

Das Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau (ISETH) heute

Autor(en): **Grob, Hans / Huschek, Siegfried / Scazziga, Ivan**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **98 (1980)**

Heft 51-52

PDF erstellt am: **15.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74295>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Das Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau (ISETH) heute

Von Hans Grob, Siegfried Huschek, Ivan Scazziga, Peter Giger und Kalman Kovári, Zürich

Zur Entwicklung

Bevor Prof. E. Thomann im Jahre 1932 als Strassenbauer an die ETH berufen wurde, hatten seine Vorgänger F. Hennings und Ch. Andreae sich hauptsächlich mit Bahnbau beschäftigt und galten besonders als Kapazitäten im Tunnelbau. Bereits 1935 gründete Prof. Thomann das «Institut für Strassenbau an der ETH» (ISETH). Der Siegeszug des Autos war damals in seinen Anfängen bereits erkenntlich, in Italien früher als in der Schweiz, sodass Prof. Thomann seine dort gewonnenen Erfahrungen hierzuland nutzbringend verwenden konnte. Das Institut war in bescheidener Weise im Dachstock des Hauptgebäudes untergebracht, führte seine Arbeiten aber nicht ausschliesslich im Labor aus, sondern auch draussen auf den Strassen. Damals schon untersuchten die Dres. Schindler und Zipkes die Griffigkeit der Fahrbahnen, was heute noch zum Programm des ISETH gehört. Andererseits studierte man auch die Wirkung von Dingen, wie *eisenbereiften Rädern* und *stollenbeschlagenen Hufeisen*, welche die jüngere Generation schon gar nicht mehr kennt.

Zur Zeit von Prof. M. Stahel musste das ISETH dem Raumhunger der Bibliothek weichen und in ein Privathaus oben an der Gloriastrasse beim Himmelsleiterli umziehen. Ausser der wunderschönen Lage war auch hier die Unterkunft bescheiden und bot wenig Möglichkeiten für Laborarbeiten. Experimentierfeld blieb nach wie vor die Strasse, wobei neben Fragen von Bau und Unterhalt immer mehr auch *Verkehrstechnik* und *Verkehrsplanung* einbezogen wurde.

Im Jahre 1964 wurde mit der Wahl der Prof. M. Rotach und H. Grob das Institut aufgeteilt. Entsprechend seiner Lehrtätigkeit zweigte Rotach die Arbeitskreise Verkehrsplanung und -technik ab, aus denen mit der Zeit das *Institut für Verkehrsplanung und Transporttechnik* entstand. Grob übernahm den Restbestand des ISETH und begann seinem Auftrag gemäss ausser den traditionellen Strassenthemen noch Probleme aus dem *Untertagbau inkl. Felsmechanik* zu behandeln und auch den *Eisenbahnbau* wieder in die Institutsarbeit aufzunehmen. Man hatte unterdessen gesehen, dass im modernen Verkehr auch die Eisenbahn eine wichtige Rolle zu spielen hat. Das ISETH behielt dabei

seinen abgekürzten Namen, wenn es auch gesetzwidrig den vollen Titel in der oben aufgeführten Weise ergänzte, was der Schulrat am 2. Juli 1976 entdeckte und legitimierte.

Mit dem Umzug auf den Höggerberg im Jahre 1976 haben sich die Arbeitsbedingungen auf einen Schlag in höchst erfreulicher Weise verbessert. Wir verfügen nun über 535 m² Büroraum und 705 m² Laborfläche mit fast allen wünschbaren Einrichtungen. Wir sind unseren Behörden und namentlich dem Schweizer Steuerzahler dafür dankbar und bemühen uns, durch sorgfältige Arbeit die grosse Investition in einen Nutzen für das Land umzusetzen.

Das Institut zählt gegenwärtig 35 Mitarbeiter, aufgeteilt in folgende Bereiche:

- Lehrbetrieb (betreut durch den Vorsteher),
- Strassenbau, Fahrbahneigenschaften, bituminöse Materialien (S. Huschek),
- Strassenbau, dynamische Tragfähigkeit, Leitschranken (I. Scazziga)
- Eisenbahnbau, Oberbautechnologie, Systemtechnik (P. Giger),
- Felsbau, Berechnungs- & Messmethoden, Technologie (Prof. Dr. K. Kovari).

Dem Institut sind im Verlauf seiner Entwicklung von der Verwaltung 21 und eine halbe sog. Etatstellen zugeteilt worden, die ohne weitere Verrechnung besoldet werden. Die restlichen Mitarbeiter, von denen einige nur teilzeitig angestellt sind, muss das Institut *selbst finanzieren* aus dem Erlös von *Dienstleistungen und Forschungsarbeiten*. Es arbeitet in der *Art eines beratenden Ingenieurbüros*, indem es für öffentliche und private Auftraggeber im In- und Ausland Untersuchungen ausführt sowie Probleme aus der angewandten Forschung behandelt, jedoch *keine Projekte* ausarbeitet.

