

# Sanierung der südlichen Start- und Landebahn am Flughafen Köln/Bonn mit Portlandhüttenzement

## Erstmalige Anwendung des CEM II/A-S 42,5 N (st) auf einer Flugbetriebsfläche

Von Peter Bilgeri, Dortmund, Markus Ritter und Jürgen Schiemann, Köln

### 1 Einführung

Der Flughafen Köln/Bonn ist das größte Low-Cost-Drehkreuz in Deutschland. Über 10 Mio. Menschen jährlich fliegen von hier aus zu mehr als 130 Zielen. Seit dem Start der Low-Cost-Carrier ist das Passagieraufkommen um 92 % gewachsen. Der Airport gehört zu den wenigen in Europa mit großem Entwicklungspotenzial: Der stetig steigende Verkehrszuwachs durch die Low-Cost-Carrier kann über drei Start- und Landebahnen mühelos gemeistert werden. Die mit 3.815 m längste Startbahn ist der einzige echte Interkontinental-Runway in Nordrhein-Westfalen.

Der Flughafen ist ein Musterbeispiel für die Verknüpfung der Transport-

mittel in der Luft, auf der Straße und auf der Schiene. Er ist direkt an das dichte Autobahnnetz in NRW angebunden; rund 170 ICE, S-Bahnen und Regional-Express-Züge fahren täglich in den zwischen den beiden Terminals gelegenen Bahnhof ein.

Als einer der wichtigsten Wirtschaftsfaktoren der Region beschäftigt der Flughafen Köln/Bonn bei seinen über 135 Unternehmen und Behörden rund 12.500 Menschen.

### 2 Beschreibung der Baumaßnahme

Am Flughafen Köln/Bonn sollte der südöstliche Abschnitt der Start- und

Landebahn 14R/32L (Bild 1) saniert werden. Für den Teilbereich südöstlich der Kreuzung mit der S/L-Bahn 06/24 war vorgesehen, den gesamten Oberbau aufzunehmen und zu erneuern.

Hier sollten die 685 m der bestehenden S/L-Bahn mit einer Breite von 50 m abgebrochen werden und entsprechend den Vorgaben des Regelwerks durch eine 45 m breite Start- und Landebahnbefestigung aus Beton sowie zwei 7,50 m breite Schultern aus Rasengittersteinen ersetzt werden.

Im Rahmen dieser Baumaßnahme waren umfangreiche Arbeiten an der Entwässerung und an der Anflugbefahrung durchzuführen. Die Primärentwässerung bestand vorher aus einer Stahlbetonschlitzrinne ohne Innengefälle. Der Sammelkanal hatte Rohrdimensionen von DN 400 bis DN 1000 und wurde an das bestehende Flughafennetz angeschlossen. Die vorhandene Anflugbefahrung wurde auf einer Gesamtlänge von ca. 2.000 m durch neue Kabelschutzrohrtrassen ersetzt.

Der Ausführungszeitraum der Baumaßnahme erstreckte sich von Januar bis Juli 2008.

### 3 Allgemeine Regeln für den Bau von Flugbetriebsflächen aus Beton

Flugbetriebsflächen sind alle Flächen, die von Flugzeugen oder Sonderfahrzeugen für die Flugzeugabfertigung benutzt werden:

- Start- und Landebahnen (S/L-Bahnen)
- Rollbahnen
- Vorfelder
- Betriebsflächen



Foto: M. Ritter

Bild 1: Start- und Landebahn 14R/32L nach ihrer Fertigstellung

Bei der Planung sind die Grundsätze der „Internationalen Richtlinien und Empfehlungen für Flugplätze“, Anhang 14 zum Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO: International Civil Aviation Organization), zu beachten.

Technische Regelungen, die sich aus den Besonderheiten beim Bau mit Beton auf Flugplätzen ergeben, sind im „Merkblatt für den Bau von Flugbetriebsflächen aus Beton“ [1] enthalten, es ergänzt die ZTV Beton-StB 01 [2]. Für Flugbetriebsflächen sind grundsätzlich die Regelungen der ZTV Beton-StB 01 für die Bauklasse SV anzuwenden. Gleichzeitig gelten damit für die Ausgangsstoffe und die Zusammensetzung des Betons alle Festlegungen, die auch für Verkehrsflächen aus Beton/Betonfahrbahndecken (Feuchtigkeitsklasse WS) gültig sind. Die Eignung der Gesteinskörnung bei Verwendung der vorgesehenen Aufbaumittel ist durch entsprechende Prüfung nachzuweisen. Zusätzlich zu den in der Tabelle 5 der ZTV Beton-StB 01 aufgeführten Prüfungen ist im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung die Biegezugfestigkeit zu prüfen, für den Nachweis der Konformität hinsichtlich der Festigkeit sind die Werte der Biegezugfestigkeit maßgebend.

Außerdem sind nachfolgend aufgeführte Regelwerke zu berücksichtigen:

- Vorläufige baufachliche Richtlinien für Flugverkehrsflächen der Bundeswehr (BFR 9051-FVF)
- Arbeitshilfen Flugbetriebsflächen des Bundesministeriums der Verteidigung, Fassung November 2005
- Merkblatt für die Entwässerung von Flugplätzen [3]

#### 4 Kriterien für die Belagauswahl

Gemäß Ausschreibung wurden zwei Varianten für die S/L-Bahn zur Vergabe herangezogen:

- Variante Asphaltbauweise (Gesamtaufbau 93 cm):
  - 4 cm Asphaltbeton 0/11 S
  - 8 cm Asphaltbinder 0/22 S
  - 26 cm Asphalttragschicht 0/32 CS
  - 55 cm Frostschuttschicht
- Variante Betonbauweise (Gesamtaufbau 93 cm):
  - 36 cm Betondecke C35/45
  - 15 cm HVT im Baumischverfahren
  - 42 cm Frostschuttschicht

Im Rahmen einer Prüfung der angebotenen Varianten nach Wirtschaftlichkeit durch die Flughafen Köln/Bonn GmbH hat man sich für die Ausführung der Betonvariante entschieden. Zur Ausführung gelangte dann ein modifizierter Aufbau der ARGE Gebrüder von der Wettern (vdw) / Strabag Bau AG mit einer Gesamtdicke von 81 cm.

