

**Fahrbahndecke aus Beton  
mit Steinkohlenflugasche  
als Bindemittelkomponente**

A. Schniering, Essen,  
D. Lutze, Herten

# Fahrbahndecke aus Beton mit Steinkohlenflugasche als Bindemittelkomponente

Alfred Schniering und Dietmar Lutze

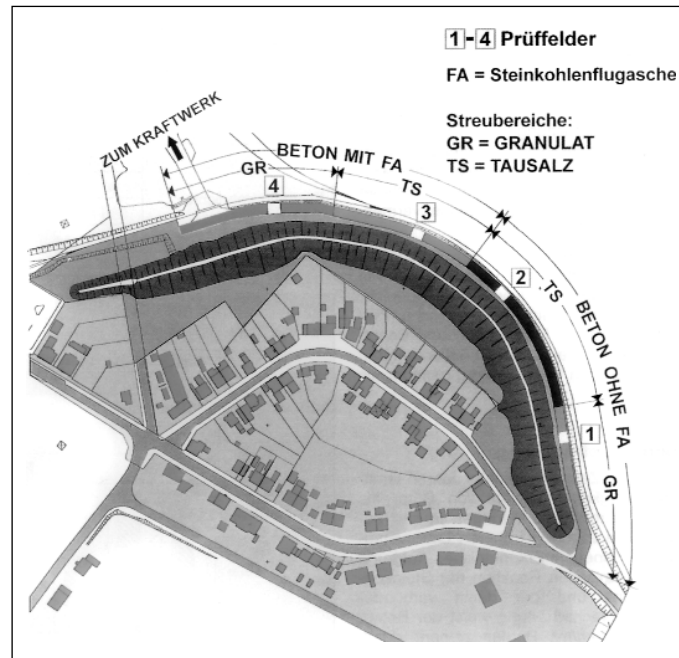
## Anlage der Versuchsstrecke

Um den Stand der Technik und die Wirksamkeit von Steinkohlenflugasche als Betonzusatzstoff nach DIN 1045 auch beim Bau von Fahrbahndecken aus Beton zu überprüfen, wurde 1990 eine 430 m lange und 7 m breite Werkstraße im VKR-Kraftwerk Knepper in Dortmund als Versuchsstrecke ausgeführt. Sie verbindet das Kraftwerk mit der öffentlichen Straße „Am Langenacker“ in Dortmund-Bodelschwingh (Ortsteil Oestrich) (Bild 1).

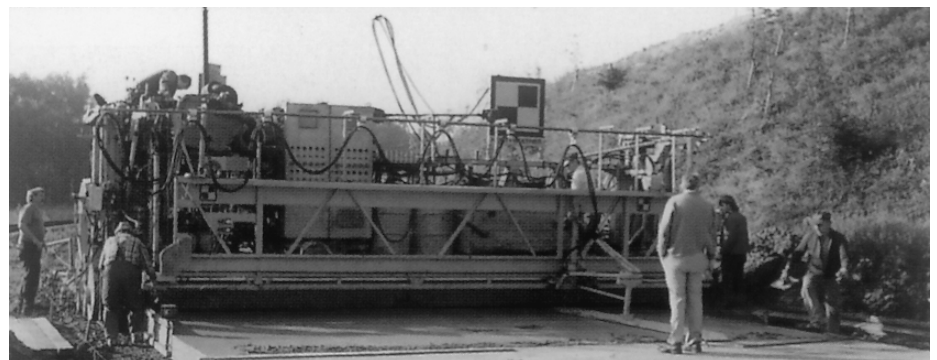
Über diese Versuchsstraße wird der gesamte Schwerlastverkehr des Kraftwerkes für die Ver- und Entsorgung durchgeführt. Die Fahrbahndecke wurde 22 cm stark in Beton B 35, Konsistenz KS, mit einem Gleitschalungsfertiger in zwei Tagen ausgeführt (Bild 2). Etwa mittig ist die Strecke in 2 Abschnitte unterteilt. Im südlichen Fahrbahnabschnitt enthält der Beton B 35 ausschließlich Zement PZ 35 F gemäß ZTV-Beton 78 (82), während im nördlichen Fahrbahnabschnitt 60 kg Steinkohlenflugasche EFA-Füller S-B/E (FA) ausgetauscht wurden (Tabelle 1).

In beiden Abschnitten sind jeweils 2 gleich lange Teilabschnitte hinsichtlich der Behandlung im Rahmen des Winterdienstes zu unterscheiden. Die südliche Hälfte des Abschnittes ohne Steinkohlenflugasche (Teilabschnitt 1 A) wurde mit Streumittel, der nördliche (Teilabschnitt 1 B) mit Taumittel behandelt. Der hier anschließende Teil der Versuchsstrecke mit Steinkohlenflugasche (Teilabschnitt 2 A) wurde ebenfalls mit Taumittel, der nördliche Teil dieses Abschnittes (Teilabschnitt 2 B) wiederum mit Streumittel behandelt. Weitere Unterschiede bestehen zwischen den beiden Abschnitten nicht, weder in konstruktiver noch in beton-technologischer Sicht.