Zu den Forschungsarbeiten gehören auch solche, die aus Krediten der ETH finanziert werden (sog. projektfinanzierte Forschung). Voraussetzung dazu ist ein flottes Forschungsgesuch, das Gnade findet vor der Forschungskommission und der Schulleitung. Der Erlös all dieser Arbeiten steht nach Abzug der Kosten für Infrastruktur und Etat-Personal dem Institut für Personal und Einrichtungen zur Verfügung. Dies ist die Art und Weise, wie heute versucht

wird, die *Finanzklemme des Bundes* zu überdauern. Mit den ordentlichen Institutsmitteln sind nämlich nur kleinere Arbeiten zu bestreiten.

In den folgenden Kapiteln stellen die einzelnen Sektionschefs Forschungsarbeiten aus ihrem Bereich dar, die als Beispiele für die Arbeitsweise des ISETH gelten können.

Bituminöse Strassenbeläge

Bedingt durch die um 1910 beginnende und ab etwa 1950 stürmische Entwicklung der Motorisierung hat sich der bituminöse Belagsbau, als Teilgebiet des Strassenbaues, von der ursprünglich handwerklich erstellten Oberflächenbefestigung zu einem *industriellen Fertigungsprozess* entwickelt. Heutzutage werden in der Schweiz jährlich etwa 5 Millionen Tonnen bituminöses Mischgut produziert und verarbeitet. Bei etwa 100 Fr./t inklusive Einbau ergibt dies einen Betrag von 500 Mio Fr. Die Entwicklung der Technik bituminöser Strassenbeläge begann mit reiner Empirie und hat erst in den letzten drei Jahrzehnten mehr und mehr wissenschaftliche Züge angenommen, wobei es auch heute noch zuweilen so scheinen mag, dass das *Lernen aus gemachten Fehlern* im Vordergrund steht. Einer weiteren Vertiefung der Kenntnisse auf dem Gebiet der bituminösen Strassenbeläge stellen sich eine Reihe von Schwierigkeiten entgegen. Das *Verformungs- und Bruchverhalten von Asphalt* (bituminöse Mischungen) ist *ausserordentlich kompliziert*. Je nach Belastungsgeschwindigkeit und Temperatur dominiert das viskoelastische oder mehr das elastoviskose Verhalten. Bei allen Versuchsreihen müssen deshalb – im Unterschied zu den meisten konventionellen Baumaterialien – die *Parameter Zeit und Temperatur* grundsätzlich mit berücksichtigt werden, was den *apparativen Aufwand* und die *Anzahl der Versuche* ganz *erheblich vergrössert*. Asphalt ist ein Gemisch aus dem vorwiegend elastisch reagierenden Mineralen von grosser Festigkeit und einer sich vorwiegend viskos verhaltenden Flüssigkeit, wobei der Resthohlraumgehalt (Luft) unter gewissen Voraussetzungen ebenfalls einen grossen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften der Mischung haben kann. Wir haben es also mit einem recht *heterogen zusammengesetzten Material* zu tun, das die Untersuchung grosser Mengen bzw. grosser Prüfkörper erfordert, um statistisch repräsentative Versuchsergebnisse erwarten zu können.

Eine weitere Besonderheit des Strassenbaues sind die mangelhaften Kenntnisse über die künftige Beanspruchung des

Bauwerks. Unerwartet hohe Verkehrslasten sowie besonders heisse Sommer oder besonders kalte Winter können herbe Überraschungen bringen. Dies wirkt sich umso gravierender aus als es im Gegensatz zu fast allen anderen Ingenieurbauwerken im bituminösen Belagsbau die «sichere Seite» nicht gibt. Wir befinden uns ständig auf einer «Gratwanderung».

Das hier dargestellte Problemfeld bietet viele Ansatzpunkte für die Forschung. Die an unserem Institut seit etwa 1976 durchgeführten Forschungsarbeiten [1-4] sind Beiträge zur weiten Thematik der «mechanischen Eigenschaften» von Asphalt, wobei die Untersuchung des Verformungsverhaltens im Vordergrund steht.

