

Maßnahmen zur Sicherung der Qualität bei der Herstellung von Verkehrsflächen aus Beton

Walter Fleischer und Alexander von Wilcken

1. Problemstellung

Die Vorteile des Baustoffes Beton für hochbelastete Verkehrsflächen sind hinreichend bekannt. Um sicher zu stellen, daß die positiven Eigenschaften dieser Bauweise in der Praxis ziel-sicher erreicht werden, müssen alle mit der Herstellung von Verkehrsflächen aus Beton befaßten Fachleute ständig bestrebt sein, noch besser zu werden, aus Fehlern zu lernen, keine Fehler zweimal zu machen und vor allem mit allen Mitteln versuchen, Fehler von Haus aus zu vermeiden.

In diesem Beitrag wird auf aktuelle Punkte eingegangen, die aus der Sicht der Bauindustrie im Zusammenhang mit der Herstellung von Verkehrsflächen aus Beton beachtet bzw. verbessert werden sollten. Dabei ist in erster Linie an hochbelastete Autobahnen (Bild 1) und Flugbetriebsflächen, aber auch an Feste Fahrbahnen für die Hochgeschwindigkeitsstrecken der Bahn sowie Industrieflächen gedacht. Behandelt werden die Bereiche:

- (1) Ausschreibung und Angebotsbearbeitung
- (2) Auswahl der Baustoffe, Lieferanten und Subunternehmer
- (3) Baustellenvorbereitung
- (4) Einbaubetrieb
- (5) Prüfungen

Zu den meisten der nachfolgenden Punkte hat die Gütegemeinschaft Betonstraßen e.V. [1] „Richtlinien über technische und personelle Anforderungen an ordentliche Mitglieder“ [2] und „Zusätzliche Regelungen und Erklärungen des Auftragnehmers für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton“ [3] festgelegt sowie einen Checklisten-Katalog erarbeitet. Damit die Inhalte dieser Papiere in der Praxis auch tatsächlich qualitätsfördernd umgesetzt werden, sollte die Auftraggeberseite

die dort enthaltenen Selbstverpflichtungen auch von den Unternehmen, die Verkehrsflächen aus Beton herstellen, abfordern.

2. Ausschreibung und Angebotsbearbeitung

Voraussetzungen für die Herstellung einer qualitativ hochwertigen und wirtschaftlichen Verkehrsfläche aus Beton sind eine gute Ausschreibung und eine sorgfältige Angebotsbearbeitung. Für eine hohe Qualität ist auch ein auskömmlicher Preis nötig. Der Unternehmer muß auf Grund der Ausschreibung in der Lage sein, einen Angebotspreis zu ermitteln, der ihm im Auftragsfall eine wirtschaftliche Ausführung ermöglicht. Das bedeutet, die Ausschreibung muß möglichst eindeutig sein, sich auf das geltende Technische Regelwerk beziehen und keinen Freiraum für sogenannte Spekulationen offen lassen. Alle Bieter sollen von den gleichen Grundlagen ausgehen können oder besser noch ausgehen müssen.

Bei Verkehrsflächen stellt die Herstellung der Betonfläche zweifellos eine Hauptleistung dar. Für die Straßennutzer und Anwohner einer Straße, die neben den Straßenbauverwaltungen unmittelbar von der Qualität der Ausführung betroffen sind, ist die Decke sogar das wichtigste Gewerk. Ihre Qualität entscheidet über alle Ge-

brauchseigenschaften, die den Nutzer oder Anwohner direkt interessieren: insbesondere die Griffigkeit für die Verkehrssicherheit sowie die Ebenheit und Geräusentwicklung für den Fahrkomfort und die Lebensqualität (Bild 2). Ein realistischer Angebotspreis für eine Verkehrsfläche aus Beton kann nur von einer Fachfirma mit entsprechenden Erfahrungen, Personal und Maschinen abgegeben werden. In anderen Worten: Der qualitative und auch der wirtschaftliche Erfolg einer Baumaßnahme sind stark gefährdet, wenn eine Firma, die keine einschlägigen Erfahrungen hat, den Preis für den m² Betondecke zum Beispiel von einem ausgeführten Los ohne erneute ordentliche Kalkulation in ein neues Leistungsverzeichnis überträgt. Bei Betondeckenlos sollte der Betondeckenbauer deshalb im Regelfall auch direkt der Anbieter oder zumindest Partner in einer Arbeitsgemeinschaft sein und nicht ein Subunternehmer, der vom Hauptauftragnehmer erst nach Auftragserteilung auf dem Markt gesucht wird.

