

# Schweizerische Beiträge zur technischen Entwicklung im Betonbelagsbau

Autor(en): **Wilk, Willy**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

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

Heft 25

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-76640>

## **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.

## Korrosionsschutz

Normalerweise verfügen Kurzanker über keinen eigentlichen Korrosionsschutz, es sei denn, er sei werkstoffbedingt. Der Schutz «Mörtel» kann durch die Randlage des Ankerstabes im Bohrloch, durch Verschiebungen im Gebirge oder auch durch aggressive Gebirgsässer seine Wirkung recht bald verlieren.

Laabmayr stellte vor 10 Jahren fest, das Korrosionsproblem sei keineswegs gelöst. Heute haben wir glücklicherweise die technischen Mittel mit dem Vollkunststoff-Injektionsanker, der nach derzeitigem Kenntnisstand als Daueranker gelten darf (Tabelle).

Ein besonderer Korrosionsschutz ist angezeigt, wenn:

- Die Anker ihre Funktion über die ganze Lebensdauer des Bauwerkes zu erfüllen haben
- Das Bauwerk in Zonen mit aggressiven Gebirgsässern liegt
- Spezialstähle verwendet werden.

## Empfehlungen für die Ausführung

Die Anker sind immer den jeweiligen Verhältnissen anzupassen. Empfehlun-

gen können daher nur richtungsweisend sein.

Ankermaterial:

- Stähle sollen ein ausgeprägtes Fließplateau und eine minimale Bruchdehnung von 15% aufweisen.

Vorspannung:

- Vorspannung nur in Ausnahmefällen.
- Vorspannung bei Freispielankern und bei Freispielankern mit nachträglichem Vollverbund.
- Kraftschluss bei Vollverbundanker (schlaff)

Vollverbund- bzw. Freispielanker:

- Vollverbundanker bei hohem Durchtrennungsgrad
- Freispielanker mit nachträglichem Vollverbund in Gebirgen mit weitständigen Trennflächen.

Ankerlänge (Tabelle):

- Die Länge der Kurzanker ist ausführungstechnisch begrenzt. Vollverbundanker auf Mörtelbasis sind einwandfrei nur bis etwa 3 m ausführbar. Perfoanker etwa 4 bis 5 m.
- Vollverbund-Injektionsharzanker sind auch in Längen bis zu 6 m ohne weiteres tauglich.

Ankerneigung:

Wenn immer möglich, soll der Winkel zwischen dem Ankerstab und der Trennfläche zwischen 30° und 60° betragen, damit ergeben sich die besten Scherwiderstände.

## Zusammenfassung:

Felsanker haben, wie eingangs erwähnt, eine ausserordentliche Bedeutung als Element in der Gebirgsstützung erlangt. Ihre Auswirkung im modernen Untertagebau ist bei richtiger Anwendung durchaus segensreich. Der Projektierende hat sich frühzeitig zu entscheiden, ob er den Anker provisorisch oder permanent in seine Ausfüh-

rungsidee zu integrieren gedenkt. Entsprechend ist der Ankertyp zu wählen. Allgemein wird die gebirgsverfestigende Parallelwirkung der Injektionsanker noch zu wenig berücksichtigt. Es ist der Sache wenig dienend, wenn diese Injektionsanker eines scheinbar zu grossen Harzverbrauches wegen als zu teuer verworfen werden. Injektionsanker sind zudem funktionell viel weniger anfällig auf die genaue Wahl des Bohrstänges.

Adresse des Verfassers: Leonhard R. Schmid, dipl. Bauing. ETH/SIA, in Firma Locher & Cie. AG, Zürich.

## Literatur

- [1] Felsbolzen im Tunnelbau, Mitteilung Nr. 113, EPFL.  
[2] Dr. L. Müller: Der Felsbau, Band 3.

# Schweizerische Beiträge zur technischen Entwicklung im Betonbelagsbau

Von Willy Wilk, Wildegg

Betonstrassen werden seit Beginn dieses Jahrhunderts in der Schweiz gebaut, vorerst vereinzelt mit jeweils bescheidenen Oberflächenausmassen, ab 1928/29 als grössere, durchgehende Gemeinde- und Ortsverbindungsstrassen wie: 1929 die Kantonsstrasse Brugg - Schinznach Bad. Schweizer Ingenieure trugen Bedeutendes bei zur technischen Entwicklung dieses sog. «starrten» Fahrbelagssystems, eigentliche technische Pionierleistungen in den Bereichen: Bemessung; Überdeckungen im Hocheinbau; Betonstrassen auf wenig tragfähigem, zu Setzungen neigendem Untergrund; Brückendeckbeläge in Beton, im Verbund mit der Fahrbelagplatte (statisch mittragend); Rauhbelag, eine Fahrbelagoberfläche mit offener Textur, mit hoher Sicherheit gegen Aquaplaning; Einsatz von Betonfahrbelägen im Bahnbau mit direkter Schwellenlagerung («schotterloser» Geleisebau); Frost-Tausalzbeständigkeit von Strassenbeton. Im Folgenden werden daraus drei Bereiche vorgestellt.

