

# Zur Optimierung der Oberflächeneigenschaften von Fahrbahnen

Autor(en): **Huschek, S.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **105 (1987)**

Heft 25

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-76636>

## **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.

# Zur Optimierung der Oberflächeneigenschaften von Fahrbahnen

Von Prof. Dr. S. Huschek, Berlin

Die wichtigsten Anforderungen an die Oberfläche von Fahrbahnen sind **Griffigkeit, Ebenheit, Verschleissfestigkeit** und neuerdings auch **günstige akustische Eigenschaften**. Eine Vielzahl von Bedingungen, wie **Materialeigenschaften, Mischungszusammensetzungen und Texturgebung**, müssen unter Berücksichtigung von **Verkehrbelastung und Klima** zu **technisch und wirtschaftlich optimalen Lösungen** geführt werden. **Wie wurde bisher verfahren, und welche Perspektiven ergeben sich für die Zukunft?**

## Situation

Das Gesicht der Strasse ist ihre Fahrbahnoberfläche. Vom Bauwerk Strasse sieht, fühlt und hört der Benutzer nichts anderes als die Auswirkungen der Oberflächeneigenschaften. Deshalb beruht der momentane Gebrauchswert einer Strasse in erster Linie auf deren Befahrbarkeit (im weiten Sinne dieses Begriffes) und diese ausschliesslich auf der Qualität der einzelnen relevanten Oberflächeneigenschaften. Die wichtigsten Anforderungen an die Oberfläche von Fahrbahnen sind **Griffigkeit, Ebenheit, Verschleissfestigkeit** und neuerdings auch **günstige akustische Eigenschaften**. Während die drei ersten Anforderungen bei der Wahl der Deckschicht sowie durch Qualitätsanforderungen an **Mineralstoffe, Bindemittel und Mischungszusammensetzung** schon immer berücksichtigt worden sind, werden **günstige akustische Eigen-**

schaften erst seit kurzem als ein berechtigter Gesichtspunkt bei der Optimierung der Oberflächeneigenschaften von Fahrbahnen in dicht besiedelten Gebieten anerkannt.

Aufschlussreich ist ein Blick auf die historische Entwicklung der Anforderungen an die Oberfläche von Fahrbahnen. Die Geburt des Automobils vor hundert Jahren brachte nicht nur ausserordentliche Entwicklungsperspektiven und Nutzungsmöglichkeiten mit sich, sondern sie erforderte auch die Verbesserung des vorhandenen Wegenetzes.