- Modifikation der Betonvariante (Gesamtaufbau 81 cm):
  - 36 cm Betondecke C35/45
  - 15 cm HVT im Baumischverfahren
  - 30 cm Verfestigung des anstehenden Bodens

#### 5 Anforderungen an die Betonqualität laut Ausschreibung

Für die Betondecke wurden folgende Kriterien festgelegt:

- Unbewehrte Betondecke für die Bauklasse SV nach ZTV Beton-StB 01 und „Merkblatt für den Bau von Flugbetriebsflächen aus Beton“.

- Beton C35/45 LP, XC4, XD3, XF4, XM2 nach DIN EN 206 und DIN 1045-2.
- Abweichend von der Festlegung durch die Expositionsklasse XM2 wurde ein Zementgehalt von bis zu 380 kg/m<sup>3</sup> zugelassen.
- Druckfestigkeit (Würfel): Serienfestigkeit mindestens 50 N/mm<sup>2</sup>; kleinster Einzelwert 40 N/mm<sup>2</sup>.
- Biegezugfestigkeit (Balken 150/100/700 mm): F 6,0 nach DIN EN 12390-5 (Prüfung mit Einzellast, Stützweite 600 mm).

#### 6 Technologische Anforderungen laut Ausschreibung

Der Einbau erfolgte zwischen stehender Stahlschalung mit Sinusprofil, der Einsatz von Gleitschalung war nicht zugelassen. Die Einbaubreite betrug in der Regel 15 m, die Plattengröße war auf 5,0 m x 5,0 m festgelegt. Der Einsatz einer stationären Mischanlage war vorzusehen. Die Oberfläche der Decke war in Längs- und Querrichtung planeben abziehen und mit einem Besenstrich (Stahlbesen), Tiefe 1 mm, zu versehen.

Für die Start- und Landebahn war die Betondecke einschichtig, einlagig mit dem Betondeckenfertiger in einer Dicke von 36 cm herzustellen (ca. 33.000 m<sup>2</sup>). Der so genannte Sicherheitsstreifen erfüllt sämtliche an die S/L-Bahn gestellten Anforderungen und wurde in einer Dicke von 23 cm hergestellt (ca. 3.000 m<sup>2</sup>).

#### 7 Ausgangsstoffe

##### 7.1 Zement

Die Ausschreibung erlaubte die Verwendung eines CEM I 42,5 N oder eines CEM II 42,5 N – auch mit nied-

Tafel 1: Kennwerte des Portlandhüttenzements CEM II/A-S 42,5 N (st), Lieferzeitraum April/Mai 2008

Zementeigenschaft		Eigenüberwachung CEM II/A-S 42,5 N (st)		
		Mittelwert	Standardabweichung	
Wasseranspruch	M.-%	28,7	1,1	
Erstarrungsbeginn	min	252	10	
Spezifische Oberfläche (Blaine)	cm <sup>2</sup> /g	3.834	90	
Na <sub>2</sub> O-Äquivalent	M.-%	0,77	-	
Hüttsandgehalt	M.-%	16	0,8	
Druckfestigkeit nach	1 Tag	N/mm <sup>2</sup>	16	0,4
	2 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	27	0,7
	7 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	41	1,0
	28 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	59	1,4

riger Wärmeentwicklung (LH) – nach DIN EN 197-1. Die bauausführende ARGE vdW / Strabag Bau AG entschied sich für den Portlandhüttenzement CEM II/A-S 42,5 N (st) der CEMEX HüttenZement GmbH Dortmund. Dieser Zement bewirkt gute Verarbeitungseigenschaften des Betons, auch ohne verflüssigende Zusatzmittel.

Wichtige Kennwerte des bei der Deckenerneuerung verwendeten Zements sind in **Tafel 1** aufgeführt. Insgesamt zeugen die sehr geringen Standardabweichungen der jeweiligen Zementkennwerte von einer hohen Gleichmäßigkeit der Zementeigenschaften.

## 7.2 Gesteinskörnung

Für den Deckenbeton mussten natürliche Gesteinskörnungen gemäß TL Gestein-StB bzw. DIN EN 12620 und ZTV Beton-StB 01 verwendet werden, Korngruppen > 8 mm ausschließlich aus gebrochenem Korn der Kategorie C 100/0, Kornform: SI 20, Polierwert: PSV 53, Widerstand gegen Zertrümmerung: SZ 18, Magnesiumsulfat-Widerstand: MS 18.

Für alle Gesteinskörnungen war die Beständigkeit gegen die Enteisungsmittel Safeway KA HOT und Kilfrost ABC 3 nachzuweisen in Anlehnung an DIN EN 1367-1 Anhang B, jedoch in 3 %iger Lösung und bei Ermittlung der Absplitterung am nächst kleineren Sieb (also z.B. 5,6-mm-Sieb für die Kornklasse 8/16 oder 8/11).

Es durften nur Gesteinskörnungen eingesetzt werden, die nachweislich die schädigende Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) nicht fördern. Die entsprechenden Nachweise (petrographische Analyse, Mörtel-Schnelltest) der Lieferwerke waren vorzulegen.

Tafel 2: Ergebnisse der Beton-Regelprüfungen mit CEM II/A-S 42,5 N (st)

Beton C25/30, F3, GK 32 mm, z = 300 kg/m <sup>3</sup> , w/z = 0,58				
Betoneigenschaft		Mittelwert	Standardabweichung	
Ausbreitmaß nach	10 Minuten	mm	450	13
	45 Minuten	mm	420	11
Frischbetonrohddichte	kg/dm <sup>3</sup>	2,34	-	
Druckfestigkeit nach	2 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	21	0,9
	7 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	31	0,8
	28 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	40	1,3
	56 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	43	1,1

## 7.3 Betonzusatzmittel

Um die für einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand erforderlichen Mikroluftporen im Deckenbeton zu erzeugen, wurde der Addiment Luftporenbildner LPS A verwendet (Luftporenbildner-Konzentrat für den Verkehrswegebau).

