

# Einfluß der Zusammensetzung und der Oberflächentextur von Straßenbeton auf die Griffigkeit

Von Kurt Walz, Düsseldorf

## Übersicht

*Anhand der bislang an verschiedenen Stellen durchgeführten Untersuchungen kann man noch nicht entscheiden, ob und welche Bedeutung die Zusammensetzung des Betons und die Oberflächentextur von Betonfahrbahnen auf deren Griffigkeit zu Beginn und nach längerer Verkehrsbeanspruchung haben. Als Beitrag zu diesen Fragen wurden Zylinder von 22,5 cm Durchmesser aus vorschrittmäßigem Beton mit unterschiedlicher Zuschlagzusammensetzung und Oberflächentextur hergestellt und im Laboratorium in einer Poliermaschine mit umlaufenden Gummirollen beansprucht. Die Griffigkeit wurde durch Messung des Gleitbeiwertes mit einem Laboratoriumsgerät beurteilt.*

*Da die abschleifende Wirkung der Poliermaschine gering war, beschränken sich die Untersuchungen auf den Einfluß der Beschaffenheit des Mörtels an der Oberfläche und den seiner Textur. Ein Anrauen von Betonoberflächen ohne ausgeprägte Textur mit Salzsäure bewirkte einen erheblichen Anstieg des Gleitbeiwertes, der allerdings durch die Rollbeanspruchung der Poliermaschine wieder etwas abnahm. Den günstigsten Gleitbeiwert lieferte eine tiefe Feinriefelung mit einer Öffnungsweite von rd. 2,5 mm.*

*Aus dem Schrifttum und den eigenen Feststellungen kann man ableiten, daß es neben einer an sich hochwertigen Betonzusammensetzung insbesondere nötig ist, als feine Korngruppe einen stetig aufgebauten, scharfen Quarzsand, z. B. 0/3 mm, zu verwenden und den Wasserzementwert möglichst niedrig zu halten. Eine Feinriefelung läßt unter diesen Voraussetzungen die günstigste Griffigkeit – auch nach längerer Verkehrsbeanspruchung – erwarten.*

## 1. Allgemeines

Die Sicherheit des Verkehrs auf Straßen sowie auf Start- und Landebahnen hängt in erheblichem Maße von der Griffigkeit der Decke ab. Denn unter sonst gleichen Verhältnissen wird die Größe der maximal vom Reifen auf die Straße ohne gefährliches

---

<sup>1)</sup> Erweiterte Fassung eines Vortrags auf der Tagung der Arbeitsgruppe Betonstraßen der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen am 1. und 2. Juni 1967 in Münster/Westf.

Gleiten abstützbaren dynamischen Fahrzeugkräfte weitgehend vom Grad der Griffigkeit beeinflusst (Kraftschlußvermögen, Gleitwiderstand).

Einflußgrößen für den Grad der Griffigkeit sind allgemein die stoffliche Beschaffenheit und die geometrische Gestalt der Fahrbahn. Bei allen Beurteilungen der Griffigkeit von Fahrbahnen wird von der nassen Oberfläche ausgegangen, weil der Wasserfilm die Griffigkeit mit zunehmender Fahrzeuggeschwindigkeit mehr oder weniger ungünstig beeinflusst. Trockene Fahrbahnflächen bieten im allgemeinen eine hohe und nur wenig von der Geschwindigkeit abhängige Griffigkeit [1].

Griffigkeitsmessungen werden als Reibungsmessungen (Kraftschlußmessungen) unter definierten Versuchsbedingungen mit verschiedenartigen Meßverfahren im In- und Ausland durchgeführt, siehe u. a. [2]. Als ein Kennwert für die Griffigkeit wird der sog. Gleitbeiwert erhalten. Für Messungen auf der Strecke kommen z. B. das an ein Fahrzeug angehängte Schlepprad [2] oder als Handgerät der weniger aufwendige Pendel-Reibungsmesser (Pendel mit Gummikufe) in Frage. Dieser ist auch für das Laboratorium geeignet; er liefert für den unteren Bereich der Geschwindigkeit brauchbare Vergleichswerte [2]. Für Laboratoriumsversuche finden sich dann weiter kleine Rundlaufgeräte mit umlaufenden, auf die Probestfläche drückenden Gummikufen. Der Gleitbeiwert wird hier über das dabei auftretende Drehmoment ermittelt, siehe z. B. [3] sowie unter 2.2. Mit solchen Messungen festgestellte Gleitbeiwerte für verschiedene Oberflächen reichen – um eine Größenordnung zu nennen – von etwa 0,3 im unteren bis etwa 0,6 im oberen günstigen Bereich, abhängig von vielerlei Einflußgrößen, insbesondere aber von der Geschwindigkeit. Zur Beurteilung der Griffigkeit wird bei einem anderen Laboratoriumsgerät die Betonprobe durch ein sich drehendes, abschleifendes Fahrzeugrad beansprucht; gemessen wird die Leistungsaufnahme des Rades, die je nach Griffigkeit verschieden groß ist [4]. Bei einer anderen Prüfvorrichtung wird ein Betonzylinder von 20 cm Durchmesser gedreht und eine Gummikufe gegen ihn gedrückt. Das Drehmoment, das über die Kufe erhalten wird, dient zur Kennzeichnung der Griffigkeit [5].

Wiederholt befaßten sich Untersuchungen mit der Beziehung zwischen dem Gleitbeiwert und der Oberflächentextur sowie der stofflichen Beschaffenheit der Oberfläche, da von beiden die Griffigkeit der Decke abhängt. Dabei ist zu beachten, daß sich die geometrische Gestalt und die stoffliche Beschaffenheit der Oberfläche gegenüber dem Ausgangszustand im Laufe der Zeit durch die abtragende Wirkung des Verkehrs und der Witterung ändern. Es wird also zu berücksichtigen sein, ob eine anfänglich günstige Textur oder Rauhfuge, z. B. durch Rillung oder Noppung, über lange Zeit erhalten bleibt oder ob und wie sie durch die Beanspruchungen abgetragen wird. Ihre Dauerhaftigkeit hängt zunächst von der Festigkeit, der Wetterbeständigkeit und dem Abnutzungswiderstand des Mörtels ab, denn von diesem wird zunächst die Profilierung (Textur) gebildet. Der Mörtel soll daher einen niederen Wasserzementwert aufweisen, darf also nicht aus einer wasserreichen Oberflächenschlämme bestehen. Ferner soll

der Mörtel einen angemessenen Gehalt an Luftporen besitzen, die ihn gegen die Frost-Tausalz-Einwirkung schützen; er soll weiter mit Sand gemagert sein, der einen hohen mechanischen Abschleifwiderstand liefert, also z. B. Quarzsand ohne Mehlkorn. Wurde natürlicher Quarzsand 0/3 mm, wie er in Deutschland die Regel ist (gewaschener Fluß- oder Grubensand), durch Brechsand 0/3 mm aus sehr festem Kalkstein in sonst gleichem Straßenbeton (0/30 mm) ersetzt, so nahm der Abnutzverlust des Betons, ermittelt durch Abschleifen nach DIN 52108, sehr stark zu [6].

Auf Fahrbahnen aus Beton mit Abschlußmörteln, die optimale Eigenschaften besitzen, wird eine anfänglich aufgeprägte, günstige Textur über lange Zeit erhalten bleiben und für die Griffigkeit der Oberfläche bestimmend sein. Bei der Textur spielen die Öffnungsweite und die Schärfe der Konturen eine Rolle. Abweichungen im Mörtel an der Oberfläche von der optimalen stofflichen Beschaffenheit können, wie auch besondere Beanspruchungen (Spikes), zu einer mehr oder weniger starken Abtragung des Abschlußmörtels und seiner Textur führen. Die allgemeine Brauchbarkeit einer Betonfahrbahn wird dadurch nicht vermindert, jedoch verändert sich die auf der ursprünglichen Textur beruhende Griffigkeit. Nunmehr werden sich nicht nur das Gefüge des Mörtels selbst, sondern auch das des Betons als Ganzes sowie die Beschaffenheit der anstehenden gröberen Zuschlagkörner auf die Griffigkeit auswirken.

Welche Oberflächentextur und welche Griffigkeit sich dabei herausbilden, hängt von der Haftung der gröberen Körner ab sowie davon, welchen Abnutzungswiderstand der Mörtel und die gröberen Körner aufweisen und mit welchem Anteil sie in der Fahrbahnfläche anstehen. Schließlich können dann Gestalt und Oberflächenbeschaffenheit des Zuschlagkorns (Kantigkeit, Rauigkeit) und die Polierbarkeit der Körner Einfluß gewinnen.