Die Auftraggeberseite sollte bei der Wertung der Angebote darauf achten, daß zumindest der im Leistungsverzeichnis angegebene Subunternehmer für die Betondecke eine Fachfirma mit entsprechenden Erfahrungen ist und auch vom Hauptauftragnehmer beauftragt wird. Bei der Nennung des Subunternehmers für die Betondecke im Angebot darf es eine Firma mit Namen



1: Herstellung einer Fahrbahndecke aus Beton in Gleitschalungstechnik für eine Autobahn der Bauklasse SV

Vortrag bei der FGSV-Betonstraßentagung am 22./23. Juni 1999 in Hamburg-Bergedorf

Verfasserschriften: Dipl.-Ing. von Wilcken, Dr.-Ing. Fleischer, HELIT + WÖERNER BAU-AG, Klausenburger Str. 9, 81677 München

2: Oberflächen von Betonstraßen, bei denen der frische Beton durch nachschleppen eines Jutetuches in Längsrichtung strukturiert wurde, sind griffig und geräuscharm



„oder gleichwertig“ nicht geben. Es ist auch vorteilhaft, wenn der im Leistungsverzeichnis angegebene Subunternehmer für die Betondecke zu den Bietergesprächen, bei denen seine Leistung behandelt wird, eingeladen wird. Wer sonst soll die einschlägigen Fragen fachkompetent und zuverlässig beantworten, ohne die Randbedingungen, welche der Preisbildung zugrunde gelegt wurden, wie Bautechnik oder Bauzeit, aus den Augen zu verlieren?

In der Ausschreibung soll die zeitliche Abhängigkeit zwischen dem Brücken- und Deckenbau beachtet und dargestellt werden. Zur Ermittlung eines Angebotspreises muß dem Bieter für die Betondecke bekannt sein, ob die Brücken vor dem Deckeneinbau schon fertiggestellt sind, von Gleitschalungsfertigern überfahren werden können oder ob Umfahrungsmöglichkeiten bestehen. Diese Randbedingungen können nur von Fachfirmen mit einschlägigen Erfahrungen richtig eingeschätzt werden, wirken sie sich doch erheblich auf den Ablauf der Deckenherstellung und damit auf die Herstellungskosten sowie letztendlich auf die Qualität aus. In diesem Zusammenhang sind auch die Ausführungszeiten zu nennen [4]. Es kommt vor, daß der Ausschreibende bereits bei der Terminplanung die Ein-

baujahreszeit für die Betonfläche nicht beachtet oder sich die Auftragsvergabe derart verzögert, daß der Beton in der ungünstigen Jahreszeit (d. h. etwa von November bis Februar/März) hergestellt werden muß. Jedoch sind auch die ausführenden Firmen nicht selten bereit, das Risiko, in der ungünstigen Jahreszeit Beton einzubauen, leichtfertig auf sich zu nehmen. Die geforderte Qualität ist dann nur mit sehr großem technischen und finanziellen Aufwand zu erreichen, der nicht realistisch genug kalkulierbar ist bzw. unter dem Druck des Wettbewerbs bei der Angebotsbearbeitung nicht entsprechend berücksichtigt wird.

Bereits in der Planungsphase sollte die Möglichkeit gemäß dem ARS 14/1995 [5] bzw. der Neufassung der ZTV Beton-StB [6] beachtet werden, die Betondecke der Strecke über Brücken mit einer Länge bis zu 15 m oder – was das wichtigere Kriterium darstellt – über Brücken ohne Übergangskonstruktionen durchzuziehen. Dies führt zu einer besseren Qualität der Strecke insgesamt, da die Übergangsbereiche aus Asphalt zwischen Betonstraße und Brücke sowie der Asphaltbelag auf der Brücke entfallen. Leider wird bei der Planung, Berechnung und Bemessung der Brücke der dazu erforderliche Auf-

3: Sind das Fugenraster und die Fugenarten nicht aufeinander abgestimmt, können wilde Risse nicht zuverlässig verhindert werden



bau oft nicht berücksichtigt und auch nicht ausgeschrieben. Es ist deshalb dem Bieter nur selten möglich ein entsprechendes Nebenangebot abzugeben. Zu Betondecken auf längeren Brücken gibt es in Deutschland im Gegensatz zum Ausland [7] bis auf wenige Ausnahmen [8] noch kaum Erfahrungen. Es wäre aber durchaus lohnenswert, wenn sich die Brücken- und Betonstraßenbauer intensiver damit beschäftigen würden.