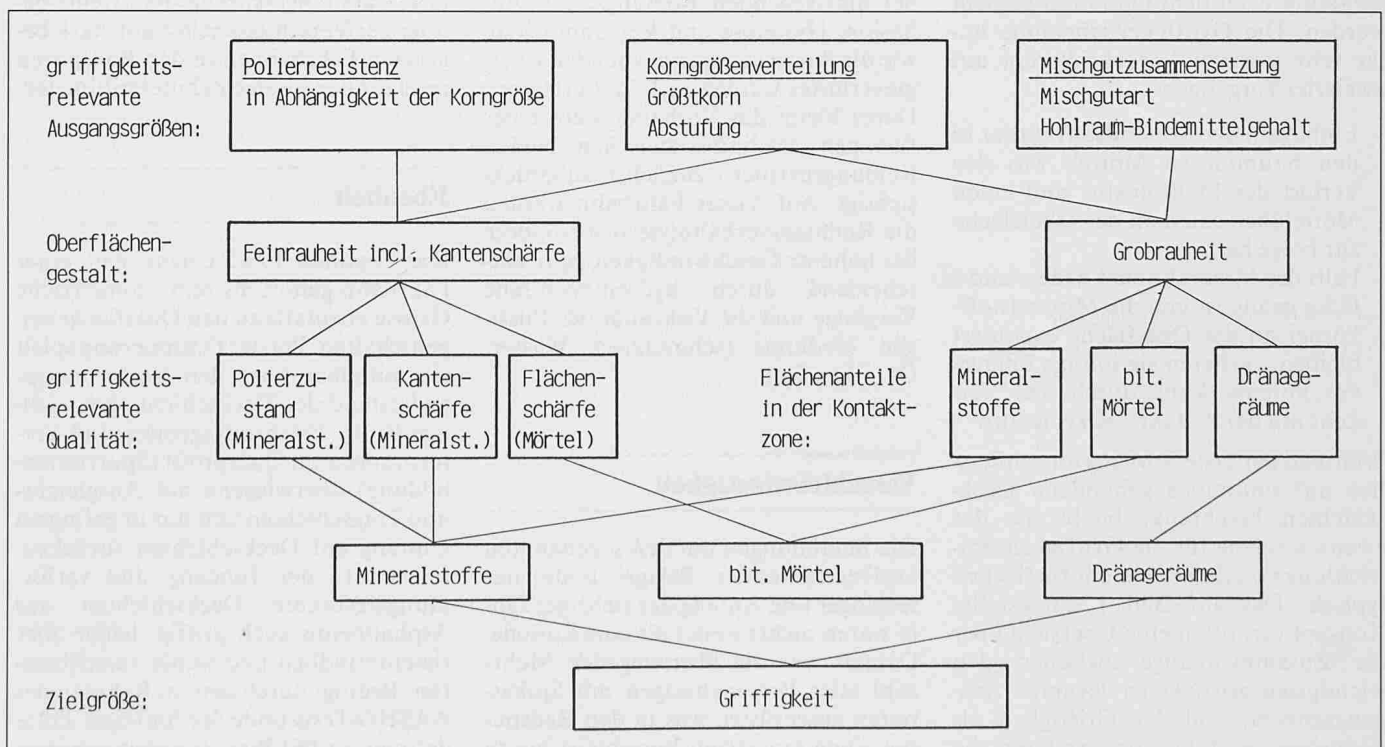
Als besonders lästig und sogar gesundheitsschädigend erwies sich alsbald die Staubeentwicklung in den trockenen Sommermonaten [1]. Würde man heute mit ideologisiertem Unterton dieses «Umweltproblem» diskutieren, so hatten damals die Ingenieure in der sogenannten Oberflächenbehandlung eine pragmatische Lösung gefunden. Das erste Oberflächenproblem war vorerst für

lange Zeit gelöst. Es taucht neuerdings wieder auf, wenn – wie dies in Berlin der Fall ist – der Winterdienst anstelle von Tausalz mit grossen Mengen nicht ganz staubfreiem Streusplitt erfolgt.

## Griffigkeit

Mit zunehmender Motorisierung und steigenden Fahrgeschwindigkeiten wurden an die Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen erhöhte Anforderungen gestellt [2]. Wegen des direkten und statistisch nachgewiesenen Einflusses ungenügender Griffigkeit auf das Unfallgeschehen [3] ist die Griffigkeit auch heute die dominierende, unverzichtbare Anforderung an die Fahrbahnoberfläche. Insbesondere in den sechziger und siebziger Jahren wurde am damaligen ISETH an der messtechnischen Erfassung und der Bewertung der Griffigkeit sowie an den jeweiligen Anforderungen intensiv gearbeitet [4], [5], [6], [7]. Diese wissenschaftlichen Arbeiten waren die Grundlage für die Neufassung der Normen SN 640 510 und SN 640 511, die heute praktisch genutzt werden. Erfahrungsgemäss bereitet der Bau dauerhaft griffiger Fahrbahnoberflächen aus Asphaltbeton oder Zementbeton bei mittlerem und starkem Verkehr in der Regel keine Schwierigkeiten. Anders ist dies bei extrem starkem Verkehr, beispielsweise auf der sechspurigen Berliner Stadtautobahn mit einem DTV von etwa 150 000. In solchen Fällen werden sowohl an die Grif-

Bild 1. Die wichtigsten Einflüsse auf die Griffigkeit bituminöser Fahrbahnoberflächen