Wäre z. B. die Abnutzung der gröberen Gesteinskörner etwa ebenso groß wie die des einbettenden Mörtels, so würde eine Oberfläche mit einer weniger groben Textur entstehen als wenn sich der Mörtel stärker abträgt. Im letzteren Falle wäre eine rauhere Oberfläche mit noppenartig herausstehenden Gesteinskörnern die Folge, die einerseits die Verdrängung des Wasserfilms unter dem Fahrzeugreifen begünstigt, andererseits aber eine kleinere Reifenaufstandsfläche mit einem verstärkten Polieren der Gesteinskörner bietet. Dabei wird es aber nur eine Frage der Zeit sein, bis auch bruchraue Körner aus sehr harten Gesteinen glatt werden. (Auch hartes Fensterglas ist polierbar.)

Günstiger wären deshalb gedrungene, vielkantige Körner und, vom Gefüge her gesehen, solche, die entweder aus mehreren unterschiedlich harten, z. B. grobkristallinen, Mineralien gebildet werden oder die porig sind, ferner Konglomerate (wie Sandstein). Dadurch würde auch bei Einwirkung des Verkehrs eine griffige Oberfläche des Gesteinskorns erhalten bleiben. Die für Straßenbeton geeigneten Zuschlaggesteine erfüllen diese Voraussetzungen kaum, da mit ihnen in anderer Hinsicht nachteilige Eigenschaften verbunden wären (z. B. mäßige Druckfestigkeit, mäßige Frostbeständigkeit und geringer Abnutzswiderstand). Es mag sein, daß

freigelegte Körner aus Gestein, das rascher zum Glattwerden neigt, etwas früher zu einem Absinken des Gleitbeiwertes führen als solche aus einem unter dem Verkehr weniger rasch polierbaren Gestein.

Meist wurde der Einfluß der Polierbarkeit von Gesteinen im Laboratorium geprüft [3, 4, 5], zum Teil auch im Vergleich zu Messungen auf der Straße, wie bei belgischen Versuchen [7, 8]. Hierbei wurde ein etwa gleicher Straßenbeton mit einem Zementgehalt von  $360 \text{ kg/m}^3$  und einem Wasserzementwert von rd. 0,36 aus 6 verschiedenen Gesteinssplitten, 3 Fluß- sowie 3 gebrochenen Sanden 0/2 mm in 30 Kombinationen mit je 2 Zementen im Laboratorium und in 60 Streckenabschnitten (60 m) untersucht.

Um der Versuchsabsicht, den Einfluß der Polierbarkeit zu bestimmen, entgegenzukommen, wurde der Abschlußmörtel nach der Herstellung mit einem Metallbesen abgestreift, so daß die größeren Körner unter dem Verkehr bald in der Oberfläche erschienen. Der anfänglich festgestellte Gleitbeiwert nahm im Lauf von 4 Jahren stark ab, wobei größere, den verschiedenen Zuschlagkombinationen eigene Unterschiede erhalten blieben und im wesentlichen einen Zusammenhang mit einem im Laboratorium durch beschleunigtes Polieren gewonnenen Koeffizienten erkennen ließen. Der in der mosaikartigen Betonfläche anstehende dolomitisches Kalkstein verhielt sich immer etwas ungünstiger als die anderen Gesteine. Dabei ist allerdings auch zu beachten, daß der Anteil bis 2 mm in Kalksteinsplitt zum Teil wesentlich größer war als bei den anderen Gesteinen und daß der Kalksteinbrechsand, der sich ebenfalls ungünstig auf den Gleitbeiwert des Betons auswirkte, einen ungewöhnlich hohen Staubgehalt aufwies. (Er war, wie im Bericht vermerkt, nicht vorschriftsmäßig.) Da auch die Zugabe des feinkörnigen Kalksteinbrechsandes an Stelle der anderen Sande den Gleitbeiwert verminderte und da der Kalksteinbrechsand selbst kaum einer Polierwirkung unterliegen dürfte, könnten auch noch andere Umstände an dem ungünstigeren Einfluß des Kalksteins auf den Gleitbeiwert beteiligt sein. Am günstigsten verhielt sich gebrochener Kies, dann folgten Sandstein, Porphy, Hochofenschlacke und schließlich Kalkstein.

Auf anderen,  $8\frac{1}{2}$  bis  $11\frac{1}{2}$  Jahre alten Straßen, in deren frische Oberfläche Porphyrsplitt 5/20 mm eingearbeitet worden war, wurden hohe Gleitbeiwerte festgestellt. Noch etwas günstiger erwies sich — bei allerdings nur 2 Jahre alten Decken — eine mittels Metallbesen erzeugte tiefe Riefelung; demgegenüber waren die offenen Texturen durch die mosaikartig hervortretenden Gesteinskörner der Versuchsstrecke nicht günstiger. Allgemein lieferte das Abstreichen der Oberfläche mit dem üblichen, weichen Besen deutlich geringere Gleitbeiwerte. Bei der Messung nach 5 Jahren [9] wurde im Vergleich mit den anderen Texturen für eine tiefe Riefelung mit dem Metallbesen der höchste Querreibungsbeiwert bei 50 km/h und höheren Geschwindigkeiten erhalten.

Im Zusammenhang damit sei erwähnt, daß bei mehrfach durchgeführten Vergleichsversuchen mit verschiedenen Oberflächenbearbeitungen (Arten von Besenstrichen) ebenfalls mit härter werdenden Borsten des Besens oder gar mit dem Metallbesen immer die

höheren Gleitbeiwerte erhalten wurden; günstig erwies sich auch ein Einfräsen feiner Rillen in den erhärteten Beton.

Andererseits wird, wie zum Teil in den USA, offenbar der mechanisch erzeugten Oberflächentextur wiederum keine erstrangige Bedeutung beigemessen, denn zur Verbesserung des Gleitwiderstandes wird lediglich die Verwendung sandreicherer Mischungen als in früheren Jahren und eine dickere Mörtelabschlußschicht empfohlen [10], oder es wird festgestellt, daß der Gleitwiderstand von Betondecken in erster Linie von den Eigenschaften des „feinen Zuschlags“ im Mörtel der Oberflächenschicht beeinflußt wird. Die feinen Zuschläge sollen hiernach mehr als 25 % Kieselsäure (Quarz) enthalten [11, 12]. Eine „ausgezeichnete“ Textur soll dann bereits durch Besenstrich, Abziehen mit Sackleinwand oder einem Gurtband erhalten werden. Sand über 0,3 mm Korngröße ergab größeren Gleitwiderstand als feinerer, jedoch lieferte auch kornabgestufter Sand „hervorragende Werte“ [12]. (Daß in den USA nach diesen Angaben einer Grobtextur, wie z. B. durch Rillung, weniger Beachtung geschenkt wird, mag auch damit zusammenhängen, daß der Beton dort verhältnismäßig weich hergestellt wird und daher eine Profilierung der frischen Oberfläche weniger möglich ist als bei dem in Deutschland üblichen, steiferen Straßenbeton.)

Es fehlte auch nicht an Versuchen, den Einfluß des geometrischen Feinprofils der Oberfläche zahlenmäßig zu erfassen [13, 14]. Für kennzeichnende Größen, die hiernach erhalten werden, könnte man – in einem weiteren Schritt – die Beziehung zum Gleitbeiwert untersuchen und ggf. eine Vorstellung bekommen, welche Oberflächentextur für bestimmte Geschwindigkeitsbereiche anzustreben ist und welcher Einfluß zusätzlich dem stofflichen Aufbau der oberflächennahen Zone der Decke zukommt. Die auf anderen Gebieten der Materialprüfung zur Kennzeichnung der Oberflächengeometrie geschaffenen Normgrundlagen sollten dabei beachtet werden [15], ebenso Vorschläge zur Erfassung der Rauigkeit von Gesteinsoberflächen [16].

## **2. Laboratoriumsuntersuchungen mit Straßenbeton nach den Richtlinien [17]**

### **2.1 Vorgang**

Befäßt man sich mit den vielartigen Feststellungen zur Frage des Einflusses der stofflichen Beschaffenheit der Oberflächenschicht der Betondecke und des Einflusses ihrer Textur auf die Griffbarkeit, so erscheint eine Entscheidung, welcher der beiden Komponenten nach längerer Verkehrsbeanspruchung die größere Bedeutung zukommt, noch nicht so sicher möglich zu sein, daß schon Empfehlungen abgeleitet werden können, die für alle Verhältnisse gelten und die in der Praxis einfach anzuwenden und zu beherrschen sind. Dazu müssen vor allem die Grenzen der Möglichkeiten für eine Beeinflussung der Griffbarkeit beachtet werden, welche durch die für andere Eigenschaften der Betondecke notwendige Betonzusammensetzung oder Arbeitstechnik [17] gezogen sind.

Von verschiedenen Seiten wurde daher angeregt, im Laboratorium durch Versuche mit definierten Betongemischen aus verschiede-

nen Zuschlagstoffen und mit besonderen Oberflächentexturen weiteren Aufschluß zu gewinnen. Hierzu boten sich die Laboratoriums-Prüfgeräte des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen der Technischen Universität Berlin (Prof. Dr.-Ing. Wehner) an.

