der wärmste Punkt der Schiene.

In den späten Nachmittagsstunden nimmt jedoch seine Temperatur bereits ab. Der schmale Querschnitt kühlt früher und rascher ab, die Temperatur wird durch den Schienenkopf mit dem größten Querschnitt am längsten



kälteste: I.
wärmste: V.-VII.
Unterschied: 2,9 °C

Abb. 5. An der Schienenoberfläche gemessene Schienentemperaturen

beibehalten, und somit übernimmt dieser auch die Rolle des wärmsten Querschnitts.

Die wärmste Stelle des Schienensteiges befindet sich in den Mittagsstunden um die Mitte des Steiges, während bei der Abkühlung in den Nachmittagsstunden diese Rolle durch den oberen Stegteil, durch den Schienenkopf mit dem größten Querschnitt (mit der höchsten Wärmespeicherung), übernommen wird.

Nach den Messungen ist die Meßstelle 12 an der Schattenseite der Schiene am Ende des Schienenfußes der kälteste Punkt der Schiene. Das gilt sowohl für das Innere als auch für die Oberfläche der Schiene. Die größte gemessene Temperaturabweichung im Schienenquerschnitt betrug 1,7 °C u. zw. war diese zwischen den Punkten 12, 10 und 4 zu verzeichnen. Der kälteste Punkt der zum betreffenden Querschnitt gehörenden Schienenoberfläche befand sich bei sämtlichen Messungen im Meßpunkt I, die wärmsten Oberflächenpunkte waren V, VI und VII. Die größte Temperaturabweichung — 2,9 °C — wurde in den Mittags- und Nachmittagsstunden zwischen den Punkten I, V und VI erhalten.

Abb. 7 zeigt die Schienentemperaturverteilung in N—S-Richtung. Aus den schematischen Isothermen läßt sich feststellen, daß z. Z. der maximalen Schienentemperaturen die Temperaturverteilung im Schienenkopf am wenigsten homogen ist. Eine homogene Schienenkopftemperatur entwickelt sich in den späten Nachmittagsstunden.

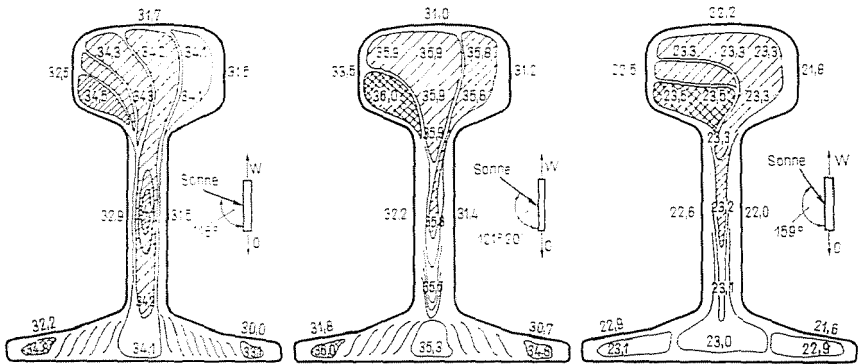


Abb. 6. Schienentemperaturen im Inneren der Schiene bei verschiedenartigen Bestrahlungen. O—W-Lage