## 8 Maßnahmen und Dienstleistungen des Zementherstellers

### 8.1 Erweiterte Qualitätssicherung

Zur Steuerung einer gleichmäßig hohen Produktqualität wird die in jedem Zementwerk übliche umfangreiche werkseigene Produktionskontrolle bei CEMEX durch Ergebnisse regelmäßiger Betonprüfungen mit allen Zementen maßgeblich gestützt. Dadurch können z.B. Veränderungen der Verarbeitungseigenschaften des Zements schnell erkannt und daraufhin kurzfristig Korrekturmaßnahmen getroffen werden. Dieses Qualitätssicherungssystem – bestehend aus werkseigener Produktionskontrolle der Zemente plus Betonregelprüfungen – wird durchgeführt, um dem Anwender weitgehend gleich bleibende Gebrauchseigenschaften zu bieten. Die Ergebnisse der Betonregelprü-

Tafel 3: Betonzusammensetzung

Betonfestigkeitsklasse besondere Eigenschaften		C35/45 hoher Widerstand gegen sehr starken Frost-Taumittel-Angriff
Zementart und Festigkeitsklasse Zementgehalt	kg/m <sup>3</sup>	CEM II/A-S 42,5 N (st) 360
Wassergehalt w/z-Wert	kg/m <sup>3</sup>	155 0,43
Gesteinskörnung		
Rheinsand 0/2	kg/m <sup>3</sup>	491
Rheinkiessand 2/8	kg/m <sup>3</sup>	215
Basaltsplitt 8/16	kg/m <sup>3</sup>	606
Basaltsplitt 16/22	kg/m <sup>3</sup>	598
Zusatzmittel Art		LP (Konzentrat 1:3 verdünnt)

fungen 2008 mit CEM II/A-S 42,5 N (st) aus dem Hüttenzementwerk Dortmund sind in **Tafel 2** aufgeführt.

## 8.2 Projektbezogene Maßnahmen und Dienstleistungen

Das mit der Lieferung beauftragte Zementwerk, die CEMEX HüttenZement GmbH in Dortmund, beantragte für den CEM II/A-S 42,5 N (st) beim Fremdüberwacher (Verein Deutscher Zementwerke) die Durchführung der erforderlichen Zusatzprüfungen für Fahrbahndeckenzement. Im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle waren ebenfalls zusätzliche Zementprüfungen erforderlich. Um die Anforderungen hinsichtlich des wirksamen Alkaligehalts des Zements zu erfüllen, wurde CEMEX-Spezialklinker mit reduziertem Alkaligehalt verwendet.

Für die Baumaßnahme lieferte das Zementwerk rund 5.000 t Portlandhüttenzement CEM II/A-S 42,5 N (st) mit einem Spitzenversand von 837 t am 5. Mai 2008. Um diese Mengen neben dem üblichen Tagesversand bereitstellen zu können, wurde ein separates Versandsilo mit einem Fassungsvermögen von 2.000 t mit

diesem Zement befüllt. Außerdem war eine von insgesamt vier Verladestraßen für diese Baumaßnahme reserviert, um einen reibungslosen Versand zu gewährleisten.

Bereits vor der Angebotsabgabe hatte die Anwendungstechnik des Zementherstellers mit der bauaus-

führenden ARGE Kontakt aufgenommen und ihre Unterstützung im Rahmen der Qualitätssicherung beim Einbau des Deckenbetons angeboten.

## 9 Erstprüfung (Eignungsprüfung)

Die Erstprüfung wurde im Zentrallaboratorium der Firma Gebrüder von der Wettern (vdw) in Köln durchgeführt, die Zusammensetzung des Deckenbetons ist in **Tafel 3** aufgeführt. Gemäß dem Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton [4] waren erweiterte Frischbetonprüfungen erforderlich:

- mit verlängerter Mischzeit (3 Minuten)
- mit doppelter LP-Mittel-Zugabe
- bei erhöhter Frischbetontemperatur

Die Ergebnisse der Frisch- und Festbetonprüfungen sind in den **Tafeln 4** und **5** dargestellt.

Tafel 4: Ergebnisse der Erstprüfung am Frischbeton

Betoneigenschaft		bei verlängerter Mischzeit (3 Minuten)	bei doppelter LP-Mittel-Zugabe	bei erhöhter Frischbetontemperatur
Betontemperatur	°C	17	18	27
Verdichtungsmaß v nach				
5 Minuten		1,38	1,32	1,32
30 Minuten		1,42	1,33	1,35
Luftgehalt nach				
5 Minuten	Vol.-%	4,8	7,9	4,3
30 Minuten	Vol.-%	4,5	7,2	4,1
dreifacher Verdichtungszeit	Vol.-%	4,2	7,1	3,7

Tafel 5: Ergebnisse der Erstprüfung am Festbeton

Betoneigenschaft		Prüfergebnisse
Druckfestigkeit nach		
2 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	32
7 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	43
28 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	54
Biegezugfestigkeit nach		
7 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	5,6
28 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	6,4



Bild 2: Übergabe des Deckenbetons auf Vierachser-Lkw mit Stahlmulde



Bild 3: Vornässen der Tragschicht, um einen Entzug des Wassers aus dem Deckenbeton zu vermeiden

## 10 Betonherstellung und -transport

Die Betonherstellung erfolgte in einer Hochleistungsmischanlage BHS-Modulmix 200 mit einer Produktionsleistung von bis zu 200 m<sup>3</sup>/h. Diese Anlage besteht aus vier Doseuren für die Korngruppen 0/2; 2/8; 8/16; 16/22, welche mittels Radladern beschickt werden. Der Austrag der Gesteinskörnungen aus den Doseuren erfolgt über motorisch angetriebene, drehzahlgeregelte Dosierbandwaagen (je 10 bis 200 t/h). Die Gesteinskörnungsgruppen werden damit gewichtsmäßig erfasst und rezeptgetreu auf das Sammelband dosiert. Als Sandwich geschichtet werden die Gesteinskörnungen zur Zentraleinheit transportiert. Der Durchsatz jedes Dosierbandes wird auf dem Monitor im Steuercontainer angezeigt. Am Doseur für feine Gesteinskörnungen ist eine Feuchtemessung und als Austragshilfe ein motorisch angetriebenen Rüttler angebaut.

Der Zement wurde in zwei Silos mit folgender Ausstattung gelagert:

- kontinuierliche Füllstandsmessung mit Anzeige auf dem Monitor im Steuercontainer
- Abluftfilter mit pneumatischer Abreinigung

- Überfüllsicherung mit Max-Sonde, Quetschventil, Druckmelder und Über-/ Unterdruckklappe
- Luftauflockerung

Zur Dosierung des Zements und zum Austrag aus den Zementwaagen nach dem Negativ-Wiegeprinzip war am Wiegebehälter eine drehzahlregelbare Zellradschleuse angebaut. Diese förderte in eine nachgeschaltete Schneckenwaage zur kontinuierlichen Gewichtserfassung, deren Auslauf sich direkt über dem Beschickerband befand. Der Zement wurde als Schicht sandwichartig auf die dosierten Gesteinskörnungen gelegt.