Verfasseranschrift: Dr. Schniering, Schniering Ingenieurgesellschaft mbH, 45356 Essen, Heegstr. 60; D. Lutze, Baumineral GmbH, 45699 Herthen, Hibernia Str. 12



1: Versuchsstrecke am Kraftwerk Knepper



2: Einbau der Betondecke

		Beton ohne Steinkohlenflugasche	Beton mit Steinkohlenflugasche
Zementart und Festigkeitsklasse		PZ 35 F	PZ 35 F
Zementgehalt z	kg/m <sup>3</sup>	330	270
Betonzusatzstoff Steinkohlenflugaschegehalt f	kg/m <sup>3</sup>	---	90
Wassergehalt w	kg/m <sup>3</sup>	145	141
w/z		0,44	0,52
w/(z+f)*		---	0,42
Zuschlagart und -gehalt			
Natursand 0/2	kg/m <sup>3</sup>	534	505
Grauwackesplitt 5/11	kg/m <sup>3</sup>	186	201
Basaltsplitt 8/22	kg/m <sup>3</sup>	1,263	1,233
Betonzusatzmittel LP	kg/m <sup>3</sup>	1,32	1,20
Mehlkorngehalt	kg/m <sup>3</sup>	364	391

Tabelle 1: Zusammensetzung der Betone

\* bei f = 0,25 x 2

Die Betonzusammensetzung mit Steinkohlenflugasche gemäß Tabelle 1 basiert auf Vorversuchen am Institut für Bauforschung (ibac) der RWTH Aachen [1], die als Eignungsprüfungen für die Ausführung zugrunde gelegt wurden. Zu den im Zuge der Bauausführung durchzuführenden Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen wurden weitere Frisch- und Festbetonprüfungen

gen durch die Baustoffprüfstelle der BauMineral GmbH Herten und dem ibac Aachen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den nachfolgenden Tabellen 2 bis 5 und Bildern 3 und 4 dargestellt [2], [3]. Die Ergebnisse der Erhärtungsprüfungen an Bohrkernen zeigen, daß die Nennfestigkeit des geforderten B 35 nach 28 Tagen von beiden Betonsorten

mit deutlichem Vorhaltemaß überschritten wurde. Nach fünf Jahren liegt aufgrund der puzzolanischen Reaktion mit 71,3 N/mm<sup>2</sup> die Festigkeit des Betones mit Steinkohlenflugasche EFA-Füller um mehr als 10 N/mm<sup>2</sup> höher als die des Betones ohne EFA-Füller. Hinsichtlich des Frost-Tausalz-Widerstandes, geprüft nach dem VDZ-Verfahren mit 3 % NaCl-Lösung als Taumittel, zeigten sich nach 28, 90, 365 Tagen und 5 Jahren keine signifikanten Unterschiede. Auf weitere betontechnologische Aspekte sollte hier nicht näher eingegangen werden, da diese bereits im Rahmen anderweitiger Untersuchungen und Begutachtungen umfassend behandelt und veröffentlicht worden sind.

**Tabelle 2:**  
Frischbetonkennwerte bei der Bauausführung

Eigenschaft		Beton ohne	Beton mit
		Steinkohlenflugasche	Steinkohlenflugasche
Frischbetontemperatur	°C	21	21
Verdichtungsmaß		1,28	1,28
Frischbetonrohddichte	kg/dm <sup>3</sup>	2,46	2,48
Luftgehalt	Vol.-%	5,2	5,1

**Tabelle 3:**  
Festbetonkennwerte von Güteprüfungen

Eigenschaft	Alter		Beton ohne	Beton mit
			Steinkohlenflugasche	Steinkohlenflugasche
Druckfestigkeit an Würfeln	28d	N/mm <sup>2</sup>	44,70	45,03
	90d		47,13	52,35
	365d		49,06	50,91
	5a		51,43	57,79
Festbetonrohddichte	28d		2,46	2,44
	5a		2,46	2,49
Mikroluftporengehalt	28d	Vol.-%	4,50	3,10
Abstandsfaktor Poren	28d	mm	0,06	0,07

**Tabelle 4:**  
Festbetonkennwerte von Erhärtungsprüfungen

Eigenschaft	Alter		Beton ohne	Beton mit
			Steinkohlenflugasche	Steinkohlenflugasche
Druckfestigkeit an Bohrkernen	28d	N/mm <sup>2</sup>	37,40	40,40
	90d		41,60	57,00
	365d		49,14	63,01
	5a		60,86	71,30
Festbetonrohddichte	28d	kg/dm <sup>3</sup>	2,44	2,48
	5a		2,50	2,53