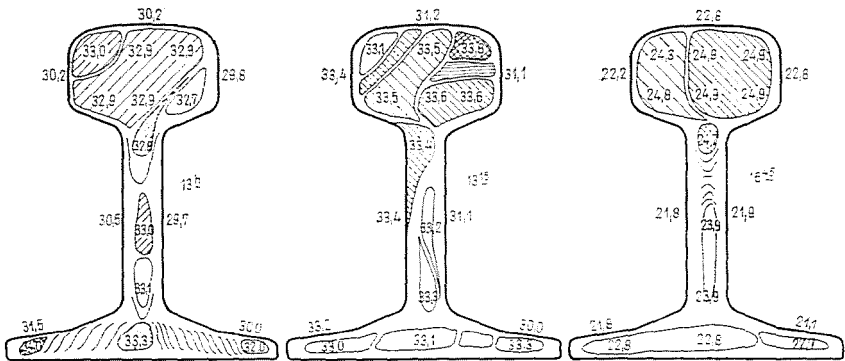


Abb. 7. Schienentemperatur im Inneren der Schiene, N—S-Lage

In den Mittagsstunden ist der vorher besonnte (östliche) Schienenfuß der wärmste. In den Nachmittagsstunden wird der besonnte (westliche) Schienenkopf am stärksten erwärmt. In diesem Zeitraum ist auch der besonnte Fuß bereits wärmer als der östliche Fuß. Die kältesten Querschnittspunkte entstehen um die Mitte des Schienenfußes und an der Westseite desselben. Die wärmsten Punkte sind die Ostseite des Schienenfußes und die Punkte 4, 5 und 6 an der Westseite des Kopfes. Der Temperaturunterschied zwischen den kältesten und wärmsten Querschnittspunkten schwankt zwischen 0,5 und 2,7°C. Die an der Schienenoberfläche gemessenen Temperaturunterschiede betragen 0,7 bis 3,4 °C.

Schienentemperaturen in Einschnitten

Neben meteorologischen Faktoren und Strahlungsverhältnissen wird die Schienentemperatur auch durch andere Wirkungen beeinflusst.

Die Eisenbahnstrecke liegt oft in einem Einschnitt. Zur Ermittlung der Schienentemperatur für einen solchen Fall wurden die Angaben einer der Meßstellen benutzt. Im Intervall der verschiedenen täglichen Lufttemperaturmaxima lassen sich folgende Zusammenhänge feststellen.

An Hitzetagen: ($t_{\max_{\text{Luft}}} \geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$).

In diesem Intervall ist die Schiene im Einschnitt bei jeder Tageszeit von höherer Temperatur als eine Schiene auf der Terrainfläche (Abb. 8a).

Nach den Meßergebnissen kann in den Vormittagsstunden die Temperatur einer Schiene im Einschnitt um $10 \text{ }^\circ\text{C}$ höher sein als die der Schiene auf der Terrainfläche. Die größten Unterschiede kommen in der Regel zwischen 10 h und 14 h vor, die größten Temperaturabweichungen wurden dabei bei Ablesungen um 10 h beobachtet.

An Sommertagen: ($25 \text{ }^\circ\text{C} \leq t_{\max_{\text{Luft}}} < 30 \text{ }^\circ\text{C}$).

Die Haupttendenz des Zusammenhangs ist noch gleich der ersteren (Abb. 8b), doch ist der Temperaturunterschied zwischen Schienen im Einschnitt und auf der Terrainfläche viel geringer.

An Sommertagen machen sich die größten Unterschiede bei den Messungen am Vormittag geltend; es kommt auch vor, daß im Gegensatz zum Durchschnitt die Schiene im Einschnitt eine niedrigere Temperatur als die Schiene auf der Terrainfläche aufweist.

Im Falle $20 \text{ }^\circ\text{C} \leq t_{\max_{\text{Luft}}} < 25 \text{ }^\circ\text{C}$,

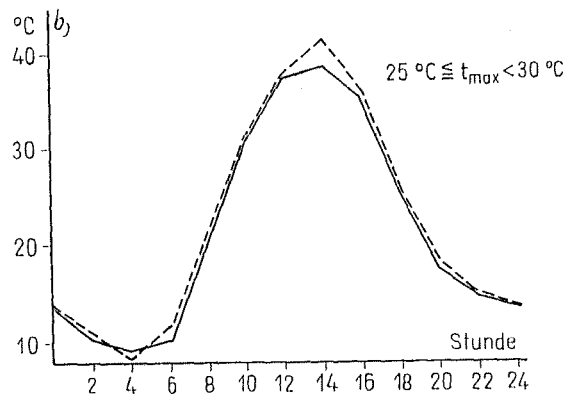
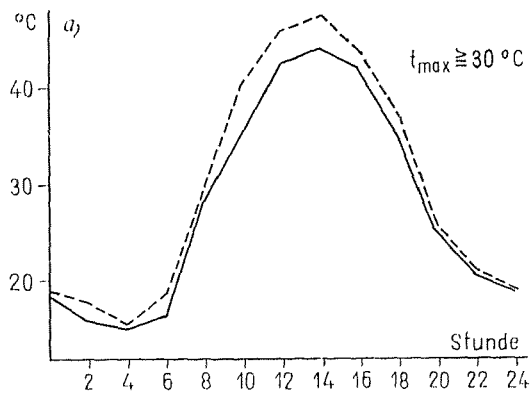
was eher im Frühjahr und im Herbst vorkommt, entwickelt sich die Schienentemperatur wie in Abb. 8c gezeigt. Es ist kennzeichnend, daß in den Vormittagsstunden die Schienentemperatur im Einschnitt die Temperatur auf der Terrainfläche etwas unterschreitet, während sie am Nachmittag höher ist als die letztere und später abnimmt als die Temperatur der Schiene auf der Terrainfläche. Trotz der niedrigeren Temperatur am Vormittag ist die Temperatur der Schiene im Einschnitt in den Mittagsstunden noch immer über jener der Schiene auf der Terrainfläche.