Die dosierten Komponenten wurden dem Mischer zugeführt. Dort fand die Homogenisierung aller Komponenten statt. Der Mischer wurde zu Beginn bis zum Sollfüllstand beschickt, dann wurde eine Teilmenge Beton über den Regelschieber entleert, gleichzeitig wurde neues Mischgut zugegeben. Der Füllstand wurde dabei konstant gehalten.

Die Beladung erfolgte auf Vierachser mit einem Ladevermögen von 9 bis 10 m<sup>3</sup> (Bild 2). Der Betontransport musste ausschließlich in Fahrzeugen mit Stahlaufbau erfolgen, um durch Aluminiumabrieb verursachte Kraterbildung in der Betondecke auf-

grund austretender Oxidationsgase zu vermeiden. Die Transportzeit zum Einbauort betrug weniger als 5 Minuten.

## 11 Bauausführung

Gemäß Betonierplan war eine Einbauzeit von 6 Tagen für die Start- und Landebahn vorgesehen. Bei einer Einbaubreite von 15 m und einer Länge von ca. 400 m ergab dies eine Tagesleistung von rund 2.100 m<sup>3</sup>. Es wurde im Einschichtbetrieb mit einer Arbeitszeit von 12 bis 13 Stunden betoniert. Die Unterlage wurde mehrfach am Tag vorgehäst, um einen Entzug des Anmachwassers aus dem Beton zu vermeiden (Bild 3). Der Einbau erfolgte mit einem Betonfertiger SP 1600 der Firma Wirtgen zwischen stehender Stahlschallung mit Sinusprofil bzw. zwischen Schlitzrinnenelementen.

Der angelieferte Deckenbeton wurde von den Vierachsern vor den Fertiger gekippt und mittels Mobilbagger und Verteilerschwert vorprofilert (Bild 4). Die Verdübelung der Betonplatten erfolgte in Längs- und Querrichtung automatisch mit Setzgeräten in einem Abstand von 25 cm. Die Dübel waren kunststoffbeschichtet und hatten einen Durchmesser



Bild 4: Verteilung und Vorprofilierung des angelieferten Betons mit Mobilbagger und Verteilerschwert



Bild 5: Eine gleichmäßige „Mörtelrolle“ vor dem Querglätter ist wichtig für einen optimalen Deckenschluss



Bild 6: Strukturierung der mit einem Jutetuch abgezogenen Betondecke mit einem Querbesenstrich von einer selbstfahrenden Arbeitsbühne aus

von 25 mm sowie eine Länge von 500 mm.

Die Betondecke wurde mit einem Quer- und Längsglätter geebnet und anschließend mit einem Jutetuch abgezogen. Bei optimaler Konsistenz und Einstellung des Fertigers schiebt der Querglätter eine gleichmäßige

„Mörtelrolle“ vor sich her (Bild 5). Es folgte eine selbstfahrende Arbeitsbühne, von welcher der Besenstrich ausgeführt wurde und gleichzeitig kleinere Lunker manuell verfüllt wurden (Bild 6).

Zum Abschluss erfolgte das maschinelle Auftragen des Nachbehand-

lungsmittels (Curing) mit ca. 160 bis 180 g/m<sup>2</sup> (Bild 7). Nach dem Beton-einbau wurde die hergestellte Betondecke noch fünf Tage mit Wasser nachbehandelt, um eine Austrocknung bzw. die Bildung von Schwindrissen zu verhindern (Bild 8).

## 12 Prüfungen des am Einbauort entnommenen Betons

### 12.1 Eigenüberwachung

Die TPA Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH erhielt von der ARGE vdw/Strabag Bau AG den Auftrag, während des Einbaus der Betondecke die Qualitätsprüfungen auf der Baustelle durchzuführen. Als Grundlage für die Eigenüberwachung diente die ZTV Beton-StB 01, DIN 4226 bzw. TL Min-StB 2000, DIN 1045 und



Bild 7: Maschinelles Auftragen des Nachbehandlungsmittels



Bild 8: Zusätzliche Nass-Nachbehandlung über einen Zeitraum von 5 Tagen

die Erstprüfung EP 04/08 vom 26.03.2008. Nachstehende Prüfungen wurden nach DIN 1048 bzw. DIN EN 12350 und DIN EN 12390 durchgeführt:

- Frischbeton: Bestimmung der Korngrößenverteilung des Betons (Auswaschversuche), des Zement- und Wassergehalts sowie des w/z-Werts, der Konsistenz, der Rohdichte sowie des Luftgehalts
- Festbeton: Bestimmung der Rohdichte sowie der Druck- und Biegezugfestigkeit

### 12.1.1 Frischbetonprüfungen

In der **Tafel 6** sind die Prüfergebnisse aller Frischbetonuntersuchungen dargestellt. Die wichtigsten Kennwerte liegen im Bereich der entsprechenden Werte bei der Erstprüfung. Die durch Auswaschversuche des Frischbetons ermittelte Korngrößenverteilung der Gesteinskörnung entspricht mit ihren Toleranzen der Sieblinie der Erstprüfung.

### 12.1.2 Festbetonprüfungen

Die Ergebnisse der Festbetonprüfungen sind in der **Tafel 7** aufgeführt. Alle Einzelwerte entsprechen denen eines Betons C35/45 sowie den in der Erstprüfung angestrebten Werten. Die statistische Auswertung erfolgte entsprechend der DIN 1045-2 und DIN EN 206-1. Das Kriterium 1 und 2 wurde von allen geprüften Probekörpern erfüllt.

### 12.1.3 Ergänzende Prüfungen

Die Eigenüberwachungsprüfungen der TPA wurden durch zusätzliche Prüfungen der Anwendungstechnik CEMEX Hüttenzement GmbH ergänzt. Neben der Durchführung üblicher Frischbetonuntersuchungen hatte der CEMEX-Laborant die Aufgabe, aus unmittelbar vor dem Deckenfertiger entnommenem Beton Probekörper für Festigkeitsprüfungen, für die Ermittlung der

*Tafel 6: Ergebnisse der Eigenüberwachungsprüfungen am Frischbeton*

		min.	max.	Mittelwert
Zementgehalt	kg/m <sup>3</sup>	360	360	360
Wassergehalt w/z-Wert	kg/m <sup>3</sup>	149 0,41	159 0,44	155 0,43
Verdichtungsmaß v		1,30	1,36	1,33
Rohdichte	kg/dm <sup>3</sup>	2,450	2,589	2,530
Luftgehalt an der Mischanlage	Vol.-%	4,2	6,0	4,7
Luftgehalt an der Einbaustelle	Vol.-%	3,5	5,0	4,2
Gesteinskörnung				
Siebdurchgang bei 0,25 mm		2,8	4,2	3,7
0,50 mm		10,8	13,6	12,4
1,0 mm		20,9	23,4	22,0
2,0 mm		24,2	28,5	26,5
4,0 mm	M.-%	29,6	34,2	32,4
8,0 mm		39,0	42,9	41,1
16,0 mm		72,7	78,9	74,5
22,4 mm		95,9	100	96,2