Insbesondere im Zusammenhang mit der Planung und Ausschreibung von Zusatzfahrstreifen, Parkflächen oder Flugbetriebsflächen ist darauf hinzuweisen, daß die Fugenarten, Fugenaufteilungen, Einbaubreiten usw. gemäß den aktuellen Technischen Regelwerken, den Erfahrungen und dem aktuellen Stand der Ausführungstechnik gewählt werden sollten (Bild 3). Grundsätzliche Fragen nach dem besten Betonierablauf, darauf abgestimmte Fugenarten usw. sollten bereits bei der Planung beachtet werden.

Im Zuge der Angebotsbearbeitung bereiten nicht nur Fehler oder Oberflächlichkeiten bei der Planung Probleme. Auch mit den einschlägigen Anforderungen in der Leistungsbeschreibung hat der Kalkulator gelegentlich seine liebe Not. Über eine Baubeschreibung, in der eine Fahrbahndecke aus Beton gemäß den ZTV Asphalt-StB 94/98 [9] gefordert ist, kann man sogar noch schmunzeln. Jedoch ist in den letzten Jahren eine Tendenz festzustellen, die der Bauweise keinen Gefallen erweist: In den Ausschreibungen werden Anforderungen der einschlägigen Technischen Regelwerke verschärft, ohne daß in Fachkreisen dafür eine Notwendigkeit bekannt ist. Das Motto lautet dabei: „Viel hilft Viel“. Um es klar zu betonen, es ist nichts gegen Erweiterungen oder Ergänzungen der ZTV auf Grund von aktuellen regionalen oder allgemeinen Erfahrungen einzuwenden, da die ZTV nicht alle Besonderheiten erfassen können und außerdem ständig fortgeschrieben werden müssen. Gedacht ist bei solchen Übertreibungen vielmehr an eine Erhöhung der Festigkeitsanforderungen oder daran, statt einen Mindestgesamtluftgehalt des Frischbetons von im Tagesmittel 4,0 Vol.-% einen Mikroluftporengehalt in der gleichen Höhe zu verlangen. Durch derartige Forderungen wird nicht nur die Bauweise unnötig verteuert. Viel schlimmer ist, daß sie sich nicht einmal positiv auf die Qualität auswirken, im Gegenteil, sie verschlechtern diese sogar nicht selten. Man denke nur an die schlimmsten Folgen für den Frost-Taumittel-Widerstand, wenn versucht wird, die

Festigkeit zu Lasten des Luftgehalts hochzutrimmen!

Es stellt sich die Frage, wie ein Bieter mit Widersprüchen, nicht eindeutigen Forderungen und gar Fehlern in der Ausschreibung umgehen soll? Es gibt dazu leider keinen einheitlichen Lösungsweg. Jedoch ist klar, daß Ignorieren oder Spekulieren kaum die richtigen Lösungen sind. Entdeckt ein Bieter in der Ausschreibung Fehler, Mißverständnisse oder dergleichen, sollte der Ausschreibende um Erläuterung gebeten werden. Ebenso sollte im Bietergespräch offen über technische Fragen gesprochen werden und nicht alles blind zugesagt werden, nach dem Grundsatz: „Zuerst muß der Auftrag erteilt sein und dann wird über die Technik verhandelt“. Auf keinen Fall sollten falsche Standards gesetzt oder Versuche gemacht werden, sich um derartige Forderungen herumzumogeln. Dies führt nämlich zwangsläufig dazu, daß der Ausschreibende glaubt, seine Forderungen sind technisch richtig und auch in der Baupraxis erfüllbar. Das wiederum hat einen Schneeballeffekt zur Folge und die gleichen Fehler oder überzogenen Forderungen sind in der nächsten Ausschreibung wieder enthalten – womöglich noch einmal verschärft!

Abschließend wird darauf hingewiesen, daß die Gütegemeinschaft Betonstraßen e. V. auch den planenden und ausschreibenden Stellen für Fragen insbesondere bezüglich Konstruktion, Betontechnologie und Ausführung von Verkehrsflächen aus Beton zur Verfügung steht.

3. Auswahl der Baustoffe, Lieferanten und Subunternehmer

Die Wahl der richtigen Baustoffe im Rahmen der Anforderungen der Technischen Regelwerke unterliegt dem Auftragnehmer, muß er doch die Verantwortung für die fertige Leistung übernehmen. Die Verjährungsfrist für neue Betonstraßen beträgt im Regelfall 4 Jahre. Jedoch gehen wir davon aus, daß unsere Betonstraßen über 30 Jahre ohne nennenswerte Unterhaltsmaßnahmen ihren Zweck erfüllen. Probleme innerhalb dieser Frist würden der Wettbewerbsstellung von Betonstraßen empfindlich schaden. Für die Baustoffe hingegen haftet der Produzent oder Lieferant nur ein halbes Jahr. Eine Diskrepanz über die künftig durchaus nachgedacht werden muß. Ein wichtiger Schritt in diese Richtung ist die Vereinbarung, die bereits 1997 zwischen dem Hauptverband der Deutschen Bauindustrie und dem Deutschen As-

phaltverband getroffen wurde. Danach wird der Lieferant für das Asphaltmischgut in die gleiche Gewährleistungsdauer einbezogen, die der Straßenbauunternehmer gegenüber seinem Auftraggeber eingeht [10].