## Zur Bemessung auf Tragfähigkeit

Den ersten Ansatz zur analytischen Behandlung des Problems der Bestimmung der Tragfähigkeit «elastischer Platten auf elastischem, isotropem Halbraum» gab Heinrich Hertz 1884 in seiner Habilitationsschrift [1].

Nur wenigen Eingeweihten dürfte bekannt sein, dass in der Schweiz Robert Maillart zum erstenmal für einen Strassenoberbau einen Tragfähigkeitsnachweis führte [2]. Robert Maillart wurde mit entsprechenden Untersuchungen im Hinblick auf den Bau der Kantonsstrasse Brugg - Schinznach (1929) beauftragt. Daraus entstanden seine wegleitenden Richtlinien für die Bemessung

von Betonstrassen, aus denen zwei Erkenntnisse hier zitiert seien, die für die damalige Epoche geradezu revolutionären Charakter haben mussten:

- Die Beanspruchung eines Betonbelages ist neben der Verkehrslast lediglich von seiner Dicke, kaum spürbar aber von der Tragfähigkeit des Baugrundes und dem E-Modul des Betons abhängig.
- Demzufolge soll man dick genug bauen und den Betonbelag vorwiegend auf schlechtem, wenig tragfähigem Baugrund einsetzen; denn dort erweise sich seine eindeutige, klare Überlegenheit über alle anderen Belagsbauweisen.

Ing. Nörbel, als erster Direktor der Betonstrassen AG, Wildegg, hat in konsequenter Anwendung dieser prinzipiellen Erkenntnisse und mit viel Einfühlungsvermögen in zuweilen äusserst heikle Problemstellungen erstaunliche Ergebnisse erzielt. Darüber mehr im Abschnitt «Betonbeläge auf wenig tragfähigem Untergrund». Einen, im an verschiedenen Methoden reichen Ge-

biet der Bemessung von Strassenoberbauten einzigartigen Beitrag hat Dr. Adolf Voellmy, seinerzeit Abteilungsleiter an der EMPA, mit seiner «Streifenmethode» [3] geleistet.

Einfachster Typ der Differentialgleichung elastisch gebetteter Platten in Polarkoordinaten:

$$(1) \quad z^{(4)} + \frac{2}{r} \cdot z''' - \frac{1}{r^2} \cdot z'' + \frac{1}{r^3} \cdot z' = \frac{p - k \cdot z}{S}$$

$z$  = Deflektion ;  
 $r$  = Abstand vom Lastaufpunkt ;

$$S = \frac{E \cdot h^3}{12(1-\mu^2)}$$

$p$  = gleichmässig verteilte Last  
 $k$  = Reaktionsmodul des Untergrundes nach Westergaard

Die Lösung ergibt sich über nur schwer manipulierbare Zylinder- und Kugelfunktionen. Anpassungen an besondere Rand- und Lastbedingungen sind praktisch unmöglich. Voellmy suchte genügend genaue Näherungen durch Lösung für Einzellasten auf  $\infty$ -ausgedehnten Plattenstreifen, Vernachlässigung der Glieder

$$\frac{2}{r} \cdot z''' - \frac{1}{r^2} \cdot z'' + \frac{1}{r^3} \cdot z' \text{ in Gl. (1)}$$

(weil ihr Einfluss bereits in geringem Abstand vom Lastaufpunkt, nämlich für

$$r_0 > \frac{\lambda}{4}; \quad \lambda = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot S}{k}}$$

die Genauigkeit der Näherung kaum mehr beeinflusst) und kommt so zur vereinfachten Differentialgleichung

$$(2) \quad -S \cdot z^{(4)} = k \cdot z - p$$

für die Biegelinie.