**Tabelle 5:**  
Aufsummierte Abwitterungen infolge Frost-Tausalz-Beanspruchung Repro

Bohrkerne <sup>1)</sup>	Beton	Abwitterung in M.-% nach				
		10 FTW	20 FTW	30 FTW	40 FTW	50 FTW
28d	ohne 2)	1,0	1,8	2,5	3,1	3,7
90d		0,7	1,1	1,6	2,0	2,4
365d		0,5	0,8	1,1	1,6	1,9
5a		0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
28d	mit 2)	0,8	1,2	1,6	2,1	2,7
90d		1,2	1,6	2,0	2,3	2,7
365d		0,6	0,9	1,0	1,2	1,4
5a		0,4	0,5	0,6	0,8	0,8

1): Probekörper 10 x 10 x 10 cm aus Bohrkernen mit 15 cm Durchmesser geschnitten  
2): EFA-Füller S-B/E (FA)

**Untersuchung der Versuchsstrecke**

Ohne Beachtung der Grenzen zwischen den Abschnitten und Teilabschnitten wurde die gesamte Versuchsstrecke in gleicher Weise und in gleichem Umfang hinsichtlich der Gebrauchseigenschaften wie der Substanzmerkmale in Anlehnung an die auf den Bundesfernstraßen eingeführte Zustandserfassung und -bewertung untersucht.

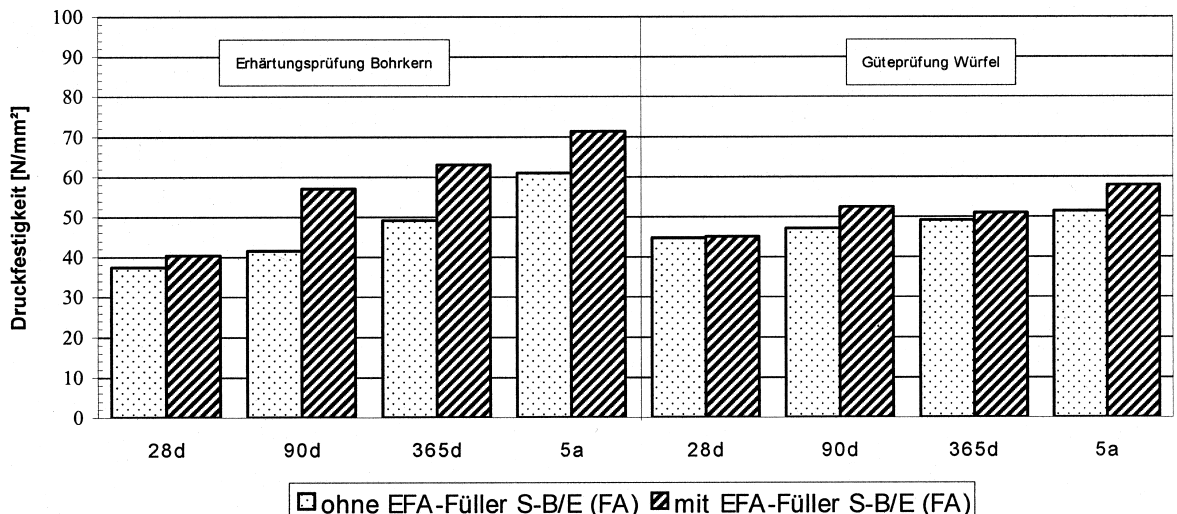
Die Zustandserfassung erfolgte im November/Dezember 1996.