Die Rundlaufanlage zur Bemessung des Strassenoberbaues

Im Unterschied zu verschiedenen anderen Bereichen des Ingenieurwesens, insbesondere der konstruktiven Fächer, wo im Rahmen der Forschungsarbeit die Prüfung des Verhaltens von Tragwerksbestandteilen im Massstab 1:1 unter stetig zunehmender oder zyklischer Belastung seit Jahrzehnten schon stark verbreitet ist, bemühten sich die Strassenbauer eine Erweiterung ihrer Kenntnisse durch die *Untersuchung von Kleinproben* zu erreichen oder durch geduldige *Beobachtung der Geschehnisse auf der Strasse* selbst abzuwarten. Dass eine solche Situation auf die Länge kaum zu befriedigen vermag, kann niemand verleugnen. Bei den Bestrebungen, diesen Zustand abzuändern, galt es also eine Methode oder besser gesagt Versuchseinrichtung zu finden, die einerseits den geometrischen und bautechnischen Eigenheiten des Bauwerkes Strasse entsprechen – in vereinfachter Form ein *Endlosband*, das auch als solches hergestellt wird – und andererseits auch die *dynamische Belastungskomponente* – das *rollende Rad* – realistisch wiedergeben.

Die heute auf dem Areal der EMPA in Dübendorf vom ISETH betriebene Rundlaufanlage (Bild 2) ist das Ergebnis verschiedener eingehender Studien über das Konzept der Belastungseinrichtung, der Anlage des Versuchskörpers und der Versuchsdurchführung, die sich nicht zuletzt wegen der Beschaffung der notwendigen finanziellen Mitteln über mehrere Jahre erstreckten.

Die *Belastungseinrichtung* – eine Stahlkonstruktion – umfasst drei zentral gelenkig gelagerte Rohre (16 m lang), die am äusseren Ende mit einem Lastwagen-Zwillingsrad die Prüfstrecken befahren. Die Räder lassen sich noch um

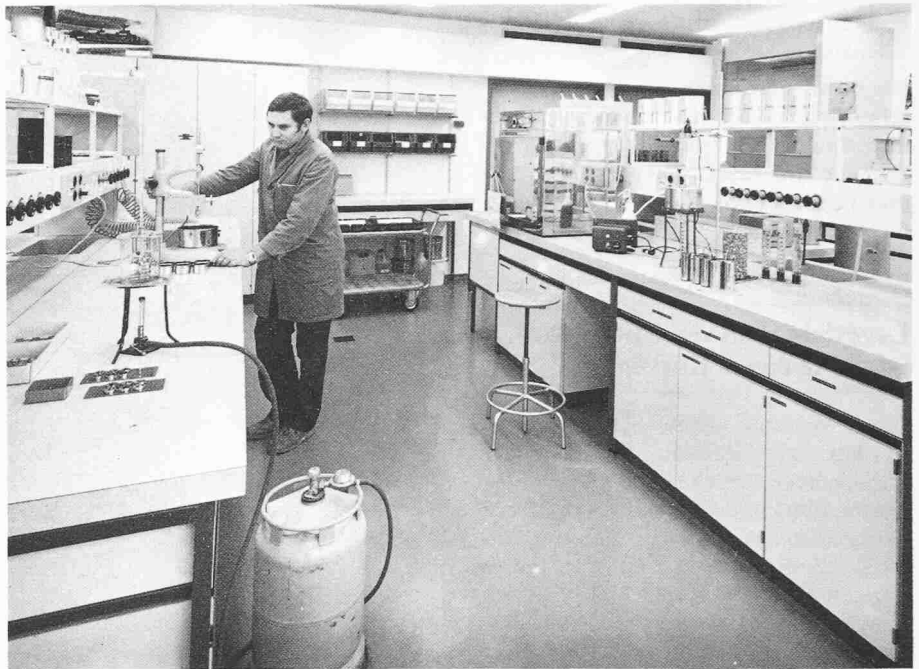


Bild 1. Labor für bituminöse Baustoffe, ISETH

±40 cm quer verschieben. Die Antriebsleistung der Elektromotoren ist für einen Betrieb mit Radlasten von 5 bis 8 Tonnen in einem Geschwindigkeitsbereich bis zu 80 km/h vorgesehen. Die Versuchsstrecken werden in einer ringförmigen betonierten Wanne eingebaut (mittlerer Durchmesser 32 m, Tiefe 2 m) um lokale Wasserspiegelschwankungen auszuschalten und auch beliebige Untergrundmaterialien mit verschiedener Tragfähigkeit in die Untersuchungen einzubeziehen. In einem Ring werden meist fünf verschiedene Felder aufgebaut.