Durch Einführung der Kompatibilitätsbedingungen im Lastaufpunkt vorerst (1940-60) «orthogonal» sich kreuzender, parallelberandeter (Bild 1), später keilförmiger (Bild 2) Plattenstreifen ergeben sich einfache Lösungen für:

Auflagerreaktionen  $q = S \cdot z^{(4)} =$

$$\frac{P}{\pi \cdot \lambda^2} \cdot A$$

Deflektionen  $z = \frac{q}{k}$

Querkräfte  $Q = S \cdot z''' = -$

$$-\frac{P}{\pi \cdot \lambda} \cdot D$$

Biegemomente  $M_y = -S \cdot z'' = -$

$$-\frac{P}{2\pi} \cdot C$$

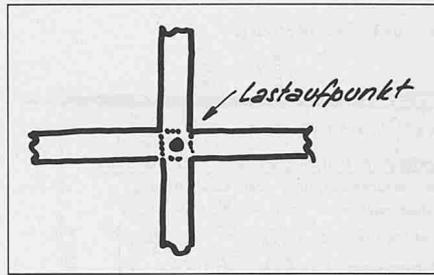


Bild 1. Parallelberandete, orthogonal sich kreuzende Plattenstreifen

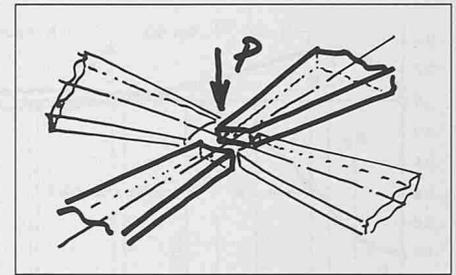
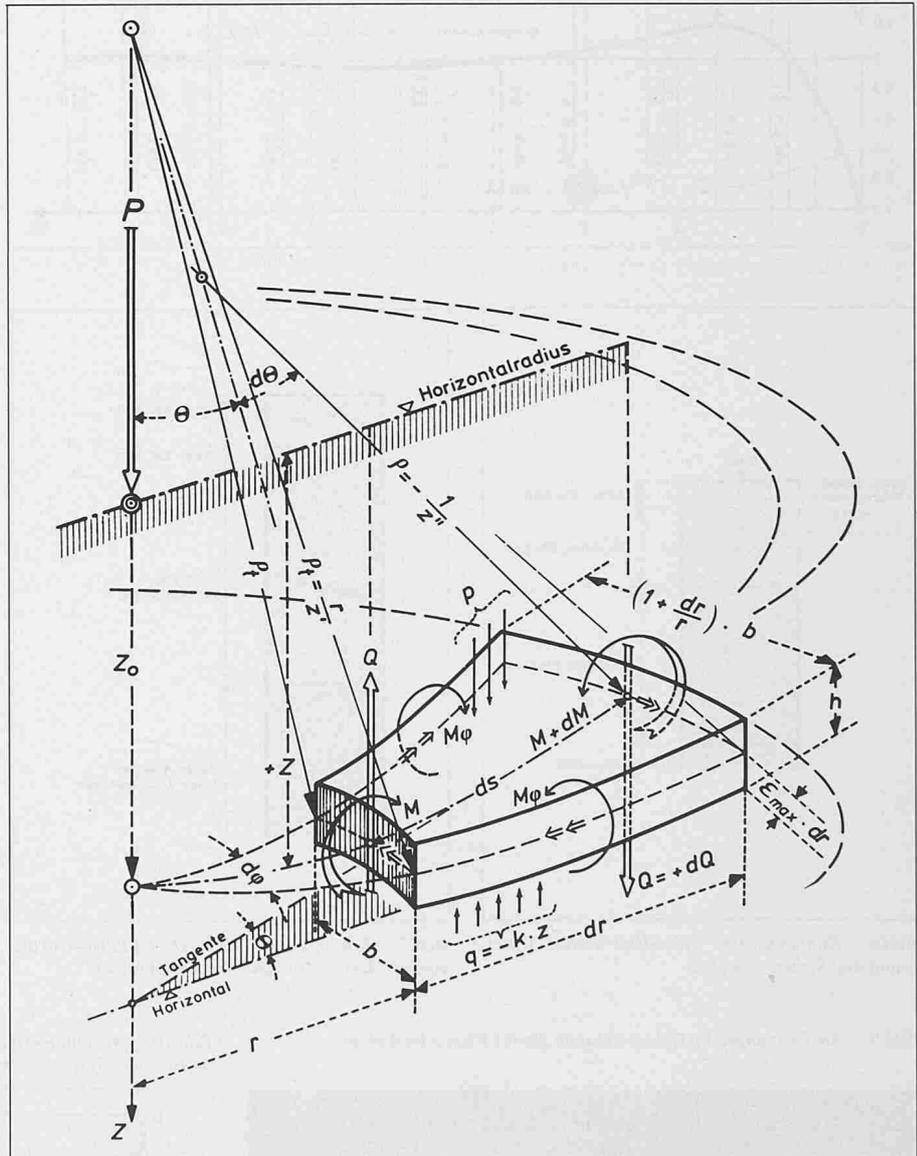


Bild 2. Keilförmige, orthogonal sich kreuzende Plattenstreifen

Bild 3. Äussere und innere Kräfte am keilförmigen Plattenstreifen (aus [3])



Die Einflusslinien der Funktionen  $A(r/\lambda)$  bis  $D(r/\lambda)$  sind tabelliert.

$$\frac{\Delta}{\sqrt{L}} \leq \kappa$$

Unter Anwendung dieser, seiner Streifenmethode hat Voellmy Pisten, Rollwege, Abstellflächen beim Ausbau der Flughäfen Zürich und Genf in den fünfziger Jahren bemessen.