Im Lufttemperaturbereich $15 \text{ }^\circ\text{C} \leq t_{\max_{\text{Luft}}} < 20 \text{ }^\circ\text{C}$

weist die Schienentemperatur ähnliche Merkmale auf, doch macht sich der Charakter schärfer geltend; die Unterschiede am Vormittag sind größer, in den Mittagsstunden geringer (Abb. 8d).

Die in Einschnitten beobachteten Gesetzmäßigkeiten zusammengefaßt, kann ausgesagt werden:

1. Unter direkter Sonnenbestrahlung ist die Temperatur einer Schiene im Einschnitt in der Regel höher als die Temperatur der Schiene auf der Ter-



— Schiene auf der Terrainfläche
 - - - Schiene im Einschnitt

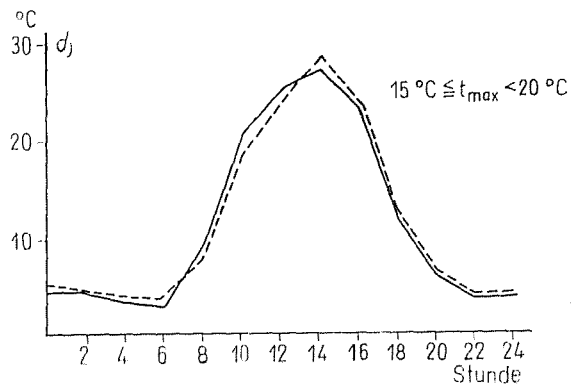
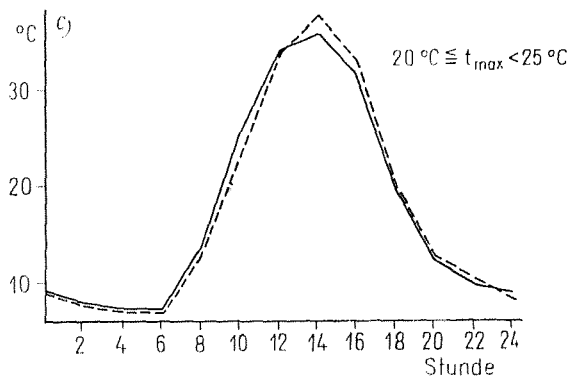


Abb. 8. Schienentemperaturen im Einschnitt und auf der Terrainfläche

rainfläche an derselben Stelle. Dieser Mehrwert betrug im untersuchten Zeitabschnitt z. Z. des Tagesmaximums $+7^{\circ}\text{C}$.

2. Für den täglichen Verlauf der Schienentemperatur ist es kennzeichnend, daß an warmen Sommertagen die Temperatur der Schiene im Einschnitt den ganzen Tag über in der Regel höher als die Temperatur einer Schiene auf der Terrainoberfläche ist. Die in der Untersuchungsperiode gemessene, höchste Abweichung betrug 10°C , in den Vormittagsstunden.

An Tagen mit einem niedrigeren Lufttemperaturmaximum (15°C bis 25°C), unterschreitet in den Vormittagsstunden die Temperatur der Schiene im Einschnitt die Temperatur der Schiene auf der Terrainoberfläche, während sie diese in den Nachmittagsstunden überschreitet. Auch in diesem Falle hat in den Mittagsstunden die Schiene im Einschnitt eine höhere Temperatur. Der höchste Temperaturunterschied in den Frühjahrs- und Herbstperioden betrug 8°C , und kam am Vormittag vor.

3. Die Schienentemperatur im Einschnitt wird neben den Strahlungsverhältnissen durch das Mikroklima im Einschnitt bedingt, das durch Orientierung, Tiefe, Länge, Böschungsbewuchs des Einschnitts, durch das Material des Unterbaues (Banketts), die Qualität des Schotters wesentlich beeinflusst wird.