Die Erfahrungen des Bauausführenden spielen bei der Auswahl der Baustoffe eine entscheidende Rolle. Eine Betonautobahn ist keine Versuchs- oder Erprobungsfläche, außer der Auftraggeber wünscht es so oder erklärt sich damit einverstanden. Um die Gebrauchseigenschaften und die Dauerhaftigkeit zielsicher zu erreichen, soll möglichst auf bewährte Baustoffe zurückgegriffen werden. Neuerungen sollen nur behutsam bei einer Minimierung des Risikos durchgeführt werden. Bewährt heißt in diesem Fall grundsätzlich nicht nur ein Streckenabschnitt, der ohne Beanstandung liegt, oder das Überstehen der Verjährungsfrist, sondern meint fundierte positive Erfahrungen mit repräsentativen Strecken über entsprechend lange Zeiträume von zum Beispiel 10 Jahren oder mehr. Laborversuche können dabei die Praxiserprobungen unterstützen oder beschleunigen, wenn gesicherte Korrelationen vorliegen.

Ein aktuelles Beispiel dazu ist die Diskussion um die Zementart für den Straßenbeton. Es liegen in Deutschland bislang bei Autobahnen und Flugbetriebsflächen aus Beton nur ausreichende Erfahrungen mit der Verwendung von Portlandzementen CEM I vor [11,12]. Es wäre deshalb leichtfertig, wenn außerhalb von speziellen Erprobungsstrecken statt einem Portlandzement ohne weitere Praxiserfahrungen eine andere Zementart verwendet werden würde. Voraussetzung für den Einsatz eines anderen Zements sind entsprechend wissenschaftlich begleitete und dokumentierte Erprobungsstrecken. Eine 100%ige Sicherheit wird man nie bekommen, jedoch sollten derartige Strecken, die unter verschiedenen Randbedingungen hergestellt wurden, mit ausreichender Zuverlässigkeit Schlüsse auf ein entsprechendes Langzeitverhalten der Betondecke erlauben. Insbesondere sind hierbei die dauerhaften Oberflächeneigenschaften, genügende Griffigkeit und geringe Geräuschentwicklung, in der Praxis sorgfältig zu untersuchen und zuverlässig nachzuweisen. Um es deutlich auszudrücken, die Bauverwaltung und die Bauunternehmung haben schließlich Probleme, wenn zum Beispiel die Griffigkeit der Betondeckenoberfläche nicht stimmt, und nicht der Zementproduzent oder -lieferant. Die Zementindustrie muß daher Verständnis aufbringen, wenn die Bauindustrie mit

dem Einsatz von anderen Zementen als Portlandzementen CEM I im Verkehrswegebau zurückhaltend ist. Das Risiko von Fehlschlägen kann nicht einseitig zu Lasten der Bauweise und zu Lasten der Bauunternehmung gehen. Vergleichbare Fragen gibt es zum Beispiel auch bei bestimmten Zuschlägen, man denke nur an die Problematik mit Grauwacke-Zuschlägen aus den Neuen Bundesländern.

Der Unternehmer muß selbstverständlich auch die Baustoffkosten berücksichtigen. Jedoch darf die Baustoffentscheidung nicht allein in den Händen der Einkäufer und Händler liegen. Marketing darf nicht zu sehr mit Technik vermischt werden. Wenn der Preis akzeptabel ist, muß die endgültige Zustimmung von Seiten der verantwortlichen Ingenieure kommen, ob ein Baustoff verwendet werden kann oder nicht. Was nützen einige Pfennige oder Mark eingespart an der Tonne Zuschlag oder Zement, wenn hinterher ein Schaden auftritt, der nur mit einem Aufwand von einigen Hunderttausend Mark oder sogar mehr saniert werden muß. Hinzu kommt noch der Imageverlust für die Bauweise selbst. Auch auf diesem Gebiet muß wieder mehr Verantwortungsbewußtsein entwickelt werden. Firmenchefs, Projektleiter und Kaufleute dürfen nicht nur den kurzfristigen wirtschaftlichen Erfolg bei dem Baustellenergebnis zur Verkehrsfreigabe sehen!

