

Einfluss der Betonober- flächenvorbereitung auf die Haftung von Epoxidharz

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 49



bast

Einfluss der Betonober- flächenvorbereitung auf die Haftung von Epoxidharz

von

Michael Raupach
Günther Rößler

Institut für Bauforschung Aachen (ibac)
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 49

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M- Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 15.373/2002/DRB:
Untersuchung der Auswirkungen der verschiedenen Oberflächenvorbereitungsverfahren auf die Beschaffenheit und Qualität der anschließend aufzubringenden Behandlung mit Reaktionsharz

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9293
ISBN 3-86509-469-4

Bergisch Gladbach, Juli 2006

Kurzfassung – Abstract

Einfluss der Betonoberflächenvorbereitung auf die Haftung von Epoxidharz

Im Rahmen des Projektes wurde der Frage nachgegangen, wie Art und Intensität der Betonoberflächenvorbereitung und die thermische Beanspruchung durch Aufschweißen einer Bitumenschweißbahn sowie Aufbringen von Gussasphalt den Verbund zwischen Beton und Grundierung, dem Verbindungselement zwischen Untergrund und Dichtungsschicht aus einer Bitumenschweißbahn, beeinflussen. Variiert wurden:

- Beton (ein C30/37, Oberfläche abgezogen, und ein C35/45, geglättet),
- Betonoberflächenbehandlung (Kugelstrahlen, Walzenfräsen und Klopffräsen sowie Kombinationen aus Fräsen und Strahlen),
- Rautiefe (0,2–0,3 mm = klein (leicht angestrahlt); 0,5–0,6 mm = mittel (Feinkorn freigelegt); 0,6–0,9 mm = groß (Grobkorn freigelegt)) und
- Grundierung (3 Varianten).

Beurteilt wurde die Qualität des Verbundes anhand des Abreißversuches, der vor und nach dem Grundieren sowie nach der thermischen Beanspruchung, die wirklichkeitsgetreu simuliert wurde, durchgeführt wurde.

Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden: Die Mindestanforderungen der ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 1 hinsichtlich der Abreißfestigkeit (1,5 N/mm² im Mittel, 1,0 N/mm² je Prüfstelle) wurden mit allen Verfahren und Rauheiten zu jedem Zeitpunkt erreicht. Tendenziell wurden die höchsten Abreißfestigkeiten mit alleinigem Kugelstrahlen erzielt, wobei kein signifikanter Unterschied zwischen den damit hergestellten Rautiefen (gering und mittel) bestand. Walzenfräsen allein (große Rautiefe) führt zur geringsten Abreißfestigkeit. Nachgeschaltetes Kugelstrahlen erhöhte die Abreißfestigkeit. Auch ohne Betonoberflächenvorbereitung konnten überwiegend genauso hohe Abreißfestigkeiten erreicht werden wie mit Oberflächenvorbereitungsverfahren. Nach der thermischen Beanspruchung traten jedoch zum Teil Adhäsionsbrüche zwischen Grundierung und Beton auf und die Anforderungen an die Abreißfestigkeit wurden nicht immer erfüllt. Daher sollte die Betonoberfläche immer abtragend vorbereitet werden.

Bei Anwendung von Betonoberflächenvorbereitungsverfahren wurde im Abreißversuch immer Betonbruch erzielt und die Abreißfestigkeit durch die thermische Beanspruchung beim Aufschweißen der Bitumenschweißbahn und beim Aufbringen von Gussasphalt nicht negativ beeinflusst.

Influence of the preparation of the concrete surface on the adhesiveness of epoxy resin

The aim of the project was to determine the influence of the type and intensity of concrete surface preparation on the adhesive strength of an epoxy primer as a boundary element between concrete and bitumen sheet. The influence of the thermal stress as brought about by the welding-on of a bitumen sheet and the application of a mastic asphalt was also to be investigated. This heating of primed concrete was simulated under real-life conditions. Variations were applied as per the following:

- concrete (a C30/37, surface-screeded, and a C35/45, surface-skimmed)
- concrete surface preparation (1 blasting method, 2 milling methods and combinations of milling and blasting)
- Surface roughness (0,2-0,3 mm = small (slightly blasted); 0,5-0,6 mm = medium (fine grain laid open); 0,6-0,9 mm = large (rough grain laid open) and
- primer (3 types)

The quality of the adhesion was estimated applying the pull-off test. This test was conducted both with and without primer, before and after heating.

The results can be summarised as follows: The minimum requirements of the ZTV-ING Part 7, Section 1 with respect to the tear-off strength (1,5 N/mm² on average, 1,0 N/mm² per test centre) were achieved with all processes and roughness types at any point in time. There was a tendency for reaching the highest tear-off strengths with individual shot blasting with steel balls, in which case there was no significant difference between

the surface roughness types achieved (low and medium). Roll-milling alone (large surface roughness) led to the slightest tear-off strength. Subsequent shot blasting with steel balls increased the tear-off strength. Equally high tear-off strengths could also be achieved without preparing the concrete surface as in the case of surface preparation processes. After the thermal stress, however, there were partial breaks in adhesion between the base and the concrete and the requirements to the tear-off strength were not always fulfilled. Therefore the concrete surface should always be prepared in a way that it can be removed. When using processes for the preparation of concrete surfaces, breaking of the concrete was always achieved and the tear-off strength was not negatively influenced by the thermal stress when welding on the welded bitumen strip and applying the mastic asphalt.

Inhalt

1	Hintergrund und Ziel des Projektes	7
2	Überlegungen zum Versuchsprogramm	7
3	Durchführung der Untersuchungen	8
3.1	Betonieren der Platten	8
3.2	Betonoberflächenvorbereitung	9
3.3	Grundierungen	14
3.4	Thermische Beanspruchung der Grundierung	15
3.5	Abreißprüfung	15
4	Darstellung der Ergebnisse der Abreißversuche	16
5	Diskussion der Ergebnisse des Abreißversuches	32
6	Zusammenfassung	39
	Danksagung	39

1 Hintergrund und Ziel des Projektes

Nach den ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 1 ist die Betonoberfläche vor dem Aufbringen einer Grundierung, Versiegelung oder Kratzspachtelung, die als Verbindungselement zwischen Untergrund und Dichtungsschicht dient, so vorzubereiten, dass eine ausreichende Haftung dieser epoxidharzgebundenen Schicht gegeben ist.

Im Rahmen des Projektes sollte geklärt werden, wie die Art der Betonoberflächenvorbereitung den Verbund zwischen Betonuntergrund und Grundierung beeinflusst. Variiert werden sollten:

- Grundkörperbeton,
- Betonoberflächenbehandlung,
- Rautiefe und
- Grundierung.

Der Einfluss der o. g. Parameter sollte anhand der Abreißfestigkeit und des Bruchbildes beurteilt werden.

2 Überlegungen zum Versuchsprogramm

Aufgrund der Vorgaben der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und umfangreicher Diskussionen und Gespräche mit den Betreuern des Projektes wurden die Randbedingungen für das Versuchsprogramm wie folgt festgelegt:

Für die Grundkörper sollte vor allem ein Beton verwendet werden, der im Zuge von Instandsetzungsarbeiten auf Brücken häufig anzutreffen ist, nämlich ein Beton C30/37 (frühere Bezeichnung: B 35). Die Oberfläche des Betons sollte gemäß ZTV-K mit einer Rüttelbohle abgezogen werden. Zusätzlich sollte untersucht werden, welche Betonoberflächenvorbereitungsmaßnahmen an einer sehr glatten Betonoberfläche (z. B. mit Flügeltglätter hergestellt) einen dauerhaften Verbund zwischen Beton und Grundierung sicherstellen. Da auch Neubaumaßnahmen berücksichtigt werden sollten, sollte dieser Beton eine höhere Druckfestigkeit besitzen, wie z. B. ein Beton C45/55 (frühere Bezeichnung: B 55). Verwendet wurde schließlich ein Beton C35/45. Das Größtkorn des Betons sollte als Kompromiss zwischen Praxis (32 mm) und Prüftechnik (8 mm) 16 mm betragen.

Von der Betreuergruppe war ohne weitere Diskussion das Glätten des Betons C45/55 durch Flügeltglätter als praxisgerechtes Oberflächenbearbeitungsverfahren für richtig erachtet worden. Nach neueren eigenen Erfahrungen birgt diese Methode jedoch die Gefahr von Fehlern bis hin zu niedrigen Abreißfestigkeiten von weniger als 0,5 MPa und Bruchflächen in wenigen mm Tiefe parallel zur Oberfläche. Wegen des geringeren Risikos wurde daher intern beschlossen, die Oberfläche des Betons C45/55 mit einer Rüttelbohle vorzuglätten und anschließend von Hand mit einem Reibbrett endzubearbeiten. Diese Verfahrensweise ist zwar wesentlich aufwändiger, führt aber ebenfalls zu einer sehr glatten Oberfläche, ohne die o. g. Risiken.

Die Rauheiten sollten vor allem folgende Erscheinungsbilder der Betonoberfläche zum Ausdruck bringen:

- leicht angestrahlt,
- Feinkorn freigelegt,
- Grobkorn freigelegt.

Von den gebräuchlichen Betonoberflächenvorbereitungsverfahren wie Partikelstrahlen, Druckwasserstrahlen, Fräsen und Flammstrahlen (selten angewendet) sollten wegen der größten praktischen Bedeutung nur Partikelstrahlen, das im Neubaubereich am häufigsten eingesetzt wird, und Fräsen berücksichtigt werden. Insgesamt sollten die Rauheiten deutlich unter 1,5 mm (Grenze der Anwendung einer Grundierung) liegen.

Im Neubaubereich und bei kleinen und mittleren Rautiefen wird vorzugsweise das Kugelstrahlen angewendet. Größere Rautiefen sind mit diesem Verfahren nicht erzielbar. Wegen ihrer Bedeutung bei Instandsetzungsmaßnahmen sollten die Fräsearten Walzenfräse und Klopffräse (die auch im Neubaubereich eingesetzt wird) in das Versuchsprogramm einbezogen werden. Da üblicherweise nach dem Fräsen das Kugelstrahlverfahren angewendet wird, sollte sich diese Verfahrensweise vor allem im Versuchsprogramm widerspiegeln. Zusätzlich sollte aber auch der Einfluss durch alleiniges Fräsen, das in der Praxis ebenfalls angewendet wird, untersucht werden, um die Notwendigkeit des Nacharbeitens durch Kugelstrahlen beurteilen zu können.

Die Grundierungen wurden so ausgewählt, dass sie den gesamten Viskositätsbereich der in der BASt-Liste der geprüften Stoffe enthaltenen Grun-

Beton		C30/37												C35/45																
Rautiefe		0	klein			mittel			groß						0	klein			mittel			groß								
Oberflächenvorbereitung		0	K			K			FW+K		FK+K		FW		0	0			K			FK+K								
Grundierung		1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Zeitpunkt der Abreißfestigkeitsprüfung	vor dem Grundieren	10		10			10			10			10			10			10			10			10			10		
	nach dem Grundieren	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	nach der therm. Beanspruchung	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Summe Prüfstellen		380												240																
FK:		Fräsen mit Klopffräse																												
FK+K:		Fräsen mit Klopffräse und anschließendes Kugelstrahlen																												
FW:		Fräsen mit Walzenfräse																												
FW+K:		Fräsen mit Walzenfräse und anschließendes Kugelstrahlen																												
K:		Kugelstrahlen																												
Rautiefe:		angestrebte Bereiche: klein: 0,2–0,3 mm; mittel: 0,5–0,6 mm; groß: 0,6–0,9 mm; nach dem Sandflächenverfahren																												

Tab. 1: Versuchsprogramm

dierungen nach TL-BEL-EP abdecken. Die Auftragsmenge des Epoxidharzes sollte gemäß ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 1 je nach Rauheit 300 bis 500 g/m² betragen. Zum Absanden sollten 800 g/m² Quarzsand der Körnung 0,2/0,7 verwendet werden.

Um die Veränderung der Abreißfestigkeit der Betonoberfläche durch Aufbringen einer Grundierung sowie die thermische Beanspruchung beim Aufschweißen einer Bitumenschweißbahn und Aufbringen von Gussasphalt beurteilen zu können, sollten Abreißversuche vor und nach den thermischen Beanspruchungen durchgeführt werden.

Weil Abreißversuche mit Bitumenschweißbahn und Gussasphalt die Gefahr bergen, dass ein großer Teil der Brüche oberhalb der Grundierung stattfindet, wurde vereinbart, den Gussasphalt durch eine dünne Aluminiumfolie vom Untergrund zu trennen, um ihn nach dem Erhärten rückstandslos entfernen zu können. Darüber hinaus erschien es wünschenswert, auch mit der Bitumenschweißbahn ähnlich zu verfahren. Um diese Idee verwirklichen zu können, sollte die Schweißbahnrolle in dem Aufschweiß-Verlegegerät gemäß TP-BEL-EP, Bild 1, durch einen Stahlzylinder ersetzt werden. Hinter dem Stahlzylinder sollte eine Bitumenschweißbahn mit Aluminiumkaschierung abgerollt werden, um einerseits die verzögerte Abkühlung des Untergrundes realistisch nachbilden zu können, andererseits aber auch die Bahn wieder rückstandslos von der Grundierung entfernen zu können.

Die mit den Betreuern des Projektes festgelegten Parameter sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Erweitert wurde das vereinbarte Versuchsprogramm aufgrund von zwischenzeitlichen Erfahrungen auf Baustellen noch durch den Parameter „keine Oberflächenvorbereitung“ (Rautiefe 0).

3 Durchführung der Untersuchungen

3.1 Betonieren der Platten

Entsprechend Abschnitt 2 wurden bei einem Transportbetonwerk ein Beton C30/37 (alte Bezeichnung: B 35) und ein Beton C45/55 (alte Bezeichnung: B 55) bestellt. Die planmäßigen Zusammensetzungen und zugesicherten Eigenschaften der bestellten Betone sowie die selbst ermittelten Eigenschaften sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Es wurden Schalungen für 6 Platten mit einer Länge von 2,40 m, einer Breite von 0,90 m und einer Dicke von 20 cm gebaut. Mit der bestellten Betonsorte C30/37 wurden 6 Platten unbewehrt betoniert – 5 für die unterschiedlichen Oberflächenvorbereitungsverfahren sowie eine Reserveplatte – und mit der bestellten Betonsorte C45/55 wurden 4 Platten – 3 für die unterschiedlichen Oberflächenvorbereitungsverfahren sowie eine Reserveplatte – unbewehrt betoniert. Verdich-

	Einheit	Beton C30/37		Beton C45/55			
		Werksangabe	überprüft	Werksangabe	überprüft		
Zementsorte	-	CEM I 42,5 R	-	CEM I 42,5 R	-		
Sieblinie	-	A/B16		A/B16			
Zement	kg/m ³	350		440			
Wasser		173		178			
Zuschlag (trocken)		1.832		1.743			
Verflüssiger		% (von Zement)		0,5		0,5	
Luft		Vol.-%		2,0		2,0	
Wasser/Zement	-	0,49		0,40			
Ausbreitmaß	cm	35-41 (F2, plastisch)		36		35-41 (F2, plastisch)	35, 39*
2-d-Druckfestigkeit (Mittelwert)	N/mm ²	> 25		-		> 33	
28-d-Druckfestigkeit (Mittelwert)		> 45	51**	> 61	52**		
$r = f_{cm2}/f_{cm28}$ (Minimum)		0,56	-	0,54			
* nach geringfügiger Wasserzugabe							
** 1 Tag in Schalung mit Polyethylen-Folie abgedeckt, dann 6 Tage unter Wasser, anschließend an Raumluft							

Tab. 2: Planmäßige Betonzusammensetzung und ausgewählte Kennwerte

tet wurden die Platten mit einem Innenrüttler. Anschließend wurde die Oberfläche mit einer Motorpatzche (Rüttelbohle) geglättet, indem diese über die Oberkanten der Schalungen geführt wurde. Die Oberfläche des bestellten Betons C45/55 wurde zusätzlich nach 1,5 Stunden von Hand mit einem Reibbrett glatt gerieben. Die Platten wurden 2 Tage (C30/37) bzw. 4 Tage (C45/55) in der Schalung gelassen, wobei die Einfüllseite mit Polyethylen-(PE-)Folie abgedeckt war. Unmittelbar nach dem Ausschalen wurden die Platten zur besseren Handhabung an Sollbruchstellen (Trennbrett von 15 cm Höhe) in Längsrichtung gedrittelt. Danach lagerten die Platten weiter 6 Tage unter PE-Folie und danach ungeschützt bei Raumklima. Damit wurde die nach DIN 1045-3:2001-07, Tabelle 2, geforderte Nachbehandlungsdauer bei der hier gegebenen schnellen Festigkeitsentwicklung – $r \geq 0,50$ (s. Tabelle 2) von einem Tag erheblich überschritten.