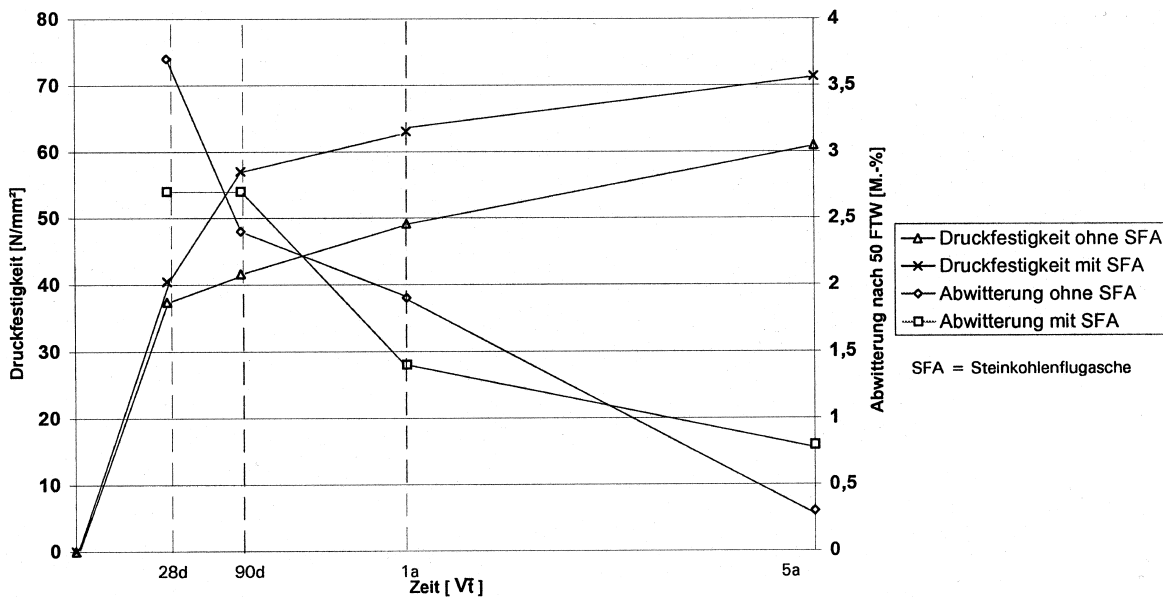
Zu diesem Zeitpunkt waren annähernd 100 000 Fahrzeugbewegungen über die Versuchsstrecke gelaufen.

An der Versuchsstrecke wurden die Merkmale entsprechend der Tabelle 6 untersucht und als Zustandsindikatoren ausgewertet.

Zur Untersuchung der Oberflächenmerkmale Ebenheit und Griffigkeit wurden die Meßsysteme ARGUS (Automatic Roadcondition Graduating Unit System) – Bild 5 – und SCRIM (Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine) eingesetzt, wie sie im Rahmen der bundesweiten Zustands-

**3: Graphische Darstellung der Betondruckfestigkeiten**





4: Abwitterungen nach 50 FTW im Vergleich zur Druckfestigkeit

erfassung des Bundesautobahn- und Bundesfernstraßennetzes sowie des Landesstraßennetzes einiger Bundesländer verwendet wurden. Die Erfassung erfolgte auf beiden Fahrbahnhälften unter Befahrung in beide Richtungen.

Bezüglich der Merkmale Längs- und Querebenheit sowie Griffigkeit wurden Mehrfachmessungen durchgeführt, welche die Basis für eine Wiederholbarkeitsbeurteilung und Plausibilitätsprüfung der ermittelten Meßergebnisse bilden.

Längsprofilaufnahme mit ARGUS

Das Höhenlängsprofil wurde nach dem Prinzip der Mehrfachabtastung durch 4 Laserdistanzsensoren erfaßt, die an einem längs zur Fahrzeugachse montierten Balken so angebracht sind, daß die Meßlinie in der rechten Lkw-Rollspur liegt.

Als Zustandsindikatoren wurde aus dem Höhenlängsprofil die Standardabweichung vom 3 m- und 10 m-gleitenden Mittelwert jeweils für 100 m-Teilabschnitte berechnet.

Die Zustandsindikatoren Allgemeine Unebenheit, Welligkeit und Standardabweichung vom gleitenden Mittelwert über 30 m haben auf Meßstrecken von weniger als 500 m Länge nur eingeschränkte Gültigkeit. Auf die Auswertung und Ausgabe dieser Zustandsindikatoren wurde hier daher verzichtet.

Querebenheit mit ARGUS

Das Querprofil wird durch Laserdistanzsensoren erfaßt, die mit regelmäßigen Abständen von 10 cm an einem Balken quer zur Fahrzeugachse angebracht sind und zusammen mit Querneigungsmessungen eine Wiedergabe des Querprofils über eine Fahrstreifenbreite von 3,00 m ermöglichen.

Die in 1 m-Abständen ermittelten Profile werden jeweils gespeichert und dienen als Berechnungsgrundlage der wiederum jeweils auf 100 m-Teilabschnitte bezogenen Zustandsgrößen

- Spurrinntentiefe und
- theoretische Wassertiefe

Griffigkeit mit SCRIM

Die SCRIM verwendet das Meßprinzip des zur Fahrrichtung schräggestellten, unter Teilschlupf abrollenden Meßrades. Es wird der Seitenreibungsbeiwert SFC bei angenähter Fahrbahnoberfläche mit einem profillosen schmalen Meßreifen unter einem Schräglaufwinkel von 20° und einer Normalkraft von

200 kg ermittelt. Die Griffigkeitsmessung erfolgte jeweils in der rechten Lkw-Rollspur.

Substanzmerkmale

Die Untersuchung der Substanzmerkmale erfolgte unter Begehung und eingehender visueller Prüfung jeder einzelnen Platte.