### Betonbeläge auf wenig tragfähigem, kompressiblem Untergrund

Die technisch schwierigste Aufgabe, die Ingenieure im Strassenbau zu bewältigen haben, ist die Schaffung «langlebiger», leistungsfähiger, wirtschaftlicher Verkehrsebenen über Baugrund, der kaum tragfähig ist und oft auch zu lang andauernden Setzungen neigt.

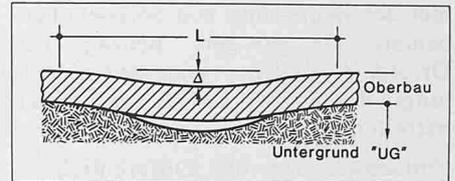
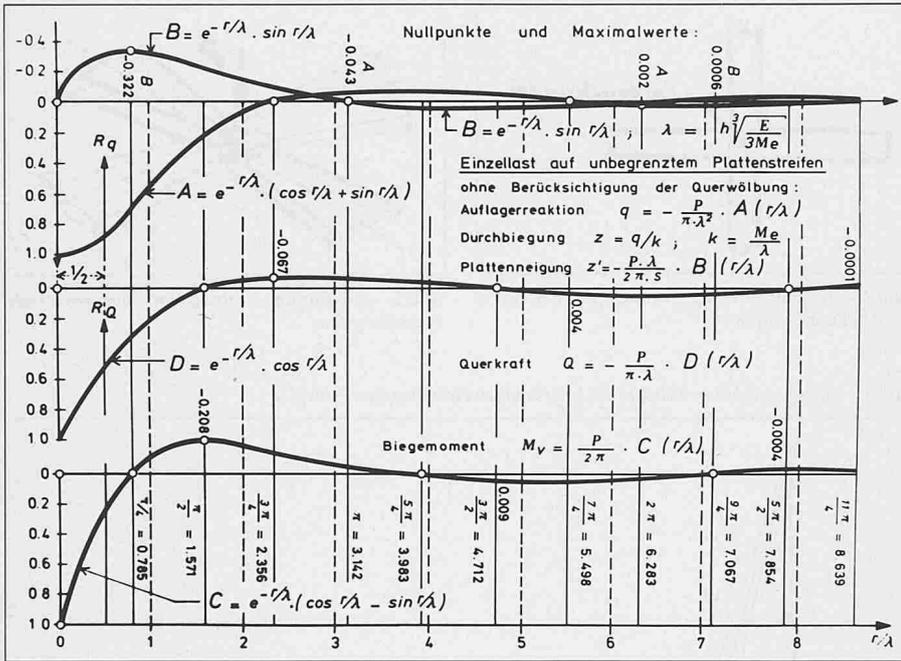


Bild 5. Dämpfung der Ondulation im Untergrund durch hohen «Reflexionswiderstand» des Oberbaues

Bild 4 (links). Einflusslinien der Funktionen A bis D als  $f(r/\lambda)$  (aus [3])