Beton	Würfel	Wertetyp	Druckfestigkeit MPa
C30/37	1	Einzelwert	59,8
	2		44,9
	3		48,4
	1-3	Mittelwert	51,0
C35/45 („C45/55“)	1	Einzelwert	50,9
	2		49,3
	3		55,6
	1-3	Mittelwert	52,0

Tab. 3: Betondruckfestigkeit im Alter von 28 d

Zur Überprüfung der Druckfestigkeiten der gelieferten Betone wurden parallel zu den Platten je Betonsorte 3 Würfel mit 150 mm Kantenlänge hergestellt, einen Tag neben den Platten in der Schalung mit PE-Folie abgedeckt gelagert und anschließend entsprechend DIN 1048-5 nachbehandelt (6 Tage unter Wasser, dann an Luft). Die im Alter von 28 Tagen gemäß DIN 1048-5 ermittelten Druckfestigkeiten sind in Tabelle 3 dokumentiert. Danach wird für den bestellten Beton C30/37 wegen des kleinsten Einzelwertes von 44,9 N/mm² (Ersatz für die 5%-Quantile) diese Festigkeitsklasse bestätigt. Der bestellte Beton C45/55 kann dagegen wegen des kleinsten Einzelwertes von 49,3 N/mm² nur der Festigkeitsklasse C35/45 zugeordnet werden. Weil dieser Beton einerseits die geplante Druckfestigkeit nicht erreicht, andererseits die geplante Festigkeitsklasse aber auf zahlreichen Fotos verwendet wurde, wird der Beton im Weiteren als C35/45 oder „C45/55“ bezeichnet.

3.2 Betonoberflächenvorbereitung

Die Betonoberflächen wurden im Betonalter von 3 Wochen mit den folgenden 3 verschiedenen Geräten und Geräteparametern bearbeitet:

Kugelstrahlmaschine 1-15 DS der Fa. Blastrac, Arbeitsbreite 380 mm mit Stahlkugeln, Nennkorn 1 mm, s. Bild 1. Die Stromstärke betrug bei allen Arbeiten 25 Ampere (Maximalwert); die Strahlintensität wurde anhand der Vorschubgeschwindigkeit wie folgt variiert: kleine planmäßige Rautiefe: eine Überfahrt mit Fahrstufe 3 (von 10); mittlere planmäßige Rautiefe: 1. Überfahrt mit Fahrstufe 1, 2. mit 3; Strahlen nach Fräsen: eine Überfahrt mit Fahrstufe 1.

Klopffräse (Schlaglamellenfräse) BMP 320 der Fa. Blastrac, Arbeitsbreite 320 mm entsprechend



Bild 1: Kugelstrahlmaschine 1-15 DS der Fa. Blastrac, Arbeitsbreite: 380 mm

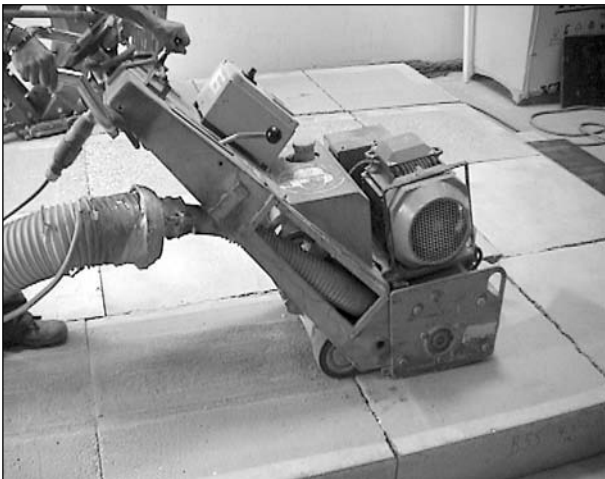


Bild 2: Klopffräse (Schlaglamellenfräse) der Fa. Blastrac, Arbeitsbreite: 320 mm



Bild 3: Detail Klopffräse; Teilansicht einer Welle mit Schlaglamellen und Distanzscheibe

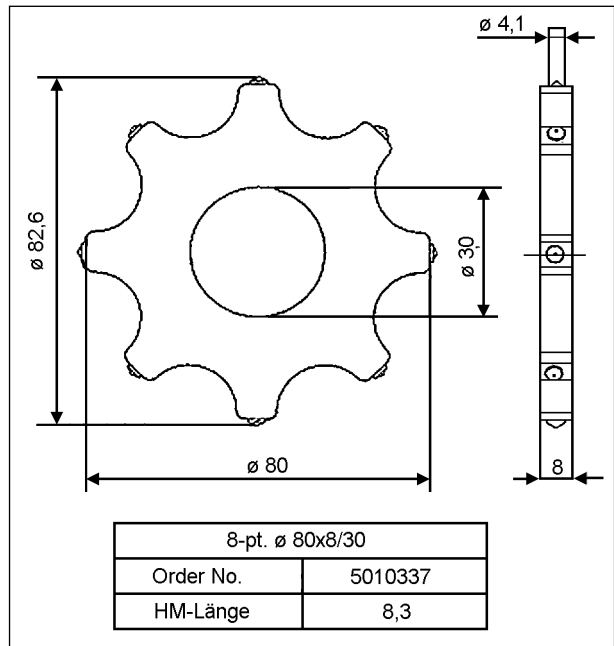


Bild 4: Lamelle der Klopffräse

Bild 2. Auf den 5 Wellen befanden sich jeweils 20 Lamellen und Distanzscheiben, s. Bilder 3 und 4. Gefräst wurde eine Bahn vorwärts und eine rückwärts.

Walzenfräse W 350 der Fa. Wirtgen, Arbeitsbreite 350 mm mit 167 Meißeln mit Hartmetallspitze auf einer Trommel (Feinstfräse), s. Bilder 5 bis 8. Die Frästiefe wird mittels hydraulischer Höhenverstellung der neben dem Fräskopf angeordneten Räder gegenüber dem Fräswerkzeug eingestellt. Der Fräskopf wird durch das Eigengewicht der Maschine von 4.500 kg in der gewünschten Frästiefe gehalten. Gefräst wurde eine Bahn vorwärts und eine rückwärts.

Für die Bearbeitung der Betonoberflächen wurden die $80 \times 90 \text{ cm}^2$ großen Platten auf den ebenen Estrich einer Halle je Parameterkombination hintereinander gelegt. Vor den Stirnseiten der Bearbeitungsbahnen waren zusätzliche Platten gleicher Dicke (Reserveplatten) zum Manövrieren der Geräte angeordnet. Die Einstellungen der Geräte wurden bei Probeläufen auf den Reserveplatten festgelegt.

Die angewendeten Verfahren, qualitativ geplanten Rauheiten und gemessenen Rautiefen sind der Tabelle 4 zu entnehmen. Die bearbeiteten Betonflächen sind exemplarisch in den Bildern 9 bis 16 zu sehen. Die Bestimmung der Rautiefe mit dem Sandflächenverfahren nach KAUFMANN entsprechend ZTV-W ist exemplarisch in den Bildern 17 bis 20 dokumentiert.

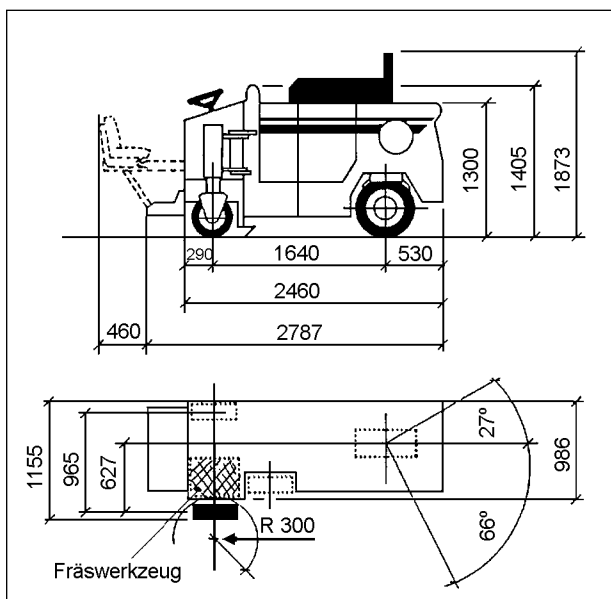


Bild 5: Walzenfräse, schematische Darstellung



Bild 6: Walzenfräse

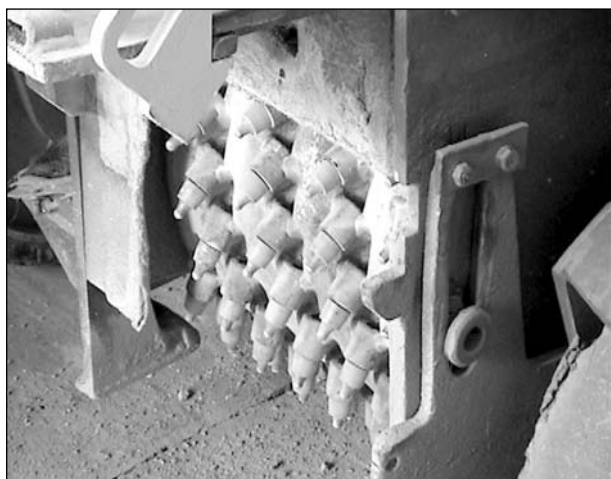


Bild 7: Detail Walzenfräse; Teilansicht Walze mit Meißeln

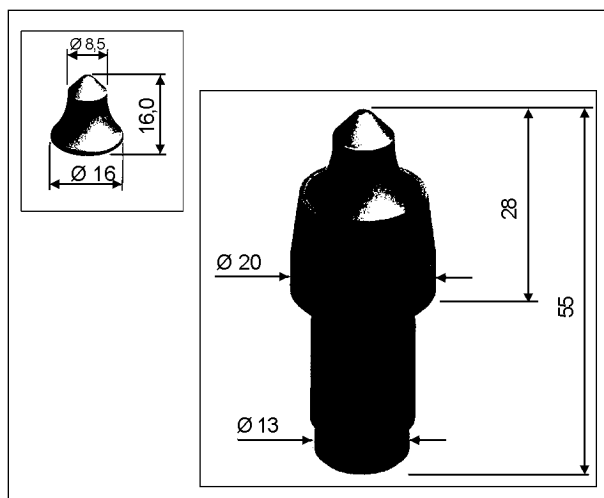


Bild 8: Meißel der Walzenfräse

Probenkennzeichnung	Gerät/Verfahren			planmäßige Rautiefe	Grundierung	ermittelte Rautiefe mm		
	Walzenfräse	Klopf-fräse	Kugelstrahlen					
B35 (C30/37)	1	1		x	klein	1	0,28	
	1	2		x		2		
	1	3		x		3		
	2	1		x	mittel	1	0,62	
	2	2		x		2		
	2	3		x		3		
	3	1		x	groß	1	0,90	
	3	2		x		2		
	3	3		x		3		
	4	1	x			groß	1	0,82
	4	2	x				2	
	4	3	x				3	
	5	1	x		x	groß	1	0,74
	5	2	x		x		2	
	5	3	x		x		3	
B55 (real: C35/45)	1	1		x	klein	1	0,24	
	1	2		x		2		
	1	3		x		3		
	2	1		x	mittel	1	0,49	
	2	2		x		2		
	2	3		x		3		
	3	1		x	groß	1	0,90	
	3	2		x		2		
	3	3		x		3		
Beton	Verfahren, Rautiefe Grundierung							

Tab. 4: Gemessene Rautiefen

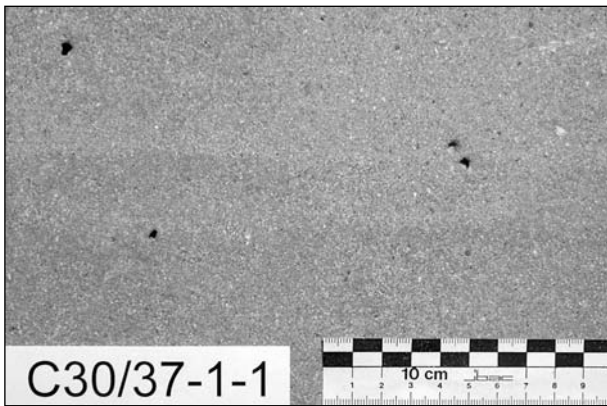


Bild 9: Beton C30/37 nach Kugelstrahlen, kleine Rautiefe

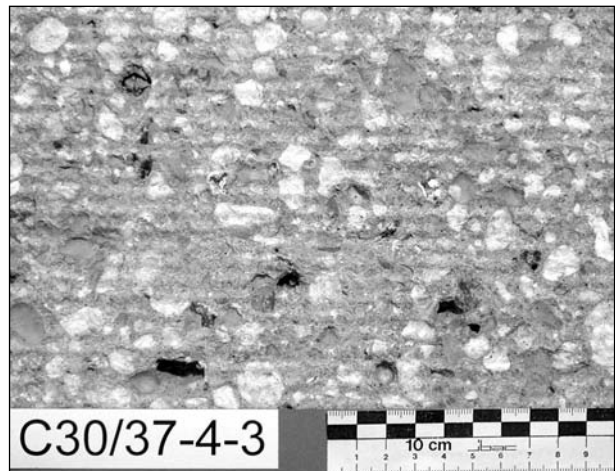


Bild 12: Beton C30/37 nach Walzenfräsen, große Rautiefe

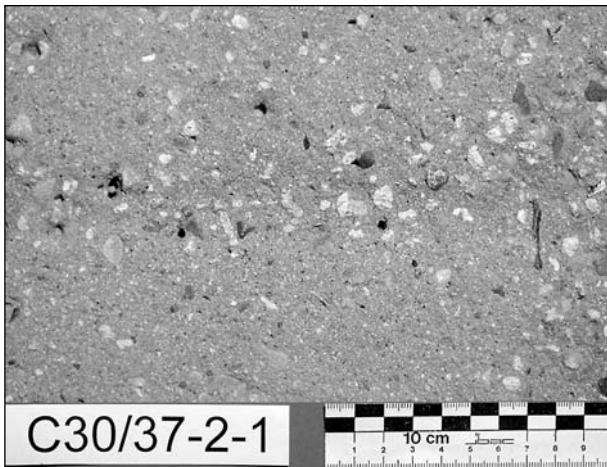


Bild 10: Beton C30/37 nach Kugelstrahlen, mittlere Rautiefe

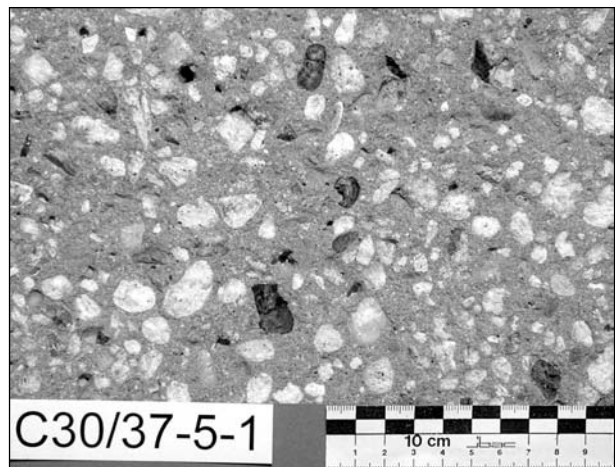


Bild 13: Beton C30/37 nach Walzenfräsen und Kugelstrahlen, große Rautiefe

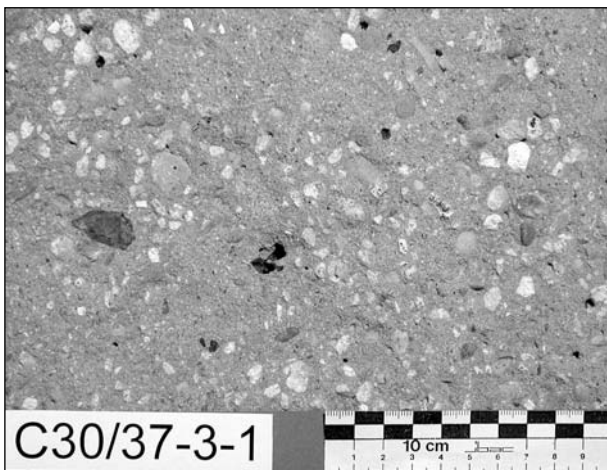


Bild 11: Beton C30/37 nach Klopffräsen und Kugelstrahlen, große Rautiefe

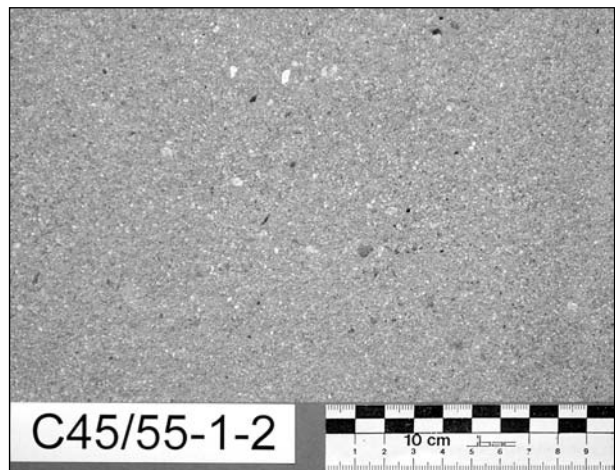


Bild 14: Beton C34/45 („C45/55“) nach Kugelstrahlen, kleine Rautiefe

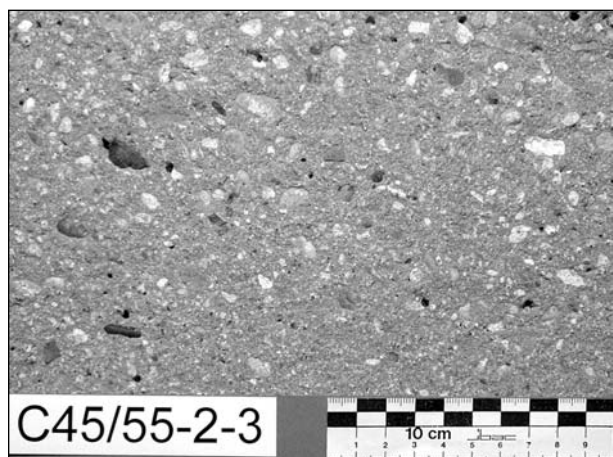


Bild 15: Beton C35/45 („C45/55“) nach Kugelstrahlen, mittlere Rautiefe

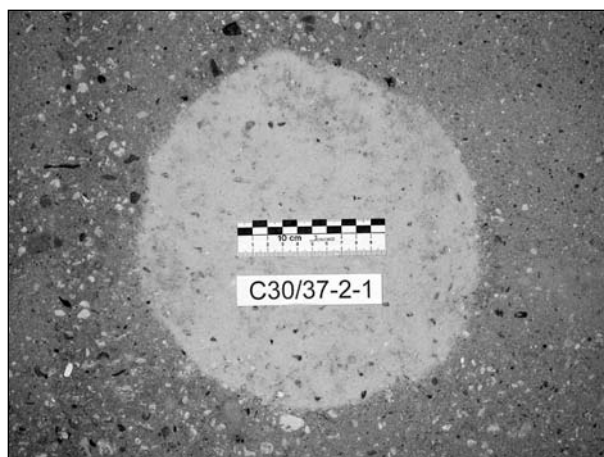


Bild 18: Rauheitsmessung auf Oberfläche mit mittlerer Rautiefe (Beton C30/37 nach Kugelstrahlen)