Dabei wurde nach den Merkmalen

- Risse
- Eckabbrüche
- Kantenschäden
- Stufenbildung an Längs- und Quertiefen

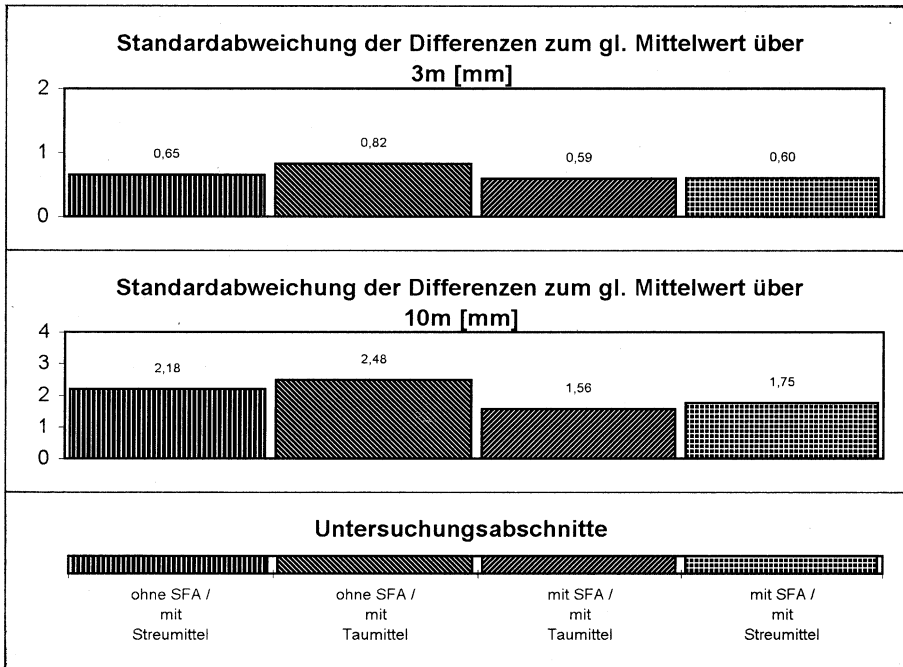
Zustandsmerkmal	Zustandsindikator
Längsebenheit	Allgemeine Unebenheiten $\Phi_h (\Omega_0)$ [cm <sup>3</sup> ] Welligkeit [-] Standardabweichung vom 3 m-gleitenden Mittelwert [mm] Standardabweichung vom 10 m-gleitenden Mittelwert [mm] Standardabweichung vom 30 m-gleitenden Mittelwert [mm]
Querebenheit	Spurrinntentiefe [mm] theoretische Wassertiefe [mm]
Griffigkeit	Seitenreibungsbeiwert SFC [-]
Substanzmerkmale	Risse [m] Eckabbrüche [-] Kantenschäden [m] Stufenbildung an Längs- und Quertiefen