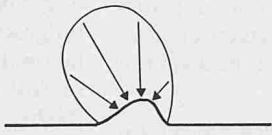
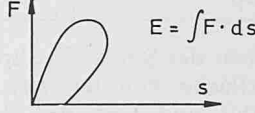
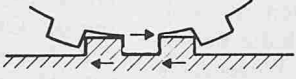
ART DER REIBUNG		VORAUSSETZUNGEN AN DIE MECHN. EIGENSCHAFTEN DES RADES BZW. DER UNTERLAGE	
BEZEICHNUNG	ÜBERTRAGUNG DER REIBUNGSKRAFT DURCH:	ENERGIEVERLUST DURCH:	
ADHÄSION	Komponenten der molekularen Bindungskräfte	Aufbau und Zerstörung molekularer Bindungskräfte	Keine besonderen Voraussetzungen
HYSTERESE	unsymmetrische Druckverteilung 	molekulare Umlagerung, Dämpfung, Umsetzung in Wärme	Viskoelastizität 
VERZÄHNUNG	Formschluß 	Abtrennen von Teilchen oder Abscheren von Stegen; Zerstörung	plastische Verformbarkeit eines Partners, Beispiele: - Winterreifen auf Schnee - grober Reifen auf lehmiger Unterlage - Spikes auf Eis "Bruchzustand"

Bild 2. Massgebende Reibungsarten

figkeit als auch an die Verschleissfestigkeit höchste Anforderungen gestellt. Da sich aber bei bituminösen Deckschichten die massgebenden Einflüsse, wie Gesteinsfestigkeit, Polierresistenz, Bindemittelgehalt und Hohlraumgehalt auf die genannten zwei Eigenschaften gegenläufig auswirken, muss sehr sorgfältig nach dem Optimum gesucht werden. Die Griffigkeitsabnahme unter sehr starkem Verkehr beruht auf zweierlei Vorgängen:

- Einbügeln der Mineralstoffkörner in den bituminösen Mörtel, was den Verlust der Makrotextur und einen Mörtelüberschuss an der Oberfläche zur Folge hat.
- Falls das Mineralskelett widerstandsfähig genug ist und die Mineralstoffkörner an der Oberfläche exponiert bleiben, verlieren sie infolge intensiver Polierwirkung durch den Verkehr mit der Zeit ihre Mikrotextur.

Während der erste Vorgang ausschliesslich auf bituminös gebundene Deckschichten beschränkt bleibt, ist der zweite Vorgang für die Griffigkeitsentwicklung von Zementbetonoberflächen typisch. Das auf Bild 1 dargestellte Konzept vermittelt eine Übersicht über die Zusammenhänge zwischen den wichtigsten griffigkeitsrelevanten Ausgangsgrössen und der Griffigkeit als Zielgrösse. Es bildet des weiteren die

Grundlage für eine analytische Betrachtung der Griffigkeit als Summe von Reibungskraftkomponenten. Diese ergeben sich aus den in der Reifenkontaktzone vorhandenen Flächenanteilen an Mineralstoffen, bituminösem Mörtel und Drainageräumen sowie deren griffigkeitsrelevante Qualität. Die dabei massgebenden Reibungsarten Adhäsion, Hysterese und Verzahnung sowie die Arten des entsprechenden Energieverlustes werden in Bild 2 erläutert. Dabei bleibt das Vorhandensein eines flüssigen Mediums zwischen beiden Reibungspartnern zunächst unberücksichtigt. Auf nasser Fahrbahn werden die Reibungsverhältnisse insbesondere bei höherer Geschwindigkeit ganz entscheidend durch hydrodynamische Vorgänge und die Viskosität des flüssigen Mediums (schmutziges Wasser, Öl...) bedingt.

### Verschleissfestigkeit

Die Bemühungen um den sogenannten «spikesresistenten Belag» Ende der sechziger und Anfang der siebziger Jahre waren nichts weiter als eine Episode. Damals war die überwiegende Mehrzahl aller Personenwagen mit Spikesreifen ausgerüstet, was in den Radspuren einen exzessiven Verschleiss bis zu

mehreren Millimetern pro Winter zur Folge hatte [8]. Ein Problem der Volkswirtschaft, der Verkehrssicherheit und der Umweltbelastung, für das keine technische Lösung in Aussicht war und das schliesslich juristisch dadurch gelöst wurde, dass der Gesetzgeber den Gebrauch von Spikesreifen verboten bzw. stark eingeschränkt hat. Heute beträgt der Verschleiss selbst auf stark belasteten Fahrbahnen in den Radspuren pro Jahr nur wenige Zehntelmmillimeter.