Die Untersuchungen wurden 1964 vom Forschungsinstitut der Zementindustrie zusammen mit dem Institut für Straßen- und Verkehrswesen der Technischen Universität Berlin aufgenommen. Mit einer Versuchsserie I wurde dem Einfluß der stofflichen Beschaffenheit und mit einer Versuchsserie II dem Einfluß der Oberflächentextur nachgegangen.

## **2.2 Proben und Prüfung**

Die Proben, je drei oder zwei gleiche Zylinder von 22,5 cm Durchmesser und 20 cm Höhe, wurden in Düsseldorf hergestellt und in Berlin geprüft. Die obere Querschnittsfläche des Zylinders wurde dabei in einem kleinen Rundlauf, der sog. Poliermaschine, einer abschleifenden Beanspruchung unterworfen. Über diese Fläche gleiten dabei in einem Kreisring vier von einer gemeinsamen Achse angetriebene, 7 cm breite Gummirollen unter Zufuhr von Wasser und ggf. feinem Quarzsand (z. B. Körnung 0,06 mm oder 0,3/0,4 mm). Die so gebildete Kreisbahn liegt mit ihrer Mittellinie in 7 cm Abstand von der Drehachse und ist rd. 7 cm breit. Der Gleitbeiwert der beanspruchten Bahnfläche wird dann in einem entsprechenden kleinen Rundlauf über drei 1,5 cm breite Gummikufen vor der Beanspruchung im Poliergerät und nach einer beliebig großen Anzahl von Übergängen (Umdrehungen) ermittelt [2,3].

Diese Gleitbeiwerte entsprechen mit einer Unsicherheit von  $\pm 0,03$  etwa den Gleitbeiwerten am blockierten Schlepprad bei  $V = 60$  km/h.

## **2.3 Einfluß der Betonzusammensetzung (Versuchsserie I)**

### *2.3.1 Beton*

Die Kennwerte für die 6 untersuchten Betonzusammensetzungen (Herstellung Juni 1964) finden sich in Tafel 1. In Tafel 2 sind u. a. der Luftgehalt, die Konsistenz und die Würfeldruckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen wiedergegeben.

Der Wassergehalt des Betons ist so gewählt worden, daß die verschiedenen Mischungen etwa gleiche Konsistenz aufwiesen. Es handelte sich um steifen, beim Schütten schollig zusammenhängenden Straßenbeton, der sich durch Rütteln zuverlässig verdichten ließ.

Die Zylinder wurden in oben offenen Stahlblechformen durch Verdichten mit einer Rüttelbohle hergestellt, die über die mit Überstand gefüllte Form gezogen wurde. Anschließend wurde der Überstand mit flach gehaltenem, hin und her bewegtem Lineal abgestreift und geebnet; hiernach folgte nach etwa einer Stunde ein Abziehen der Oberfläche mit einem straff gespannten, feuchten Jutetuch. Die Zylinder lagerten 3 Wochen unter feuchten Tüchern, dann in Raumluft. Mit dieser Behandlung entstand eine ebene, mäßig raue Oberfläche ohne gerichtete Textur. Sie wurde

Tafel 1 Betonzusammensetzung (Versuchsserie I)

Beton	Zement- gehalt kg/m <sup>3</sup>	Wasser- Zementwert W/Z	Sieblinie (Stoffraum-%)	Zusammensetzung des Zuschlags (Stoffraum-%)		
				45% Rheinsand 0/7 mm	55% Basalt 7/30 mm	—
a	rd. 350	0,40	S <sup>1)</sup> 0/0,2 mm = 1% 0/1 mm = 13% 0/7 mm = 45% 7/30 mm = 55%	45% Rheinsand 0/7 mm	55% Basalt 7/30 mm	—
b				30% Rheinsand 0/3 mm	—	70% Kalkstein 3/30 mm
c				30% Rheinsand 0/3 mm	15% Basalt 3/7 mm	55% Kalkstein 7/30 mm
d		0,41	R <sup>2)</sup> 0/0,2 mm = 5% 0/1 mm = 25% 0/7 mm = 55% 7/30 mm = 45%	55% Rheinsand 0/7 mm	45% Basalt 7/30 mm	—
e				42% Rheinsand 0/3 mm	13% Basalt 3/7 mm	45% Kalkstein 7/30 mm
f				55% Rheinsand 0/7 mm	45% Basalt 7/30 mm	—

<sup>1)</sup> Richtlinien für den Bau von Betonfahrbahnen

angestrebt, damit sich nach der Beanspruchung in der Poliermaschine bei der Ermittlung des Gleitbeiwertes nur die Betonzusammensetzung auswirkt.

Wie die Tafeln und 1 und 2 ausweisen, bestanden die Zylinder aus einem Straßenbeton, der den Anforderungen für Bundesfernstraßen und Autobahnen [17] entspricht. Wesentlich ist dabei, daß sich das Zuschlaggemisch der 6 untersuchten Mischungen a–f weitgehend unterschieden hat. Der untere Körnungsbereich enthält immer Rheinsand 0/3 mm, z. T. auch Rheinsand 3/7 mm, also Sand mit viel Quarz, wie er bei uns auch sonst für Straßenbeton

Tafel 2 Betoneigenschaften (Versuchsserie I)

Beton	Luftporen- gehalt <sup>1)</sup> %	Konsistenz		Frischbeton- rohddichte kg/dm <sup>3</sup>	Rohddichte nach 28 Tagen kg/dm <sup>3</sup>	Würfel- Druckfestigkeit nach 28 Tagen kp/cm <sup>2</sup>
		v <sup>2)</sup>	n <sup>3)</sup>			
a	3,9	1,36	12	2,54	2,51	439
b	4,6	1,30	11	2,40	2,39	409
c	4,5	1,34	12	2,43	2,41	441
d	4,5	1,40	14	2,48	2,45	442
e	4,3	1,39	11	2,41	2,38	432
f	4,4	1,40	14	2,47	2,45	398

<sup>1)</sup> durch LP-Zusatzmittel <sup>2)</sup> Verdichtungsmaß <sup>3)</sup> Aufschläge nach Powers

benutzt wird. Die größeren Korngruppen 3/30 mm oder 7/30 mm bestanden entweder aus gebrochenem Basalt (Reihen a, d, f) oder aus einem festen, gebrochenen Kalkstein (Reihe b). Die Reihen c und e enthielten neben Rheinsand 0/3 mm den harten Basalt 3/7 mm und in der Körnung 7/30 mm den weicheren Kalkstein. Die Korngemische wurden entsprechend den Grenzen des „günstigen Bereichs“ [17] sowohl nach der größeren Sieblinie S mit nur 45 % Körnung 0/7 mm als auch nach der feineren Sieblinie R mit 55 % Körnung 0/7 mm zusammengesetzt (Sieblinie nach Stoffraum-%). Dementsprechend war auch der Gehalt an Feinsand 0/1 mm sehr unterschiedlich, nämlich nur 13 % bei dem größeren Korngemisch nach Sieblinie S, dagegen 25 % bei dem feineren Korngemisch R.

### 2.3.2 Gleitbeiwerte

In der Tafel 3 ist das Mittel aus den Gleitbeiwerten der jeweils untersuchten drei Zylinder aufgeführt, und zwar für den Herstellungszustand der Fläche sowie nach Beanspruchung durch 300 000 und durch 600 000 Umdrehungen in der Poliermaschine.

Tafel 3 Gleitbeiwerte (Mittel aus je drei Zylindern) nach der Beanspruchung der Oberfläche in der Poliermaschine (Versuchsserie I)

Beton	Sieblinie	Gleitbeiwerte bei V = 60 km/h (Mittelwerte) <sup>1)</sup>				
		im Ausgangszustand	nach 300 000 Umdrehungen <sup>2)</sup>	nach 600 000 Umdrehungen <sup>2)</sup>	nach Behandlung mit Salzsäure	nach weiteren 30 000 Umdrehungen <sup>2)</sup>
a		0,348	0,382	0,344	0,528	0,443
b	S	0,332	0,370	0,349	0,494	0,454
c		0,347	0,358	0,320	0,460	0,432
d		0,266	0,319	0,258	0,439	0,405
e	R	0,383	0,395	0,364	0,471	0,450
f		0,383	0,382	0,353	0,456	0,446

<sup>1)</sup> die Gleitbeiwerte wurden an denselben Zylindern nach den aufeinanderfolgenden Beanspruchungen ermittelt

<sup>2)</sup> Beanspruchung durch Umdrehungen der Poliermaschine

Zunächst ist festzustellen, daß die Gleitbeiwerte gegenüber dem Ausgangszustand nach 300 000 Umdrehungen im allgemeinen zugenommen hatten und nach 600 000 Umdrehungen dann wieder abgefallen sind.