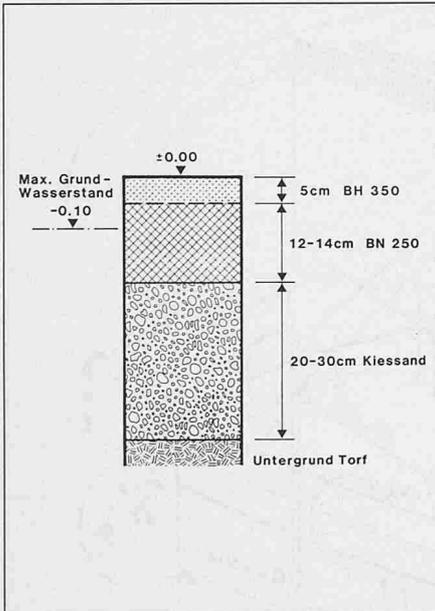


Bild 6. Kantonstrasse Höri-Riet (ZH); Untergrund und Strassenoberbau

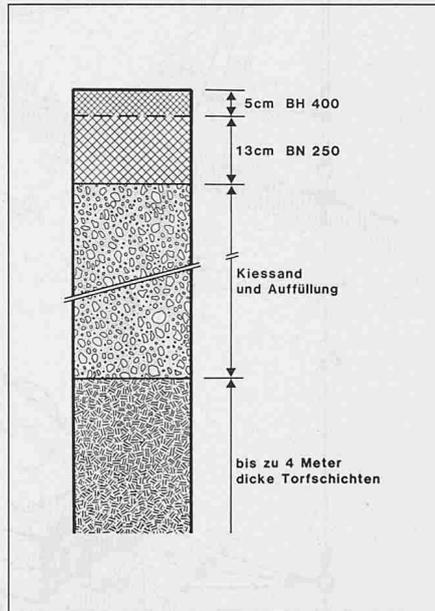


Bild 7. Kantonstrasse T20 (NE) Le Locle-Col des Roches; Untergrund und Strassenoberbau

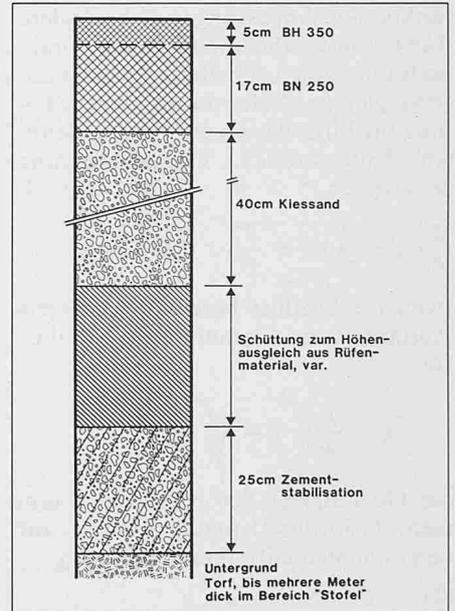


Bild 8. Autobahn N3 (SG) Flums-Heiligkreuz; Untergrund und Strassenoberbau

Bild 9. Nachsetzungen im Gebiet «Stofel» der N3 Flums-Heiligkreuz

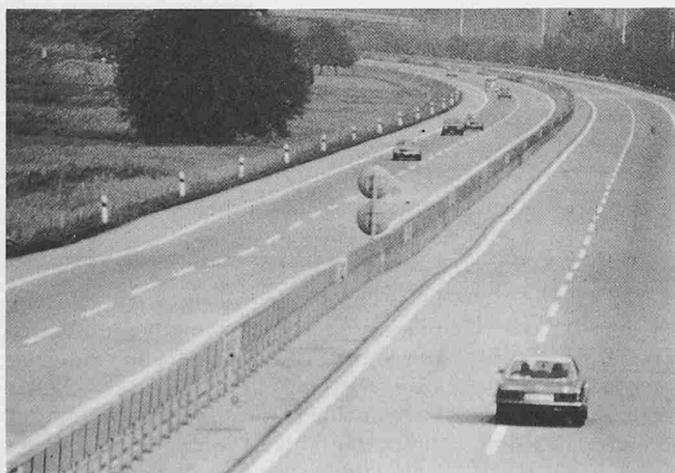
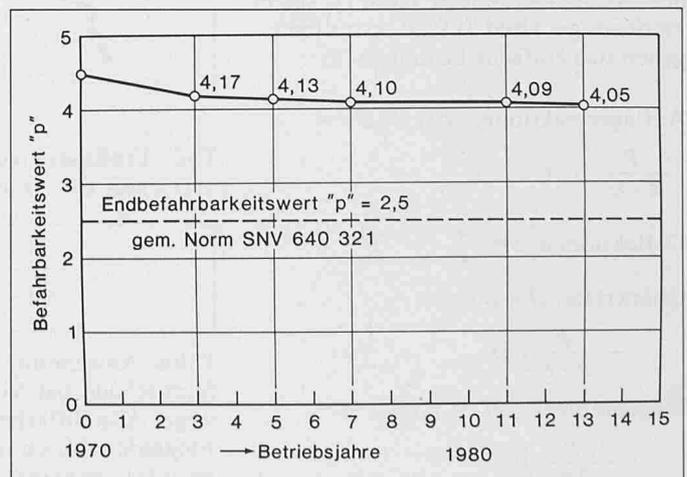


Bild 10. N3 Flums-Heiligkreuz; Entwicklung des Befahrbarkeitsindex «p» im Bereich «Stofel» mit massiven Nachsetzungen