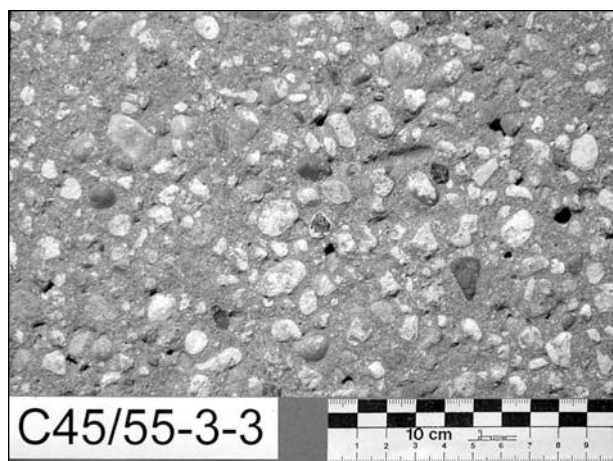


Bild 16: Beton C35/45 („C45/55“) nach Klopffräsen und Kugelstrahlen, große Rautiefe

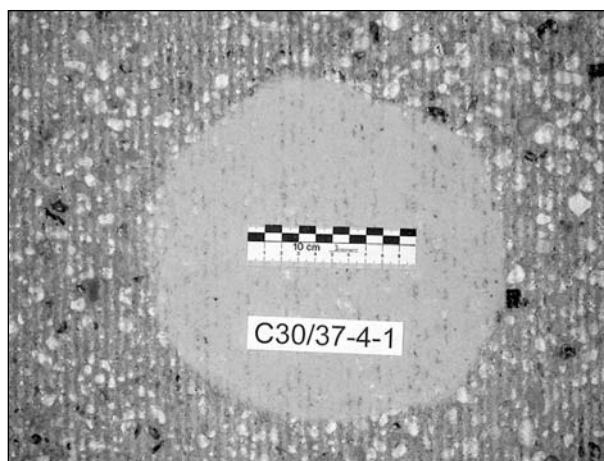


Bild 19: Rauheitsmessung auf Oberfläche mit großer Rautiefe (Beton C30/37 nach Walzenfräsen)

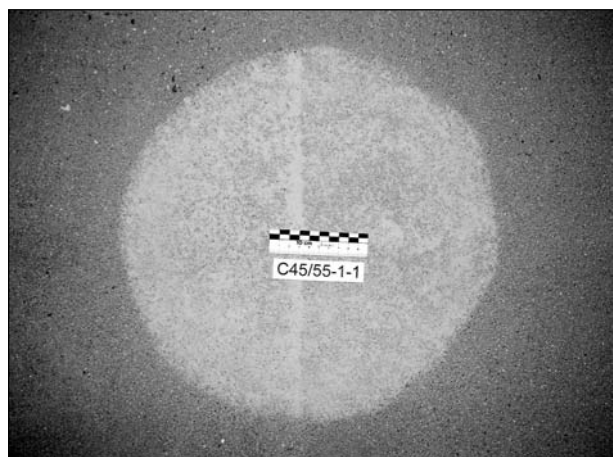


Bild 17: Rauheitsmessung auf Oberfläche mit kleiner Rautiefe (Beton C35/45 („C45/55“) nach Kugelstrahlen)

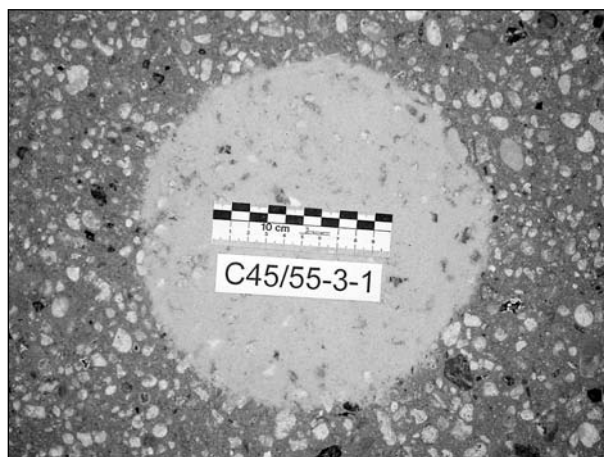


Bild 20: Rauheitsmessung auf Oberfläche mit großer Rautiefe (Beton C35/45 („C45/55“) nach Klopffräsen und Kugelstrahlen)

3.3 Grundierungen

Die Grundierungen wurden eine Woche nach der Vorbereitung der Betonoberflächen auf die sorgfältig mittels Staubsauger entstaubten Oberflächen aufgebracht. Die Viskositäten der Grundierungen bei 23 °C werden von den Herstellern wie folgt angegeben:

- Grundierung 1: 500 mPa · s,
- Grundierung 2: 830 mPa · s,
- Grundierung 3: 750 mPa · s.

Die Grundierungen sowie der Quarzsand 0,2/0,7 wurden entsprechend ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 1 Nr. 5.3.3.2 aufgebracht. Die applizierten Mengen sind Tabelle 5 zu entnehmen. Die dort aufgeführten Sandmengen sind berechnet aus den aufgetragenen Mengen abzüglich des abgefegten losen Sandes. Das Erscheinungsbild der abgestreuten Grundierung ist exemplarisch den Bildern 21 und 22 zu entnehmen. Eine Gesamtansicht der Platten nach dem Abstreuen zeigt Bild 23.

Platten-Nr.	Grundierung	aufgebrachte Menge	
		Grundierung	Sand
		g/m ²	
B35-1-1	1	351	787
B35-1-2	2	227	733
B35-1-3	3	305	781
B35-2-1	1	338	792
B35-2-2	2	329	763
B35-2-3	3	307	789
B35-3-1	1	476	786
B35-3-2	2	376	772
B35-3-3	3	382	791
B35-4-1	1	528	777
B35-4-2	2	336	754
B35-4-3	3	500	783
B35-5-1	1	457	781
B35-5-2	2	471	786
B35-5-3	3	357	784
B55-1-1	1	221	753
B55-1-2	2	213	700
B55-1-3	3	241	765
B55-2-1	1	387	788
B55-2-2	2	352	772
B55-2-3	3	285	783
B55-3-1	1	358	794
B55-3-2	2	391	757
B55-3-3	3	404	789
kleinster Einzelwert		213	700
größter Einzelwert		528	794

Tab. 5: Aufgebrachte Mengen von Grundierung und Sand

Zum Zeitpunkt des Grundierens wurde der Feuchtegehalt des Betons C30/37 gravimetrisch zu 2,6 bis 2,9 M.-% und der des Betons C35/45 zu 3,5 bis 4,2 M.-% bestimmt.

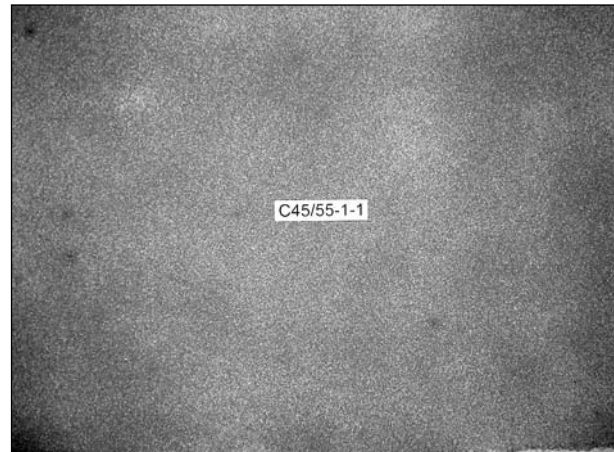


Bild 21: Grundierung 1 mit Abstreung auf Beton C35/45 („C45/55“) mit kleiner Rautiefe



Bild 22: Grundierung 1 mit Abstreung auf Beton C30/37 mit großer Rautiefe (Walzenräsens)

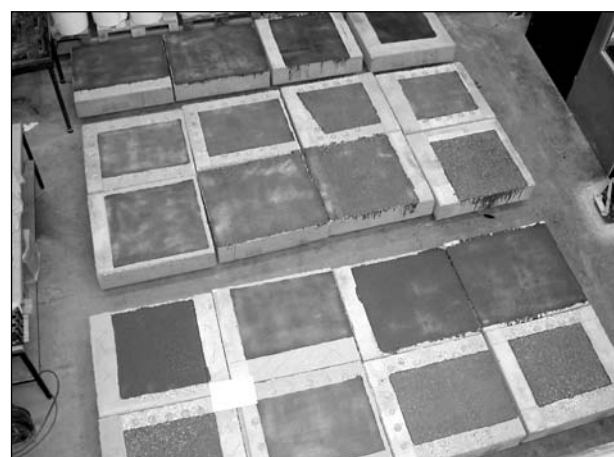


Bild 23: 20 der verwendeten 24 Platten nach dem Grundieren und Abstreuen

3.4 Thermische Beanspruchung der Grundierung

Das Aufschweißen einer Bitumenschweißbahn wurde 12 Tage nach dem Grundieren simuliert. Dafür wurde die Schweißbahnrolle in dem verwendeten Aufschweiß-Verlegegerät gemäß TP-BEL-EP, Bild 3, durch einen Stahlzylinder ersetzt und hinter dem Stahlzylinder eine Bitumenschweißbahn mit Aluminiumkaschierung abgerollt (s. Bilder 24 bis 26). Die Einstellungen am Aufschweiß-Verlegegerät (Flammenlänge und -winkel zur Betonoberfläche) sowie die Vorschubgeschwindigkeit (1,5 m pro Minute) wurden aus einem Aufschweiß-Vorversuch mit einer Bitumenschweißbahn übernommen, bei dem ein ausreichender Wulst von 2 bis 5 cm flüssigen Bitumens gebildet worden war. Vergleichsmessungen der Temperaturentwicklung auf der Grundierungsoberfläche beim Aufschweiß-Vorversuch mit einer realen Bitumenschweißbahn und bei der Simulation des Aufschweißens an jeweils 2 Messstellen zeigen, dass die Temperaturentwicklung



Bild 24: Aufschweiß-Verlegegerät; links: Bitumenschweißbahn mit Aluminiumkaschierung, rechts davon: Stahlzylinder anstelle der Schweißbahnrolle

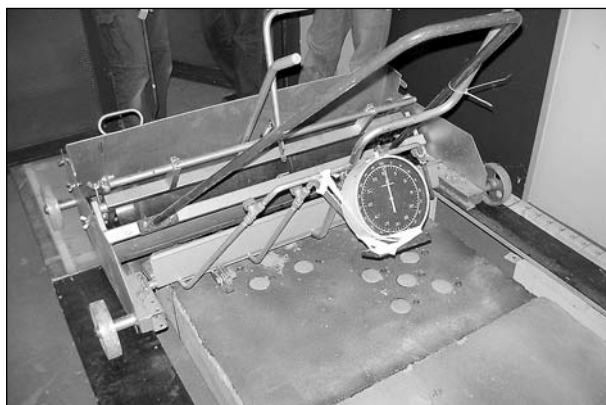


Bild 25: Aufschweiß-Verlegegerät mit Uhr und Maßstab (rechter Bildrand) zur Einhaltung der Vorschubgeschwindigkeit

(Maximaltemperatur und Abklingen) bei der Simulation der thermischen Belastung der beim realen Aufschweißen einer Bitumenschweißbahn entspricht, s. Bild 27. Im Mittel waren die Temperaturen bei der Simulation sogar etwas höher.

Der Gussasphalt 0/5 wurde 16 Tage nach dem Grundieren in einer Dicke von 35 mm auf die Bitumenschweißbahn aufgebracht, die auf der Unterseite durch eine 50 µm dicke Aluminiumfolie von der Grundierung getrennt war, s. Bild 28. Die Temperatur am Auslauf des Gussasphalt-Kochers betrug 253 °C. Drei Tage nach Aufbringen des Gussasphalts wurde dieser wieder entfernt.

3.5 Abreißprüfung

Der Abreißversuch wurde gemäß ZTV-ING Teil 1 Abschnitt 3 vor dem Grundieren bzw. 7 bis 9 Tage nach dem Grundieren bzw. 4 bis 6 Tage nach dem

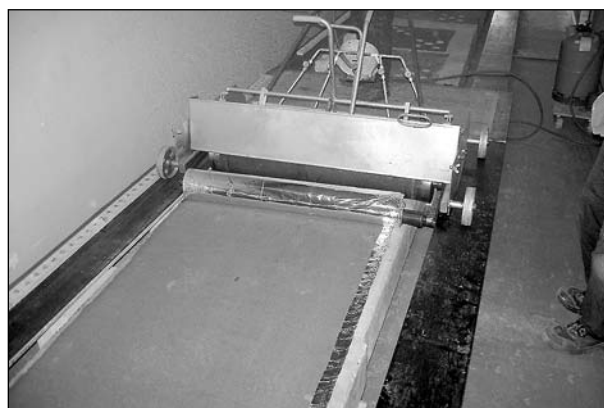


Bild 26: Aufschweiß-Verlegegerät mit abgewickelter Bitumenschweißbahn

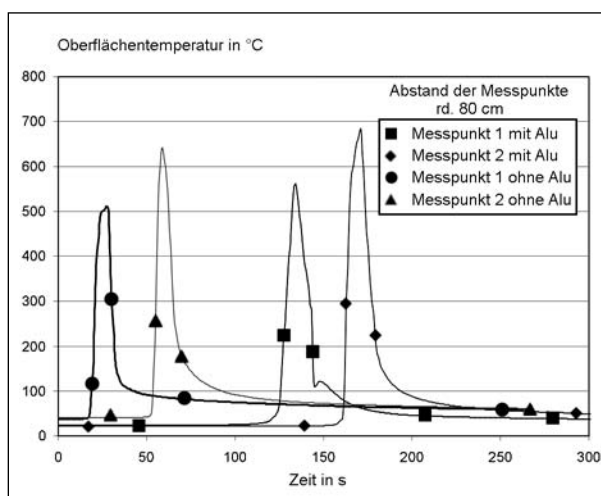


Bild 27: Temperaturentwicklung auf der Grundierungsoberfläche beim realen (linke beiden Kurven) und simulierten (rechte beiden Kurven) Aufschweißen der Bitumenschweißbahn