Tabelle 6: Zustandswerte und Zustandsindikatoren der ZEB auf Bundesfernstraßen

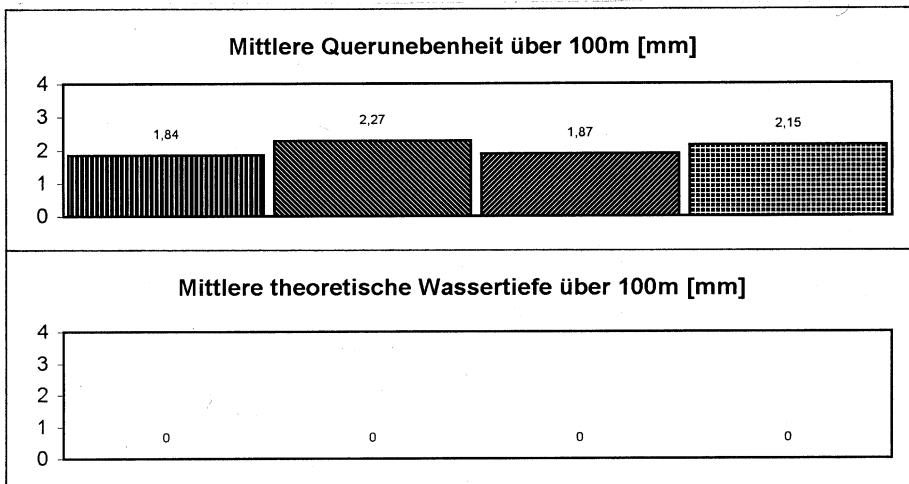


5: ARGUS-Meßfahrzeug – Systemteil Längs- und Querebenheit

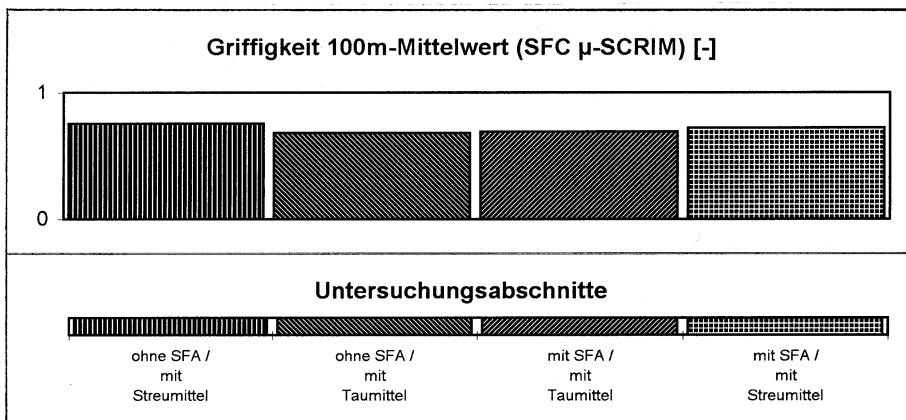
Zustandsgrößen Längsebenheit



Zustandsgrößen Querebenheit



Zustandsgrößen Griffigkeit



6: Ergebnisse der Zustandserfassung

Oberflächentextur

Bei der ebenfalls visuellen Prüfung der Oberflächentextur wurde besonders auf einen Vergleich inner- und außerhalb der Rollspuren geachtet.

Die Dokumentation der Texturmerkmale erfolgte durch fotografische Makro-Aufnahmen mit dem Reprativ der Firma Leitz.

Auswertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der durchgeführten Messungen sind in den graphischen Darstellungen (Bild 6) zusammengefaßt.

Die Meßweglänge beträgt auf beiden Fahrbahnhälften jeweils 400 m. Die Grenze zwischen den Abschnitten 1 und 2 (mit/ohne Steinkohlenflugasche) liegt in der Mitte der Erprobungsstrecke. Das Bild 7 zeigt den Übergang von dem Abschnitt ohne (im Vordergrund) zu dem Abschnitt mit Steinkohlenflugasche. Im Bild 6 sind Zustandsgrößen der Längsebenheit, die Standardabweichungen der Differenzen zum gleitenden Mittelwert über 3 und 10 m sowie die Querunebenheiten, die theoretische Wassertiefe und die Griffigkeit dargestellt.

Substanzmerkmale und Makrotextur

Die Substanzmerkmale wurden fotografisch aufgenommen und gemeinsam mit Übersichtsfotos in einer Fotodokumentation zusammengestellt.

Längsebenheit

Bei Betrachtung der Längsebenheit als Indiz für Beanspruchungsfolgen in der Decke ist zu berücksichtigen, daß sich hierin die planungsbedingten, das heißt, die gewollten Bewegungen der Gradiente mit den Unebenheiten überlagern, die sich aus den Einbaubedingungen und den Beanspruchungsfolgen in der Unterlage der Betondecke (Tragschichten und Untergrund) ergeben.

Dies gilt besonders für den langwelligen Bereich. Aber auch für die mittlere Wellenlänge von 10 m ist dies noch von Bedeutung.

Eine vergleichende Gegenüberstellung der Untersuchungsabschnitte mit und ohne Steinkohlenflugasche wie auch der Teilabschnitte mit Streumittel- und Taumittelbehandlung zeigt nur geringe Unterschiede. Diese können weder auf den Unterschied in der Betonzusammensetzung noch auf die unterschiedliche Winterbehandlung der Oberflächen zurückgeführt werden.

**Querebenheit**

Bei den dargestellten mittleren Querunebenheiten über 100 m handelt es sich um die nach dem 2-m-Latte-Prinzip in den Rollspurbereichen links und rechts ermittelten Größen. Dabei ist als maßgeblich jeweils der größere Wert aus den beiden Spurrinnenbereichen eingesetzt. Insbesondere bei Werten bis zu ca. 2 mm ist zu bedenken, daß nach dem benannten Prinzip nicht allein Spurtiefen, sondern auch andere Arten von Querunebenheiten erfaßt werden. So z. B. die Einebnung von Rautiefen, wie sie hier als Besenstrich aufgebracht wurden. Außerdem können auch temperaturspannungsbedingte Verformungen der Betonplatte in die Meßergebnisse eingehen. Unter Berücksichtigung solcher Einflüsse sind die Unterschiede zwischen den Querunebenheiten der verglichenen Teilabschnitte unbedeutend. Soweit die Werte durch den Abrieb des Besenstriches bedingt sind, lassen sie den Schluß zu, daß auch in dieser Hinsicht kein Unterschied zwischen den Betoneigenschaften mit und ohne Steinkohlenflugasche besteht.