Was für die Baustoffe gilt, trifft auch auf die Baustofflieferanten zu. Bei deren Auswahl muß der Betondeckenbauer nicht nur die Kosten beachten, sondern auch ihre Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit. Der Betondeckenbauer muß sich darauf verlassen können, daß die bestellten Baustoffe termingerecht in der gewünschten Qualität und Menge geliefert werden. Es darf nicht vergessen werden, daß es während der Betondeckenherstellung kaum möglich ist, die angelieferten Baustoffe so zu prüfen, daß die Verwendung von ungeeigneten Stoffen praktisch ausgeschlossen werden kann. Die wissenschaftlichen Untersuchungsmethoden werden zwar immer weiterentwickelt und verfeinert, so daß auch am Festbeton mittlerweile durch einige Nachweise festgestellt werden kann, ob ein Ausgangsstoff den Anforderungen entsprochen hat oder nicht. Bedauerlicherweise kommen derartige Prüfungen heute aber meist noch zu spät, das heißt, die Ergebnisse liegen erst dann vor, wenn der größte Teil des Betons bereits eingebaut ist.

Was spricht dagegen, wenn ein Bauunternehmen oder auch die Gütegemeinschaft Betonstraßen auf Grund eigener Erfahrungen über die Techni-

5: Die Herstellung der Fugen gehört zu den wichtigsten Arbeitsschritten beim Bau von Verkehrsflächen aus Beton. Schneiden der Fugenkerbe für eine Querschnittsfuge



schen Vorschriften hinausgehende Anforderungen an Baustoffe stellt, solange dies der Qualität der fertigen Leistung zugute kommt? Ähnlich stellen die meisten Automobilhersteller schon seit Jahrzehnten an die Produkte ihrer Zulieferbetriebe Anforderungen, die über die gängigen Normen hinausgehen. Auch die Baustofflieferanten sollten verstärkt Qualitätsbewußtsein sowie Verantwortung zeigen und sich mit der Qualität der fertigen Leistung identifizieren. Dies würde die Vertrauensbasis zu der betondeckenbauenden Firma und vor allem zum Bauherrn festigen.

Es hat sich bewährt, mit den Baustofflieferanten neben den finanziellen Randbedingungen mindestens die folgenden Punkte vertraglich eindeutig zu vereinbaren:

- die genaue Beschreibung der Materialeigenschaften, die erforderlichenfalls durchaus über die einschlägigen Anforderungen der Technischen Vorschriften hinausgehen können
- die täglichen Mindestliefermengen, die in Einzelfällen auch überschritten werden können
- die Fristen und den Ablauf für den täglichen Abruf (d. h. die Ansprechpartner auf beiden Seiten, schriftlich oder mündlich usw.) oder bei Abbestellung (z. B. bei schlechtem Wetter)

4: Für Flugbetriebsflächen wird aufgrund der Bemessung häufig ein B 45 gefordert. Herstellung einer 45 cm dicken Start- und Landebahn in Gleitschalungstechnik



- den Transport und die Abnahme der Lieferung (z. B. Transportart, Fahrzeugverzeichnis, Kontrolle und Abzeichnung der Lieferscheine)
- für die Baustoffe die gleiche Gewährleistungsfrist wie für die fertige Betondecke

Es gibt immer wieder Ausschreibungen, in denen ohne genaue Kenntnis der Zusammenhänge zusätzliche oder einschränkende Anforderungen an die Baustoffe gestellt werden, die weder technisch sinnvoll – zum Teil sogar nicht einmal umsetzbar – noch wirtschaftlich sind. Hierzu ein Beispiel aus dem Flughafenbau: Für Flugbetriebsflächen wird häufig ein B 45 verlangt, was die Bemessung durchaus ergeben kann (Bild 4). Kritisch wird es, wenn dem Unternehmer die Festigkeitsklasse des Zements vorgeschrieben wird, hier konkret die Festigkeitsklasse 32,5 R. Jedoch ist es in der Praxis unter Beibehaltung der erprobten herkömmlichen Betontechnologie nicht (mehr) möglich, mit einem Zement 32,5 R einen B 45 mit den für Verkehrsflächen aus Beton nötigen zusätzlichen Eigenschaften (insbesondere hoher Widerstand gegen den Angriff von Frost und Auftaumittel, was unter anderem einen ausreichenden Luftporengehalt bedingt) zielsicher zu erreichen. Auch besteht die große Gefahr, daß versucht wird, die Festig-

keit zu Lasten des Luftporengehalts, und damit zu Lasten der Dauerhaftigkeit, anzuheben. Es zeigt sich, wie wichtig es ist, daß auch die Ausschreibenden über die aktuellen Entwicklungen und Erkenntnisse in der Praxis informiert sind.