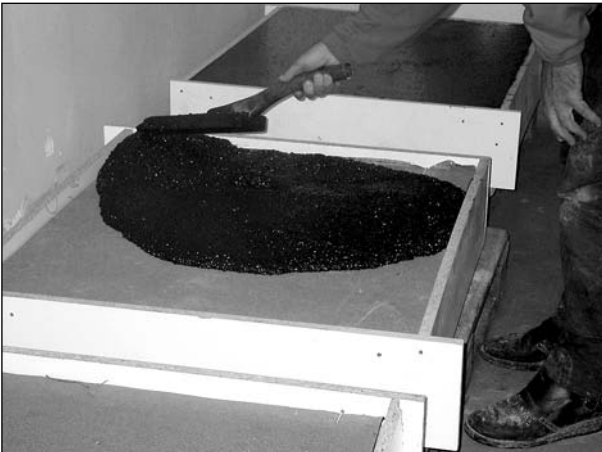


Bild 28: Aufbringen des Gussasphalts

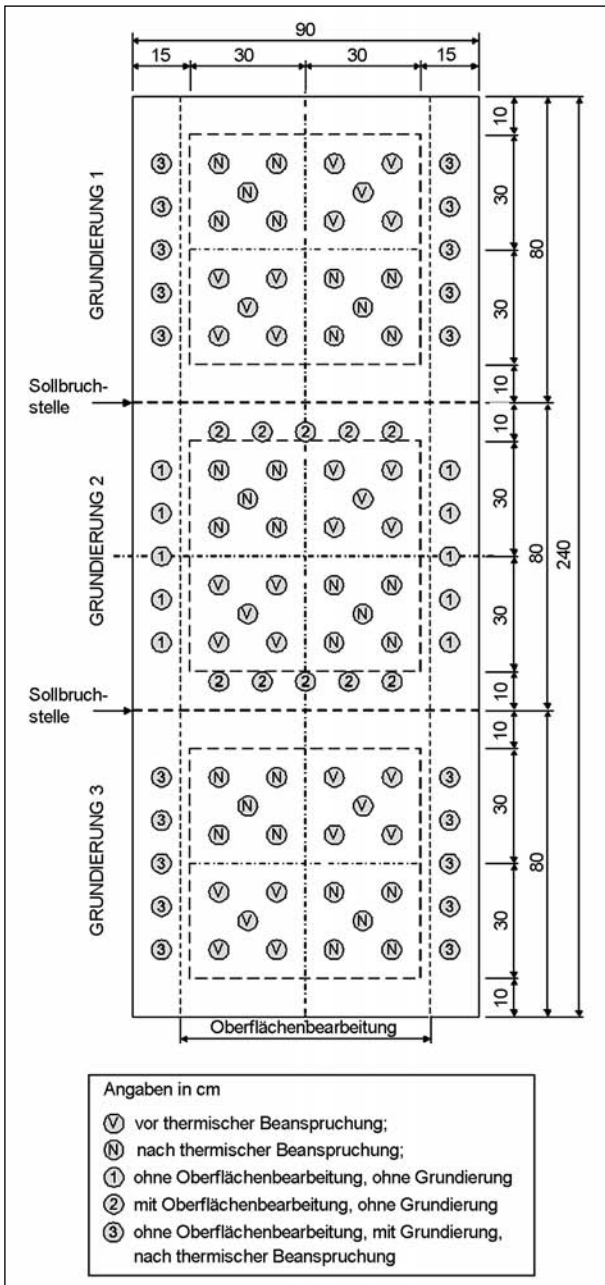


Bild 29: Verteilung der Prüfstellen auf den Betonoberflächen

Aufbringen des Gussasphalts durchgeführt. Die planmäßige Verteilung der Prüfstellen ist Bild 29 zu entnehmen. Dort wo die Betonoberfläche lokal begrenzt nicht die gewünschte Oberfläche hatte, wurde geringfügig von dieser Aufteilung abgewichen. Die Bruchflächenanteile wurden visuell auf 10 % genau geschätzt. Die vor der Simulation des Aufschweißens in der Betonoberfläche aufgrund der Abreißversuche entstandenen Löcher wurden vor der Simulation des Aufschweißens mit einem PCC geschlossen.

4 Darstellung der Ergebnisse der Abreißversuche

In den Tabellen 6 und 7 sind alle Einzelergebnisse der Abreißprüfung (Abreißfestigkeiten und Bruchflächenanteile) zusammengestellt. Neben den Einzelwerten sind für jede Parameterkombination die Mittelwerte m berechnet sowie für die Abreißfestigkeiten auch der kleinste Einzelwert, die Standardabweichung s und der Variationskoeffizient v . Zusätzlich sind in den Tabellen 8 und 9 die statistischen Kennwerte m , s und v für jede Parameterkombination getrennt für beide Betone übersichtlich auf einer Seite zusammengestellt. In den Bildern 30 bis 40 sind die Mittelwerte der Abreißfestigkeiten sowie die Streubereiche (doppelte Standardabweichung) unter folgenden Aspekten miteinander verglichen:

- Gruppe 1 (Bilder 30 bis 35): Oberflächenvorbereitungsverfahren,
- Gruppe 2 (Bilder 36 und 37): Grundierungen,
- Gruppe 3 (Bilder 38 bis 40): Betone.

In den 6 Bildern der Gruppe 1 sind jeweils für eine Grundierung und einen Beton die Abreißfestigkeiten für alle Rautiefen, Oberflächenvorbereitungsverfahren und Prüfzeitpunkte zusammengestellt.

In den beiden Bildern der Gruppe 2 sind jeweils für einen Beton die Abreißfestigkeiten für alle Grundierungen und Oberflächenvorbereitungsverfahren nach den thermischen Beanspruchungen gegenübergestellt.

In den drei Bildern der Gruppe 3 sind jeweils für eine Rautiefe die Abreißfestigkeiten beider Betone direkt nebeneinander gestellt für alle Grundierungen sowie Prüfzeitpunkte.

Betonoberflächen- vorbereitung		Grund- dierung	Thermische Beanspruchung	Platten- Nr.	Prüfstellen- Nr.	Abreißfestigkeit					Bruchflächenanteil				
planmäßige Rautiefe	Ver- fahren					EW	kEW	MW	s	v	B		A		
											EW	MW	EW	MW	
											MPa		%		
0	-	-	-	1/2	1	1,50	1,50	2,68	0,489	18,2	100	72	80	0	
					2	2,64					100				
					3	2,66					100				
					4	2,93					100				
					5	2,57					100				
				2/2	6	2,60					100				80
					7	2,68					100				80
					8	2,85					100				
					9	3,42					100				
					10	2,99					100				
klein	-	-	-	1/2	1	2,80	1,93	2,70	0,345	12,8	100	100		0	
					2	2,70					100				
					3	2,40					100				
					4	2,76					100				
					5	1,93					100				
					6	3,00					100				
					7	2,71					100				
					8	3,18					100				
					9	2,91					100				
					10	2,60					100				
mittel	K	-	-	2/1	1	2,67	2,33	2,84	0,257	9,0	100	100		0	
					2	2,93					100				
					3	3,20					90				
					4	2,67					100				
					5	2,90					100				
					6	3,10					100				
					7	2,73					100				
					8	2,78					100				
					9	3,07					100				
					10	2,33					100				
groß	FW+K	-	-	3/2	1	2,34	1,57	2,30	0,354	15,4	100	100		0	
					2	2,33					100				
					3	2,97					100				
					4	2,47					100				
					5	2,41					100				
					6	2,42					100				
					7	1,57					100				
					8	2,05					100				
					9	2,16					100				
					10	2,23					100				
groß	FW	-	-	4/2	1	1,66	1,20	1,75	0,288	16,5	100	100		0	
					2	1,58					100				
					3	1,62					100				
					4	1,98					100				
					5	2,03					100				
					6	1,69					100				
					7	2,23					100				
					8	1,87					100				
					9	1,20					100				
					10	1,66					100				

Tab. 6: Ergebnisse der Abreißversuche auf Beton C30/37; Einzelwerte und statistische Auswertung

Betonoberflächen- vorbereitung		Grund- dierung	Thermische Beanspruchung	Platten- Nr.	Prüfstellen- Nr.	Abreißfestigkeit					Bruchflächenanteil			
planmäßige Rautiefe	Ver- fahren					EW	kEW	MW	s	v	B		A	
											EW	MW	EW	MW
						MPa		%	%					
groß	FW+K	-	-	5/2	1	2,11	1,12	2,00	0,359	18,0	100	100		0
					2	2,01					100			
					3	1,12					100			
					4	1,98					100			
					5	1,73					100			
					6	2,09					100			
					7	2,35					100			
					8	2,32					100			
					9	2,25					100			
					10	2,08					100			
klein	K	1	-	1/1	1	2,62	1,69	2,57	0,379	14,7	100	99	10	1
					2	2,50					100			
					3	1,69					90			
					4	3,05					100			
					5	2,61					100			
					6	2,96					100			
					7	2,61					100			
					8	2,82					100			
					9	2,37					100			
					10	2,43					100			
klein	K	2	-	1/2	1	3,21	2,30	2,88	0,356	12,4	100	100		0
					2	3,09					100			
					3	3,35					100			
					4	2,80					100			
					5	3,07					100			
					6	2,94					100			
					7	2,32					100			
					8	2,30					100			
					9	2,66					100			
					10	3,02					100			
klein	K	3	-	1/3	1	2,56	2,53	2,81	0,263	9,4	100	100		0
					2	2,65					100			
					3	2,77					100			
					4	3,33					100			
					5	2,53					100			
					6	2,61					100			
					7	3,01					100			
					8	2,62					100			
					9	2,97					100			
					10	3,02					100			
mittel	K	1	-	2/1	1	2,91	2,11	2,69	0,332	12,3	100	100		0
					2	2,77					100			
					3	2,91					100			
					4	3,04					100			
					5	2,97					100			
					6	2,51					100			
					7	2,96					100			
					8	2,11					100			
					9	2,22					100			
					10	2,54					100			

Tab. 6: Fortsetzung

Betonoberflächen- vorbereitung		Grun- dierung	Thermische Beanspruchung	Platten- Nr.	Prüfstellen- Nr.	Abreißfestigkeit					Bruchflächenanteil			
planmäßige Rautiefe	Ver- fahren					EW	kEW	MW	s	v	B		A	
											EW	MW	EW	MW
						MPa		%		%				
mittel	K	2	-	2/2	1	2,73	2,28	2,81	0,324	11,5	100	100		0
					2	3,01					100			
					3	3,15					100			
					4	2,44					100			
					5	3,16					100			
					6	2,44					100			
					7	2,28					100			
					8	2,78					100			
					9	3,00					100			
					10	3,07					100			
mittel	K	3	-	2/3	1	2,73	2,01	2,51	0,316	12,6	100	100		0
					2	2,01					100			
					3	2,43					100			
					4	2,86					100			
					5	3,08					100			
					6	2,59					100			
					7	2,32					100			
					8	2,48					100			
					9	2,35					100			
					10	2,23					100			
groß	FK+K	1	-	3/1	1	2,04	1,87	2,35	0,278	11,8	100	100		0
					2	2,58					100			
					3	2,53					100			
					4	2,18					100			
					5	2,75					100			
					6	2,21					100			
					7	1,87					100			
					8	2,45					100			
					9	2,59					100			
					10	2,27					100			
groß	FK+K	2	-	3/2	1	2,52	0,79	2,24	0,628	28,0	100	100		0
					2	2,13					100			
					3	0,79					100			
					4	2,69					100			
					5	3,04					100			
					6	2,84					100			
					7	1,93					100			
					8	2,30					100			
					9	2,05					100			
					10	2,11					100			
groß	FK+K	3	-	3/3	1	2,11	1,61	2,08	0,302	14,5	100	100		0
					2	2,02					100			
					3	2,05					100			
					4	2,44					100			
					5	2,45					100			
					6	2,00					100			
					7	1,62					100			
					8	2,12					100			
					9	1,61					100			
					10	2,41					100			

Tab. 6: Fortsetzung

Betonoberflächen- vorbereitung		Grund- dierung	Thermische Beanspruchung	Platten- Nr.	Prüfstellen- Nr.	Abreißfestigkeit					Bruchflächenanteil			
planmäßige Rautiefe	Ver- fahren					EW	kEW	MW	s	v	B		A	
											EW	MW	EW	MW
						MPa		%		%				
groß	FW	1	-	4/1	1	2,22	1,35	1,77	0,293	16,6	100	100		0
					2	1,72					100			
					3	1,85					100			
					4	2,22					100			
					5	1,91					100			
					6	1,69					100			
					7	1,35					100			
					8	1,72					100			
					9	1,44					100			
					10	1,56					100			
groß	FW	2	-	4/2	1	1,17	1,17	1,58	0,299	18,9	100	100		0
					2	1,95					100			
					3	1,56					100			
					4	1,90					100			
					5	1,94					100			
					6	1,62					100			
					7	1,70					100			
					8	1,51					100			
					9	1,17					100			
					10	1,30					100			
groß	FW	3	-	4/3	1	1,36	1,26	1,62	0,219	13,5	100	100		0
					2	1,54					100			
					3	1,58					100			
					4	1,60					100			
					5	1,67					100			
					6	1,97					100			
					7	1,58					100			
					8	1,89					100			
					9	1,78					100			
					10	1,26					100			
groß	FK+K	1	-	5/1	1	2,40	1,47	2,21	0,436	19,7	100	100		0
					2	2,50					100			
					3	2,77					100			
					4	2,38					100			
					5	2,79					100			
					6	1,80					100			
					7	1,47					100			
					8	1,80					100			
					9	2,13					100			
					10	2,06					100			
groß	FK+K	2	-	5/2	1	1,46	1,46	1,94	0,362	18,7	100	100		0
					2	2,02					100			
					3	2,36					100			
					4	1,72					100			
					5	1,56					100			
					6	1,66					100			
					7	2,11					100			
					8	2,25					100			
					9	2,52					100			
					10	1,76					100			

Tab. 6: Fortsetzung

Betonoberflächen- vorbereitung		Grun- dierung	Thermische Beanspruchung	Platten- Nr.	Prüfstellen- Nr.	Abreißfestigkeit					Bruchflächenanteil			
planmäßige Rautiefe	Ver- fahren					EW	kEW	MW	s	v	B		A	
											EW	MW	EW	MW
						MPa		%		%				
groß	FW+K	3	-	5/3	1	2,30	1,44	2,15	0,378	17,6	100	100		0
					2	2,22					100			
					3	2,33					100			
					4	2,48					100			
					5	2,66					100			
					6	1,89					100			
					7	1,75					100			
					8	1,99					100			
					9	2,47					100			
					10	1,44					100			
klein	K	1	x	1/1	1	3,35	2,90	3,26	0,295	9,0	100	100		0
					2	2,90					100			
					3	3,17					100			
					4	3,77					100			
					5	3,49					100			
					6	3,04					100			
					7	3,65					100			
					8	3,16					100			
					9	2,96					100			
					10	3,11					100			
klein	K	2	x	1/2	1	2,36	2,14	2,51	0,227	9,0	100	100		0
					2	2,65					100			
					3	2,59					100			
					4	2,80					100			
					5	2,76					100			
					6	2,17					100			
					7	2,14					100			
					8	2,52					100			
					9	2,52					100			
					10	2,63					100			
klein	K	3	x	1/3	1	2,72	2,14	2,72	0,308	11,3	100	100		0
					2	2,58					100			
					3	2,57					100			
					4	2,80					100			
					5	3,09					100			
					6	2,14					100			
					7	3,16					100			
					8	2,88					100			
					9	2,40					100			
					10	2,81					100			
mittel	K	1	x	2/1	1	2,25	2,04	2,68	0,327	12,2	100	100		0
					2	2,50					100			
					3	2,90					100			
					4	2,91					100			
					5	2,91					100			
					6	2,55					100			
					7	2,97					100			
					8	2,83					100			
					9	2,04					100			
					10	2,92					100			

Tab. 6: Fortsetzung

Betonoberflächen- vorbereitung		Grund- dierung	Thermische Beanspruchung	Platten- Nr.	Prüfstellen- Nr.	Abreißfestigkeit					Bruchflächenanteil			
planmäßige Rautiefe	Ver- fahren					EW	kEW	MW	s	v	B		A	
											EW	MW	EW	MW
						MPa			%	%				
mittel	K	2	x	2/2	1	2,58	2,33	2,90	0,392	13,5	100	100		0
					2	2,85					100			
					3	3,10					100			
					4	3,65					100			
					5	2,89					100			
					6	3,06					100			
					7	(2,01)					(70)			
					8	2,76					100			
					9	2,33					100			
					10	(2,36)					(90)			
mittel	K	3	x	2/3	1	2,52	2,12	2,63	0,297	11,3	100	100		0
					2	2,26					100			
					3	3,09					100			
					4	(1,02)					(20)			
					5	2,72					100			
					6	2,80					100			
					7	2,84					100			
					8	2,12					100			
					9	2,62					100			
					10	2,69					100			
groß	FK+K	1	x	3/1	1	2,83	2,29	2,85	0,343	12,0	100	100		0
					2	3,13					100			
					3	3,47					100			
					4	2,55					100			
					5	3,12					100			
					6	2,29					100			
					7	2,80					100			
					8	2,52					100			
					9	2,89					100			
					10	2,92					100			
groß	FK+K	2	x	3/2	1	2,90	2,03	2,57	0,326	12,7	100	100		0
					2	2,25					100			
					3	2,62					100			
					4	2,88					100			
					5	2,03					100			
					6	2,75					100			
					7	3,01					100			
					8	2,41					100			
					9	2,62					100			
					10	2,25					100			
groß	FK+K	3	x	3/3	1	2,79	2,52	2,81	0,232	8,3	100	100		0
					2	3,00					100			
					3	2,90					100			
					4	3,25					100			
					5	2,57					100			
					6	2,52					100			
					7	2,81					100			
					8	2,94					100			
					9	2,52					100			
					10	2,77					100			