Erhaltung des durchgehend geschweißten Oberbaues

Das schwierigste Problem der Unterhaltung des durchgehend geschweißten Eisenbahnoberbaues besteht heute in der Bereitstellung der erforderlichen Arbeitskraft in der Periode mit geeigneter Temperatur. Beim durchgehend geschweißten Oberbau stellen sich auch noch weitere Probleme, z. B. hinsichtlich des optimalen Bettungswiderstandes, der Schienenbefestigung, des optimalen Schienenprofils, des Schienenwerkstoffes usw., die Hauptaufgabe der Bahnerhaltung besteht jedoch in der Aufrechterhaltung im Betrieb der vorgegebenen und beim Bau vorhandenen Hauptparameter des Oberbaues. Die zwei Hauptbedingungen dazu sind die Baustoffe und das Vorhandensein der Unterhaltungskapazität. Letztere steht gegenwärtig besonders im Vordergrund. Der Grund dafür ist in den strengen Forderungen hinsichtlich der Temperaturverhältnisse bei der Erhaltung des durchgehend geschweißten Gleises zu suchen.

(An die Unterhaltungsarbeiten von herkömmlichen Gleisen mit Laschenverbindungen, an die Arbeitsorganisierung ist der Bahnerhaltungsdienst seit seinem Bestehen gewöhnt. Die wichtigsten Temperaturbedingungen der einzelnen Erhaltungsarbeiten sind bekannt.)

Die Temperaturbedingungen für die Unterhaltung gestatten eine Abweichung von der neutralen Temperatur im Bereich von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, im Notfall von $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. So kann von bestimmten, reellen, das Wesen der Sache betreffenden Intervallen von $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ bzw. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ausgegangen werden.

Die Beobachtung der Temperaturbedingungen ist verbindlich, weil im durchgehend geschweißten Gleis — auch ohne das Gleis zu heben — zahlreiche baubedingte, nicht meßbare und rechnerisch schwer erfaßbare Störspannungen entstehen. Im durchgehend geschweißten Oberbau geht eines der verwickeltesten Kräftespiele der Ingenieurpraxis vor sich.

Arbeitsstundenbedarf für Unterhaltung des durchgehend geschweißten Oberbaues in Ungarn

In derselben Zeit, als in Ungarn das durchgehend geschweißte Gleis eingeführt wurde, wurde auch in der Fachliteratur die Wirtschaftlichkeit der Erhaltung behandelt. Im ungarischen Fachschrifttum werden für den spezifischen Arbeitsstundenaufwand für die Unterhaltung des durchgehend geschweißten Gleises, in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Verhältnissen, sehr verschiedene Zahlenwerte zwischen 75 und 25% der Aufwendungen für den klassischen Oberbau angegeben, u. zw. der erstere für die Verhältnisse in Ungarn, der letztere bei den ausländischen Eisenbahnen. Die ungarischen Angaben wurden aufgrund von Werten von 2 bis 3 Jahren ermittelt.

Über den Ausweis der zur Verfügung stehenden Nutz-Arbeitsschichten hinausgehend wird versucht, zu zeigen, wie sich über eine längere Zeit der Arbeitsstundenaufwand für die Erhaltung des durchgehend geschweißten Oberbaues bei den Ungarischen Staatseisenbahnen gestaltet.

a) Unterlagen: Spalte 34 des im Rechnungssystem der Ungarischen Staatseisenbahnen eingeführten »Bewertungsblattes« für Bahnerhaltung (Hauptkostenstellen der Oberbauerhaltung auf der Strecke und in durchgehenden Gleisen), ferner in einzelnen Fällen die Bahnmeisterjournale;

b) der bei der Bewertung berücksichtigte Zeitabschnitt: fünf Jahre zwischen 1961 und 1965; innerhalb desselben die Streckenabschnitte, die seit mindestens vier Jahren (von 1962 an) in Betrieb sind;

c) für die größere Verlässlichkeit der Daten werden nur Streckenabschnitte berücksichtigt, wo der unter a) angegebene Teil der *Gesamtlänge des Bahnmeisterbezirks* durchgehend geschweißt ist (bei den anderen Bahnmeisterbezirken lassen sich die Aufwendungen für herkömmlichen und durchgehend geschweißten Oberbau nicht zuverlässig trennen);

d) bei der Untersuchung wurden neben dem Heimat-Bahnmeisterbezirk auch die vom mechanisierten fliegenden Bahnerhaltungsdienst aufgewandten Arbeitsstunden berücksichtigt;

e) bei der Bewertung sind die Aufwendungen für *neu erstellte* und für *aus herkömmlichen Schienen mit Laschenverbindungen verschweißte* Gleise getrennt behandelt;

f) die in den Richtlinien D 12 vorgeschriebene, erhöhte Gleisüberwachung ist mit jährlich 80 h je Gleiskm angesetzt.