**Griffigkeit**

Für die Darstellung der Griffigkeit wurden die Ergebnisse von der Fahrbahnhälfte gewählt, die überwiegend mit den beladenen Fahrzeugen befahren wird, weil sich hier am ehesten ein Unterschied zwischen den verschiedenen Abschnitten der Erprobungsstrecke eingestellt haben könnte. Die im Bild 6 dargestellten Griffigkeitswerte lassen keinen relevanten Unterschied zwischen den Abschnitten mit und ohne Steinkohlenflugasche erkennen. Jedoch ist nicht auszuschließen, daß die höheren Griffigkeiten in den mit Streumittel behandelten Abschnitten auf die mechanische Aufrauung zurückzuführen sind. Bei dieser Schlußfolgerung ist allerdings einschränkend



**7: Übergang zwischen den Abschnitten ohne (im Vordergrund) und mit Steinkohlenflugasche**

zu bedenken, daß die Spurkonzentration des Verkehrs und somit die Polierbeanspruchung im Rollspurbereich am Beginn und Ende der Erprobungsstrecke deutlich geringer ist als in den Teilabschnitten, die mit Taumittel behandelt wurden. Dieser Einfluß überlagert den Einfluß der Streumittelbehandlung mit einiger Sicherheit in erheblichem Maße. Unabhängig von den vorgenannten Einflüssen liegt das Griffigkeitsniveau der betreffenden Betondecke über dem für Bundesfernstraßen geltenden Zielwert (sehr gut bis gut) von  $SCRIM \geq 0,61$ .

**Substanzmerkmale**

In beiden Abschnitten wurden keine Risse festgestellt, die den Substanzwert der Betondecke betreffen. Im Makro-Maßstab betrachtet, sind haarfeine Risse sowohl in dem Abschnitt mit als auch ohne Steinkohlenflugasche zu erkennen. Hierbei handelt es sich um Risse bis maximal 2 mm Tiefe, wie sie sich beim Abbinden in der Feinkornschlemme an der Oberfläche bilden. Unter Eckabbrüchen werden Risse verstanden, welche Plattenecken von der Hauptfläche der Platte abtrennen. In beiden Vergleichsabschnitten liegen keine Eckabbrüche vor.

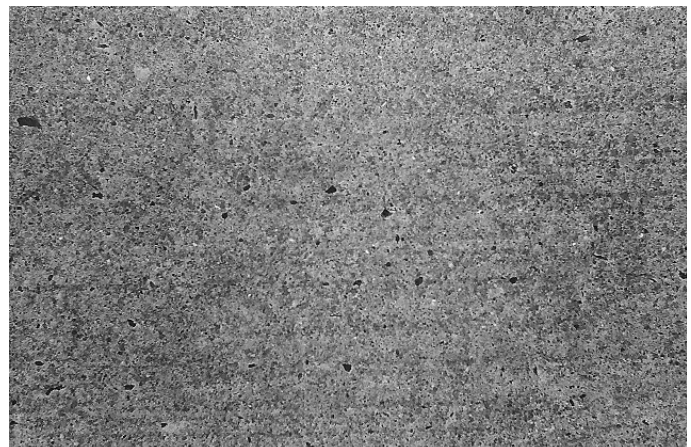
In dem Abschnitt ohne Steinkohlenflugasche wurden vereinzelte Kantenabbrüche (insgesamt nur 3 Stück) an vergossenen Längs- bzw. Quertiefen festgestellt. Mit hoher Wahrscheinlichkeit sind diese schon beim Fugenschneiden entstanden oder vorgebildet worden. Hierfür spricht die Tatsache, daß die Schäden schon beim Vergießen der Fugen mit Vergußmasse verfüllt wurden.

Somit liegen auch bezüglich der Kantenschäden keine Feststellungen vor, die eine vergleichende Bewertung der verschiedenen Abschnitte oder Teilabschnitte anhand von Beanspruchungsreaktionen zum jetzigen Zeitpunkt zuließen.

Auf der gesamten Versuchsstrecke wurden keine Stufenbildungen an Längs- oder Quertiefen festgestellt. An anderer Stelle wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Betondecke der Kraftwerksausfahrt nicht vollständig höhengleich an die Versuchsstrecke angeschlossen ist. Hier besteht also eine Stufe, die beim Vergleich der Versuchsabschnitte ohne Bedeutung für die Frage von Stufenbildung ist. Im übrigen sind Stufenbildungen in aller Regel weniger den Betoneigenschaften als der Unterlage des Betons zuzurechnen.