Tab. 6: Fortsetzung

Betonoberflächen- vorbereitung		Grun- dierung	Thermische Beanspruchung	Platten- Nr.	Prüfstellen- Nr.	Abreißfestigkeit					Bruchflächenanteil			
planmäßige Rautiefe	Ver- fahren					EW	kEW	MW	s	v	B		A	
											EW	MW	EW	MW
						MPa		%		%				
groß	FW	1	x	4/1	1	2,35	1,61	2,18	0,338	15,5	100	100		0
					2	2,49					100			
					3	2,17					100			
					4	2,38					100			
					5	2,78					100			
					6	2,06					100			
					7	1,82					100			
					8	1,99					100			
					9	1,61					100			
					10	2,15					100			
groß	FW	2	x	4/2	1	2,45	1,50	2,13	0,421	19,8	100	100		0
					2	2,56					100			
					3	2,85					100			
					4	1,93					100			
					5	1,88					100			
					6	1,79					100			
					7	1,50					100			
					8	2,08					100			
					9	2,40					100			
					10	1,82					100			
groß	FW	3	x	4/3	1	2,94	2,05	2,56	0,277	10,8	100	100		0
					2	2,26					100			
					3	2,82					100			
					4	2,37					100			
					5	2,45					100			
					6	2,59					100			
					7	2,63					100			
					8	2,78					100			
					9	2,72					100			
					10	2,05					100			
groß	FW+K	1	x	5/1	1	2,53	2,47	2,83	0,269	9,5	100	100		0
					2	2,47					100			
					3	2,96					100			
					4	2,97					100			
					5	2,85					100			
					6	2,48					100			
					7	2,94					100			
					8	2,92					100			
					9	3,33					100			
					10	2,82					100			
groß	FW+K	2	x	5/2	1	2,07	1,74	2,27	0,325	14,3	100	100		0
					2	2,17					100			
					3	2,52					100			
					4	2,33					100			
					5	2,67					100			
					6	2,26					100			
					7	2,67					100			
					8	1,74					100			
					9	1,81					100			
					10	2,42					100			

Tab. 6: Fortsetzung

Betonoberflächen- vorbereitung		Grund- dierung	Thermische Beanspruchung	Platten- Nr.	Prüfstellen- Nr.	Abreißfestigkeit					Bruchflächenanteil				
planmäßige Rautiefe	Ver- fahren					EW	kEW	MW	s	v	B		A		
						MPa				%	EW	MW	EW	MW	
groß	FW+K	3	x	5/3	1	3,45	2,35	2,75	0,329	12,0	100	100		0	
					2	2,52					100				
					3	2,44					100				
					4	2,35					100				
					5	3,11					100				
					6	2,62					100				
					7	2,87					100				
					8	2,80					100				
					9	2,67					100				
					10	2,66					100				
0	-	1	x	1/1	1		0,07	1,95	1,108	56,8	100	30		70	
					2	2,69					100				
					3	3,61					100				
					4	2,85									100
					5	0,54									100
				2/1	6	0,07									100
					7	2,29									100
					8	2,56									100
					9	2,21									100
					10	1,54									100
0	-	3	x	2/3	1	1,12	1,46	2,71	0,77	28,4		80		20	
					2	1,46					100				
					3	2,43					100				
					4	2,76					100				
					5	2,18					100				
				3/3	6	3,60									100
					7	1,64									100
					8	3,13									100
					9	3,72									100
					10	3,08									100

A: Bruch zwischen Versiegelung und Betonuntergrund (Adhäsionsbruch)
B: Bruch im Beton
EW: Einzelwert
FK: Fräsen mit Klopffräse
FK+K: Fräsen mit Klopffräse und anschließendes Kugelstrahlen
FW: Fräsen mit Walzenfräse
FW+K: Fräsen mit Walzenfräse und anschließendes Kugelstrahlen
K: Kugelstrahlen
kEW: kleinster Einzelwert
MW: Mittelwert
s: Standardabweichung
v: Variationskoeffizient
() z. T. Kleber-Versagen; bei statistischer Auswertung nicht berücksichtigt

Tab. 6: Fortsetzung

Betonoberflächen- vorbereitung		Grund- dierung	Thermische Beanspruchung	Platten- Nr.	Prüfstellen- Nr.	Abreißfestigkeit					Bruchflächenanteil			
planmäßige Rautiefe	Ver- fahren					EW	kEW	MW	s	v	B		A	
											EW	MW	EW	MW
						MPa		%		%				
0	-	-	-	1/2	1	2,28	2,00	2,62	0,410	15,6	100	100		0
					2	2,00					100			
					3	2,59					100			
					4	2,43					100			
					5	2,13					100			
				2/2	6	2,82					100			
					7	2,68					100			
					8	3,01					100			
					9	3,07					100			
					10	3,20					100			
klein	K	-	-	1/2	1	2,59	2,24	2,55	0,215	8,4	100	100		0
					2	2,64					100			
					3	2,41					100			
					4	2,43					100			
					5	2,24					100			
					6	2,39					100			
					7	2,54					100			
					8	2,75					100			
					9	2,46					100			
					10	3,00					100			
mittel	K	-	-	2/2	1	3,10	1,85	2,89	0,417	16,3	100	100		0
					2	3,56					100			
					3	2,81					100			
					4	3,12					100			
					5	2,90					100			
					6	3,40					100			
					7	2,75					100			
					8	2,64					100			
					9	1,85					100			
					10	2,75					100			
groß	FK+K	-	-	3/2	1	1,51	1,07	1,86	0,45	24,2	100	100		0
					2	1,07					100			
					3	1,78					100			
					4	2,52					100			
					5	2,08					100			
					6	1,46					100			
					7	1,85					100			
					8	2,10					100			
					9	1,79					100			
					10	2,46					100			
kein	K	-	-	1/1	1	2,47	1,77	2,29	0,256	11,2	100	100		0
					2	2,59					100			
					3	2,37					100			
					4	2,24					100			
					5	1,96					100			
					6	1,77					100			
					7	2,54					100			
					8	2,24					100			
					9	2,41					100			
					10	2,33					100			

Tab. 7: Ergebnisse der Abreißversuche auf Beton C35/45; Einzelwerte und statistische Auswertung

Betonoberflächen- vorbereitung		Grund- dierung	Thermische Beanspruchung	Platten- Nr.	Prüfstellen- Nr.	Abreißfestigkeit					Bruchflächenanteil			
planmäßige Rautiefe	Ver- fahren					EW	kEW	MW	s	v	B		A	
											EW	MW	EW	MW
						MPa		%		%				
klein	K	2	-	1/2	1	1,85	1,85	2,43	0,324	13,3	100	100		0
					2	2,70					100			
					3	2,39					100			
					4	2,49					100			
					5	2,42					100			
					6	2,49					100			
					7	2,50					100			
					8	2,32					100			
					9	3,04					100			
					10	2,06					100			
klein	K	3	-	1/3	1	2,55	1,42	2,23	0,547	24,5	100	100		0
					2	2,06					100			
					3	2,55					100			
					4	2,24					100			
					5	2,60					100			
					6	1,76					100			
					7	2,56					100			
					8	1,42					100			
					9	1,47					100			
					10	3,10					100			
mittel	K	1	-	2/1	1	2,55	1,29	1,94	0,424	21,9	100	100		0
					2	2,21					100			
					3	1,77					100			
					4	2,28					100			
					5	2,49					100			
					6	1,66					100			
					7	1,29					100			
					8	1,88					100			
					9	1,49					100			
					10	1,80					100			
mittel	K	2	-	2/2	1	1,76	1,61	2,09	0,426	20,4	100	100		0
					2	1,63					100			
					3	1,61					100			
					4	1,82					100			
					5	2,25					100			
					6	2,13					100			
					7	2,27					100			
					8	2,41					100			
					9	2,02					100			
					10	3,01					100			
mittel	K	3	-	2/3	1	2,43	2,23	2,60	0,315	12,1	100	100		0
					2	2,40					100			
					3	2,62					100			
					4	2,69					100			
					5	2,45					100			
					6	2,61					100			
					7	2,32					100			
					8	2,23					100			
					9	2,90					100			
					10	3,30					100			

Tab. 7: Fortsetzung

Betonoberflächen- vorbereitung		Grun- dierung	Thermische Beanspruchung	Platten- Nr.	Prüfstellen- Nr.	Abriebfestigkeit					Bruchflächenanteil			
planmäßige Rautiefe	Ver- fahren					EW	kEW	MW	s	v	B		A	
											EW	MW	EW	MW
						MPa		%		%				
groß	FK+K	1	-	3/1	1	1,31	1,24	1,59	0,267	16,8	100	100		0
					2	1,49					100			
					3	1,53					100			
					4	1,24					100			
					5	1,43					100			
					6	1,38					100			
					7	1,84					100			
					8	1,97					100			
					9	1,86					100			
					10	1,87					100			
groß	FK+K	2	-	3/2	1	1,79	1,22	1,70	0,429	25,2	100	100		0
					2	2,15					100			
					3	1,24					100			
					4	1,43					100			
					5	1,67					100			
					6	1,50					100			
					7	2,23					100			
					8	1,22					100			
					9	1,35					100			
					10	2,40					100			
groß	FK+K	3	-	3/3	1	2,22	1,74	2,33	0,391	16,8	100	100		0
					2	2,42					100			
					3	2,19					100			
					4	2,73					100			
					5	2,32					100			
					6	1,74					100			
					7	2,00					100			
					8	2,98					100			
					9	1,96					100			
					10	2,73					100			
klein	K	1	x	1/1	1	2,85	2,09	2,49	0,259	10,4	100	100		0
					2	2,09					100			
					3	2,42					100			
					4	2,22					100			
					5	2,24					100			
					6	2,56					100			
					7	2,37					100			
					8	2,67					100			
					9	2,67					100			
					10	2,79					100			
klein	K	2	x	1/2	1	2,57	2,30	2,67	0,303	11,3	100	100		0
					2	2,38					100			
					3	3,28					100			
					4	2,95					100			
					5	2,64					100			
					6	2,58					100			
					7	2,36					100			
					8	2,85					100			
					9	2,30					100			
					10	2,77					100			

Tab. 7: Fortsetzung

Betonoberflächen- vorbereitung		Grund- dierung	Thermische Beanspruchung	Platten- Nr.	Prüfstellen- Nr.	Abreißfestigkeit					Bruchflächenanteil			
planmäßige Rautiefe	Ver- fahren					EW	kEW	MW	s	v	B		A	
											EW	MW	EW	MW
						MPa		%		%				
klein	K	3	-	1/3	1	2,62	2,09	2,46	0,256	10,4	100	100		0
					2	2,38					100			
					3	2,09					100			
					4	2,93					100			
					5	2,10					100			
					6	2,45					100			
					7	2,55					100			
					8	2,36					100			
					9	2,40					100			
					10	2,68					100			
mittel	K	1	-	2/1	1	3,10	2,52	2,88	0,301	10,5	100	100		0
					2	3,09					100			
					3	3,34					100			
					4	3,07					100			
					5	2,70					100			
					6	2,52					100			
					7	2,69					100			
					8	2,55					100			
					9	2,60					100			
					10	3,18					100			
mittel	K	2	-	2/2	1	2,65	2,21	2,79	0,4	14,3	100	100		0
					2	3,08					100			
					3	2,85					100			
					4	2,87					100			
					5	2,31					100			
					6	3,57					100			
					7	2,88					100			
					8	3,01					100			
					9	2,48					100			
					10	2,21					100			
mittel	K	3	-	2/3	1	3,68	2,07	2,97	0,514	17,3	100	100		0
					2	2,39					100			
					3	2,78					100			
					4	2,07					100			
					5	3,30					100			
					6	2,56					100			
					7	2,92					100			
					8	3,43					100			
					9	3,36					100			
					10	3,18					100			
groß	FK+K	1	-	3/1	1	1,67	1,48	1,92	0,317	16,5	100	100		0
					2	1,93					100			
					3	2,55					100			
					4	1,62					100			
					5	1,48					100			
					6	1,81					100			
					7	1,87					100			
					8	1,97					100			
					9	2,28					100			
					10	2,04					100			

Tab. 7: Fortsetzung

Betonoberflächen- vorbereitung		Grun- dierung	Thermische Beanspruchung	Platten- Nr.	Prüfstellen- Nr.	Abreißfestigkeit					Bruchflächenanteil			
planmäßige Rautiefe	Ver- fahren					EW	kEW	MW	s	v	B		A	
											EW	MW	EW	MW
											MPa		%	
groß	FK+K	2	x	3/2	1	2,17	2,04	2,28	0,205	9,0	100	100		0
					2	2,34					100			
					3	2,11					100			
					4	2,29					100			
					5	2,13					100			
					6	2,51					100			
					7	2,50					100			
					8	2,04					100			
					9	2,06					100			
					10	2,60					100			
groß	FK+K	3	x	3/3	1	2,17	1,68	2,32	0,368	15,9	100	100		0
					2	1,89					100			
					3	2,40					100			
					4	2,57					100			
					5	2,64					100			
					6	2,29					100			
					7	1,68					100			
					8	2,12					100			
					9	2,93					100			
					10	2,46					100			
0	-	1	x	3/1	1	3,24	2,40	2,89	0,315	10,9	100	100		0
					2	3,05					100			
					3	2,40					100			
					4	3,14					100			
					5	2,85					100			
					6	2,91					100			
					7	3,34					100			
					8	2,89					100			
					9	2,51					100			
					10	2,58					100			
0	-	3	x	1/3	1	2,73	2,53	2,93	0,341	11,6	100	100		0
					2	2,53					100			
					3	2,72					100			
					4	2,58					100			
					5	2,63					100			
		3/3		6	3,50	100								
				7	3,16	100								
				8	2,97	100								
				9	3,25	100								
				10	3,26	100								

A: Bruch zwischen Versiegelung und Betonuntergrund (Adhäsionsbruch)
B: Bruch im Beton
EW: Einzelwert
FK: Fräsen mit Klopffräse
FK+K: Fräsen mit Klopffräse und anschließendes Kugelstrahlen
FW: Fräsen mit Walzenfräse
FW+K: Fräsen mit Walzenfräse und anschließendes Kugelstrahlen
K: Kugelstrahlen
kEW: kleinster Einzelwert
MW: Mittelwert
s: Standardabweichung
v: Variationskoeffizient

Tab. 7: Fortsetzung

Betonoberflächenvorbereitung		Grundierung	Thermische Beanspruchung	Abreißfestigkeit			Bruchflächenanteil	
planmäßige Rautiefe	Verfahren			Mittelwert	Standardabweichung	Variationskoeffizient	B	A
				MPa		%	%	
0	-	-	-	2,68	0,489	18,2	72	28
klein	K	-	-	2,70	0,345	12,8	100	0
mittel	K	-	-	2,84	0,257	9,0	100	0
groß	FK+K	-	-	2,30	0,354	15,4	100	0
	FW	-	-	1,75	0,288	16,5	100	0
	FW+K	-	-	2,00	0,359	18,0	100	0
klein	K	1	-	2,57	0,379	14,7	99	1
		2	-	2,88	0,356	12,4	100	0
		3	-	2,81	0,263	9,4	100	0
mittel	K	1	-	2,69	0,332	12,3	100	0
		2	-	2,81	0,324	11,5	100	0
		3	-	2,51	0,316	12,6	100	0
groß	FK+K	1	-	2,35	0,278	11,8	100	0
		2	-	2,24	0,628	28,0	100	0
		3	-	2,08	0,302	14,5	100	0
	FW	1	-	1,77	0,293	16,6	100	0
		2	-	1,58	0,299	18,9	100	0
		3	-	1,62	0,219	13,5	100	0
	FW+K	1	-	2,21	0,436	19,7	100	0
		2	-	1,94	0,362	18,7	100	0
		3	-	2,15	0,378	17,6	100	0
klein	K	1	x	3,26	0,295	9,0	100	0
		2	x	2,51	0,227	9,0	100	0
		3	x	2,72	0,308	11,3	100	0
mittel	K	1	x	2,68	0,327	12,2	100	0
		2	x	2,90	0,392	13,5	100	0
		3	x	2,63	0,297	11,3	100	0
groß	FK+K	1	x	2,85	0,343	12,0	100	0
		2	x	2,57	0,326	12,7	100	0
		3	x	2,81	0,232	8,3	100	0
	FW	1	x	2,18	0,338	15,5	100	0
		2	x	2,13	0,421	19,8	100	0
		3	x	2,56	0,277	10,8	100	0
	FW+K	1	x	2,83	0,269	9,5	100	0
		2	x	2,27	0,325	14,3	100	0
		3	x	2,75	0,329	12,0	100	0
0	-	1	x	1,95	1,108	56,8	30	70
0	-	3	x	2,71	0,770	28,4	80	20