### Ebenheit

Die Ebenheit bzw. Unebenheit einer Fahrbahn gehört als rein geometrische Grösse ebenfalls zu den Oberflächeneigenschaften. Bei der Optimierung spielt sie mittelbar über den Verformungswiderstand der Deckschicht eine wichtige Rolle. Erfahrungsgemäss sind Verformungen im Querprofil (Spurrinnenbildung) überwiegend auf Ausgleichs- und Tragschichten und nur in geringem Umfang auf Deckschichten zurückzuführen. In der Tendenz sind verformungsresistente Deckschichten aus Asphaltbeton auch griffig, leider aber risempfindlich und wenig verschleissfest. Bedingt durch den im Rahmen des AASHO-Tests Ende der fünfziger Jahre definierten PSI-Wert (present servicea-

bility index) wurde eine zeitlang überwiegend die Auswirkung der Unebenheit in Längs- und Querprofil auf die Befahrbarkeit im Sinne des Fahrkomforts betrachtet. Heute steht jedoch der Einfluss der Unebenheiten auf die fahrdynamischen Vorgänge wie Fahrsicherheit und dynamische Beanspruchung von Strasse und Fahrzeug im Vordergrund. Ähnlich wie bei der Griffigkeit, so bildete auch auf dem Gebiet der Ebenheit die messtechnische Entwicklung (Winkelmessmethode) und die systematische Erfahrungssammlung des ISETH die Grundlage für die heute in der Praxis massgebenden Ebenheitsnormen SN 640 520 und SN 640 521. Eine wichtige Voraussetzung hierfür war der weitere Nachweis, dass das Ergebnis der kontinuierlichen Winkelmessung, nämlich der  $s_w$ -Wert, in zufriedenstellendem Zusammenhang sowohl mit dem Befahrbarkeitswert PSI als auch mit dem Effektivwert der Radlastschwankung und dem Effektivwert der Aufbaubeschleunigungen eines Fahrzeuges steht [9], [10].

### Akustische Eigenschaften

Das Bestreben durch möglichst «leise Deckschichten» den Strassenverkehrslärm an der Quelle zu bekämpfen ist verhältnismässig jung [11]. Das Geräusch eines vorbeifahrenden Motorfahrzeuges kommt aus unterschiedlichen Geräuschquellen und wird als Fahrgeräusch bezeichnet. Das Fahrgeräusch wird in Antriebsgeräusch und Rollgeräusch untergliedert. Das Rollgeräusch wird im wesentlichen durch das Reifen-/Fahrbahngeräusch, kurz Reifengeräusch genannt, bedingt. Bei Fahrgeschwindigkeiten oberhalb etwa 40 km/h bis 50 km/h dominiert das Rollgeräusch über das Antriebsgeräusch.

Reifengeräusche sind die Folge des dynamischen Zusammenwirkens von Fahrzeugreifen und Fahrbahn während des Abrollvorganges. Sie werden deshalb von der geometrischen Gestalt und den mechanischen Materialeigenschaften sowohl des Reifens als auch der Strassenoberfläche beeinflusst. Der Einfluss der Strassenoberfläche ist dabei mindestens ebenso bedeutend wie derjenige des Reifens. Die massgebenden Vorgänge können durch das sogenannte «Vibrationsmodell» erklärt werden. Demzufolge wird der abrollende Reifen von den in der Kontaktfläche Reifen/Fahrbahn wirkenden Kräften in radiale und tangential Schwingungen versetzt, die vom Reifen als Luftschall abgestrahlt werden. Radialschwingungen werden in erster Linie