Bei den Subunternehmern müssen ähnliche Maßstäbe angelegt werden. Was der Auftraggeber von seinem Auftragnehmer für die Betondeckenherstellung verlangt, muß der Auftragnehmer konsequenterweise ebenso von seinen Subunternehmern fordern: insbesondere einschlägige Erfahrungen und Kapazitäten. Qualitätsbewußte Unternehmen stellen zusätzliche, über das Technische Regelwerk hinausgehende Forderungen, die auf Erfahrungen beruhen und von Baustelle zu Baustelle durchaus unterschiedlich sein können. Beispielsweise wird in den „Zusätzlichen Regelungen und Erklärungen des Auftragnehmers für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton“ der Gütegemeinschaft Betonstraßen zu dem wichtigsten Subunternehmer beim Bau von Verkehrsflächen aus Beton, die Fugenschneidfirma (Bild 5), vorgeschlagen, daß

- ihre Qualifikation vor Beginn der Arbeiten durch Angaben über Personal und Geräte nachzuweisen ist
- als Mindestausstattung auf der Baustelle ausreichend Geräte zum gleichzeitigen Schneiden der Längsfugen unmittelbar nach den Quertfugen, mindestens zwei Schneidgeräte für das Schneiden der Quertfugen und entsprechende Ersatzgeräte sowie Tankwagen mit ausreichendem Wasservorrat für den Schneidvorgang und Geräte zum Beseitigen des Schneidschlamms vorhanden sind
- die Schneidarbeiten durch die Fugenschneidfirma protokolliert werden müssen.

4. Baustellenvorbereitung

Der Projektleiter muß sich intensiv in die technischen und vertragsrechtlichen Details der Ausschreibung und der letztendlich beauftragten Arbeiten einarbeiten. Dazu gehört insbesondere die Klärung der folgenden Fragen zur Baubeschreibung und den beauftragten Nebenangeboten:

- Allgemeine Kenndaten der Baustelle? (z. B. Baulänge, Einbaubreiten, Massen)
- Welche Konstruktion, Bauart kommt zur Ausführung? (z. B. Betondecke auf Tragschicht mit hydraulischem Bindemittel oder Schottertragschicht)
- Welche Einbauart ist verlangt? (z. B. zweilagig bzw. zweischichtig oder in Ausnahmefällen einlagig)

- Sind vollständige und aussagekräftige Pläne vorhanden?
- Bestehen seitens der Baupraxis Bedenken gegen die Art der Ausführung (z. B. hinsichtlich des Baugrundes, der Ausführungsart oder aus terminlichen Gründen)? Ist das der Fall, muß umgehend mit den zuständigen Vertretern des Auftraggebers gesprochen werden.

Zur Herstellung des Betons müssen geeignete Baustellen-Mischanlagen mit ausreichender Leistung eingesetzt werden [13], damit die großen Mengen an in unseren Breiten erforderlichem Luftporenbeton mit steifer Konsistenz zuverlässig gemischt werden können. Transportbeton soll insbesondere aus Gründen der Kapazität und der Betonqualität nur in Ausnahmefällen und bei kleinen Flächen zur Anwendung kommen. Selbstverständlich müssen auch Baustellen-Mischanlagen rechtzeitig vor Beginn des Betoneinbaus sorgfältig kalibriert werden. Erforderlichenfalls muß dies nach längeren Betonierunterbrechungen, z. B. Winterpause, oder bei Änderungen der Betonrezeptur wiederholt werden.

Der Auswahl des Standorts der Mischanlage kommt eine besondere Bedeutung zu. Der Zeitrahmen zwischen Mischen, Entladen und Einbau des Betons, der sich aus den ZTV Beton-StB 93 [14] und der DIN 1045 [15] ergibt, kann nur für den günstigsten Fall eine Begrenzung nach oben sein. Der Auftragnehmer muß die genauen Randbedingungen, die aus Transportweg, Transportzeit und Einbauwitterung sowie anderen Gegebenheiten (wie z. B. Strom- und Wasserversorgung, Wasserentsorgung, Umweltschutzauflagen, Anwohner, Eigentumsverhältnisse, Platzmiete) entstehen, für jede Baustelle eigenverantwortlich neu prüfen und daraus den optimalen Standort festlegen. Grundsätzlich soll der Mischanlagenstandort nahe an der Einbaustelle liegen und wegen des Antransports der Baustoffe gut an das öffentliche Verkehrsnetz angebunden sein. Der Betontransport soll möglichst unbeeinträchtigt vom öffentlichen Verkehr stattfinden. Günstig ist ein Betontransport direkt über die Baustelle. Der Mischanlagenplatz selbst soll groß genug sein, daß entsprechend den Kapazitäten der Baustofflieferanten und der Einbauleistung ausreichend Zuschläge gelagert und die erforderlichen Zementsilos errichtet werden können. Der Platz soll so befestigt und eingerichtet werden, daß er in Abhängigkeit von der Witterung während der Betonproduktion den starken Beanspruchungen des Lkw-Verkehrs standhält sowie die Zuschläge so gelagert werden können, daß sie nicht