*Tafel 7: Ergebnisse der Eigenüberwachungsprüfungen am Festbeton (Prüfalter: 28 Tage)*

		min.	max.	Mittelwert	5 %-Fraktile	95 %-Fraktile
Rohdichte	kg/dm <sup>3</sup>	2,52	2,63	2,56	2,51	2,61
Druckfestigkeit <sup>1)</sup>	N/mm <sup>2</sup>	48,0	65,0	55,5	49,5	61,5
Biegezugfestigkeit <sup>2)</sup>	N/mm <sup>2</sup>	6,5	7,5	7,0	-	-

<sup>1)</sup> Probekörperlagerung nach DIN EN 12390-2 im Wasserbad (Referenzverfahren)

<sup>2)</sup> Balkenabmessungen: Breite 150 mm, Höhe 100 mm, Länge 700 mm; Prüfung mit Einzellast gemäß Leistungsverzeichnis

*Tafel 8: Anforderungen an Luftporenkennwerte im Festbeton [4] und Prüfergebnisse des Deckenbetons (gesondert hergestellte Probekörper)*

	Mikro-Luftporengehalt A <sub>300</sub> [Vol.-%]	Abstandsfaktor L [mm]
Anforderungen bei Bauwerksprüfung	≥ 1,5	≤ 0,24
Probe FL 1	1,6	0,17
Probe FL 2	1,7	0,17
Probe FL 3	2,0	0,19
Mittelwert	1,8	0,18

Luftporenkennwerte am Festbeton sowie für die Prüfung des Frost-Taumittel-Widerstands herzustellen.

An drei zur Bestimmung der Luftporenkennwerte und mikroskopischen Untersuchung hergestellten Probekörpern wurde bei der WISS-

Tafel 9: Kornzusammensetzung Rheinsand 0/2 mm

Sieb [mm]	Durchgang [M.-%]			
	Anforderung	min.	max.	Mittelwert
4	100	100	100	100
2,8	95-100	96	99	98
2	85-99	91	97	95
1	-	79	85	82
0,5	-	52	57	54
0,25	-	13	16	15
0,125	-	1	3	2
0,063	-	0,8	1,1	0,9
organische Bestandteile		ohne Beanstandung		

Tafel 10: Kornzusammensetzung Rheinkiessand 2/8 mm

Sieb [mm]	Durchgang [M.-%]			
	Anforderung	min.	max.	Mittelwert
16	100	100	100	100
11,2	98-100	99	100	100
8	85-99	95	99	98
2	0-20	8	11	9
1	0-5	2	4	3
0,063	-	0,9	1,2	1,1

BAU ein Dünnschliff senkrecht zur Fertigungsoberfläche erstellt. Die Luftporenkennwerte wurden nach EN 480-11 bestimmt, die Auszählung der Luftporen erfolgte mittels automatischer Bildanalyse. In **Tafel 8** sind die ermittelten Luftporenkennwerte dargestellt, die mit einem Mikro-Luftporengehalt  $A_{300}$  von 1,8 Vol.-% (MW) und einem Abstandsfaktor  $L$  von 0,18 mm (MW) die Anforderungen an das Luftporensystem des Festbetons erfüllen. Bei den durchgeführten mikroskopischen Untersuchungen zeigte der Beton ein gleichmäßiges Gefüge mit einer inaktiven Randzone.

Umfangreiche Untersuchungen hinsichtlich des Frost-Taumittel-Wider-

stands wurden ebenfalls an gesondert hergestellten Probekörpern durchgeführt, auch Bohrkerne sind diesbezüglich untersucht worden. Art und Umfang der Prüfungen sowie die Ergebnisse sind im Abschnitt 13.3 aufgeführt.

## 12.2 Fremdüberwachung

### 12.2.1 Prüfungen

Die Flughafen Köln/Bonn GmbH hatte dem Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen (isac) die Aufgaben der Fremdüberwachung übertragen. Die Untersuchungen wurden nach Art entsprechend den zutreffenden Vorschriften und hinsichtlich des Umfangs nach den Anweisungen der Flughafen Köln/Bonn GmbH bzw.

der örtlichen Bauleitung durchgeführt. Beurteilungsgrundlagen waren das Auftrags-Leistungsverzeichnis 202-059 der A.C.E. Airport Consulting Engineers GmbH, die Prüfzeugnisse und Zertifikate der Baustoffhersteller, die Erstprüfung der ausführenden ARGE sowie die entsprechenden Normen und Vorschriften.

Nachstehende Prüfungen wurden durchgeführt:

- Bestimmung der Kornzusammensetzung nach DIN EN 933-1 der einzelnen an der mobilen Mischanlage auf dem Flughafengelände entnommenen Gesteinskörnungen sowie Bestimmung der organischen Bestandteile an den feinen Gesteinskörnungen.
- Bestimmung der Betontemperatur und des Luftgehalts am Frischbeton mindestens stündlich.
- Bestimmung der Frischbetonroh-dichte sowie des Verdichtungsmaßes mindestens einmal täglich.
- Bestimmung der Druckfestigkeit des Betons im Alter von 28 Tagen an mindestens drei Würfeln je Betoniertermin.
- Bestimmung der Biegezugfestigkeit des Betons im Alter von 28 Tagen an mindestens drei Balken (150 mm x 100 mm x 700 mm) zu Anfang und zum Ende jedes Betoniertermins.
- Ebenheitskontrolle der Betondecke mit dem Planografen für jede Einbaubahn getrennt in Längsrichtung und ergänzend an zwei Stellen in Querrichtung.

Eine nach ZTV Beton-StB 01 übliche Kontrollprüfung der Druckfestigkeit an Bohrkernen im Alter von 60 Tagen wurde nach Vorgabe des Auftraggebers nicht durchgeführt, um zusätzliche Bohrungen in der Start- und Landebahn zu vermeiden.