Arbeitsstundenaufwand in den fünf Jahren zwischen 1961 und 1965 für aus herkömmlichen *Schienen mit Laschenverbindungen* verschweißte Gleise:

Jahr	Aufwendung für Erhaltung h/Gleiskm	Überwachung h/Gleiskm	Gesamtaufwendung h/Gleiskm
1961	1180	80	1260
1962	1870	80	1950
1963	2640	80	2720
1964	2580	80	2660
1965	2000	80	2080
Im Durchschnitt			2140

Einige Extremwerte der Aufwendungen pro Jahr:

Linie	Bahnmeisterbezirk	Aufwendung h/Gleiskm	Jahr
Budapest—Miskolc	Aszód	6440	1962
Budapest—Cegléd	Vecses	6680	1963
Budapest—Cegléd	Vecses	825	1965
Budapest—Cegléd	Monor	570	1964
Püspökladány—Biharkeresztes	Berettyóújfalu	740	1962
Székesfehérvár—Szombathely	Várpalota	735	1963

Arbeitsstundenaufwand in den fünf Jahren zwischen 1961 und 1965 bei *neuen, durchgehend geschweißten Gleisstrecken*:

Jahr	Aufwendung für Erhaltung h/Gleiskm	Überwachung h/Gleiskm	Gesamtaufwendung h/Gleiskm
1961	1850	80	1930
1962	1780	80	1860
1963	1460	80	1540
1964	1490	80	1570
1965	1400	80	1480
Im Durchschnitt			1680

Einige Extremwerte der Aufwendungen pro Jahr:

Linie	Bahnmeisterbezirk	Aufwendung h/Gleiskm	Jahr
Rákos—Újszász	Sülysáp	4760	1962
Rákos—Újszász	Sülysáp	780	1963
Ferencváros—Kunszentmiklós	Kiskunlacháza	605	1963

Die Extremwerte der jährlichen Aufwendungen zeigen, daß die Arbeitsstundenaufwendungswerte für den durchgehend geschweißten Oberbau um so verlässlicher sind, je länger der zur Untersuchung angesetzte Zeitabschnitt ist. Dabei kommen nämlich im untersuchten Intervall die Jahre mit großem Arbeitsaufwand für planmäßige, vorbeugende Instandhaltung und die Jahre mit wenig arbeitsaufwendiger Gleispflege in richtigem Verhältnis zur Geltung.

Arbeitsstundenaufwand in den fünf Jahren zwischen 1961 und 1965 für den gesamten durchgehend geschweißten Oberbau (ohne Trennung)

Jahr	Aufwendung für Erhaltung h/Gleiskm	Überwachung h/Gleiskm	Gesamt- aufwand h/Gleiskm
1961	1490	80	1570
1962	1830	80	1910
1963	2100	80	2180
1964	2080	80	2160
1965	1720	80	1800
Im Durchschnitt			1920

Es wurde mehrfach die Frage gestellt, ob der Effektivaufwand für die Befriedigung der Ansprüche hinsichtlich einer guten Instandhaltung ausreichend sei. Die wissenschaftlich untermauerte Ausarbeitung des Instandhaltungsbedarfs für den Oberbau würde eine umfangreiche Arbeit darstellen. Auf die oben gestellte Frage könnte gegenwärtig lediglich mit einem entschiedenen »Nein« geantwortet werden. Das wird auch durch Abb. 9 bewiesen, wo die Gestaltung der für die Unterhaltung des durchgehend geschweißten Oberbaues aufgewandten Arbeitsstunden (linkseitige Einteilung und volle Linie) und der spezifischen Fehlerpunkte (rechtseitige reziproke Einteilung und gestrichelte Linie) nach Gerätemessungen gezeigt sind. Die Verminderung der Aufwendungen in den letzten zwei Jahren führte (unabhängig von der veränderten Auswertungsmethode) eine Verschlechterung des Gleiszustandes herbei.