Am niedrigsten fand sich der Gleitbeiwert, für die drei Zylinder wenig streuend, aus Beton d zu rd. 0,26. Die Schleifbahn erschien – obwohl immer sehr einheitlich verfahren wurde – etwas mehr geglättet als bei den übrigen Zylindern. Man mußte annehmen, daß die Oberfläche durch nicht beherrschbare Einflüsse glatter und vielleicht auch dichter entstanden war, obwohl dies im Ausgangszustand nicht festgestellt werden konnte.

Nimmt man die Reihe d von der weiteren Beurteilung aus, so unterschieden sich die Gleitbeiwerte der verschiedenen Betone

praktisch nur wenig. Der Mittelwert nach 600 000 Umdrehungen fand sich zu rd. 0,35 und lag damit nicht überdurchschnittlich gut.

Da in der Poliermaschine nach Augenschein eine bemerkenswerte Abtragung nicht erreicht wurde, also das eigentliche, von der Zusammensetzung her unterschiedliche Gefüge sich auf den Gleitbeiwert nicht auswirken konnte, wurde die Oberfläche mit Salzsäure behandelt (Absäuern durch zweimaliges Benetzen mit Salzsäure 1:10 während 3 Minuten und jeweils gründliches Nachwaschen mit Wasser). Eine solche Behandlung gewährleistet allerdings nicht ohne weiteres, daß die so geschaffene Textur jener entspricht, die durch Verkehr und Witterung entstehen würde. Außerdem erschien nur eine schwache Säureeinwirkung zulässig, damit der die Zuschlagkörner verkittende Zementstein nicht auf größere Tiefe chemisch zermürbt wurde.

Nach dieser Salzsäurebehandlung war eine gleichmäßig rauhe, sandpapierartige Oberfläche entstanden, in der die feineren Quarzkörner freigelegt waren. Immerhin stieg dadurch der Gleitbeiwert (ohne Reihe d) recht beachtlich um 0,13 von 0,35 auf rd. 0,48 im Mittel an. Nach weiterem Überrollen durch 30 000 Umdrehungen ging der Gleitbeiwert etwas zurück, im Mittel auf 0,44. (Der Gleitbeiwert der Reihe d wurde durch die Salzsäurebehandlung wesentlich stärker angehoben, was die Vermutung zu bestätigen scheint, daß die Oberfläche ursprünglich von einer dichteren und glatteren Zementsteinhaut gebildet wurde.)

Die Oberflächen nach dem Absäuern und nach Beanspruchung in der Poliermaschine durch insgesamt 630 000 Umdrehungen sowie das angeschliffene Gefüge der Betone a, b, c, d, e und f (Tafel 1) geben die Bilder 1 bis 6 wieder.

Die Bilder lassen erkennen, daß das gröbere Korngefüge an der Oberfläche noch nicht freigelegt worden ist. Aus diesen Feststellungen ist es daher nicht möglich zu folgern, inwieweit der hier gewählte, sehr unterschiedliche Korn- und Stoffaufbau sich bei einer stärkeren Abnutzung ausgewirkt hätte.

Aber auch die im Feinsand 0/1 mm unterschiedliche Kornabstufung (Sieblinie S mit 13 % bzw. R mit 25 %) lieferte, wenn noch der Streubereich der Einzelwerte berücksichtigt wird, keine markanten Unterschiede des Gleitbeiwertes. Die 3 Reihen a, b, c mit Zuschlag nach der groben Sieblinie S kamen im Mittel auf einen Gleitbeiwert von rd. 0,44 und die mit Zuschlag nach der feineren Sieblinie R (Reihen e und f) auf einen Gleitbeiwert von rd. 0,45.

Man kann für die Versuchsserie I lediglich feststellen, daß allgemein eine sandpapierartig angeraute Oberfläche unter diesen Verhältnissen (Befahren mit 60 km/h) einen deutlich günstigeren Gleitbeiwert aufweist (0,44) als die Oberfläche mit nicht angerautem Abschlußfeinmörtel (0,35).

Für einen weiteren Aufschluß wird es notwendig sein, die Flächen durch eine möglichst wirklichkeitsnahe Beanspruchung, z. B. durch Befahren in einem Rundlauf mit nachgeahmter Witterungseinwirkung, stärker abzutragen.

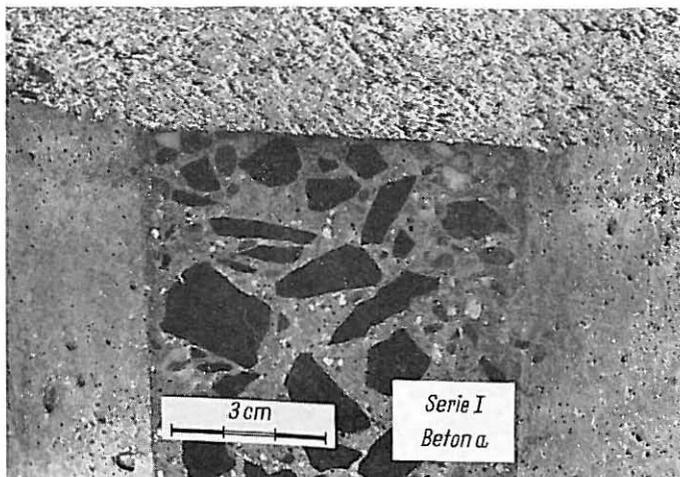


Bild 1 Teilansicht eines Probezylinders mit angeschliffener Mantelfläche nach der letzten Beanspruchung. — Beton a, Versuchsserie I, Oberfläche bei der Herstellung eben abgezogen. — 350 kg Zement/m<sup>3</sup>,  $w = 0,40$ ; 45 % Rheinsand 0/7 mm und 55 % Basalt 7/30 mm. — Gleitbeiwert im Ausgangszustand 0,35, nach der letzten Beanspruchung 0,44 (siehe Tafel 3).



Bild 2 Teilansicht eines Probezylinders mit angeschliffener Mantelfläche nach der letzten Beanspruchung. — Beton b, Versuchsserie I, Oberfläche bei der Herstellung eben abgezogen. — 350 kg Zement/m<sup>3</sup>,  $w = 0,40$ ; 30 % Rheinsand 0/3 mm und 70 % Kalkstein 3/30 mm (insgesamt 45 % 0/7 mm). — Gleitbeiwert im Ausgangszustand 0,33, nach der letzten Beanspruchung 0,45 (siehe Tafel 3).

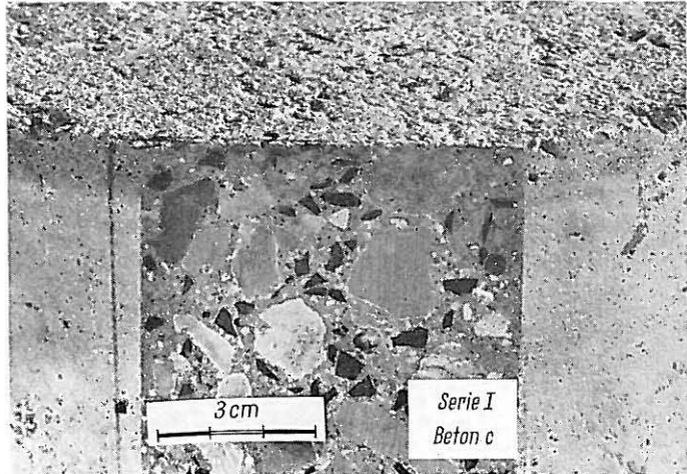


Bild 3 Teilansicht eines Probezylinders mit angeschliffener Mantelfläche nach der letzten Beanspruchung. — Beton c, Versuchsserie I, Oberfläche bei der Herstellung eben abgezogen. — 350 kg Zement/m<sup>3</sup>, w = 0,40; 30 % Rheinsand 0/3 mm, 15 % Basalt 3/7 mm und 55 % Kalkstein 7/30 mm. — Gleitbeiwert im Ausgangszustand 0,35, nach der letzten Beanspruchung 0,43 (siehe Tafel 3).

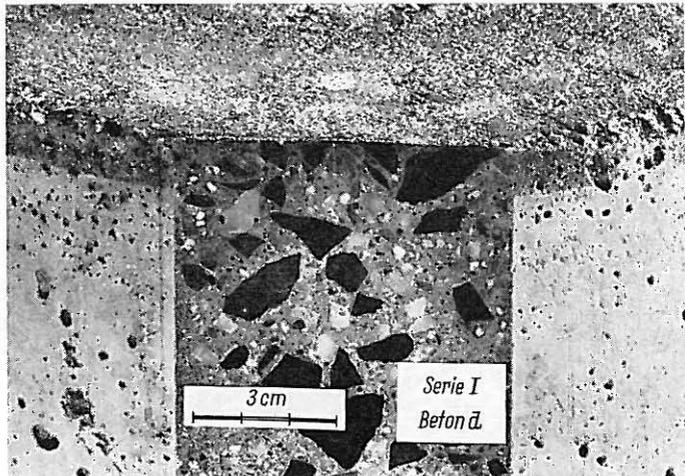


Bild 4 Teilansicht eines Probezylinders mit angeschliffener Mantelfläche nach der letzten Beanspruchung. — Beton d, Versuchsserie I, Oberfläche bei der Herstellung eben abgezogen. — 350 kg Zement/m<sup>3</sup>, w = 0,41; 55 % Rheinsand 0/7 mm und 45 % Basalt 7/30 mm. — Gleitbeiwert im Ausgangszustand 0,27, nach der letzten Beanspruchung 0,40 (siehe Tafel 3).