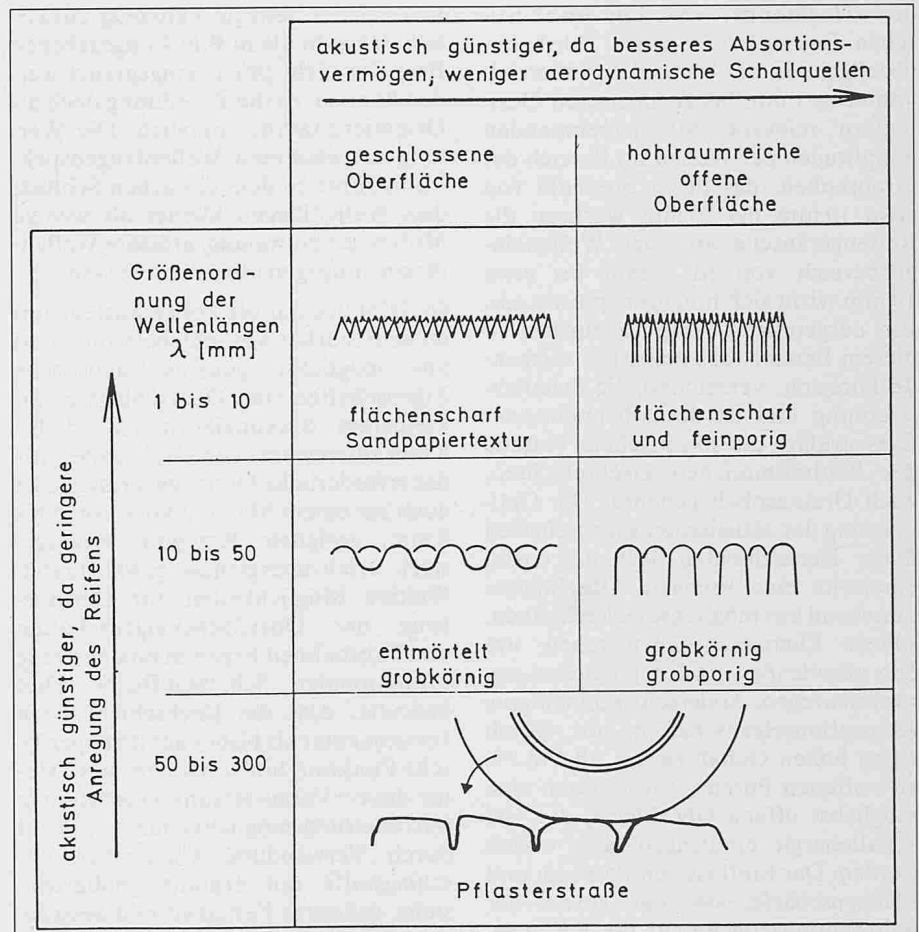
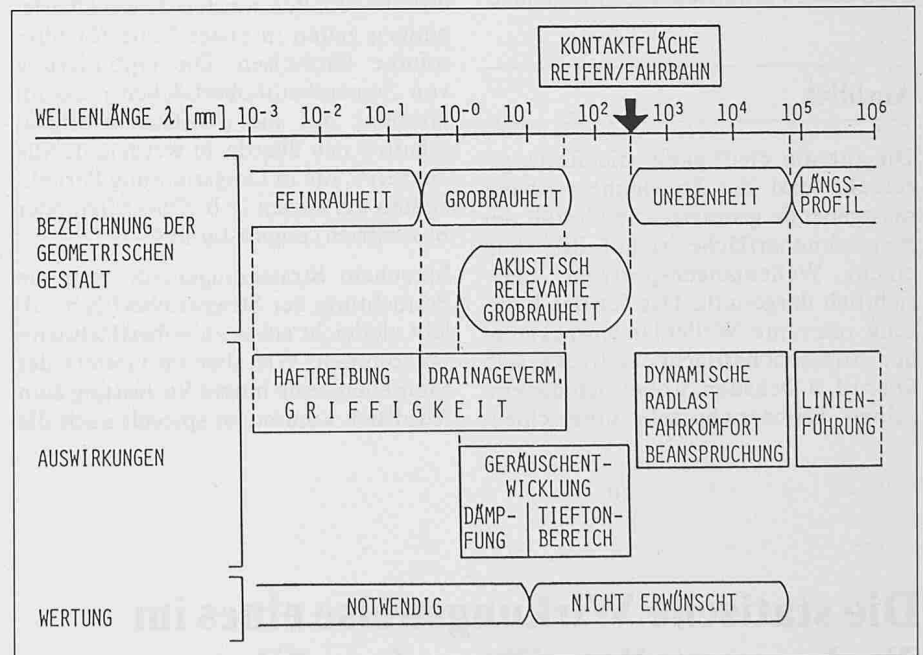


Bild 3. Schematische Darstellung von Fahrbahnoberflächen entsprechend ihrer Bedeutung für das Entstehen von Reifengeräuschen und ihres Absorptionsvermögens

Bild 4. Wellenlängenspektrum der Strassenoberfläche



durch radial wirkende Kräfte, bedingt durch die Grobrauheit der Strassenoberfläche verursacht, deren Wellenlängen im Bereich von etwa 10 mm bis zu mehreren Dezimetern liegen und die zusammen mit der Fahrgeschwindigkeit die Anregungsfrequenz ergeben.