Der eigentliche Zweck der Anlage ist die *Untersuchung des Verhaltens von praxisgerecht eingebauten Strassenoberbauten mit allen möglichen Material-*

kombinationen unter wiederholter Belastung durch ein rollendes Rad, d. h. das Studium aller Probleme, die im Rahmen der Bemessung des Strassenoberbaus anfallen. Als wesentliche Vorteile der Anlage können genannt werden:

- der *Effekt der Zeitraffung*. Damit ist es z. B. möglich, in ungefähr einem halben Jahr die Verkehrsbelastung einer Kantonsstrasse während 15–20 Jahren zu erreichen.
- der «normale» *Einbau der Versuchsstrecken*. Die Abmessungen der Anlage gestatten einen konventionellen Einbau mit Maschinen.
- die *Kompaktheit der Anlage*. Dadurch wird eine vollständige Erfassung aller Einflussparameter für alle verschieden aufgebauten Felder in

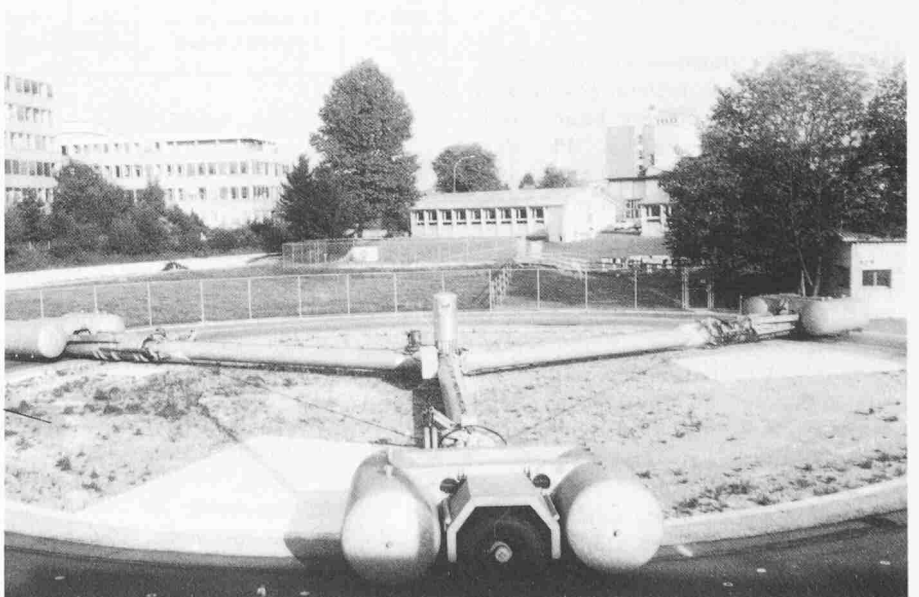


Bild 2. Rundlaufanlage des ISETH bei der EMPA in Dübendorf (Ø 32 m; $v_{\max}$ 80 km/h; Radlast 50...80 kN)

einem Versuchsring wesentlich erleichtert.

Die bisher gewonnenen ersten Betriebserfahrungen stimmen uns zuversichtlich, damit über eine Anlage zu verfügen, die uns rasch wertvolle Hinweise und in die Praxis übertragbare Ergebnisse liefern kann.

Lagesicherheit verschweisster Gleise in engen Kurven

Aus wirtschaftlichen Überlegungen werden im Gleisbau die Schienen durchgehend verschweisst. Diese Massnahme führt in *engen Kurven* zu *Sicherheitsproblemen*, da die witterungsbedingte Schienenerwärmung zu Spannungen führt, die nicht durch Bewegungen in den Stosslaschen abgebaut werden können und somit durch den Querverschiebewiderstand des Schotterbettes im Gleichgewicht gehalten werden müssen. Unter gewissen Vereinfachungen, die hier nicht interessieren, darf die folgende *Sicherheitsbedingung* formuliert werden:

$$S = \frac{a \cdot \omega \cdot 2EF \cdot \Delta T}{R} \leq \frac{W}{n}$$

wobei

- S : Schwellenkraft auf Schotterbett
 a : Schwellenabstand (etwa 60 cm)
 ω : Wärmedehnungskoeffizient für Stahl
 E : Elastizitätsmodul für Stahl
 F : Querschnittsfläche des Schienenprofils
 ΔT : Differenz aus klimabedingter Extremtemperatur und Neutralisationstemperatur
 R : Radius der Gleisaxe
 n : Sicherheitsfaktor
 W : Schotterbettwiderstand auf eine Schwelle

Bei *Neutralisationstemperatur* weisen die Schienen *keine witterungsbedingten Eigenspannungen* auf. Sie kann durch spezielle Massnahmen bei den Verschweissungsarbeiten gesteuert werden. Je nach den örtlichen Verhältnissen betragen die Werte ΔT bis zu 40 °C. Für den Sicherheitsnachweis sind mit Ausnahme des Schotterbettwiderstandes sämtliche Einflussgrössen gegeben. Zur Quantifizierung dieser Widerstandsgrösse liegen umfangreiche empirische Untersuchungen an *unbelasteten* Gleisen vor [5]. In Tabelle 1 sind die Grensradien R_{Grenz} typischer Oberbauformen für eine Schwellenverschiebung von 0,5 mm am unbelasteten Gleis zusammengestellt und mit den von den SBB reglementarisch zugelassenen Minimalradien R_{zul} für Gleisverschweissungen verglichen. (Für Meterspurbahnen sind keine neueren Messwerte über den