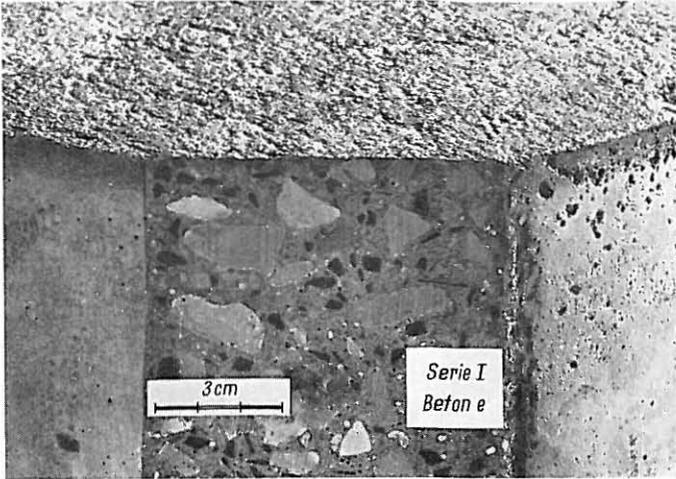


Bild 5 Teilansicht eines Probezylinders mit angeschliffener Mantelfläche nach der letzten Beanspruchung. — Beton e, Versuchsserie I, Oberfläche bei der Herstellung eben abgezogen. — 350 kg Zement/m<sup>3</sup>, w = 0,41; 42 % Rheinsand 0/3 mm, 13 % Basalt 3/7 mm und 45 % Kalkstein 7/30 mm. — Gleitbeiwert im Ausgangszustand 0,38, nach der letzten Beanspruchung 0,45 (siehe Tafel 3).

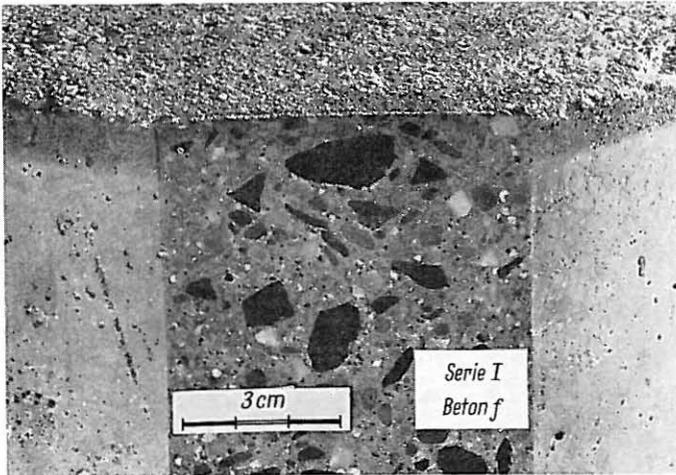


Bild 6 Teilansicht eines Probezylinders mit angeschliffener Mantelfläche nach der letzten Beanspruchung. — Beton f, Versuchsserie I, Oberfläche bei der Herstellung eben abgezogen. — 310 kg Zement/m<sup>3</sup>, w = 0,43; 55 % Rheinsand 0/7 mm und 45 % Basalt 7/30 mm. — Gleitbeiwert im Ausgangszustand 0,38, nach der letzten Beanspruchung 0,45 (siehe Tafel 3).

## 2.4 Einfluß der Oberflächentextur (Versuchsserie II)

Durch die zweite Versuchsserie war zu erkunden, welche Ergebnisse bei entsprechenden Prüfungen erhalten werden, wenn die Oberflächen der Zylinder von Anfang an eine ausgeprägte, unterschiedliche Textur erhalten.

### 2.4.1 Beton

Für die Zylinder wurde Beton entsprechend den Mischungen a und b der Versuchsserie I benutzt, also mit einem Korngemisch nach der größeren Sieblinie S, aus Rheinsand 0/7 mm und Basaltsplitt 7/30 mm sowie aus Rheinsand 0/3 mm und Kalksteinsplitt 3/30 mm. Kennzeichnende Eigenschaften der Mischungen sind in Tafel 4 zusammengefaßt.

Tafel 4 Betonzusammensetzung und -eigenschaften (Versuchsserie II)

Beton	Zementgehalt kg/m <sup>3</sup>	Wasserzementwert W/Z	Sieblinie (Stoffraum-%)	Zusammensetzung des Zuschlags (Stoffraum-%)		
				45% Rheinsand 0/7 mm	55% Basalt 7/30 mm	—
a	350	0,40	S 0/0,2 mm = 1% 0/1 mm = 13% 0/7 mm = 45% 7/30 mm = 55%	45% Rheinsand 0/7 mm	55% Basalt 7/30 mm	—
b			0,38	30% Rheinsand 0/3 mm	—	70% Kalkstein 3/30 mm

Beton	Luftporengehalt <sup>1)</sup> %	Konsistenz v <sup>2)</sup> n <sup>3)</sup>		Frischbeton- roh-dichte kg/dm <sup>3</sup>	Rohdichte nach 28 Tagen kg/dm <sup>3</sup>	Druckfestigkeit nach 28 Tagen kp/cm <sup>2</sup>
		v <sup>2)</sup>	n <sup>3)</sup>			
a	3,7	1,35	11	2,59	2,56	479
b	4,3	1,34	11	2,43	2,42	489

1) durch LP-Zusatzmittel 2) Verdichtungsmaß 3) Aufschläge nach Powers

Die Zylinder wurden im Dezember 1965 ähnlich wie jene für Serie I hergestellt<sup>2)</sup> und gelagert, jedoch wurde eine halbe Stunde nach dem Abstreifen des Überstandes mit dem Stahllineal die wäßrige Schlammehaut mit einem Haarbesen abgewischt und anschließend die Oberfläche mit verschiedenen Texturen versehen. Die Behandlung der Flächen ist in der ersten Spalte der Tafel 5 vermerkt. Aufgebracht wurden ein Besenstrich mit einem nicht sehr harten Besen, eine scharfe Feinriefelung mit einem Drahtkamm sowie eine Mittel- und Grobiefelung durch Eindrücken von Stahlblechlamellen. Die Oberfläche eines Zylinders mit Besenstrich und eines mit Mittelriefelung wurden außerdem abgesäuert. Weil die Beanspruchung in der Poliermaschine und die Messung des Gleitbeiwertes in einer Kreisbahn erfolgten, mußten Besenstrich und Riefelung radial aufgebracht werden, damit die Textur etwa rechtwinklig zur Bewegungsrichtung verlief. Einen Eindruck von der Oberfläche vermitteln die Bilder 7 bis 12. Außerdem wurde mit

<sup>2)</sup> Bei der Herstellung der Proben war in erster Linie Herr Dipl.-Ing. Hallauer beteiligt.

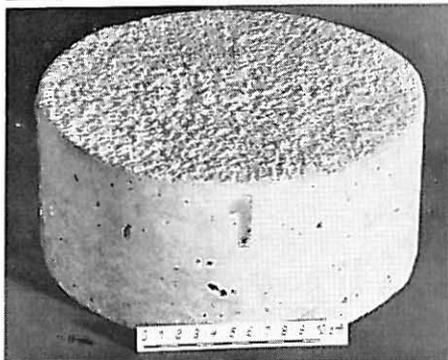
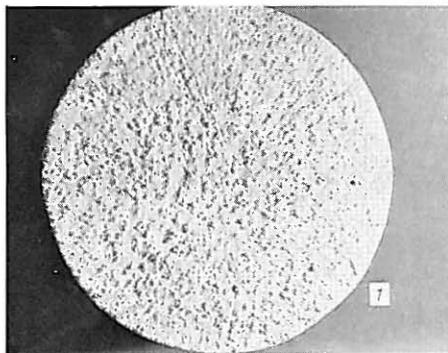


Bild 7 Probezylinder Nr. 1 (Versuchsserie II) mit Besenstrich im Ausgangszustand (Beton a mit 55 % Basalt 7/30 mm). — Gleitbeiwert im Ausgangszustand 0,37, nach Beanspruchung 0,43 (siehe Tafel 5).