A: Bruch zwischen Versiegelung und Betonuntergrund (Adhäsionsbruch)
B: Bruch im Beton
FK: Fräsen mit Klopffräse
FK+K: Fräsen mit Klopffräse und anschließendes Kugelstrahlen
FW: Fräsen mit Walzenfräse
FW+K: Fräsen mit Walzenfräse und anschließendes Kugelstrahlen
K: Kugelstrahlen
* ohne Prüfstellen mit Kleber-Versagen

Tab. 8: Ergebnisse der Abreißversuche auf Beton C30/37; Mittelwerte und statistische Auswertung

Betonoberflächenvorbereitung		Grundierung	Thermische Beanspruchung	Abreißfestigkeit			Bruchflächenanteil	
planmäßige Rautiefe	Verfahren			Mittelwert	Standardabweichung	Variationskoeffizient	B	A
				MPa		%	%	
0	-	-	-	2,62	0,410	15,6	100	0
klein	K	-	-	2,55	0,215	8,4	100	0
mittel	K	-	-	2,89	0,471	16,3	100	0
groß	FK+K	-	-	1,86	0,450	24,2	100	0
klein	K	1	-	2,29	0,256	11,2	100	0
		2	-	2,43	0,324	13,3	100	0
		3	-	2,23	0,547	24,5	100	0
mittel	K	1	-	1,94	0,424	21,9	100	0
		2	-	2,09	0,426	20,4	100	0
		3	-	2,60	0,315	12,1	100	0
groß	FK+K	1	-	1,59	0,267	16,8	100	0
		2	-	1,70	0,429	25,2	100	0
		3	-	2,33	0,391	16,8	100	0
klein	K	1	x	2,49	0,259	10,4	100	0
		2	x	2,67	0,303	11,3	100	0
		3	x	2,46	0,256	10,4	100	0
mittel	K	1	x	2,88	0,301	10,5	100	0
		2	x	2,79	0,400	14,3	100	0
		3	x	2,97	0,514	17,3	100	0
groß	FK+K	1	x	1,92	0,317	16,5	100	0
		2	x	2,28	0,205	9,0	100	0
		3	x	2,32	0,368	15,9	100	0
0	-	1	x	2,89	0,315	10,9	100	0
0	-	3	x	2,93	0,341	11,6	100	0

A: Bruch zwischen Versiegelung und Betonuntergrund (Adhäsionsbruch)
B: Bruch im Beton
FK: Fräsen mit Klopffräse
FK+K: Fräsen mit Klopffräse und anschließendes Kugelstrahlen
FW: Fräsen mit Walzenfräse
FW+K: Fräsen mit Walzenfräse und anschließendes Kugelstrahlen
K: Kugelstrahlen

Tab. 9: Ergebnisse der Abreißversuche auf Beton C35/45; Mittelwerte und statistische Auswertung

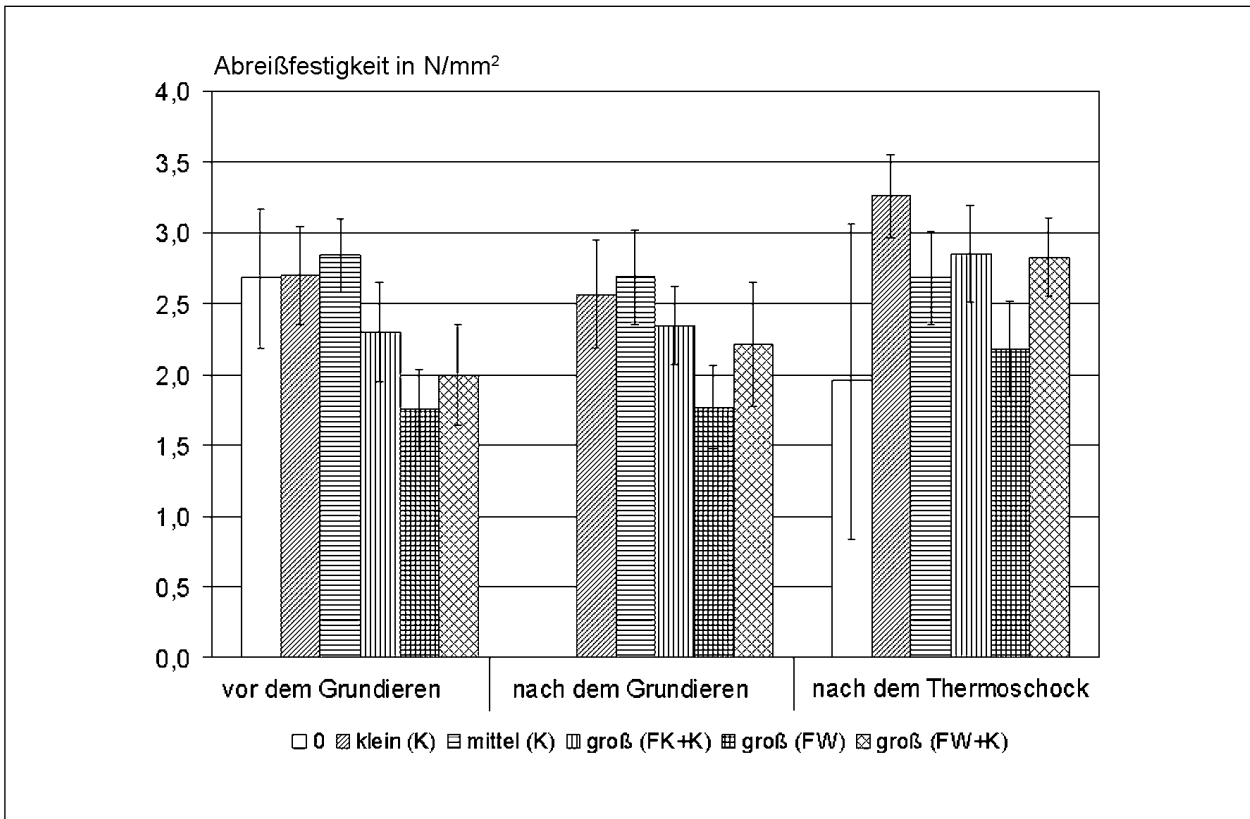


Bild 30: Einfluss der Grundierung 1 auf die Abreißfestigkeit bei allen Oberflächenvorbereitungsverfahren, Rautiefen und Prüfzeitpunkten auf Beton C30/37

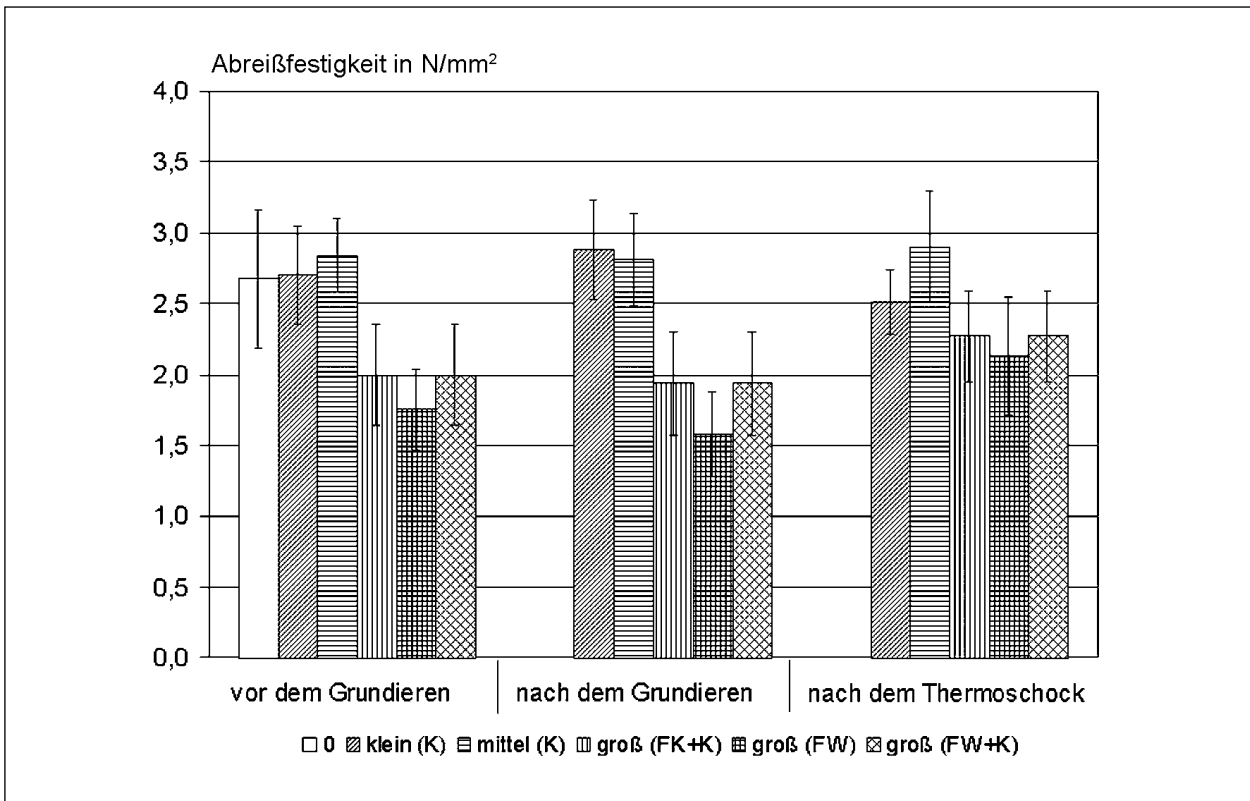


Bild 31: Einfluss der Grundierung 2 auf die Abreißfestigkeit bei allen Oberflächenvorbereitungsverfahren, Rautiefen und Prüfzeitpunkten auf Beton C30/37

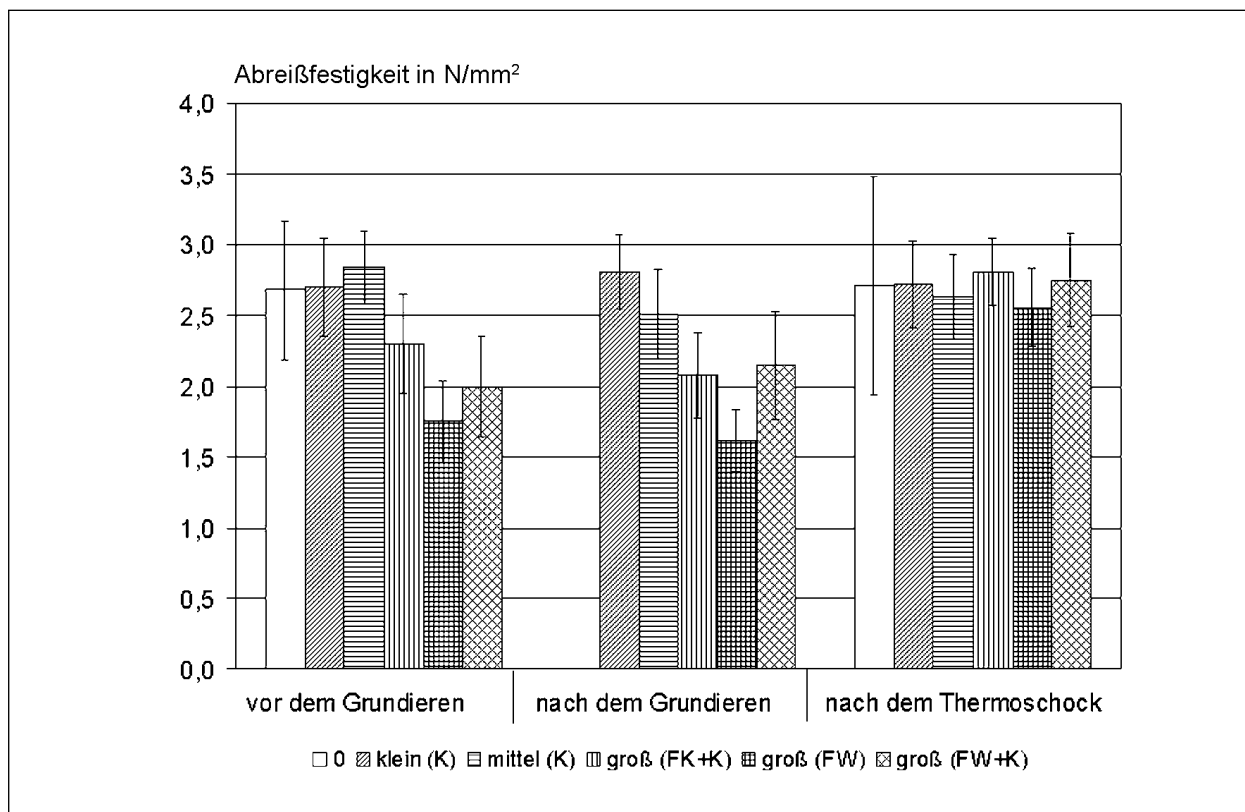


Bild 32: Einfluss der Grundierung 3 auf die Abreißfestigkeit bei allen Oberflchenvorbereitungsverfahren, Rautiefen und Prüfzeitpunkten auf Beton C30/37

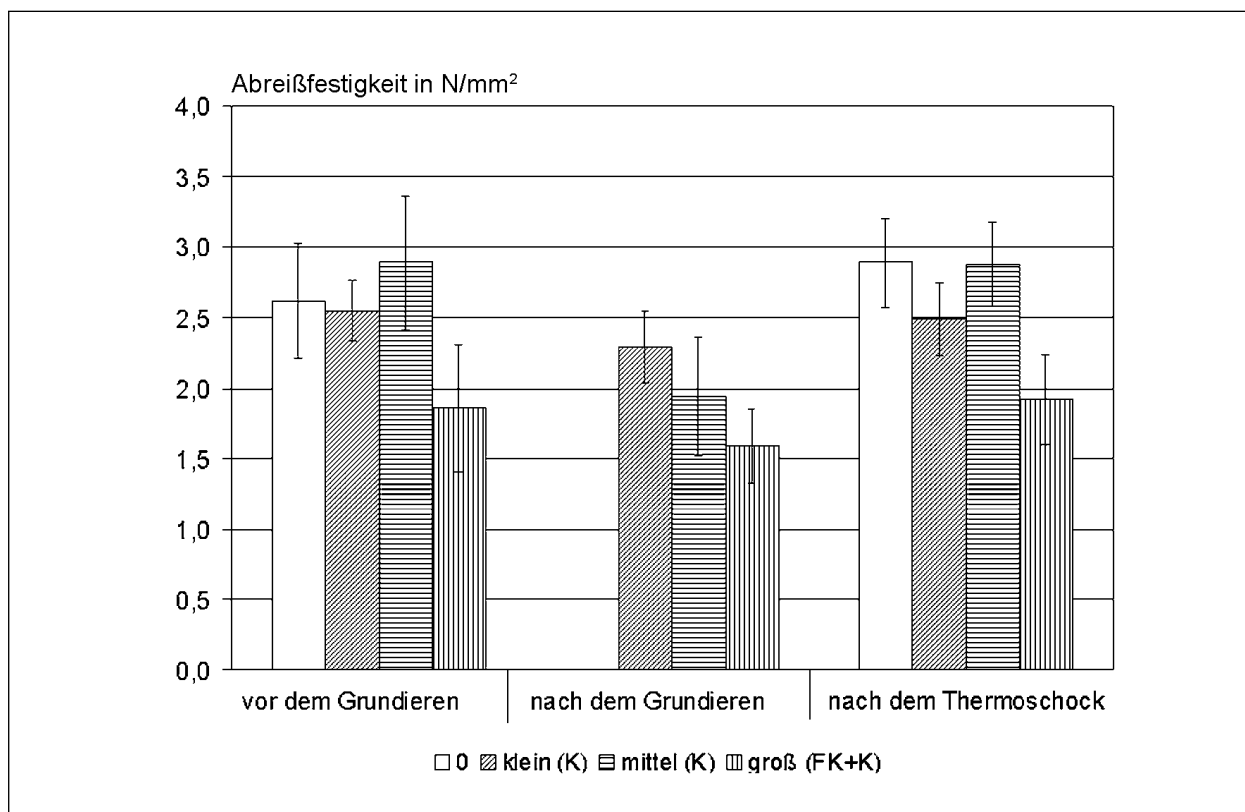


Bild 33: Einfluss der Grundierung 1 auf die Abreißfestigkeit bei allen Oberflchenvorbereitungsverfahren, Rautiefen und Prüfzeitpunkten auf Beton C35/45 („C45/55“)