Die so verursachten Frequenzen liegen im Bereich unterhalb 1000 Hz, also im «Tieftonbereich». Die in der Kontaktfläche tangential wirkenden Reibungskräfte regen den Reifen zu Tangentialschwingungen an und verursachen so Frequenzen oberhalb etwa 1000 Hz,

den «Hochtonbereich». Für die akustischen Eigenschaften einer Fahrbahnoberfläche ist der Wellenlängenbereich von etwa 1 mm bis zu mehreren Dezimetern relevant. Mit zunehmenden Amplituden der Wellen im Bereich der Grobheit, das heisst oberhalb von etwa 10 mm bis 20 mm wachsen die Reifengeräusche an. Der Wellenlängenbereich von rd. 1 mm bis etwa 10 mm wirkt sich hingegen günstig aus. Ein ausgeprägter Amplitudenpegel in diesem Bereich, das heisst tief reichende Porosität, vermindert die Schallabstrahlung und ist deshalb erwünscht. Dies erklärt die akustischen Vorteile der hohlraumreichen Deckschichten, auch Drainsphal genannt. Die Optimierung der akustischen Eigenschaften dieser Deckschichten liegt nun darin, einerseits eine «scharfe Oberfläche» bestehend aus möglichst vielen kleinen, spitzen Elementen, anzustreben, um den abrollenden Reifen möglichst wenig anzuregen. Andererseits können gute Absorptionseigenschaften nur durch einen hohen Gehalt (mind. 10 Vol.-%) an «offenen Poren», sowie durch eine möglichst offene Oberfläche, die viel Schallenergie eindringen lässt, erzielt werden. Der Einfluss von Porosität und Flächenschärfe, also der Textur der Fahrbahnoberfläche auf die Reifengeräusche, ist auf Bild 3 angedeutet. Alle Bemühungen, Reifengeräusche zusätzlich auch durch weich-elastische Deckschichten zu vermindern, haben bisher noch keinen praktischen Erfolg gehabt.

## Ausblick

Die für die Griffigkeit, die Reifengeräusche und die Unebenheit jeweils massgebende geometrische Gestalt der Fahrbahnoberfläche ist auf Bild 4 in einem Wellenlängenspektrum übersichtlich dargestellt. Das für das Fahrzeug relevante Wellenlängenspektrum der Strassenoberfläche erstreckt sich über rd. 9 Dekaden, wobei sich die einzelnen Teilbereiche sehr unterschied-

lich auf das bewegte Fahrzeug auswirken. Obwohl die in Bild 4 angegebenen Bereiche nicht präzise eingegrenzt werden können, ist die Zuordnung doch als Orientierungshilfe nützlich. Die Wertung des gesamten Wellenlängenspektrums führt zu dem einfachen Schluss, dass Wellenlängen kleiner als wenige Millimeter notwendig, grössere Wellenlängen hingegen unerwünscht sind.

Im Hinblick auf die Polierresistenz unter sehr starker Verkehrsbelastung und auf möglichst günstige akustische Eigenschaften sind Deckschichten mit kleinerem Maximalkorn z.B. 5 bis 8 mm interessant. Die Grobheit für das erforderliche Drainagevermögen ist auch bei einem Maximalkorn von 5 bis 8 mm, geeignete Rezeptur vorausgesetzt, erfahrungsgemäss gewährleistet. Weitere Möglichkeiten zur Optimierung der Oberflächeneigenschaften von Fahrbahnen liegen in einem streng «funktionalen Schichtaufbau». Dies bedeutet, dass die Deckschicht noch konsequenter als bisher auf ihre spezifische Funktion hin konzipiert wird. Unter dieser Voraussetzung ergeben sich Verbesserungsmöglichkeiten sowohl durch Verwendung künstlicher Zuschlagstoffe mit erhöhter Polierresistenz, grösserer Festigkeit und besserer Kornform, als auch durch Bindemittel mit günstigeren Haft- und Alterungseigenschaften. Um die höheren Kosten zu kompensieren, können derartige Schichten in aller Regel wesentlich dünner gehalten werden. Diese Überlegungen gelten in erster Linie für bituminöse Bauweisen. Die Optimierung von Zementbetonoberflächen muss im Hinblick auf die akustischen Eigenschaften neu überdacht werden, da alle Texturen, die in Längsrichtung Periodizitäten aufweisen (z.B. Querrillen oder Besenstrich) ungünstig sind.