6: Die Bestimmung des Luftporengehalts des Frischbetons durch das Druckausgleichsverfahren gehört zu den wichtigsten Prüfungen während des Betoneinbaus

verschmutzt und nicht vermischt werden. Manchmal genügt eine Frostschutzschicht als Platzbefestigung. Oft läßt sich jedoch eine hydraulisch gebundene Schicht nicht vermeiden.

Zu jeder Baustellenmischanlage gehört ein Baustellenlabor, in dem die wichtigsten Prüfungen der Ausgangsstoffe und des Betons fachgerecht und rechtzeitig ausgeführt werden können. Das Baustellenlabor soll ein Mindestmaß an Qualitätskontrolle der Baustoffe sowie des Betons sicherstellen und eine ständige Optimierung des Betons unter Berücksichtigung der Einbaubedingungen ermöglichen (z. B. Einbauwitterung, Dosierung des Luftporenbildners, Bild 6).

Leistungsfähige Mischanlagen erfordern einen entsprechenden Betondecken-Einbauzug [13]. Zur Festlegung der

einzelnen Geräte (Bild 7) sind Fragen zu beantworten, wie:

- Kann der Fertiger aus Gewichts- und Platzgründen über Brücken fahren?
- Muß er innerhalb der Baustelle umgesetzt werden oder die Einbaubreite verändert werden?
- Wird in der heißen Jahreszeit betoniert und ist deshalb zur Naßnachbehandlung ein leistungsfähiger Wasserwagen erforderlich?

Autobahnbaustellen sind keine Flächen, bei denen veraltete oder schlecht gewartete Geräte eingesetzt werden dürfen. Ansonsten sind Qualitätsmängel, Terminüberschreitungen und wirtschaftliche Mißerfolge programmiert. Daher sollen alle Schlüsselgeräte für die Herstellung von Verkehrsflächen aus Beton (das sind vor allem die Mischanlagen und Betonfertiger) dem neuesten technischen Stand entsprechen und aufgrund der vorhergehenden Einsätze eine zuverlässige Herstellung von qualitativ hochwertigen Betonflächen erwarten lassen. Natürlich kann man nicht davon ausgehen, daß alle Maschinen ohne Störungen arbeiten. Maschinenprobleme gibt es sogar bei extrem aufwendig und sorgfältig vorbereiteten technischen Unternehmungen wie der Luft- und Raumfahrt oder der Formel 1 und erst recht im harten Baustellenalltag. Jedoch müssen die Geräte durch ständige Wartung und Modernisierung für die immer neuen Anforderungen ausgerüstet sein. Dazu gehört auch, daß die Versorgung mit Ersatzteilen sichergestellt ist und während der Bauphase Fachkräfte der Baustellenmannschaft, der firmeneigenen Werkstätten oder der Maschinenhersteller bei Geräteproblemen kurzfristig zur Verfügung stehen. Grundsätzlich gehört zu jeder Mischanlage ein gut ausgestatteter Ersatzteil- und Werkstattcontainer und zu jedem Einbauzug ein Werkstattwagen.

Was für die Geräte gilt, trifft selbstverständlich in gleicher Weise auf die mit dem Baugeschehen befaßten Personen



7: Um mit einem Betondeckeneinbauzug Verkehrsflächen aus Beton in hoher Qualität wirtschaftlich herstellen zu können, sind eine Vielzahl von Vorbereitungsmaßnahmen nötig, selten weist die Einbaustrecke keine Hindernisse, z. B. Brücken oder geänderte Einbaubreiten, auf (H + W-Betondeckeneinbauzug)

8: Eine anforderungsgerechte Tragschicht unter der Betondecke ist Grundvoraussetzung für eine dauerhafte Verkehrsfläche aus Beton. Einbau einer hydraulisch gebundenen Tragschicht mit zwei gestaffelt fahrenden H+W-Multitalenten



zu. Projektleiter, Fachbauleiter, Mischanlagen-, Einbau- und Laborpersonal müssen über einschlägige Erfahrungen verfügen, ständig in Übung bleiben sowie auf dem neuesten Stand von Maschinenteknik, Baustofftechnik und Konstruktion sein.