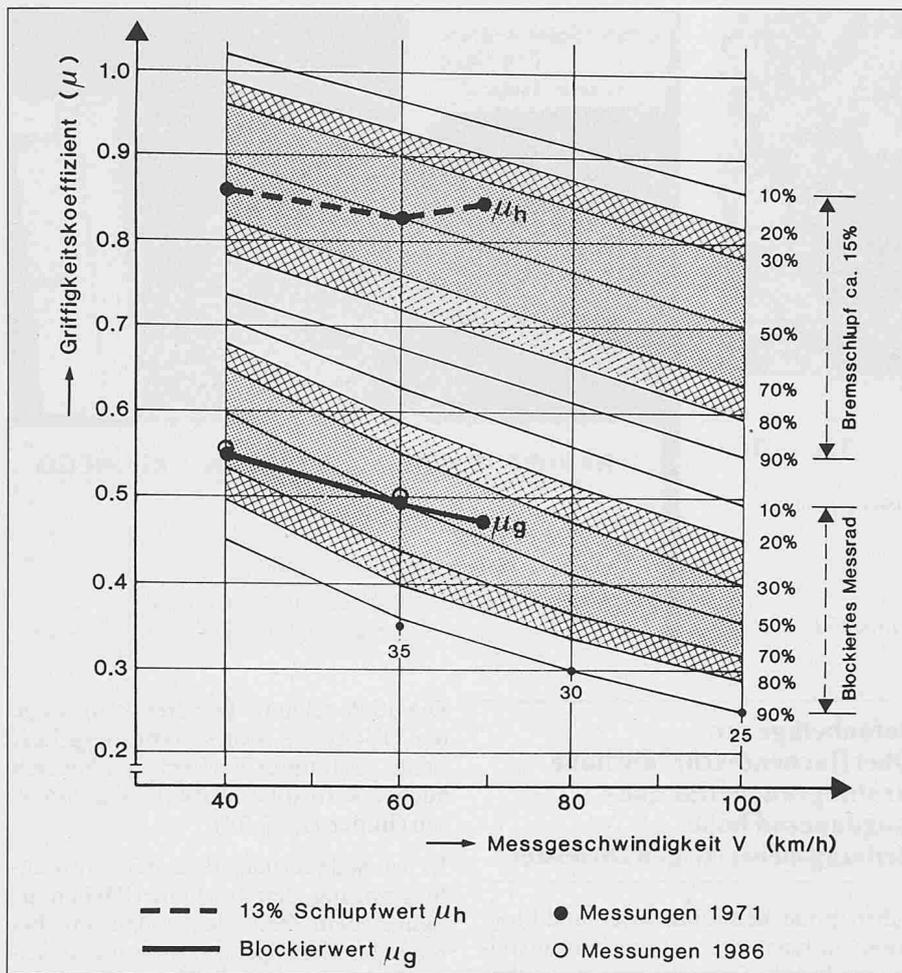


Bild 12. Raubbetonbelag auf der rechten Strassenhälfte. Linke Hälfte mit üblicher Fertigung der Belagsoberfläche

Bild 11 (links). Reibungsbeiwerte aus Skiddometer-Messungen 1971 bzw. 1986 bei blockiertem Schlepprad bzw. mit 13% Schlupf

Diese Aufgabe lässt mehrere unterschiedliche Strategien zu. Ohne auf sie alle einzutreten, sie zu diskutieren, ist unübersehbar, dass die überwiegende Mehrzahl der im Strassenbau tätigen Ingenieure die Neigung haben, in all diesen Fällen einen möglichst flexiblen, anpassungswilligen Oberbau zu wählen. Die eigentliche Bemessungsaufgabe des Ingenieurs, unter gegebenen Umständen die technisch und gesamtwirtschaftlich optimale Lösung zu entwickeln, wird damit aber auf die Ebene der «Instandhaltung» (Kompensation eingetretener nachträglicher Setzungen durch mehr oder weniger periodisches Aufschriften) verschoben.

Die für oben formulierte Ingenieuraufgabe entscheidenden Fragen sind:

- Wird die Bemessungsaufgabe im gesamtwirtschaftlichen Sinne (Investitions- und Instandhaltungskosten) verstanden?
- Werden Abweichungen der Fahrbahnnivellette von der projektgegebenen im Verlaufe der Gebrauchsdauer zugelassen?
- Welche Kriterien bestimmen die allfällig zugelassenen Abweichungsgrenzen?
- Lässt sich durch die Wahl der Werkstoffe und der konstruktiven Durchbildung des Oberbaues (→ Biegesteifigkeit → Verformungswiderstand) die Reflexion der Ondulationen im

Untergrund an die Fahrbahnebene beeinflussen?