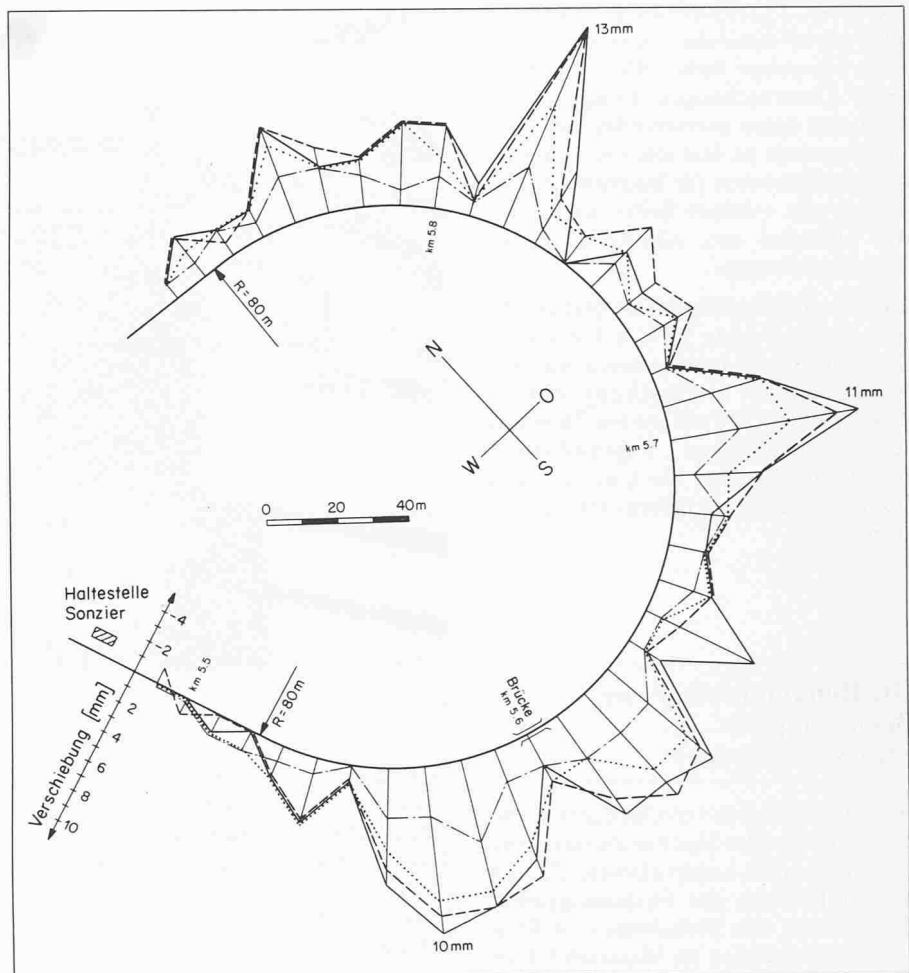


Bild 3. Tagesdifferenzen der Gleislage vor Sonnenaufgang (d. h. minimale Schienentemperatur) und nach Mittag (d. h. maximale Schienentemperatur)

Tab. 1. Grensradien R_{Grenz} für 0,5 mm Schwellenverschiebung nach [5] und reglementarisch zugelassene Mindestradien für Gleisverschweissung

Schienentyp	Schwellentyp	$F[\text{cm}^2]$	$W[\text{KN}]$ je Schwelle		$R_{\text{Grenz}}[\text{m}]$	$R_{\text{zul}}[\text{m}]$
			Verschiebung 0,5 mm	Gleitgrenze		
SBB I	Holz mit Kappen	58,8	4,5	9,0	150	300
SBB I	Stahl mit Kappen	58,8	4,0	8,0	170	300
SBB IV	Holz mit Kappen	68,6	4,5	9,0	180	300
SBB IV	Zweiblock-Beton	68,6	7,5	13,5	110	350
SBB VI	Holz mit Kappen	76,9	4,5	9,0	200	350
SBB VI	Monoblock-Beton	76,9	6,0	10,5	150	350
VST 36	Zweiblock-Beton	45,5	etwa 4,5	*	120	300

Querverschiebewiderstand bekannt, so dass nur ein Schätzwert dem Minimalradius gemäss RhB-Vorschriften gegenübergestellt werden kann. Nachdem der Gleitbereich wesentlich höher liegt, darf der Sicherheitsfaktor $n = 1$ gesetzt werden. Die Diskrepanz zwischen den reglementarisch zugelassenen Minimalradien und den empirischen Versuchen könnte die Vermutung nahelegen, dass die Bahnverwaltungen grosse Reserven brachliegen lassen. Im folgenden werden jedoch *Argumente für die These* vorgebracht, dass der *unbelastete Gleiszustand nicht massgebend* ist.