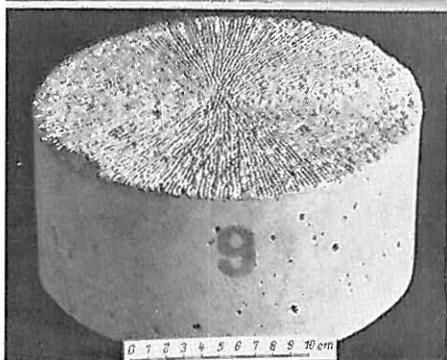
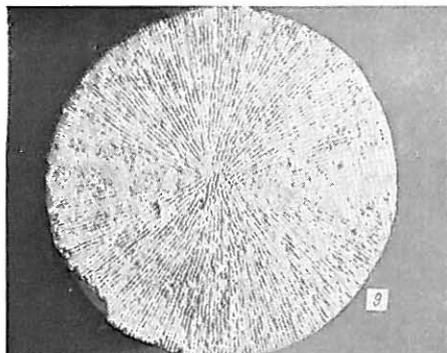


Bild 8 Probezylinder Nr. 9 (Versuchsserie II) mit Feinriefelung im Ausgangszustand (Beton a mit 55 % Basalt 7/30 mm). — Gleitbeiwert im Ausgangszustand 0,37, nach Beanspruchung 0,49 (siehe Tafel 5).

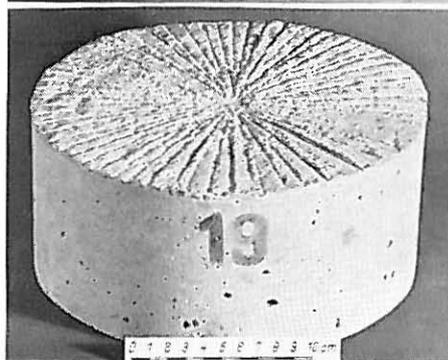
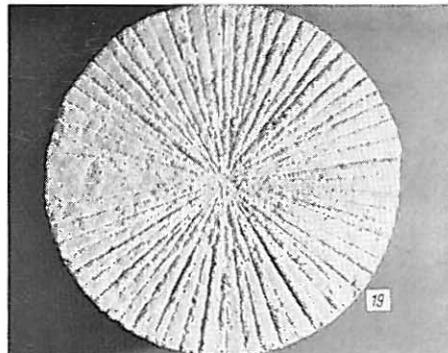


Bild 9 Probezylinder Nr. 19 (Versuchsserie II) mit Grobriefelung im Ausgangszustand (Beton a mit 55 % Basalt 7/30 mm). — Gleitbeiwert im Ausgangszustand 0,29, nach Beanspruchung 0,37 (siehe Tafel 5).

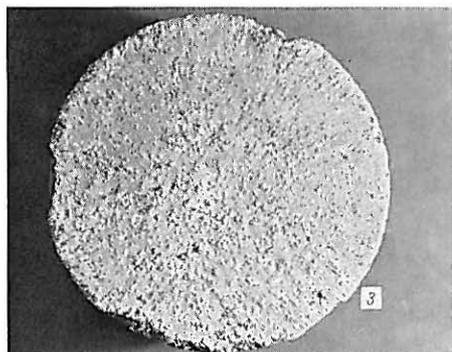


Bild 10 Probezylinder Nr. 3 (Versuchsserie II) mit Besenstrich, abgesäuert, im Ausgangszustand (Beton a mit 55 % Basalt 7/30 mm). — Gleitbeiwert im Ausgangszustand 0,59, nach Beanspruchung 0,42 (siehe Tafel 5).

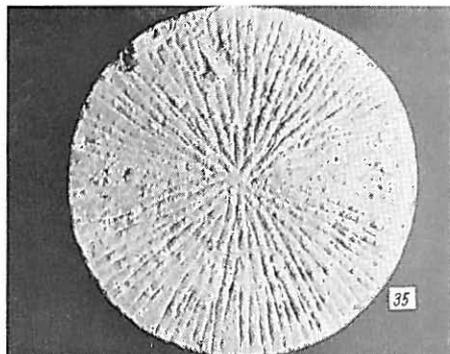


Bild 11 Probezylinder Nr. 35 (Versuchsserie II) mit Mittelriefelung im Ausgangszustand (Beton b mit 70 % Kalkstein 3/30 mm). — Gleitbeiwert im Ausgangszustand 0,30, nach Beanspruchung 0,43 (siehe Tafel 5).

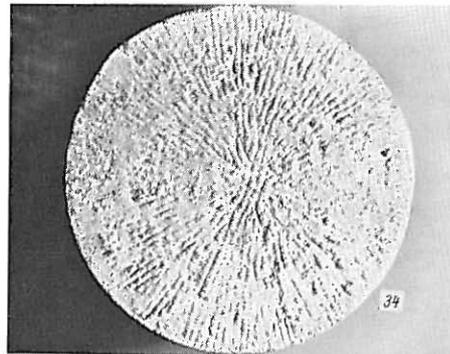


Bild 12 Probezylinder Nr. 34 (Versuchsserie II) mit Mittelriefelung, abgesäuert, im Ausgangszustand (Beton b mit 70 % Kalkstein 3/30 mm). — Gleitbeiwert im Ausgangszustand 0,56, nach Beanspruchung 0,44 (siehe Tafel 5).

Tafel 5 Textur der Oberfläche und Gleitbeiwerte

Oberflächen- textur durch	Zylinder Nr.		Beton mit Basaltspilt Gleitbeiwerte nach		Beton mit Kalksteinspilt Gleitbeiwerte nach	
			Herstellung	30 000 Um- drehungen <sup>1)</sup>	Herstellung	30 000 Um- drehungen <sup>1)</sup>
Besenstrich	1	5	0,375	0,435	0,285	0,350
	2	6	0,255	0,360	0,255	0,365
Feinriefelung	9	14	0,370	0,495	0,370	0,440
	10	15	0,360	0,465	0,410	0,500
Grobriefelung	18	27	0,260	0,415	0,295	0,420
	19	28	0,290	0,370	0,290	0,425
Besenstrich abgesäuert	3	7	0,595	0,420	0,560	0,445
	4	8	0,590	0,420	0,440	0,320
Mittelfelung	-	35	-	-	0,300	0,435
Mittelfelung abgesäuert	-	34	-	-	0,560	0,445

<sup>1)</sup> Beanspruchung durch Umdrehungen der Poliermaschine

einem provisorisch gebauten Kopiergerät die typische Profilierung aller Oberflächen mit einer Vergrößerung von 1:4 aufgenommen. Einige Beispiele finden sich in Bild 13. Hieraus ist ersichtlich, daß der Rillenabstand bei der Feinriefelung rd. 2 bis 3 mm beträgt und daß die Rillen etwa 1 mm tief sind.

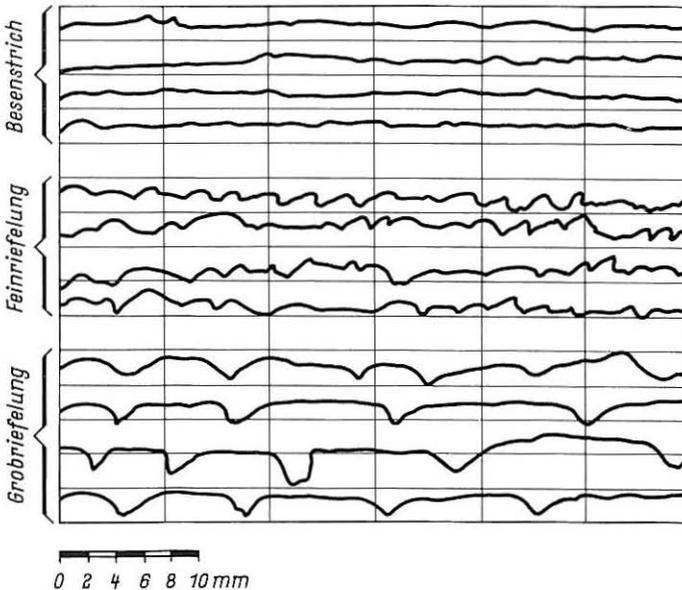


Bild 13 Beispiele für Oberflächentexturen (mit Kopiergerät aufgenommen).

#### 2.4.2 Gleitbeiwert

Der Gleitbeiwert wurde auf der nassen Fläche im Ausgangszustand der Oberfläche und nach Beanspruchung durch 30 000 Umdrehungen der Poliermaschine bestimmt. In Tafel 5 sind die Gleitbeiwerte von je zwei Zylindern der Hauptversuche und von je einem Zylinder in einem Nebenversuch für eine Mittelriefelung ohne und mit abgesäuerter Oberfläche aufgeführt.

Soweit die Gleitbeiwerte an zwei Zylindern gemessen wurden, zeigte sich, daß diese z. T. größere Unterschiede aufwiesen. Die Unterschiede lassen vermuten, daß sich offenbar schon kleine, augenscheinlich nicht deutlich erfaßbare Verschiedenheiten bei dem gleichen Texturtyp verhältnismäßig stark im Gleitbeiwert auswirkten.