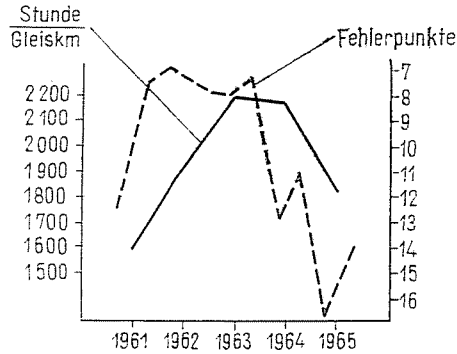


Abb. 9. Arbeitsstundenaufwand für einen durchgehend geschweißten Oberbau und beobachtete Fehlerpunkte

Anteil des durchgehend geschweißten Oberbaues, der nach herkömmlichen Verfahren unterhalten werden kann

Es stellt sich die Frage, wo die Grenze sei, bei welcher der durchgehend geschweißte Oberbau durch Umgruppierung der Beschäftigten unter restloser Beobachtung der technologischen Vorschriften bei Tag durchgeführt werden kann. Im wesentlichen heißt das, daß innerhalb einzelner Organisationseinheiten (z. B. Sektionsingenieuramt usw.), wo der Oberbau zum Teil mit herkömmlichen Laschenverbindungen, zum Teil durchgehend geschweißt ausgeführt ist, in den Tageszeiten mit günstigen Schienentemperaturen sämtliche Arbeitskräfte bei der Unterhaltung des durchgehend geschweißten Oberbaues eingesetzt werden sollen. In der übrigen Zeit werden hingegen sämtliche Arbeitskräfte bei der Erhaltung der Gleise mit Laschenverbindungen beschäftigt. Das Verhältnis des herkömmlichen Oberbaues zum durchgehend geschweißten Oberbau, das noch eine derartige Arbeitsorganisation gestattet, läßt sich unter Berücksichtigung folgender Überlegungen bestimmen.

In den fünf Jahren zwischen 1961 und 1965 betrug die für Erhaltung des Eisenbahnoberbaues auf der Strecke und auf durchgehenden Gleisen aufgewandte spezifische Arbeitsstundenzahl auf den Linien der Ungarischen Staatseisenbahnen:

Jahr	Aufwendung für Bahnerhaltung h/Gleiskm
1961	2100
1962	1840
1963	1740
1964	1670
1965	1770
Im Durchschnitt	1820

Länge der Normalstrecke und der durchgehenden Gleise: 8700 Gleiskm.
Für die Unterhaltung des Oberbaues tatsächlich aufgewandte Arbeitskraft:

$$C = \frac{L \cdot p}{M}$$

wo L die Gleislänge in Gleiskm,

p die für die Bahnerhaltung tatsächlich angewandten spezifischen Arbeitsstunden in h/Gleiskm.

M Zahl der zur Verfügung stehenden Arbeitsschichten bedeuten. Durch den Einsatz der Arbeitskraft C läßt sich von der Gesamtlänge der Strecke und der durchgehenden Gleise eine Länge

$$L = \frac{M \cdot C}{p}$$

erhalten, damit gilt

$$C = \frac{8700 \cdot 1820}{198} \approx 8 \cdot 10^4$$

$$L = \frac{74 \cdot 8 \cdot 10^4}{1920} \approx 310 \text{ km,}$$

das sind rund 35% der berechneten Ausgangslänge (8700 Gleiskm).

Ist also innerhalb der Organisationseinheit der durchgehend geschweißte Oberbau in einem Anteil über 35% vorhanden, so läßt sich die Erhaltung durch Umgruppierung des traditionellen Instandsetzungsbestandes nicht mehr mit einer befriedigenden Wirtschaftlichkeit durchführen.

In diesem Falle ist eine hochgradige Mechanisierung der Erhaltungsarbeiten notwendig, die mangelnden Arbeitskräfte sind durch Maschinen zu ersetzen. Bei der Erhaltung des zeitgemäßen Oberbaues wird die fehlende Arbeitskraft weitgehend durch Großmechanisierung ersetzt, mit deren Hilfe auch auf längeren Streckenabschnitten die Erhaltungsarbeiten durchgeführt werden können.