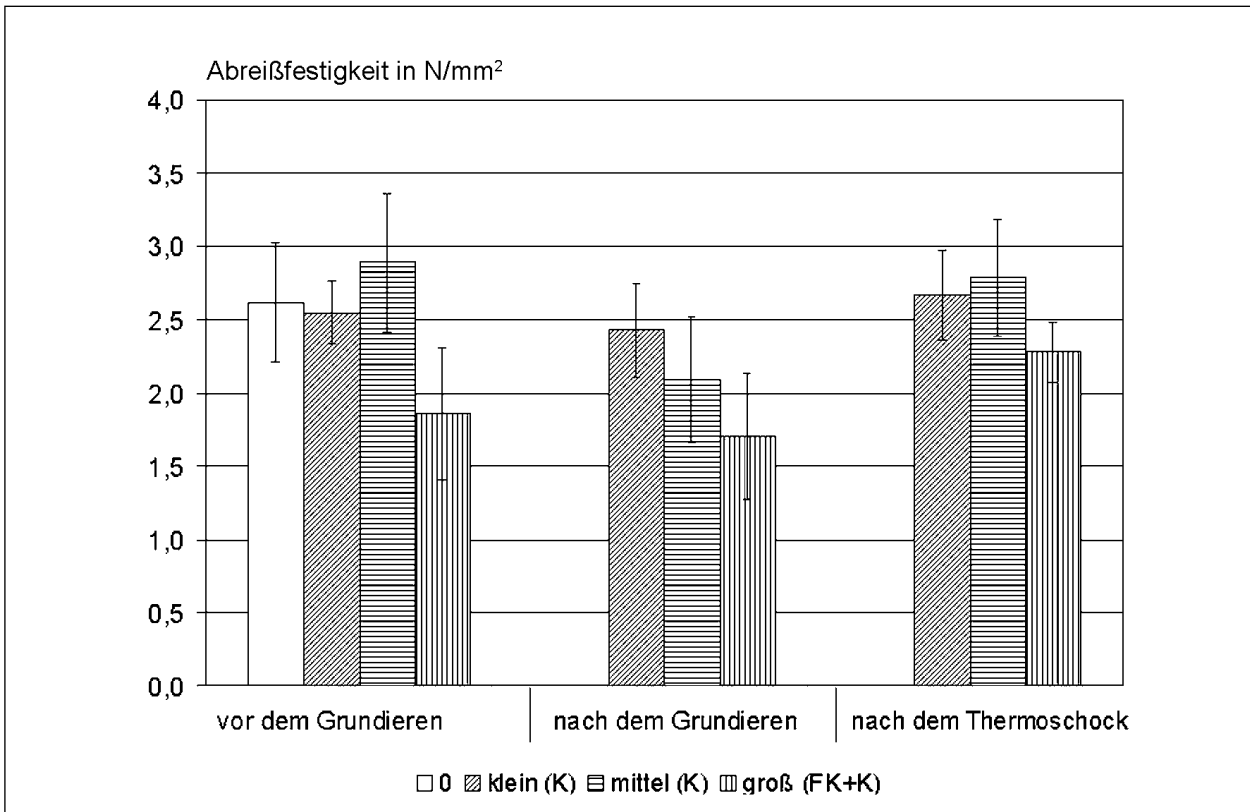


Bild 34: Einfluss der Grundierung 2 auf die Abreißfestigkeit bei allen Oberflächenvorbereitungsverfahren, Rautiefen und Prüfzeitpunkten auf Beton C35/45 („C45/55“)

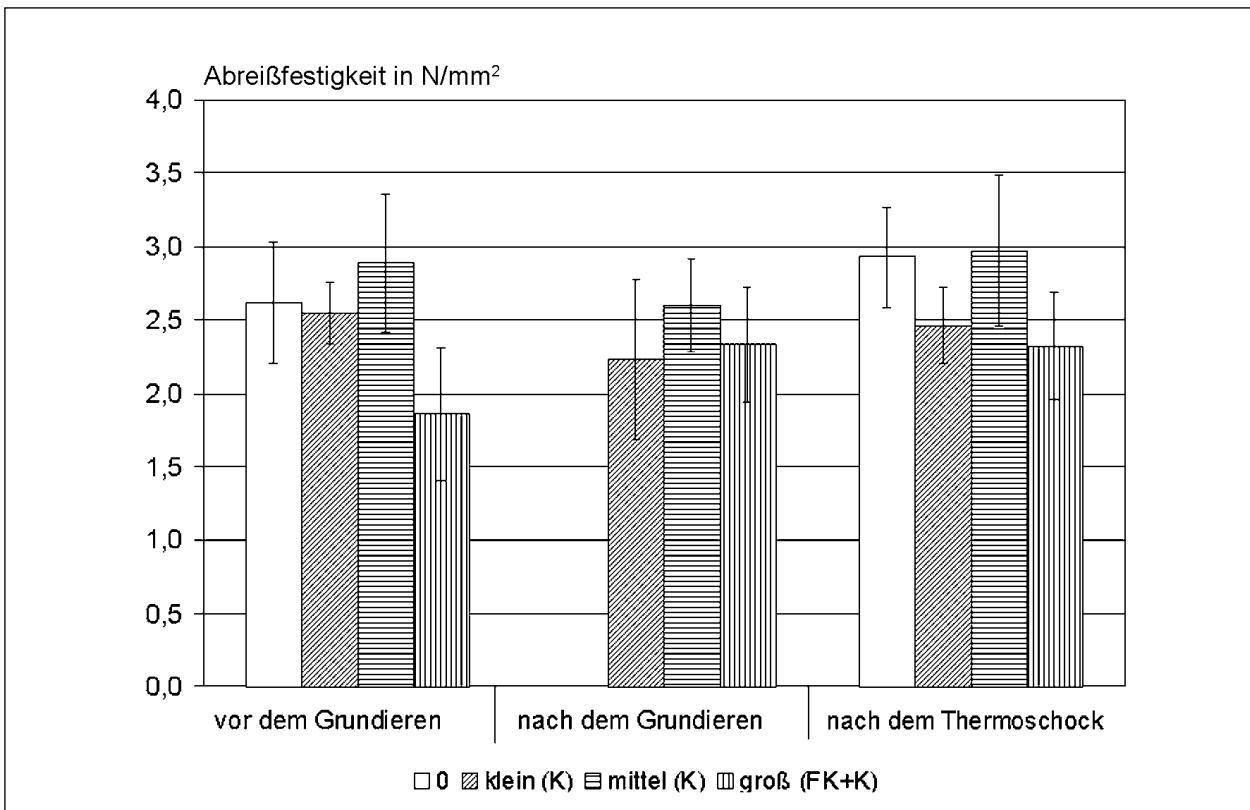


Bild 35: Einfluss der Grundierung 3 auf die Abreißfestigkeit bei allen Oberflächenvorbereitungsverfahren, Rautiefen und Prüfzeitpunkten auf Beton C35/45 („C45/55“)

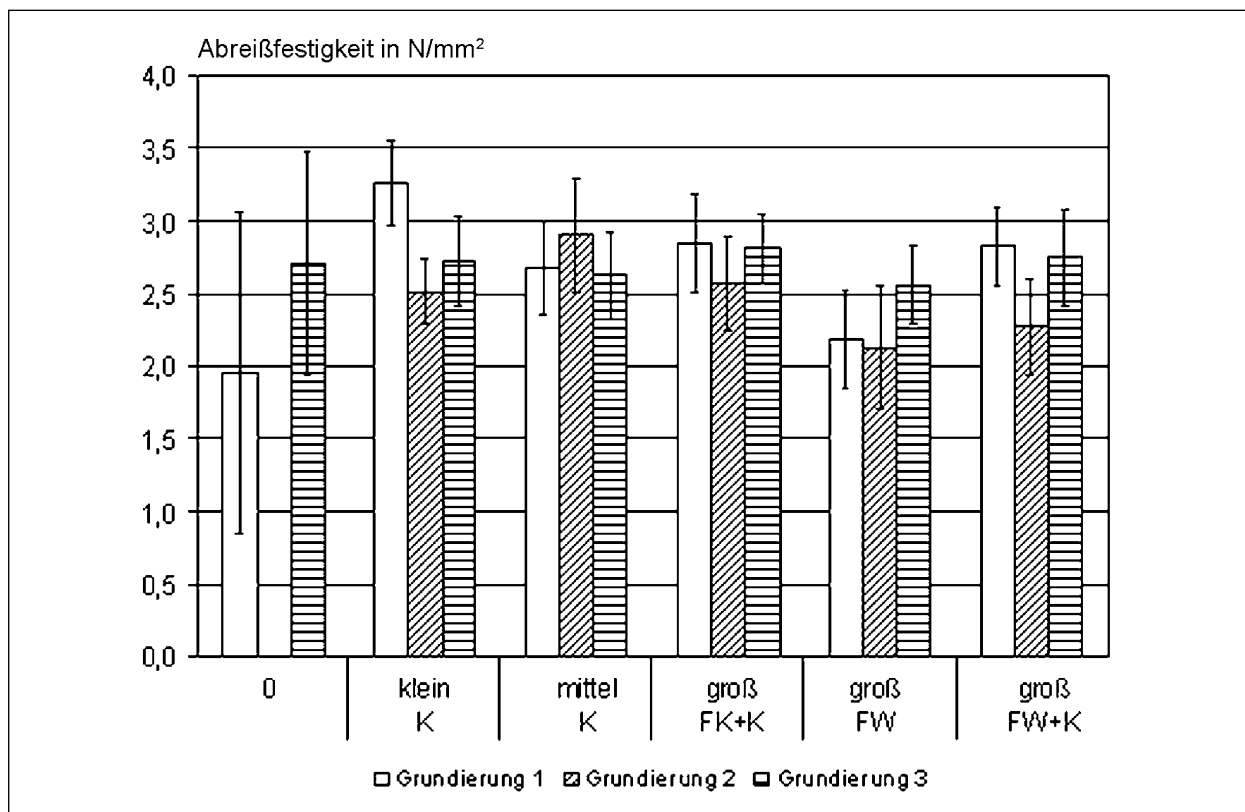


Bild 36: Vergleich des Einflusses der 3 Grundierungen auf die Abreißfestigkeit bei allen Oberflächenvorbereitungsverfahren und Rautiefen nach Thermoschock auf Beton C30/37

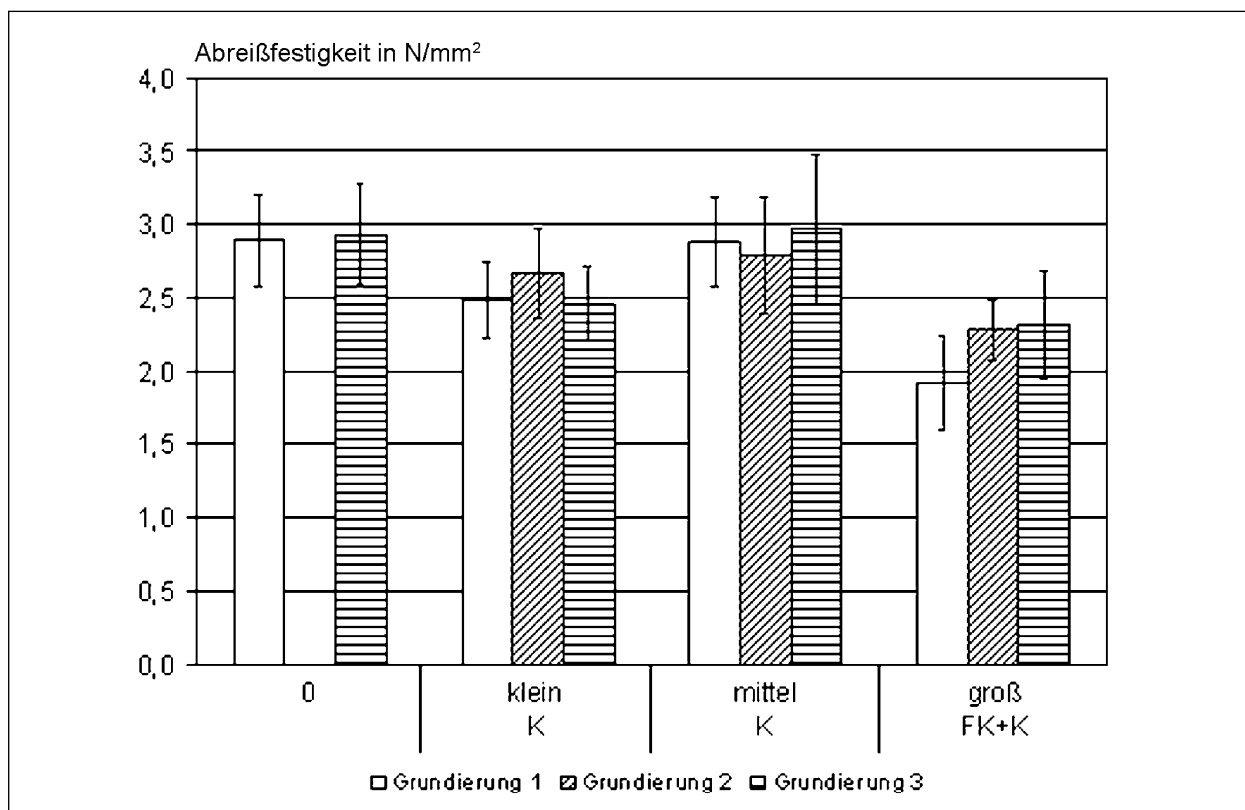


Bild 37: Vergleich des Einflusses der 3 Grundierungen auf die Abreißfestigkeit bei allen Oberflächenvorbereitungsverfahren und Rautiefen nach Thermoschock auf Beton C35/45 („C45/55“)

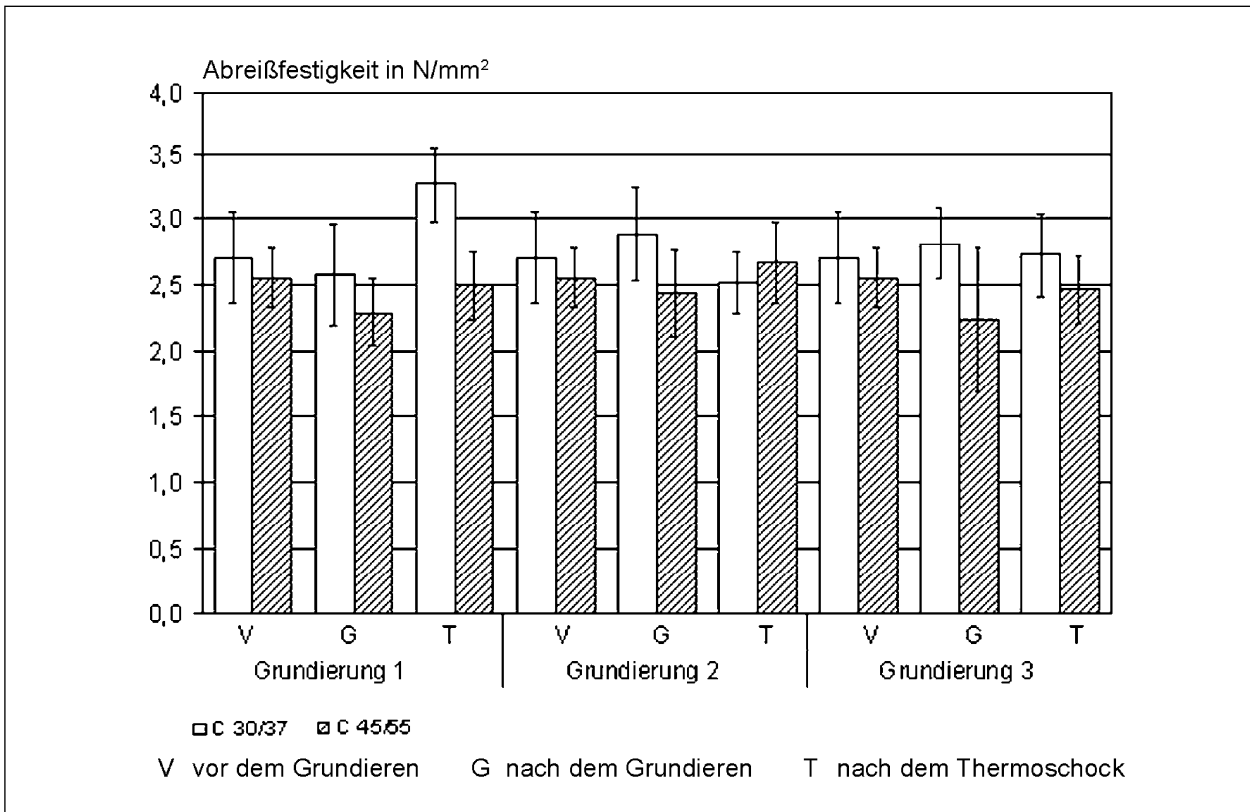


Bild 38: Vergleich der Abreißfestigkeiten auf beiden Betonen bei kleiner Rautiefe (Kugelstrahlen); 3 Grundierungen, 3 Prüfzeitpunkte