Seit dem Jahr 1977 beobachtet das ISETH eine *Gleiskurve der Montreux-Oberland-Bernois-Bahn (MOB)* in der

Nähe der Ortschaft *Sonzier*. Die Kurve verläuft über einen Bogenwinkel von 248° mit einem konstanten Radius von 80 m und ist durchgehend verschweisst. Die Verformungen erfolgen im Tagesrhythmus, wobei die Stellen mit extremen Verschiebungen erhalten bleiben, solange das Gleis nicht neu gerichtet wird (Bild 3). Der zeitliche Verlauf der Gleisverschiebung korreliert sehr gut mit dem Temperaturverlauf (Bild 4). Besonders auffällig ist die Tatsache, dass sich die *Gleisdeformation in erster Linie während den Zugdurchfahrten* einstellen. Dieses Phänomen kann einfach erklärt werden:

- Während einer Zugpassage werden unmittelbar vor und nach dem Über-

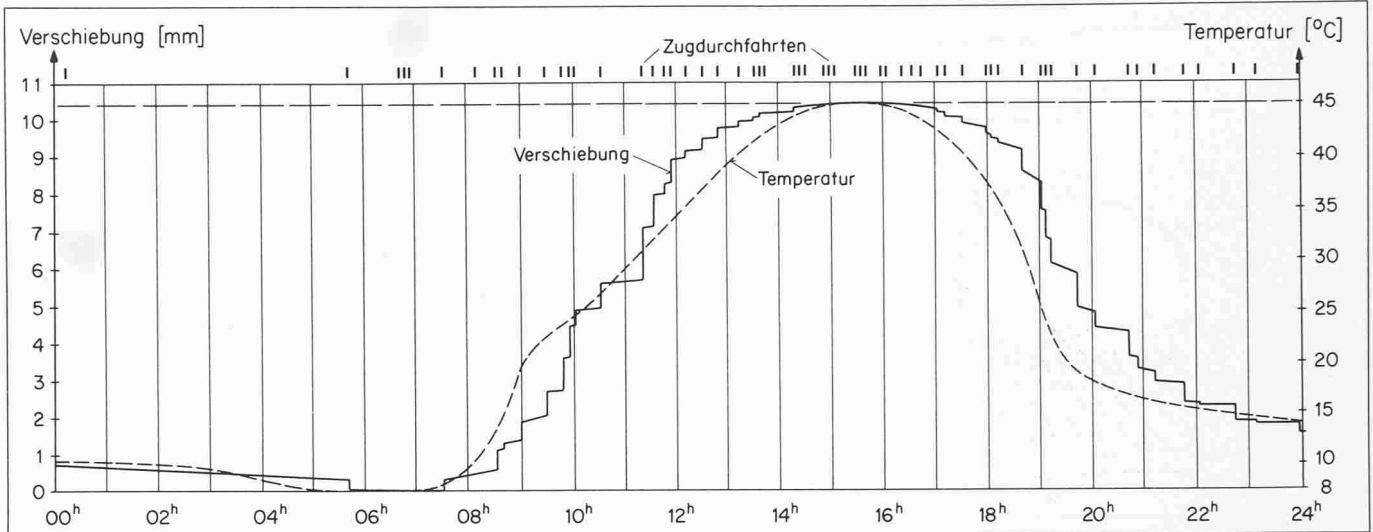


Bild 4. Abhängigkeit der Gleisverschiebung von der Gleistemperatur; Beispiel: 11. Sept. 1977 (Tag mit Maximalwerten)

rollen die Schwellen entlastet, da die Schienen als Durchlaufträger wirken.

- Durch die fahrenden Züge wird das Schotterbett dynamisch erregt, so dass sich die bodenmechanischen Kennwerte kurzzeitig ändern können.

Somit kann sich während einer Zugpassage eine neue Gleichgewichtslage des Gleises einstellen.

Damit ist die Frage aufgeworfen, wie die Veränderung der Gleichgewichtslage durch eine Begrenzung der zulässigen Minimalradien für die Gleisverschweissung unterbunden werden kann. Das Problem lässt sich auf die Bestimmung des Schotterbettwiderstandes unter dynamischer Erregung zurückführen. Es ist bekannt, dass die mechanischen Eigenschaften des Schotterbettes stark von der Frequenz der dynamischen Erregung abhängt [6]. Für Laborversuche besteht deshalb die Schwierigkeit, realistische Frequenzspektren zu erzeugen. Das Problem kann durch Grossversuche an einer Bahnlinie umgangen werden, indem die passierenden Züge direkt das Frequenzspektrum für den Versuch liefern. Eine entsprechende Versuchsanordnung soll kurz skizziert werden.