### 12.2.2 Prüfergebnisse

Die Kornzusammensetzung der Gesteinskörnungen sind in den **Tafeln 9 bis 12** aufgeführt, die ermittelten Frisch- und Festbetonkennwerte in **Tafel 13**. Die Ergebnisse der Ebenheitsmessungen sind hier nicht im Einzelnen dargestellt, sie entsprechen den Anforderungen der ZTV Beton-StB 01. In Teilbereichen gab es in Längsrichtung geringe Abweichungen, quer zur Einbaurichtung wurden die zulässigen Unebenheiten nicht überschritten.

## 13 Wichtige Gebrauchseigenschaften

### 13.1 Tragfähigkeit

Die hochbeanspruchten Flugbetriebsflächen müssen dauerhaft tragfähig und verkehrssicher sein. Betondecken werden zwecks Vermeidung von wilden Rissen und zum Ausgleich von Längenänderungen durch Längs- und Querfugen in Platten unterteilt, sie werden als biegebeanspruchte Bauteile bemessen. Folglich ist die Biegezugfestigkeit des Betons von maßgeblicher Bedeutung. Hüttensandhaltige Zemente weisen im Vergleich zu Portlandzementen ein günstigeres Verhältnis von Biegezugfestigkeit zu Druckfestigkeit auf [5]. Die Biegezugfestigkeit von Normmörtelprismen mit CEM II/A-S 42,5 N (st) aus Dortmund beträgt im Prüfalalter von 28 Tagen 8,4 N/mm<sup>2</sup> (MW).

Die hohe Biegezugfestigkeit des Deckenbetons mit CEM II/A-S 42,5 N (st) bedeutet eine effektiv erhöhte Tragfähigkeit und bietet ausreichende Festigkeitsreserven für ggf. noch zunehmende Verkehrsbelastung.

### 13.2 Griffigkeit

Die Griffigkeit von Betondecken wird in der Anfangsphase maßgeblich von

Tafel 11: Kornzusammensetzung Basaltsplitt 8/16 mm

Sieb [mm]	Durchgang [M.-%]			
	Anforderung	min.	max.	Mittelwert
31,5	100	100	100	100
22,4	98–100	99	100	100
16	85–99	95	99	97
8	0–20	7	10	9
4	0–5	1	3	2
0,063	–	0,9	1,2	1,1

Tafel 12: Kornzusammensetzung Basaltsplitt 16/22 mm

Sieb [mm]	Durchgang [M.-%]			
	Anforderung	min.	max.	Mittelwert
45	100	100	100	100
31,5	98–100	99	100	100
22,4	85–99	95	99	98
16	0–20	17	20	19
8	0–5	1	4	2
0,063	–	0,9	1,2	1,1

Tafel 13: Ergebnisse der Fremdüberwachungsprüfungen (Frisch- und Festbeton)

Eigenschaft		Mittelwert	Standardabweichung
Frischbeton	Verdichtungsmaß v	1,27	0,04
	Rohdichte	kg/dm <sup>3</sup> 2,51	0,02
	Luftgehalt	Vol.-% 4,2	0,6
	Betontemperatur	°C 20	–
Lufttemperatur	°C	21	–
Festbeton	Druckfestigkeit <sup>1)</sup> (28 d)	N/mm <sup>2</sup> 51	2,9
	Biegezugfestigkeit <sup>2)</sup> (28 d)	N/mm <sup>2</sup> 8,4	1,2

<sup>1)</sup> Probekörperlagerung („Trockenlagerung“) und Umrechnungsfaktor 0,95 (für Würfel 150 mm KL) gemäß ZTV Beton-StB 01

<sup>2)</sup> Balkenabmessungen: Breite 150 mm, Höhe 100 mm, Länge 700 mm; Prüfung mit Einzellast gemäß Leistungsverzeichnis

den Eigenschaften der Oberflächenmörtelschicht und der Texturierung bestimmt, später ist die Polierresistenz der groben Gesteinskörnungen relevant. **Bild 9** zeigt den Querschnitt der Betondecke im oberen Bereich (Sägeschnitt an einer Tages-

endfuge), es veranschaulicht sehr deutlich die geringe Oberflächenmörtelschicht und die homogene Struktur des Betons.

Nach erfolgter Abnahme im Juli 2008 durch den Flughafen Köln/



Bild 9: Querschnitt der Betondecke im oberen Bereich (Sägeschnitt an einer Tagesendfuge)

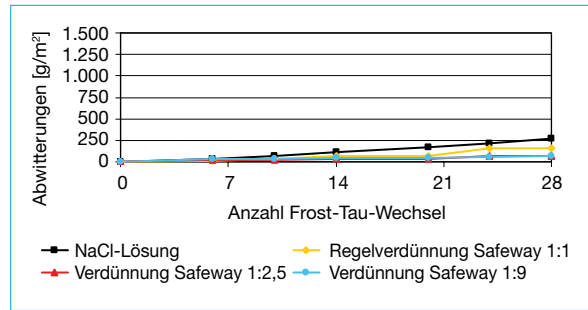


Bild 10: Prüfergebnisse des Frost-Taumittel-Widerstands von gesondert hergestellten Probekörpern, geprüft mit dem CDF-Test

Bonn hinsichtlich Ebenföchigkeit, Festigkeiten und betrieblicher Nutzung wurde der erzielte Reibungskoeffizient gemöB den Vorgaben der ICAO, Annex 14, Anlage A, Punkt 7 ermittelt. Als Messgerät wurde der Surface Friction Tester in drei unterschiedlichen Linien und mit zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten verwendet. Die gemessenen Reibungskoeffizienten entsprechen den Anforderungen.

### 13.3 Hoher Frost-Taumittel-Widerstand

Flugbetriebsflöchen mÖssen nutzungsbedingt einen hohen Frost-Taumittel-Widerstand aufweisen. Erfahrungen mit üblichen Prüfverfahren zur Bestimmung des Frost-Tausalz-Widerstands sind nur bedingt übertragbar, da die Wirkungsmecha-

nismen beim Einsatz von auf Flughäfen verwendeten Taumitteln andere sein können im Vergleich zu Tausalz. Deshalb wurden auf Veranlassung des Zementherstellers umfangreiche Prüfungen mit dem auf dem Flughafen Köln/Bonn eingesetzten Taumittel „Safeway KA HOT (Runway de-icer)“ durchgeführt. Auf Vorschlag des mit der Prüfung beauftragten Instituts WISSBAU erfolgten CDF-Tests [6] mit nachfolgend aufgeführten Variationen der Prüfflüssigkeit:

- 3%ige NaCl-Lösung (Standard CDF-Prüflösung)
- Regelverdünnung des Taumittels Safeway im Verhältnis 1:1
- Verdünnung des Taumittels Safeway im Verhältnis 1:2,5
- Verdünnung des Taumittels Safeway im Verhältnis 1:9

Die mittleren Abwitterungen im CDF-Test (Prüffläche: mit Teflonscheibe geschaltete Seitenfläche) nach 28 Frost-Tau-Wechseln sind mit 270 g/m<sup>2</sup> bei der Prüfung mit Standard CDF-Prüflösung gering, mit 159 g/m<sup>2</sup> (Regelverdünnung Safeway 1:1), 73 g/m<sup>2</sup> (Verdünnung Safeway 1:2,5) und 66 g/m<sup>2</sup> (Verdünnung Safeway 1:9) sehr gering. Die Ergebnisse belegen, dass der Beton unter Zugrundelegung des aus Erfahrungswerten resultierenden Richtwerts von 1.500 g/m<sup>2</sup> einen sehr hohen Frost-Taumittel-Widerstand aufweist (Bild 10).

Die ebenfalls durchgeführte Messung der inneren Schädigung ergab nach 24 Frost-Tau-Wechseln einen mittleren Abfall des relativen dynamischen E-Moduls um ca. 1 % auf 99 %. Damit liegt die Anzahl der

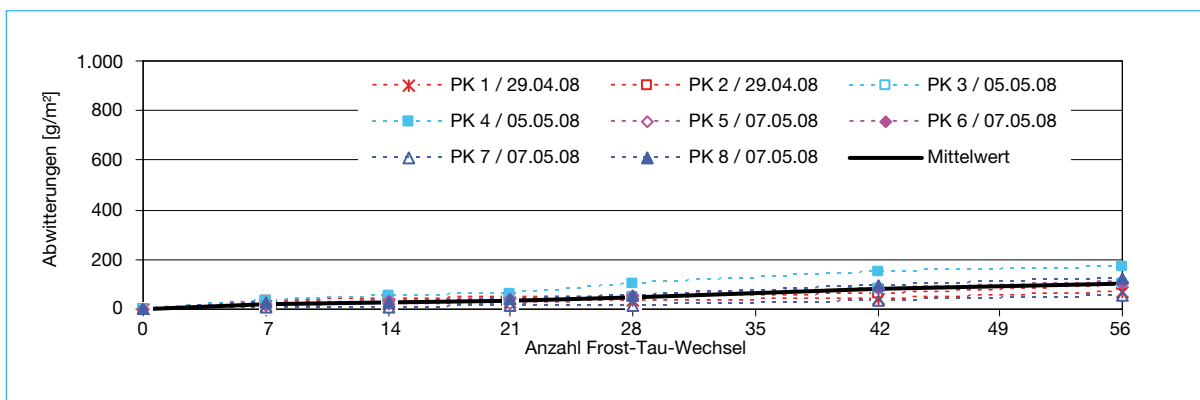


Bild 11: Prüfergebnisse des Frost-Tausalz-Widerstands von gesondert hergestellten Probekörpern, geprüft mit dem Slab-Test



Bild 12: Bohrkern ( $\varnothing = 10 \text{ cm}$ ,  $L = 36 \text{ cm}$ ) aus der Start- und Landebahn

Frost-Tau-Wechsel bis zum Erreichen eines Abfalls des relativen dynamischen E-Moduls auf 75 % deutlich oberhalb des Grenzwerts der Güteprüfung von mindestens 24 Frost-Tau-Wechseln.

Die Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands erfolgte außerdem zusätzlich mit dem Slab-Test [6] – dem Referenz-Prüfverfahren gemäß DIN EN 12390-9, Entwurf Mai 2002. Auch die Abwitterungen der Prüfkörper beim Slab-Test mit Standardprüflösung (Prüffläche: Schnittfläche) sind mit  $49 \text{ g/m}^2$  nach 28 Frost-Tau-Wechseln bzw.  $103 \text{ g/m}^2$  nach 56 Frost-Tau-Wechseln sehr gering und liegen weit unterhalb des aus Erfahrungswerten resultierenden Richtwerts von  $1.000 \text{ g/m}^2$  (Bild 11).

Von zwei Bohrkernproben wurden ebenfalls die Luftporenkennwerte ermittelt, sowie der Frost-Tausalz-Widerstand im CDF-Test. Die Bohrkern (Bild 12) wurden gezogen für die Installation der Befuerung der Start- und Landebahn. Die beiden Bohrkern mit einer Länge von 36 cm und einem Durchmesser von 10 cm wurden auf die benötigte Länge zugesägt, so dass jeweils an einer Oberfläche und einer Schnittfläche der Frost-Tausalz-Widerstand ermittelt werden konnte. Die erzielten Luftporenkennwerte entsprechen den Anforderungen des Merkblatts (Ta-

fel 14), die mittleren Abwitterungen im CDF-Test nach 28 Frost-Tau-Wechseln lagen bei  $479 \text{ g/m}^2$ , der relative dynamische E-Modul betrug 98 %. Bemerkenswert ist die Feststellung, dass die Abwitterungen an der Oberfläche und an der Schnittfläche der Prüfkörper auf gleichem Niveau waren (Bild 13). Das zeigt, dass bei sorgfältiger Nachbehandlung – auch bei Verwendung hüttensandhaltiger Zemente – keine qualitativen Beeinträchtigungen auftreten.

## 14 Schlussbetrachtung

Jahrzehntelang war Portlandzement CEM I der Regelzement für Flugbetriebsflächen, so z.B. für die kürzlich fertiggestellte neue Start- und Landebahn Süd am Flughafen Leipzig/Halle [7]. Die Ausschreibung für die Sanierung der südlichen Start- und Landebahn am Flughafen Köln/Bonn erlaubte dem Auftragnehmer für die Herstellung des Betons die

Wahl zwischen CEM I 42,5 N und CEM II 42,5 N. Die ausführende ARGE entschied sich für die Verwendung eines Portlandhüttenzements und hat damit einen innovativen Weg beschritten. Der geringere Anteil an Portlandzementklinker und der Einsatz von Hüttensand als weiterer Hauptbestandteil dieses Zements bewirken eine Reduktion der  $\text{CO}_2$ -Emissionen bei der Zementherstellung und führen u.a. zur Verringerung des Risikos einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR). Die Reduzierung des wirksamen Alkaligehalts eines Zements ist über die Bestimmung der Ionengehalte in der ausgepressten Porenlösung von Zementsteinproben nachweisbar [8]. Die guten Erfahrungen mit hüttensandhaltigen Zementen beim Bau von Fahrbahndecken [9, 10, 11, 12, 13] fanden bei der Erneuerung der Flugbetriebsfläche ihre Bestätigung, hier wurden rund 5.000 t Portlandhüttenzement CEM II/A-S 42,5 N (st) verbaut.