Wenn das letztere der Fall ist – und davon war Robert Maillart bereits zu Beginn des Betonstrassenbaues in der Schweiz überzeugt, darauf wurde weiter vorne bereits hingewiesen –, dann steht der planende Ingenieur vor einer «erweiterten» Bemessungsaufgabe, die nicht mehr nur durch Nachweis der Tragfähigkeit, bezogen auf ein bestimmtes Nutzungsziel (Nutzungsdauer und Gesamtzahl normierter Achslastübergänge), zu bewältigen ist: In die Überlegungen sind vielmehr funktionale, operationelle Kriterien für den Verkehrsablauf einzubringen, nämlich:

- Es ist der nicht zu unterschreitende Grenzwert der Befahrbarkeit zu definieren.
- Es ist die höchstzulässige Beschleunigung vorzugeben, die auf den Verkehrsteilnehmer beim Befahren einer Verkehrsebene einwirkt, deren Trasse regional ausgedehnte Setzungen erleidet.
- Die operationelle Sicherheit darf nirgends durch «stehende» Wasserlachen (durch Setzungen entstanden) auf der Verkehrsebene beeinträchtigt werden.

Unter Berücksichtigung dieser Kriterien lässt sich die erweiterte Bemessungsaufgabe so formulieren:

1. Bemessung auf Tragfähigkeit

2. Erfüllen der operationellen Bedingung durch Einführung eines Befahrbarkeits-Kriteriums z.B. in der Form:

$$\frac{\Delta}{\sqrt{L}} \leq \kappa$$

$\kappa$  = Ausdruck für Interaktion Fahrzeug/Fahrbahnebene

$\Delta$  = grösste Pfeilhöhe der Setzungmulde der Fahrbahnoberfläche

$L$  = Wellenlänge dieser Setzungmulde

Die Ingenieuraufgabe besteht demnach darin:

$$\Delta \rightarrow \text{Minimum}$$

(vgl. Bild 5)

«Je biegesteifer ( $E \cdot J \gg$ ) der Oberbau, desto höher der Verformungswiderstand, desto geringer die Reflexion der Bodensetzung an die Fahrbahnebene! Ein möglichst biegesteifer Oberbau dämpft die Wellenbildung setzungsanfälliger Böden» [4].

Die Schweiz hat international gesehen wohl die reichste Erfahrung auf dem Gebiet [5], und jedes der zahlreichen Strassenobjekte, vor mehreren Jahrzehnten bereits, wurde unter massgeblicher Führung der Betonstrassen AG,

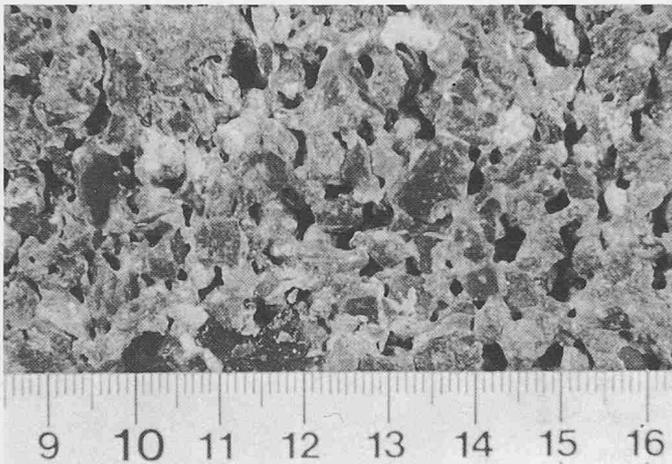


Bild 13. Raubbetonbelag, Nahaufnahme mit typischer Oberflächentextur



Bild 14 (rechts). Aufbau und charakteristische Rauheitswerte des 3 cm dicken Raubbetonbelages

Wildeg, geplant und realisiert. Drei der eindrucklichsten Objekte:

- Kantonsstrasse Höri-Riet, quer durch das «Neeracher Riet» (35 Jahre alt, mit einer einzigen bisherigen Unterhaltsaktion am heute noch bestehenden Abschnitt), Bild 6.
- Kantonsstrasse T20 Le Locle-Col des Roches/NE durchquert ein Hochmoor (40 Jahre alt ohne Unterhaltsaktionen. Soll 1987 wieder mit einem «starrten» Oberbau erneuert werden!), Bild 7.
- N3 Flums-Heiligkreuz/SG durchquert die Seez-Ebene, z.T. UG-Partien, in denen acht Meter tiefe Torfschichten liegen. Ohne jeglichen Unterhaltsaufwand bis dato. 1970 dem Verkehr übergeben, Bild 8.