Der Einfluss der witterungsbedingten Schwellenkräfte wird durch Pressen, die zwischen das Schienenprofil und die Schwelle geschaltet werden, simuliert. Hierbei sind die Schienenbefestigungen durch Gleitlager zu ersetzen. Die seitliche Knicksicherheit der Schienenprofile wird durch eine spezielle Stützkonstruktion gewährleistet. Während einer Zugdurchfahrt werden die Pressenkräfte konstant geregelt und die Schwellenbewegungen mittels optoelektronischer Distanzmessanlage beobachtet (die Versuchsüberwachung und Datenaufzeichnung erfordert einen Minicomputer). Die Wiederholungen der Versuchsfahrten bei verschiedenen

Pressenkräften liefern eine Kraft/Verschiebungs-Beziehung, die eine Festlegung der maximal zulässigen Schwellenkraft und damit der Minimalradien für die Gleisverschweissung erlauben sollte. Eine entsprechende Versuchsanordnung wird zur Zeit am ISETH entworfen. Über Versuchsergebnisse kann erst in späterer Zukunft berichtet werden.

Tunnelstatik

Das Aufkommen von leistungsfähigen elektronischen Rechenanlagen in Verbindung mit der Entwicklung der *Finite-Element-Methode* hat der Statik des Tunnelbaues ganz neue Wege geöffnet. Zum ersten Mal konnten Berechnungsmodelle entworfen werden, die einerseits genügend wirklichkeitstreu und andererseits numerisch noch bewältigbar waren.

Systematische Forschungsarbeiten, die seit dem Jahre 1968 im Institut im Gange sind, haben zur Entwicklung des Programmsystems STAUB (Statische Analyse von Untertagebauwerken) geführt, das in seiner ersten Fassung im Jahre 1971 den Ingenieuren im In- und Ausland zur Verfügung gestellt wurde. [7]. Es handelt sich hier um die Berechnung von Scheiben im ebenen Verformungszustand mit elastisch-idealplastischen Materialeigenschaften. Wegen der durch die bleibenden Verformungen bedingten Nichtlinearität des Problems werden die Lastgrößen inkrementell aufgebracht, wobei für jedes Lastinkrement eine Reihe von Iterationen durchgeführt werden. Damit erreicht man, dass die Fließbedingung nirgends im System verletzt wird. Die Berücksichtigung verschiedener Materialzonen sowie anisotrope Verformungs- und Festigkeitseigenschaften stossen auf keine Schwierigkeiten. Das Tunnelgewölbe wird durch ein Ersatzfachwerk, ent-

sprechend der Druck- und Biegesteifigkeit des Tunnelgewölbes, simuliert [8]. Um die Spannungumlagerungen im Gebirge als Folge von Teilausbrüchen des Tunnelquerschnittes rechnerisch zu verfolgen, ist das Programm STAUB mit der sog. *Restart-Möglichkeit* versehen. Das statische System kann somit den jeweiligen Bauetappen angepasst werden. Dies bedeutet, dass das Ausgangssystem für eine neue Berechnung bereits plastifizierte Zonen enthalten kann.

Trotz den leistungsfähigen Berechnungsverfahren können nicht alle Fragen, die beim Entwurf und bei der Ausführung eines Tunnels auftauchen, mit Hilfe der Theorie befriedigend beantwortet werden. Deshalb trachtet man gar nicht danach, mit einem Spannungsnachweis die statischen Untersuchungen abzuschliessen, sondern es werden eigentliche *parametrische Studien* durchgeführt. Auf diese Weise lassen sich die massgebenden Parameter bzw. Einflussfaktoren von den weniger wichtigen trennen, womit bessere Entscheidungsgrundlagen geschaffen werden [9]. Da es heute nicht möglich ist, ein einheitliches Vorgehen für die Bemessungsprobleme des Tunnelbaues anzugeben, müssen die Berechnungsmodelle differenziert den jeweiligen Problemstellungen angepasst werden.

Es sei hier ein typisches Beispiel aus dem Gebiet des *städtischen Tunnelbaus* herausgegriffen [9]. In München wurden im Zusammenhang mit der ersten Anwendung der *Neuen Österreichischen Tunnelbauweise* im U-Bahnbau sehr umfangreiche theoretische Untersuchungen gefordert. Eines der Probleme bestand darin, die Auswirkung der späteren Öffnung einer grossen Baugrube auf den im Betrieb stehenden Tunnel abzuklären. In Bild 5 sind die Verschiebungen im Baugrund und in Bild 6 die Schnittkräfte des Tunnelgewölbes -