Manchem Strasseningenieur mag die Betrachtung der Strassenoberfläche allein vielleicht etwas zu «oberflächlich» vorkommen. Wie aber im Gesicht des Menschen seine innere Verfassung zum Ausdruck kommt, so spiegelt auch die

Strassenoberfläche die innere, strukturelle Problematik wider. Die richtige Deutung der «oberflächlichen Erscheinungen» wird insbesondere für die Bewertung des Strassenzustandes im Rahmen einer ökonomischen Strassenerhaltung künftig eine besonders wichtige Rolle spielen.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. sc. techn. S. Huschek, Technische Universität Berlin.

## Literatur

- [1] E. Zipkes, Geschichtliche Entwicklung der bituminösen Strassenbeläge, Mitteilung Nr. 33 des ISETH (1976).
- [2] B. Wehner, Das Problem Strassengriffigkeit - Von den Anfängen bis zur Gegenwart; 50 Jahre Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen 1924 - 1974.
- [3] K.-H. Schulze, Untersuchungen über die Verkehrssicherheit bei Nässe. Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 189 (1975), herausg. vom BMV, Abt. Strassenbau, Bonn.
- [4] H. Grob, Erfahrungen mit den schweizerischen Strassenbaunormen bezüglich Griffigkeit, Internationales Colloquium über Strassengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe, 5. u. 6. Juni 1968 in Berlin, Colloquiumsbericht herausgegeben von B. Wehner und K.-H. Schulze (1970) als Heft 2 der Berichte des Instituts für Strassen- und Verkehrswesen der TU Berlin.
- [5] H. Grob, Conception des chaussées bétonnées compte tenu des problèmes de glissance, XIVe Congrès Mondial de l'Association Internationale Permanente des Congrès de la Route (AIPCR), Prague 1971, Rapport du Comité de la glissance.
- [6] S. Huschek, Griffigkeit und Verkehrssicherheit auf nasser Strasse, Mitteilung Nr. 31 des ISETH (1975).
- [7] R. Pelloli, Griffigkeitsmessungen mit dem Skiddometer - Weitere Ergebnisse, Mitteilung Nr. 41 des ISETH (1979).
- [8] E. Zipkes, S. Sulger Buel, Schäden durch den Gebrauch von Spikesreifen, Mitteilung Nr. 24 des ISETH (1973).
- [9] S. Huschek, Befahrbarkeitsmessungen auf Strassen nach der Winkelmessmethode - Neue Untersuchungen, Mitteilung Nr. 28 des ISETH (1974).
- [10] S. Huschek, G. Brachner, Ebenheitsmessungen auf Strassen, Mitteilung Nr. 38 des ISETH (1977).
- [11] Internationales Seminar «Reifengeräusch und Strassenbau», Mitteilung Nr. 57 des ISETH (1984).

# Die statische Wirkungsweise eines im Tagbau erstellten Tunnelgewölbes

Von Kálmán Kovári und Andreas Tisa, Zürich

Aufgrund umfangreicher Deformationsmessungen im Feld wurde ein Berechnungsmodell entwickelt, mit dem ein im Tagbau erstelltes Tunnelgewölbe aus Stahlbeton bemessen werden kann. Das Modell wird mit der Methode der Finiten Elemente berechnet und berücksichtigt den schrittweisen Aufbau des Tragwerkes im Zuge der etappenweisen Hinter- und Auffüllung als Bestandteil der Konstruktion.

## Einleitung

Der Immissionsschutz und Landschaftsschutz gewinnen mehr und mehr an Bedeutung. Es werden deshalb im Strassen- und Eisenbahnbau immer häufiger Tunnelgewölbe im Tagbau erstellt, seitlich hinterfüllt und nach den Gesichtspunkten der Landschaftsgestaltung oder der Nutzung der Gelän-