Die Gleitbeiwerte in Tafel 5 erlauben folgende Feststellung:

Durch die Beanspruchung in der Poliermaschine stieg der Gleitbeiwert für die profilierten Flächen gegenüber dem Ausgangszustand immer und z. T. erheblich an, im Gesamtmittel aus den 12 Bestimmungen für die Oberflächen mit Besenstrich, Fein- und Grobriefelung von rd. 0,32 auf rd. 0,42. Das bedeutet, daß trotz der z. T. ausgesprochenen Profilierung dieser Flächen die Beanspruchung in der Poliermaschine noch eine zusätzliche Aufrauung (Griffigkeit) brachte.

Die günstigsten, z. T. sehr hoch liegenden Gleitbeiwerte, die bis 0,59 reichten, wurden bei den vor der Rollbeanspruchung abgesäuerten Zylindern Nr. 3, 4, 7 und 8 mit Besenstrich erzielt. Durch die 30 000 Rollenumläufe ging dann diese günstige Wirkung, wie bei Serie I ebenfalls schon beobachtet wurde, wieder verloren; der Gleitbeiwert sank im Mittel von 0,55 auf 0,40 ab. Vermutlich wurden die durch die Säurebehandlung freigelegten, im Verband wahrscheinlich schon gelockerten, kleinen Quarzkörnchen durch die Beanspruchung in der Poliermaschine herausgelöst.

Betrachtet man nun den Einfluß der Profilierung nach der gegenüber der Praxis wohl noch milden Beanspruchung durch 30 000 Umdrehungen der Poliermaschine, so wurde die günstigste Wirkung eindeutig mit der Feinriefelung erzielt. Der mittlere Gleitbeiwert aus den beiden Mischungen mit Basalt- und Kalksteinsplitt ergab sich zu rd. 0,47. Demgegenüber lagen die Gleitbeiwerte der Oberflächen mit Besenstrich im Mittel bei 0,38 und die mit der Grobriefelung im Mittel bei 0,41, also deutlich ungünstiger. (Die Mittelriefelung, allerdings nur mit einem Wert vertreten, gab demgegenüber einen etwas verbesserten Gleitbeiwert von 0,43 ab.)

Man kann daraus folgern, daß Texturen, die in ihrer Rauigkeit und Kantenschärfe der Feinriefelung entsprechen, mögen sie bereits im Ausgangszustand oder erst durch eine Verkehrsbeanspruchung entstanden sein, unter entsprechenden Verhältnissen wie hier ( $V = 60$  km/h) einen günstigen Gleitbeiwert erwarten lassen. Die Feinriefelung mit dem Gleitbeiwert von 0,47 verhielt sich dabei noch etwas günstiger als die in Versuchsserie I abgesäuerte Fläche nach Rollbeanspruchung, für die ein Gleitbeiwert von 0,44 gemessen wurde; siehe 2.3.2. Es ist die Annahme berechtigt, daß

der günstige Gleitbeiwert einer Feinriefelung unter Verkehr länger erhalten bleibt als der einer sandpapierartig rauhen, hier durch Absäuern entstandenen Fläche.

Welchen Einfluß die stofflichen Unterschiede (Basalt 7/30 mm und Kalkstein 3/30 mm) auf den Gleitbeiwert bei diesen Profilierungen nach langer Liegezeit der Betondecke haben, läßt sich nicht ableiten, da größere Körner nicht ausreichend freigelegt worden waren und daher den Gleitbeiwert nicht beeinflussen konnten.

### 3. Besondere Betrachtungen

Die Untersuchungen gingen darauf aus, im Laboratorium den Einfluß der Betonzusammensetzung und der Textur möglichst getrennt zu erfassen. In der Praxis wird bei hoher Beständigkeit eines Abschlußmörtels die Griffigkeit über längere Zeit durch die Ausgangstextur der Oberfläche bestimmt werden und erst später, nach Abtragung infolge Verkehr und Witterung, durch das von der Betonzusammensetzung im weitesten Sinne abhängige Gefüge und durch die Stoffeigenschaften.

Es stellt sich daher die Frage, inwieweit innerhalb der Grenzen einer angängigen Betonzusammensetzung und Oberflächengestaltung, die durch andere Forderungen an die Decke, wie z. B. hinsichtlich Festigkeit, Tausalzbeständigkeit, Abnutzwiderstand, Fahrkomfort usw., abgesteckt sind, noch Möglichkeiten bestehen, eine durch günstige Ausgangstextur geschaffene hohe Griffigkeit auch später nach Abtragung dieser Textur zu gewährleisten.

Betrachtet man hierzu die Oberflächenzone und den Schnitt in Bild 14 durch üblichen Beton einer Autobahndecke, jene in Bild 15 für einen ausländischen Autobahnbeton mit 400 kg Zement je m<sup>3</sup> und jene in Bild 16 für den Beton einer Landstraße mit 300 kg Zement je m<sup>3</sup>, so ist festzustellen, daß hier von der Beschaffenheit des überwiegend an der Oberfläche anstehenden Mörtels kaum große Unterschiede in der Griffigkeit zu erwarten sind. Anders können sich bei dem Beton in Bild 14 die groben Körner auswirken, wenn die Abnutzung noch weiter fortgeschritten ist und glatte Körner zum Vorschein kommen. Aber auch dann, wenn ein solches, von größeren Körnern gebildetes „Kopfsteinpflaster“ aus gebrochenem Hartgestein mit bruchrauer Kornfläche entstände, wäre es wohl nur eine Frage der Zeit, bis auch diese Fläche glatt poliert würde. Dazu kommt, wie auch der Anschliff in den Bildern verdeutlicht, daß ein Korn nicht immer mit einer Kante in der Oberfläche ansteht, sondern häufiger mit einer flachen Seite. (Durch die Bewegungen beim Rütteln und Abziehen nimmt ein Zuschlagkorn eine möglichst nicht mehr kippbare, daher mit seiner größten Achse überwiegend waagerechte Lage ein.)

Daher sollte auch aus diesem Grunde eine gedrungene, möglichst vielkantige Kornform bevorzugt werden. Selbst bei sich rasch polierendem Gestein werden gedrungene Körner nur kleinflächig in der Oberfläche anstehen und von relativ größeren Flächen aus Feinmörtel umgeben bleiben, falls dieser sehr fest und beständig ist — was bei einem optimal zusammengesetzten Straßenbeton als

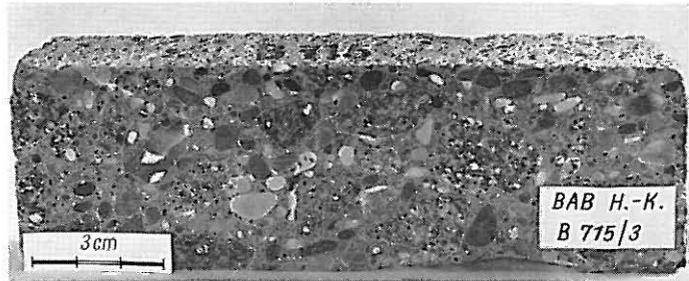


Bild 14 Fahrbahnfläche und Gefüge des Deckenbetons einer Autobahn. 350 kg Zement/m<sup>3</sup>, w = 0,40; 50 % Flußsand 0/7 mm, Diabassplitt und Kies 7/30 mm. Baujahr 1960/61, 4 Jahre unter Verkehr.



Bild 15 Fahrbahnfläche und Gefüge des Deckenbetons einer Autobahn. 400 kg Zement/m<sup>3</sup>, w = 0,42; 50 % Flußsand 0/7 mm und Kies bis rd. 30 mm. Baujahr 1961, 2½ Jahre unter Verkehr.



Bild 16 Fahrbahnfläche und Gefüge des Deckenbetons einer Landstraße. 300 kg Zement/m<sup>3</sup>, w = 0,45; 60 % Rheinsand 0/7 mm und Rheinkies bis rd. 30 mm. Baujahr 1964, 1 Jahr unter Verkehr.

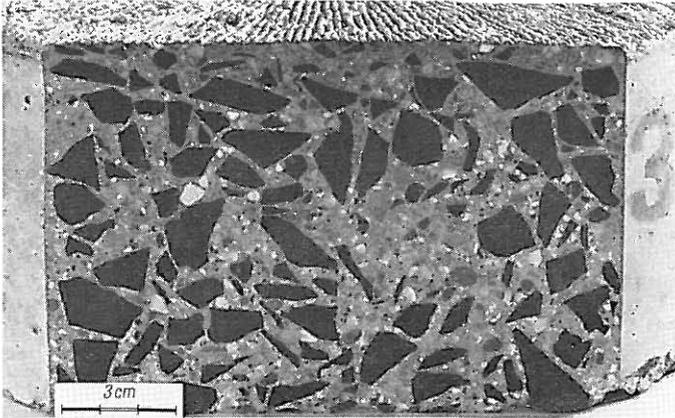


Bild 17 Teilansicht eines Probezylinders mit angeschliffener Mantelfläche und Feinriefelung. — Beton a, Versuchsserie II. — 350 kg Zement/m<sup>3</sup>,  $w = 0,40$ ; 45 % Rheinsand 0/7 mm und 55 % Basalt 7/30 mm. — Gleitbeiwert im Ausgangszustand 0,36, nach der Beanspruchung 0,48 (siehe Tafel 5).