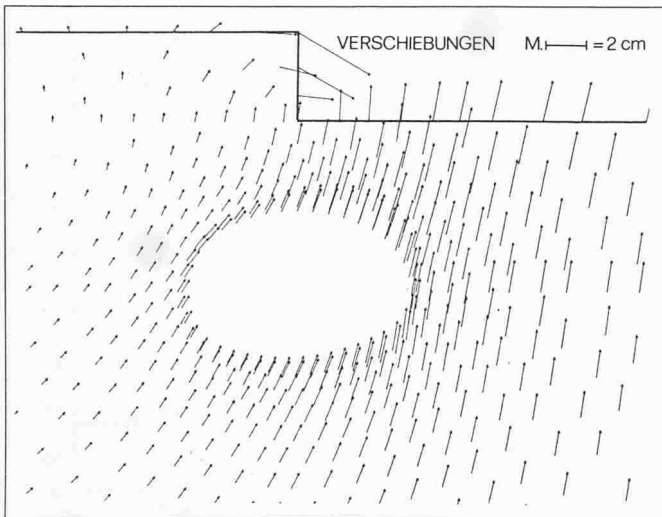


Bild 5. Verschiebungen im Baugrund

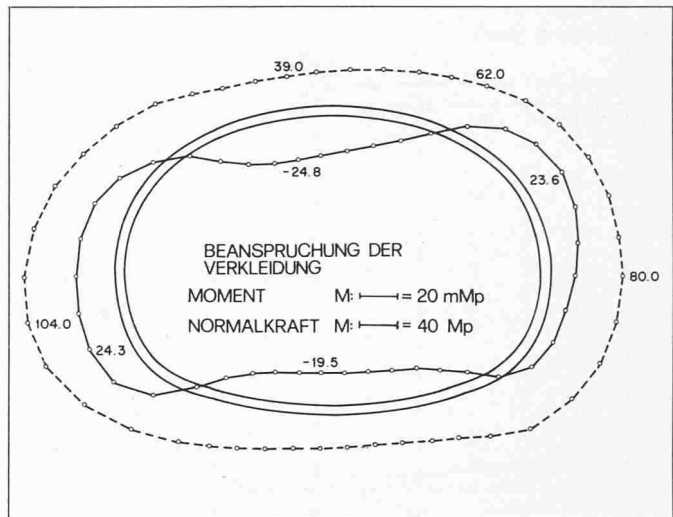


Bild 6. Schnittkräfte des Tunnelgewölbes

ausgelöst durch den Baugrubenaushub – dargestellt.

Die gegenwärtig laufende Forschungsarbeit in der Tunnelstatik befasst sich mit der Ergänzung des Materialmodells auf *rheologische Eigenschaften*, d. h. auf *Viskoelastizität* und *Viskoplastizität*. Das erweiterte Programmsystem RHEOSTAUB kann demnächst der Felsbaupraxis zur Verfügung gestellt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Internationales Kolloquium über die plastische Verformbarkeit von Asphaltmischungen, ISETH-Mitteilung Nr. 37, 1977
- [2] Huscek, S.: «Evaluation of rutting due to viscous flow in asphalt pavements». Proceedings Forth International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements, University of Michigan, Ann Arbor, 1977
- [3] Huscek, S. & Staub, P.: «Die Beurteilung des Verformungswiderstandes bituminöser Mischungen durch den Kriechversuch». ISETH-Mitteilung Nr. 42, 1979
- [4] Huscek, S. & Angst, Ch.: «Mechanische Eigenschaften von Filler-Bitumen-Gemischen bei hoher und niedriger Gebrauchstemperatur – Einfluss der Verdichtungsart auf die mechanischen Eigenschaften von Asphaltprüfkörpern». ISETH-Mitteilung Nr. 44, 1980.
- [5] Hofmann, Ch. & Pfarrer, H.: «Einfluss verschiedener Massnahmen auf den Querverschiebewiderstand des unbelasteten Gleises». Technisches Dokument DT 44/D 117/D des Forschungs- und Versuchsamtes des Internationalen Eisenbahnverbandes (ORE), Utrecht, 1976
- [6] Schneider, E.: «Das Verhalten des Eisenbahnoberbaues bei dynamischer Erregung». Archiv für Eisenbahntechnik, Folge 29, 1974
- [7] STAUB-Handbuch, Rechenzentrum FIDES, Erste Auflage, August 1971.
- [8] Kovari, K.: «Ein Beitrag zum Bemessungsproblem von Untertagebauten». Schweiz. Bauzeitung, Heft 37, 1969
- [9] Kovari, K., Hagedorn, H., Fritz, P.: «Parametric Studies as a Design Aid in Tunneling». Proceedings of the 2nd Int. Conf. on Numerical Methods in Geomechanics, Blacksburg, Virginia/USA, 1976

Adresse der Verfasser: Prof. H. Grob, S. Huscek, dipl. Ing. ETH, I. Scazziga, dipl. Ing. ETH, P. Giger, dipl. Ing. ETH und Prof. Dr. K. Kovari, ISETH, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.