Bei der Großmechanisierung der Erhaltungsarbeiten sind jedoch Fragen des Bahnbetriebs zu lösen; um die Maschinen wirtschaftlich auszunützen, müssen längere Gleissperrungen vorgesehen werden, u. zw. ohne den Bahnbetrieb empfindlich zu stören. Nur indem man der Entwicklungstendenz der Technik Rechnung trägt, und durch den Einsatz von Maschinen, läßt sich die Erhaltung des Oberbaues auf zeitgemäßen Schnellbahnstrecken unter Berücksichtigung der Belange des Bahnbetriebs und der Verkehrssicherheit verwirklichen.

Die Erhaltungsarbeiten auf den Strecken mit durchgehend geschweißtem Oberbau erfordern geeignete Schientemperaturen. Die Untersuchungen zeigten, daß die für eine neutrale Schientemperatur geeigneten Bereiche beschränkt sind. Nach Abb. 10 wurden die Möglichkeiten der Arbeit bei Tag und der Arbeit in verschiedenen Tages- und Nachtstunden untersucht. Die

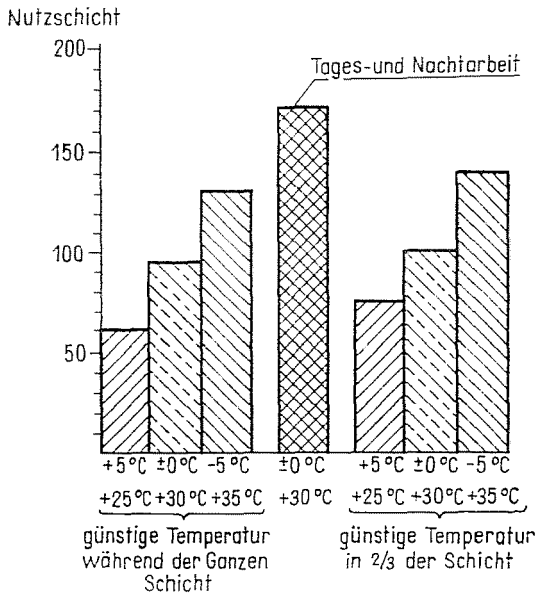


Abb. 10. Zur Verfügung stehende Arbeitszeit bei Tagesbeschäftigung

günstige Zeit bei Tag wurde auf zwei weitere Perioden unterteilt, wo für Arbeiten an durchgehend geschweißten Gleisen:

1. die gesamte Arbeitszeit,
2. lediglich 2/3 der Arbeitszeit

geeignet sind.

Tages- und Nachtarbeit bedeutet, daß falls wegen der Schientemperaturen (vor allem im Sommer) bei Tag nicht gearbeitet werden kann, die Erhaltungsarbeiten auf durchgehend geschweißten Gleisen in der Nacht durchgeführt werden.

Im Säulendiagramm die Nutz-Arbeitsschichtentage für die einzelnen Schientemperaturkategorien

$$(5 \dots 25 \text{ } ^\circ\text{C}, 0 \dots 30 \text{ } ^\circ\text{C}, -5 \dots 35 \text{ } ^\circ\text{C})$$

dargestellt, erhält man die Zahl der für Bahnerhaltungsarbeiten geeigneten Nutz-Arbeitsschichten. Tages- und Nachtarbeit wurde nur bei Temperaturen zwischen 0 und 30 °C angesetzt. Bei Anpassung an diese Zeitordnung sind die

Bau- und Erhaltungsarbeiten zu planen, die Maschinen bereitzustellen, die Arbeiten durchzuführen.

Eine wohllorganisierte und technisch begründete Arbeit ist wirtschaftlich befriedigend, ermöglicht die Einhaltung von Maßtoleranzen, und wird aus der Sicht der Verkehrssicherheit auch bei höheren Geschwindigkeiten geeignet sein.

Zusammenfassung

Einen der wichtigsten Einflußfaktoren der Schienentemperaturen stellt die Strahlung dar, die sich aus Sonnen- und Himmelsstrahlung zusammensetzt, und auch von anderen makrometeorologischen Faktoren (Wind, Feuchtigkeit, usw.) abhängig ist. Auf die eingehende Analyse der Strahlungswirkung folgt die Darstellung der Schienentemperaturen im Schienenquerschnitt anhand von Messungen.

Auf breit angelegte Untersuchungen gestützt werden die Probleme der Bahnerhaltung für den durchgehend geschweißten Oberbau behandelt.

Dozent Dr. Ing. Dr. Oec. Sándor KECSKÉS, Budapest XI., Műegyetem rkp. 3,
Ungarn