Zusammengefasst:

Die Ingenieuraufgabe enthält drei Schritte:

1. Bemessung auf Tragfähigkeit des Strassenoberbaues (mit Hilfe üblicher Methoden)
2. Überlegungen/Planung erdbautechnischer Massnahmen zur «Vorwegnahme»/Kompensation der Primärsetzungen des Untergrundes unter Auflast
3. Wahl der Biegesteifigkeit [E · J] des Strassenoberbaues so, dass

$\Delta \rightarrow$  Minimum

Baustoffe mit möglichst hohen Elastizitätsmoduli [ $\Delta E$ ], Wahl der Schichtdicken [ $\Delta J$ ].

(Hinweis: Für quantitative Überlegung ist nicht mit dem Elastizitätsmodul E zu rechnen, sondern mit dem Kriechmodul E\* der Baustoffe, weil es auf die langsamen Verformungsgeschwindigkeiten, induziert durch Sekundärsetzungen, ankommt!

$$E^* \sim \frac{E}{3}$$

### Betonbeläge mit Oberflächentextur, die hohe Drainagekapazität und langdauernd hohe Reibungsbeiwerte gewährleistet

Fahrbahndecken für Strassen und Flugpisten müssen operationell ein ausreichend hohes Sicherheitsniveau über ihre Gebrauchsdauer aufweisen. Dazu gehört die Forderung, dass bei nasser Fahrbahn ihre Oberfläche «griffig» genug ist und ausreichend hohes Drainagevermögen aufweist. Die Erfüllung dieser Forderungen hängt von der Ausbildung der Oberflächentextur ab. In Betonbelagsoberflächen lassen sich eine Vielzahl von Texturen einprägen, entweder bereits im Frischbeton, aber auch später in ausgehärtete Decken. Eine unter vielen anderen technologischen Massnahmen besteht in der Oberflächenausbildung so, dass sie ein hohes «Schluckvermögen» für die zwischen Reifen und Belag eingeschlossene Wasserschicht zur Verfügung stellt. Solche Beläge sind in jüngster Zeit im bituminösen Belagsbau als «Drainbeläge» entwickelt worden und werden zurzeit auch wegen ihrer günstigen Auswirkungen auf die Rollgeräusentwicklung viel diskutiert. Bereits vor 30 Jahren (!), 1956, entwickelte und realisierte die Betonstrassen AG, Wildeg, einen Betonbelag mit offener Textur («no fines concrete») [6] und erreichte damit einen günstigen Verlauf des Reibungsbeiwertes bei zunehmender Messgeschwindigkeit. Frappant ist die Langzeiterhaltung des Griffigkeitsniveaus und dessen geschwindigkeitsabhängiger Charakteristik des Verlaufs (Bild 11, vgl. Messwerte 1971 bzw. 1986).

Die 1956 gebaute Teststrecke im Zuge der OV-Strasse Möriken-Brunegg liegt heute noch unter Verkehr und hat sich auch als frost-tausalzbeständig erwiesen (Bilder 12, 13, 14).

Es ist bedauerlich, dass der Entwicklungssprung, den diese Oberflächenfertigung dem Betondeckenbau im Bereich der Griffigkeit vermittelte, in seiner operationellen Bedeutung von der Strassenbau-Fachwelt nicht erkannt wurde. Damit blieb der «no fines concrete» im Betondeckenbau auch auf dem damaligen verfahrenstechnischen Standard stehen.

Adresse des Verfassers: Tit.Prof. W. Wilk, dipl. Ing. ETH/SIA, Direktor der Technischen Forschungs- und Beratungsstelle der Schweiz. Zementindustrie sowie der Betonstrassen AG, Lindenstrasse 10, 5103 Wildeg.

#### Literatur

- [1] Hertz, Heinrich: Über das Gleichgewicht schwimmender elastischer Platten. Wiedemanns Annalen der Physik und Chemie, 1884.
- [2] Voellmy, Adolf: Die Maillart'schen Überlegungen zur Bemessung der Betonstrasse Brugg-Schinz nach Bad im Lichte der Streifenmethode. Festschrift «50 Jahre Betonstrassen AG 1929-1979», Betonstrassen AG, Wildeg.
- [3] Voellmy, Adolf und Wilk, Willy: Streifenmethode für Belagsberechnungen. Technische Forschungs- und Beratungsstelle der Schweiz. Zementindustrie, Wildeg, 1978.
- [4] Yang, Nai C.: Design of Functional Pavements. Mc Graw-Hill, New York, 1972.
- [5] Wilk, Willy: Cement Concrete Pavements on soft soils, sensitive to differential settlements. Proceedings of the 2nd Int. Conf. on Concrete Pavement Design, 1981, Purdue University, USA.
- [6] Wilk, Willy: Betonbeläge mit Oberflächen hohen Drainagevermögens, ausgeprägter Textur, hohen Reibungsbeiwerten. Mitteilung Nr. 116 der Betonstrassen AG, Wildeg, 1978.