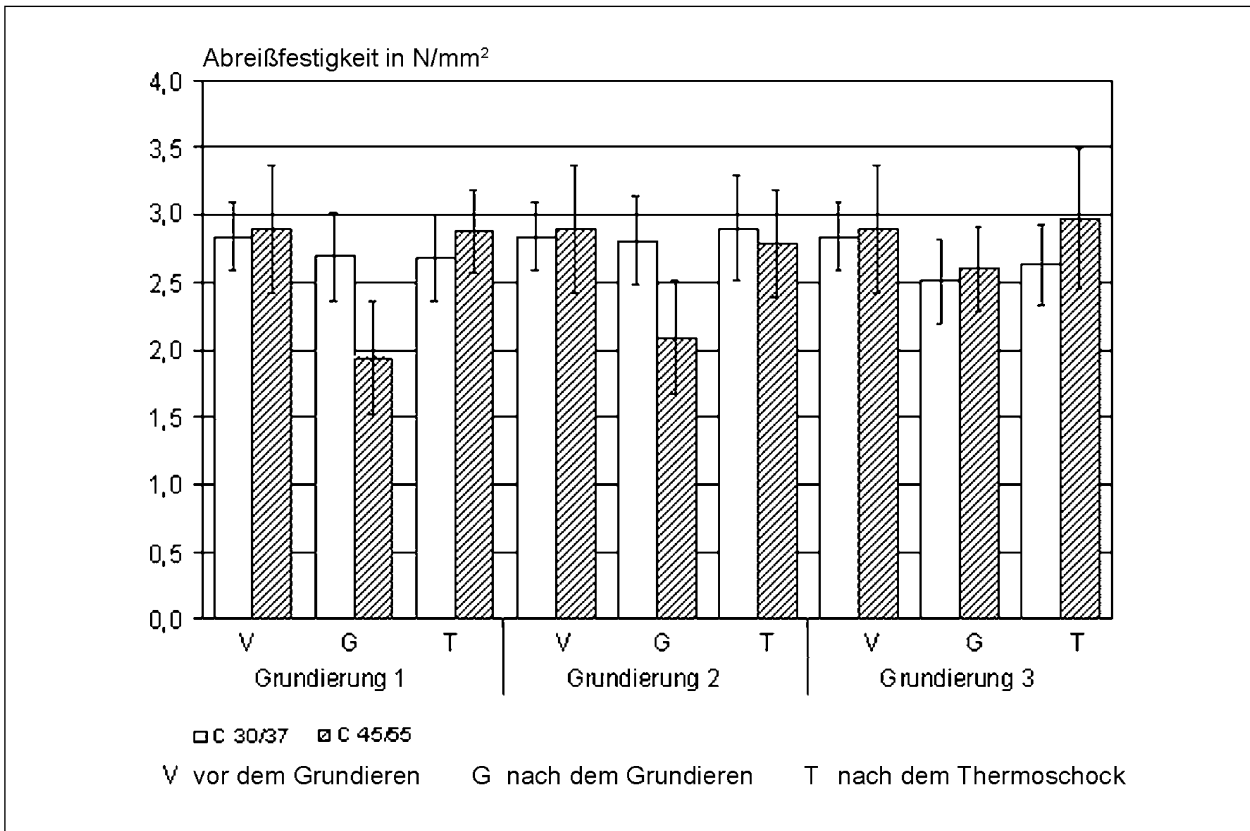


Bild 39: Vergleich der Abreißfestigkeiten auf beiden Betonen bei mittlerer Rautiefe (Kugelstrahlen); 3 Grundierungen, 3 Prüfzeitpunkte

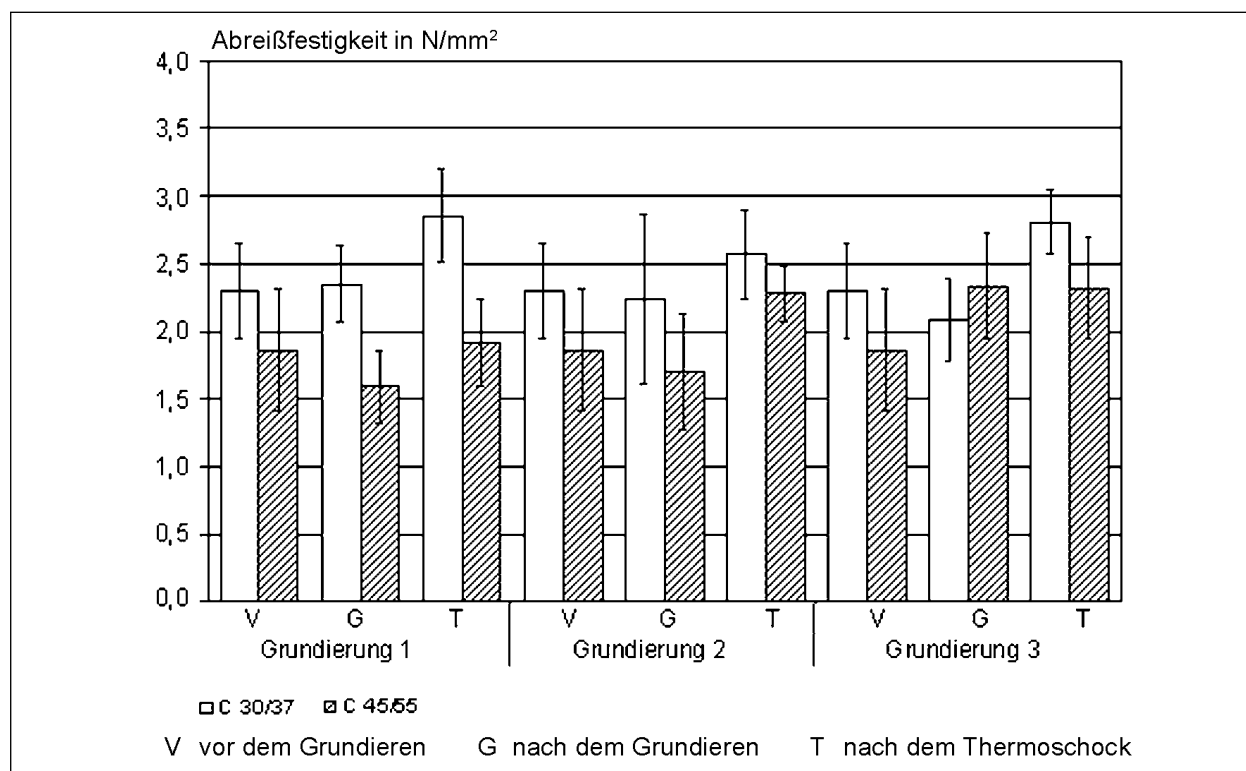


Bild 40: Vergleich der Abreißfestigkeiten auf beiden Betonen bei großer Rautiefe (Klopffräse und Kugelstrahlen); 3 Grundierungen, 3 Prüfzeitpunkte

5 Diskussion der Ergebnisse des Abreißversuches

Schwerpunkt „Einfluss des Oberflächenvorbereitungsverfahrens“

Betrachtet man zunächst die Mittelwerte der Abreißfestigkeiten vor dem Grundieren (Bilder 30 und 33), ist zu erkennen, dass das Kugelstrahlen mit mittlerer Rautiefe bei beiden Betonen zu den höchsten Abreißfestigkeiten führt. Signifikant niedriger liegen die Werte generell bei großer Rautiefe (keine bis sehr geringe Überschneidung der Streubereiche), wobei die geringsten Werte nach dem Walzenfräsen ohne Kugelstrahlen erreicht werden. Letzteres ist eindeutig auf das Verfahren zurückzuführen, da beim Klopffräsen mit anschließendem Kugelstrahlen sogar etwas höhere Rautiefen erzeugt werden (s. Tabelle 4), aber signifikant höhere Abreißfestigkeiten. Bei Einsatz der Walzenfräse wird durch anschließendes Kugelstrahlen die Abreißfestigkeit tendenziell verbessert (s. Bild 25). Da die Unterschiede zwischen den Rautiefen nach intensivem Kugelstrahlen (Rautiefe: 0,62 mm) und Walzenfräsen mit anschließendem Kugelstrahlen (Rautiefe: 0,74 mm) ziemlich klein sind, die Abreißfestigkeiten sich aber signifikant unterscheiden, wird in erster Linie das Verfahren für die erzielten

Abreißfestigkeiten verantwortlich gemacht. Durch den Einsatz der Walzenfräse wird die Abreißfestigkeit am ungünstigsten beeinflusst, gefolgt von der Klopffräse. Kugelstrahlen führt zu den besten Werten. Gestützt wird diese These auch dadurch, dass die beiden Rautiefen, die mit Kugelstrahlen erzeugt wurden (0,28 und 0,62 mm), zu keinen signifikanten Unterschieden in der Abreißfestigkeit führen (Überschneidung der Streubereiche > 50 %).

Auch mit Grundierung und vor der thermischen Beanspruchung bleibt die Reihung der Abreißfestigkeiten beim Beton C30/37 für alle 3 Grundierungen ungefähr dieselbe wie ohne Grundierung. Die Abreißfestigkeiten vor und nach dem Grundieren unterscheiden sich nicht signifikant. Nicht so eindeutig ist das Bild beim Beton C35/45: Hier sind die Abreißfestigkeiten nach Kugelstrahlen mit mittlerer Rautiefe mit den Grundierungen 1 und 2 deutlich niedriger als ohne Grundierung (s. Bilder 33 und 34).

Nach der thermischen Beanspruchung sind die Abreißfestigkeiten in allen Fällen nicht geringer als davor. Im Gegenteil, insgesamt ist sogar eine Tendenz zu höheren Abreißfestigkeiten erkennbar. In manchen Fällen ist diese Erhöhung sogar signifikant, s. Bild 32, Walzenfräsen.

Ohne Oberflächenvorbereitung können genauso hohe Abreißfestigkeiten erreicht werden wie mit Oberflächenvorbereitung, s. Bilder 32, 33 und 35. Allerdings sind diese hohen Werte nicht genauso zielsicher zu erreichen, s. Bild 30: Durch einige sehr niedrige Werte auf Beton C30/37 in Verbindung mit Grundierung 1 nach der thermischer Beanspruchung wird der Mittelwert stark abgesenkt und der Streubereich sehr stark erweitert. Während bei Verwendung eines Oberflchenvorbereitungsverfahrens im Abreißversuch immer Betonbruch erreicht wurde, wurden ohne Oberflächenvorbereitung beim Beton C30/37 in 20 bis 70 % der Flle Adhsionsbrche festgestellt, s. Tabelle 6, Anfang und Ende und Bild 41.

Beim Beton C30/37 werden die Anforderungen der ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 1: Abreißfestigkeit im Mittel mindestens 1,5 N/mm², kleinster Einzelwert mindestens 1,0 N/mm² mit einer Ausnahme (Klopfrse, kleinster Einzelwert: 0,79 N/mm²) erfüllt, s. Tabelle 6. Mit Ausnahme des Walzenfrsens und wenn einzelne Ausreißer nicht berücksichtigt werden, liegen die Mittelwerte der Abreißfestigkeit bei Verwendung aller Oberflchenvorbereitungsverfahren in allen Fällen sogar über 2,0 N/mm² und die kleinsten Einzelwerte über 1,5 N/mm².

Auch beim Beton C35/45 werden beide Anforderungen ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 1 (mindestens 1,5 N/mm² im Mittel, mindestens 1,0 N/mm² im Einzelfall) erfüllt. Das höhere Niveau von 2,0 N/mm² im Mittel und 1,5 N/mm² im Einzelfall wird dagegen bei Anwendung des Klopfrsens in 75 % der Fälle nicht erfüllt; bei Anwendung des Kugelstrahlens wird eine oder werden beide Anforderungen allerdings in 15 % der Fälle auch nicht erfüllt.



Bild 41: links: Adhäsionsbruch aufgrund fehlender Oberflächenvorbereitung; ohne Grundierung

Schwerpunkt „Grundierung“

Die höchste Abreißfestigkeit (Mittelwert: 3,3 N/mm², Einzelwert: 2,9 N/mm²) wurde auf Beton C30/37 mit Grundierung 1 in Verbindung mit kleiner Rautiefe erreicht. In den meisten Fällen überlappen sich die Streubereiche der 3 Grundierungen aber ziemlich weit und die Reihung der Grundierungen ändert sich unsystematisch, so dass ein Einfluss der Grundierungen auf die Abreißfestigkeit nicht zu erkennen ist, s. Bilder 36 und 37. In den Bildern 42 und 43 ist das Eindringen der Grundierung in den Zementstein im Bereich herausgebrochener Zuschlagkörner zu erkennen. Die Eindringtiefe liegt im Bereich 1 bis 2 mm.

Schwerpunkt „Betone“

Insgesamt betrachtet werden die größeren Abreißfestigkeiten tendenziell an Beton C30/37 erzielt. Am deutlichsten tritt dieser Unterschied bei der großen Rautiefe hervor, s. Bild 40. Sowohl bei kleiner als auch bei großer Rautiefe ist der Mittelwert am Beton C30/37 in 8 von 9 Fällen größer als am Beton C35/45. Bei mittlerer Rautiefe ist die mittlere

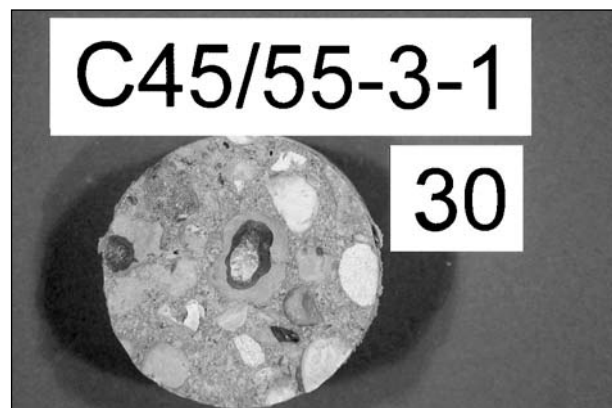


Bild 42: In den Zementstein eingedrungene Grundierung 1

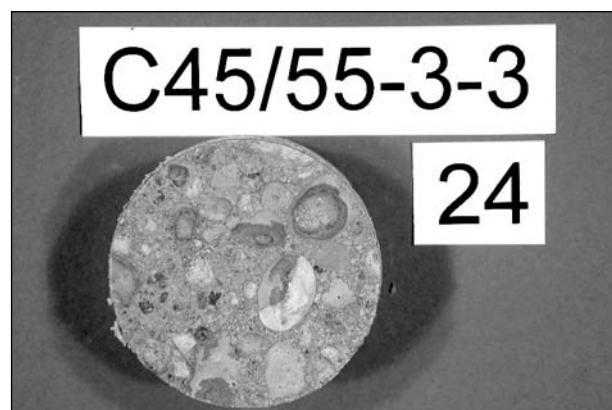


Bild 43: In den Zementstein eingedrungene Grundierung 3

Abreißfestigkeit am Beton C30/37 dagegen nur in 2 Fällen größer als am Beton C35/45; in den anderen Fällen sind die Mittelwerte überwiegend sehr ähnlich. Unterschiede zwischen den Grundierungen sind nicht erkennbar.

6 Zusammenfassung

Die Untersuchungen wurden mit einem Beton C30/37, der mit einer Rüttelbohle geglättet wurde, und mit einem Beton C35/45, der sehr glatt abgerieben wurde, durchgeführt. Die Betonoberflächen wurden mit den Verfahren Kugelstrahlen, Walzen- und Klopffräsen sowie Kombinationen daraus unterschiedlich stark und alternativ nicht aufgeraut. Jeweils vor und nach dem Aufbringen dreier verschiedener Grundierungen sowie nach thermischer Beanspruchung durch Simulation des Aufschweißens einer Bitumenschweißbahn und anschließendem Aufbringen von Gussasphalt wurde die Abreißfestigkeit bestimmt.

Die Mindestanforderungen der ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 1 hinsichtlich der Abreißfestigkeit (1,5 N/mm² im Mittel, 1,0 N/mm² im Einzelfall) wurden mit allen Verfahren in allen Fällen erreicht. Die tendenziell höchsten Abreißfestigkeiten wurden mit Kugelstrahlen erzielt, wobei kein signifikanter Unterschied zwischen geringer Rautiefe (0,2–0,3 mm) und mittlerer Rautiefe (0,5–0,6 mm) gefunden wurde. Nach Walzenfräsen und Klopffräsen durchgeführtes Kugelstrahlen erhöhte die Abreißfestigkeit.

Auch ohne Betonoberflächenvorbereitung konnten in den meisten Fällen genauso hohe Abreißfestigkeiten erreicht werden wie mit Oberflächenvorbereitungsverfahren. Allerdings ist das Risiko des Adhäsionsbruches zwischen Grundierung und Beton und Nichterreichen der Anforderungen an die Abreißfestigkeit ohne Oberflächenvorbereitung erheblich. Dies zeigt sich insbesondere nach der thermischen Beanspruchung. Daher sollte die Betonoberfläche immer abtragend vorbereitet werden.

Nach Anwendung von Betonoberflächenvorbereitungsverfahren wurde die Abreißfestigkeit durch die thermische Beanspruchung beim Aufschweißen der Bitumenschweißbahn und beim Aufbringen von Gussasphalt nicht negativ beeinflusst.

Danksagung

Besonderer Dank gilt der Firma Flammstrahltechnik, Dreieich, die Maschinen und Personal für die Betonoberflächenvorbereitung zur Verfügung stellt sowie der Firma Reinartz Asphalt, Aachen, die das Aufbringen des Gussasphalts übernahm.