Tafel 14: Anforderungen an Luftporenkennwerte im Festbeton [4] und Prüfergebnisse des Deckenbetons (Bohrkernproben)

	Mikro-Luftporengehalt $A_{300}$ [Vol.-%]	Abstandsfaktor L [mm]
Anforderungen bei Bauwerksprüfung	$\geq 1,5$	$\leq 0,24$
Probe FKB 1	1,4	0,14
Probe FKB 2	1,9	0,15
Mittelwert	1,7	0,15

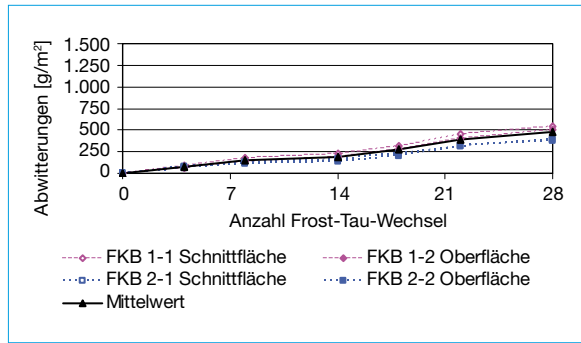


Bild 13: Prüfergebnisse des Frost-Tausalz-Widerstands von Prüfkörpern aus Bohrkernen, geprüft mit dem CDF-Test

Wegen der extremen mechanischen Beanspruchung ist für die Gebrauchstauglichkeit das erzielte hohe Niveau der Biegezugfestigkeit von großer Bedeutung. Die besonderen Anforderungen an die Griffigkeit werden aufgrund der geringen Dicke der Oberflächenmörtelschicht und des gleichmäßigen Besenstrichs quer zur Fahrtrichtung erfüllt. Die sehr guten Ergebnisse der umfangreichen Prüfungen des Frost-Taumittel-Widerstands lassen die Prognose zu, dass die Start- und Landebahn auch in der praktischen Nutzung einen hohen Frost-Taumittel-Widerstand aufweisen wird.

Der Fahrbahndeckenzement CEM II/A-S 42,5 N (st) hat sich in seiner Anwendung für Flugbetriebsflächen bewährt. Die am Flughafen Köln/Bonn ausgeführte Baumaßnahme zeigt, dass bei professioneller Planung, sorgfältiger Auswahl der Betonausgangstoffe und Herstellung

des Betons sowie fachgerechter Ausführung durch im Betondeckenbau erfahrene Unternehmen mit Portlandhüttenzement anspruchsvolle Projekte des Verkehrsbaus qualitativ hochwertig erstellt werden können.

## 15 Literatur

- [1] Merkblatt für den Bau von Flugbetriebsflächen aus Beton. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsausschuss Flugplatzbefestigungen, FGSV-Verlag, Köln 2002
- [2] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton, Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Betonstraßen, FGSV-Verlag, Köln 2001
- [3] Merkblatt für die Entwässerung von Flugplätzen, Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitskreis Entwässerung von Flugplätzen, FGSV-Verlag, Köln 1998
- [4] Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton, Hrsg.: Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln 2004
- [5] Bilgeri, P.; Eickschen, E.; Felsch, K.; Klaus, I.; Vogel, P.; Rendchen, K.: Verwendung von

- CEM II- und CEM III-Zementen in Fahrbahndeckenbeton – Erfahrungsbericht. Straße und Autobahn 58 (2007) H. 12, S. 61–68
- [6] DIN CEN/TS 12390-9: 2006: Prüfung von Festbeton – Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand – Abwitterung. Deutsche Fassung prCEN/TS 12390-9: 2006
- [7] Zenker, C.; Glatte, R.: Neue Start- und Landebahn Süd mit Vorfeld am Flughafen Leipzig/Halle. Griffig (2007) H. 1, S. 2–6
- [8] Bollmann, K.; Lyhs, P.: Hüttensandhaltiger Zement für Betonfahrbahndecken –CEM II/ B-S 42,5 N (st). Beton-Informationen 45 (2005) H. 5, S. 91–100
- [9] Bilgeri, P.; Fuchs, A.; Henneken, R.: Fahrbahndeckenbeton auf der BAB A 44 mit Hochofenzement CEM III/A 42,5 N. Straße und Autobahn 55 (2004) H. 9, S. 477–483
- [10] Bilgeri, P.; Fuchs, A.; Henneken, R.: Innovation im Autobahnbau – Fahrbahndecke mit Hochofenzement CEM III/A 42,5 N. Beton-Informationen 45 (2005) H. 1, S. 3–16
- [11] Bollmann, K.; Bilgeri, P.; Lyhs, P.: Portland-, Portlandkomposit- und Hochofenzemente für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton – ein Erfahrungsbericht. Tagungsband 1 zur 16. ibausil, Weimar 2006, S. 1255–1262
- [12] Bilgeri, P.; Kleeberg, D.: Fahrbahndecke mit Waschbetontextur im Tunnel Berghofen. Griffig (2007) H. 2, S. 8–11
- [13] Ehrlich, N.; Mellwitz, R.; Rother, K.-H.: Fahrbahndecke mit Hochofenzement CEM III/A – Erfahrungen mit einer Erprobungsstrecke. beton 58 (2008) H. 11, S. 488–491

## Bauschild

Auftraggeber/Bauherr	Flughafen Köln/Bonn GmbH, Köln
Planung/Oberbauleitung/ Bauüberwachung	A.C.E. Airport Consulting Engineers GmbH, Köln
Bauausführende ARGE	Gebrüder von der Wettern/Strabag Bau AG, Köln
Eigenüberwacher	TPA Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH, Köln
Fremdüberwacher	Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen
Zementhersteller	CEMEX HüttenZement GmbH, Dortmund
Zusatzmittelhersteller	Sika Deutschland GmbH, Leimen
Gesteinskörnungshersteller	Rheinsand und Rheinkiessand: J. & E. Horst GmbH & Co. KG, Werk Köln-Immendorf Basaltsplitt: Rheinische Provinzial Basalt- und Lavawerke GmbH, Werk Hühnerberg/Willmeroth