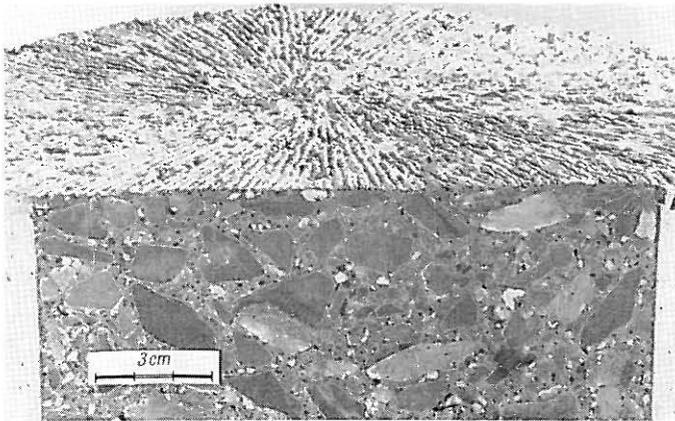


Bild 18 Teilansicht eines Probezylinders mit angeschliffener Mantelfläche und Feinriefelung. — Beton b, Versuchsserie II. — 350 kg Zement/m<sup>3</sup>,  $w = 0,38$ ; 30 % Rheinsand 0/3 mm und 70 % Kalkstein 3/30 mm. — Gleitbeiwert im Ausgangszustand 0,39, nach der Beanspruchung 0,47 (siehe Tafel 5).

erfüllt vorausgesetzt werden darf. Es ist anzunehmen, daß es in erster Linie die Mörtelpartien sind, die eine griffige Oberfläche auf längere Zeit gewährleisten, wenn ihr Abschlußmörtel einen hohen Anteil an scharfem, nicht zu feinem Quarzsand aufweist.

Solche Überlegungen, aus denen letzten Endes abzuleiten wäre, daß Änderungen im Bereich der Zusammensetzung eines guten Straßenbetons mit Quarzsand für die Griffigkeit nicht viel bringen dürften, können aber nur durch Messungen auf älteren Strecken

nachgeprüft werden. Dazu sollte jeweils neben der stofflichen Beschaffenheit auch das geometrische Profil hinreichend genau definiert und analysiert werden. Verfahren zur Ermittlung der Textur, die auch auf der Strecke anwendbar und hinreichend aufschlußreich sind, sollten vordringlich entwickelt werden. Ansätze dazu sind vorhanden.

#### 4. Zusammenfassung und Folgerungen

Die im Laboratorium durchgeführten Untersuchungen ließen wegen der noch nicht ausreichenden Abtragung den Einfluß des unterschiedlich gewählten Zuschlaggesteins auf die Griffigkeit (Gleitbeiwert) der Betonoberfläche nicht erkennen. Bemerkenswert ist jedoch, daß sich der Abschlußmörtel des Betons mit einem Feinsandgehalt 0/1 mm des Zuschlaggemisches von nur 13 % gegenüber dem mit 25 % im Gleitbeiwert nicht ausgewirkt hat. (Der Feinsand 0/1 mm setzte sich aus scharfen Quarzkörnern, vorwiegend über 0,2 mm Korngröße, zusammen; die Anteile entsprachen den Grenzen des „günstigen Bereichs“ [17].)

Von den verschiedenartigen Texturen der Oberfläche waren unter den Verhältnissen des Versuchs jene mit einer angerauten, sandpapierartigen Beschaffenheit des Abschlußmörtels günstig, auch wenn die Fläche im übrigen keine ausgeprägte Textur aufwies.

Eine verhältnismäßig scharf und eng gezogene Feinriefelung mit einer Öffnungsweite von rd. 2,5 mm lieferte im großen und ganzen die höchsten Gleitbeiwerte (Bilder 17 und 18).

Es ist zu folgern, daß weitergehende Erkenntnisse über die Möglichkeit der Verbesserung der Griffigkeit in den Grenzen des durch andere Forderungen bedingten Betonaufbaus in erster Linie durch Messungen auf möglichst vielen Strecken zu gewinnen sind. Dabei ist festzustellen, ob sich allgemein nutzbare Beziehungen zwischen Gleitbeiwert, stofflichen Eigenschaften des jeweiligen Betons und seiner Oberflächentextur ableiten lassen.

Wertet man diese Feststellungen und die anderer Untersuchungen aus, so ist – bis weitere Erkenntnisse vorliegen – zur Erlangung einer hohen Griffigkeit der Betondecke neben Einhaltung der Bedingungen für einen hochwertigen Straßenbeton [17] folgendes zu empfehlen:

Verwendung eines scharfen (natürlichen) Quarzsandes mit möglichst stetiger Kornfolge als untere Korngruppe 0/3 mm.

Beton mit möglichst niederem Wasserzementwert und ausreichendem Luftporengehalt, so daß eine hohe Beständigkeit des Abschlußmörtels gewährleistet ist.

Abstreifen eines gegebenenfalls auf der abgezogenen (geglätteten) frischen Oberfläche nach einiger Zeit entstandenen Wasserfilms.

Anschließendes Einprägen einer rd. 1 bis 2 mm tiefen und rd. 2 bis 3 mm weiten Querriefelung (Feinriefelung) in den Oberflächenmörtel nach mäßigem Versteifen (Anziehen<sup>3)</sup>).

<sup>3)</sup> Eine solche Feinriefelung kann am zuverlässigsten mit besonderen Geräten maschinell eingeprägt werden [9].

## SCHRIFTTUM

- [1] Merkblatt über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe. Kommission „Griffigkeitsanforderungen“, Forschungsbeirat der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen. — Straßenbau von A—Z, herausgegeben von E. Goerner, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld, Kennzahl 346—1966.
- [2] Wehner, B.: Vergleich verschiedener Methoden zur Messung der Straßengriffigkeit. Straße und Autobahn 10 (1959) H. 6, S. 201/210.
- [3] Wehner, B.: Veränderung von Straßenoberflächen durch Verkehr und Wetter, insbesondere bezüglich der Straßengriffigkeit. Der Bauingenieur 40 (1965) H. 1, S. 15/20.
- [4] Balmer, G.: Three instruments for the measurement of pavement skid resistance. Journ. Portl. Cement Assoc., Research and Development Laboratories, 7 (1965) Nr. 2, S. 18/23.
- [5] Shupe, J. W., und W. H. Goetz: A laboratory investigation of pavement slipperiness. Highway Res. Board, Bulletin 219 (Skid Prevention Research 1959), Washington 1959, S. 56/73.
- [6] Walz, K.: Die Prüfung von Kies und Splitt für Straßenbeton. Betonstraße 14 (1939) H. 11, S. 215/221, und H. 12, S. 229/234.
- [7] Asselmann, R., und A. Delsemme: Étude de la glissance sur revêtements expérimentaux en béton (Herrent—Buken Avril—Mai 1959). La Technique Routière 6 (1961) Sonderheft, S. 22/44.
- [8] Leyder, J. P.: La rugosité des revêtements en béton de ciment. La Technique Routière 10 (1965) Nr. 3, S. 3/26.
- [9] Leyder, J. P.: Tendances actuelles en matière de rugosité des revêtements en béton de ciment. La Technique Routière 11 (1966) Nr. 2, S.1/24.
- [10] Report of Subcommittee D to the First International Skid Prevention Conference: Relationship of road surface properties to skidding. Highway Res. Board, Bulletin 219 (Skid Prevention Research 1959), Washington 1959, S. 21/24.
- [11] 1964 Annual Report of the President. Portland Cement Association, Chicago 1964, S. 26 und 27.
- [12] Balmer, G. G., und B. E. Colley: Laboratory studies of the skid resistance of concrete. Journal of Materials 1 (1966) Nr. 3, S. 536/559.
- [13] Schulze, K. H.: Einfluß der geometrischen Feingestalt der Straßenoberfläche auf den Kraftschluß. Straße und Autobahn 10 (1959) H. 10, S. 379/385.
- [14] Kraemer, P.: Die Oberflächengestalt von Fahrbahndecken, ihre maßliche Erfassung und ihre Beeinflussung durch die Aufbaukomponenten des Belags. Straßen- und Tiefbau 15 (1961) H. 2, S. 118/129; H. 3, S. 224/231; H. 4, S. 336/348; H. 6, S. 522/530.
- [15] Nitsche, H.: Über die Oberflächengestalt, den Oberflächencharakter und die Erfassung der Gestaltsabweichungen (Welligkeit und Rauheit). DIN-Mitteilungen 40 (1961) H. 1, S. 11/15.
- [16] Obenauer, K.: Mikroskopie des Mörtels und Betons in Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd. IV, Teil 3. Umschau-Verlag, Frankfurt a. M. 1965, S. 432 und 433.
- [17] Richtlinien für den Bau von Betonfahrbahnen. 4. Ausgabe, Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln 1963.