**8: Oberflächentextur des Abschnittes mit Steinkohlenflugasche**



**9: Oberflächentextur des Abschnittes ohne Steinkohlenflugasche**

### Makrotextur

Allein hinsichtlich der Makrotextur der Betonoberfläche haben sich aus der bisherigen Nutzung Änderungen gegenüber dem Neuzustand ergeben. Diese bestehen in einer mehr oder minder ausgeprägten Einebnung der Besenstrichtextur.

Die Bilder 8 und 9 zeigen eine exemplarische Gegenüberstellung der Oberflächentextur in den Abschnitten mit und ohne Steinkohlenflugasche.

Ein eingehender Vergleich der Makrotextur-Merkmale in der Örtlichkeit zeigte, daß die durch Abrieb entstandene Einebnung des Besenstrichs in allen 4 Teilabschnitten ohne augenscheinlich erkennbare systematische Unterschiede verläuft.

Der anfängliche Besenstrich wie auch die in den Radspuren erfolgte Einebnung weisen innerhalb der einzelnen Abschnitte eine weitgehend gleichmäßige Bandbreite von Varianten auf.

Auch in den Radspuren ist ohne Unterschied in den verschiedenen Teilabschnitten noch eine Rauheit vorhanden, die weitestgehend dem „Sandpapier“-Typ zuzuordnen ist. In Verbindung mit einer ausreichenden Mikrorauheit gilt dieser Typ bzgl. der Griffigkeit als besonders günstig. Diese Feststellung ist durch die Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen bestätigt.

In Zusammenhang mit der Textur (Mikrostruktur) ist von Bedeutung, daß während der Zustandserfassung nach einem Regenschauer ein deutlich rascheres Trocknen der Oberfläche in den Teilabschnitten mit Steinkohlenflugasche beobachtet werden konnte. Dies deutet auf eine geringere Wasseraufnahme, zumindest der oberen Zone der Betondecke mit Steinkohlenflugasche, hin und ist bezüglich der Frost-Tau-Wechsel-Beständigkeit unter Praxisbedingungen als günstig zu bewerten.

### Schlußfolgerungen

Alle durchgeführten Untersuchungen und die dabei getroffenen Feststellungen lassen erkennen, daß sich über die bisherige Nutzungsdauer von insgesamt 6 Jahren keine Unterschiede zwischen dem Abschnitt mit und dem Abschnitt ohne Steinkohlenflugasche ergeben haben. Damit ist eine nachteilige Auswirkung des Teilersatzes von Zement durch Steinkohlenflugasche in dem betreffenden Fahrbahndeckenbeton weder hinsichtlich des Gebrauchsnach des Substanzwertes festzustellen. Diese Feststellung gilt ohne Einschränkung auch für den Teilabschnitt, in welchem auf dem Beton mit Steinkohlenflugasche Taumittel eingesetzt werden.

Taumittleinsatz stellt bekanntlich eine besonders starke Beanspruchung für Beton dar. Da über die Dauer von 6 Jahren – teils mit sehr ausgeprägten Winterbedingungen – selbst in der Makrotextur keinerlei nachteilige Veränderungen eingetreten sind, werden auch in absehbarer Zeit mit hoher Wahrscheinlichkeit keine negativen Auswirkungen des vorgenommenen Teilersatzes von Zement durch Steinkohlenflugasche erwartet. Diese Feststellung bestätigt auch für diesen Anwendungsfall die Erfahrungen, die seit Jahrzehnten mit Steinkohlenflugasche als Betonzusatzstoff in Beton und Stahlbeton nach DIN 1045 gemacht wurden und werden.

### Schrifttum

- 1 Eignungsprüfungen. Prüfbericht-Nr. A 1960 vom 22.8.1988, ibac, Aachen
- 2 Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands an Betonen für den Straßenbau. Prüfbericht-Nr. 2301 vom 14.3.1991, ibac, Aachen
- 3 Frost-Tausalz-Widerstand von einem Jahr alten Straßenbaubetonen. Prüfbericht A 2455 vom 12.11.1991, ibac, Aachen
- 4 Prüfungen an fünf Jahre alten Straßenbaubetonen. Prüfbericht-Nr. A 2955 vom 22.1.1996, ibac, Aachen
- 5 Prüfergebnisse begleitender Untersuchungen. Abschlußbericht BauMineral GmbH Herten, 30.9.1995
- 6 Koch, H.-J. und Lutze, D.: Fahrbahndecken aus Beton – Versuchsstrecke mit Steinkohlenflugasche. Beton 47 (1997) H. 6, S. 319–322

**BauMineral**

BauMineral GmbH  
Hiberniastraße 12  
45699 Herten

Telefon: 02366/509-0  
Telefax: 02366/509-256

Internet: [www.baumineral.de](http://www.baumineral.de)  
e-mail: [baumineral@baumineral.de](mailto:baumineral@baumineral.de)