Es ist bei uns im Regelfall nicht üblich und aus Sicht der Unternehmer grundsätzlich auch nicht wünschenswert, daß die Auftraggeberseite detaillierte Anforderungen an die eingesetzten Mannschaften und Geräte stellt. Dies setzt jedoch bei den Firmen ein großes Maß an Verantwortung und Selbstkontrolle voraus. Auf Verlangen können die Mitgliedsfirmen der Gütegemeinschaft Betonstraßen e.V. Referenzlisten zu den Erfahrungen der Bauleiter, Laboringenieure, Mischanlagenbesetzungen, Einbaumannschaften und Baustellenlaboranten sowie zu den letzten Einsätzen der Mischanlagen und Einbaugeräte vorlegen. Unternehmer und auch Auftraggeber müssen sich bewußt sein, daß es nicht genügt, einen Gleitschalungsfertiger zu kaufen oder gar nur für einen Auftrag anzumieten und eine Handvoll Arbeiter anzuheuern, um damit gute Verkehrsflächen aus Beton herstellen zu können. Der Bau von hochwertigen Verkehrsflächen aus Beton ist kein Geschäft, daß im Zuge des ersten Auftrags ohne Probleme erlernt werden kann. Ebenso sollten die Vertreter der Auftraggeberseite über einschlägige Erfahrungen verfügen, um eine konstruktive, vertrauensvolle Zusammenarbeit mit dem Auftragnehmer zu ermöglichen.

5. Einbaubetrieb

Vor dem Betoneinbau muß das Baufeld eingehend besichtigt und geprüft werden. Vor allem sind die folgenden Punkte von Bedeutung:

- Insbesondere, wenn Tragschicht und Betondecke nicht von derselben Fir-

ma eingebaut werden, muß die Tragschicht rechtzeitig vor dem Betonieren genau kontrolliert werden. Dabei ist je nach Tragschichtart gemäß den einschlägigen Technischen Regelwerken auf eine ausreichende Tragfähigkeit, gute Ebenheit und Höhenlage sowie Breite zu achten (Bild 8). Die Fahrzeuge für die Betonanlieferung müssen auf der Tragschicht fahren können. Der Überstand der Tragschicht gegenüber dem Rand der Betondecke muß in Abhängigkeit von der Tragschichtart und den eingesetzten Deckenbaugeräten ausreichend breit und tragfähig sein, damit die Deckenbaugeräte darauf fahren können, ohne einzubrechen. Sind Tragschichtbereiche festzustellen, die zu hoch liegen, muß abgewogen werden, ob Einzelflächen abgearbeitet werden können, wobei dann die geforderte Einbaudicke zu beachten ist oder die Höhenlage der Betondecke insgesamt angehoben wird. Auf keinen Fall darf die Betondecke zu dünn eingebaut werden. Dies würde sich erheblich auf die Lebensdauer auswirken [16]. Im Gegenteil, es soll auch aus wirtschaftlichen Gründen angestrebt werden, die Betondecke planmäßig bis zu 1,5 cm dicker als ausgeschrieben herzustellen, da neben der positiven Auswirkung auf die Lebensdauer dieser Mehreinbau nach den ZTV Beton-StB 93 vergütet wird. Bei Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln muß darauf geachtet werden, daß sie in Quer- und Längsrichtung im Raster der Fugen der späteren Betondecke gekerbt sind und keine wilden Risse vorhanden sind. Vor dem Betoneinbau muß die Tragschichtoberfläche sauber und frei von Verschmutzungen sein sowie gleichmäßig angefeuchtet werden.

- Der Betoniererraum muß hinsichtlich möglicher Hindernisse für die Einbaugeräte kontrolliert werden. Dabei

ist insbesondere zu prüfen, ob die Durchfahrthöhen unter Überführungsbauwerken für die Einbaugeräte ausreichend sind und die eingesetzten Lastwagen den Beton abkippen können und ob durch Brückenpfeiler, Schutzeinrichtungen, Schächte, Notrufsäulen und dergleichen der Fahrweg der Einbaugeräte eingeschränkt ist. Entsprechende Lösungen müssen rechtzeitig gefunden werden, bevor der Einbauzug an der kritischen Stelle steht.

Während des Betoneinbaus ist auf die folgenden Punkte zu achten:

- Die Versorgung des Einbauzuges mit Dübeln, Ankern und Nachbehandlungsmitteln muß sichergestellt sein.
- Die Steuer- und Leiteinrichtungen für den Betondeckeneinbauzug sind fortlaufend zu kontrollieren. Die Pinnen sollen deckungsgleich mit den Querkernen in der Tragschicht mit hydraulischem Bindemittel stehen, damit sich die Dübel der Betondecke und später die Schnitte für die Quertugen an der richtigen Stellen befinden. Ist dies in Ausnahmefällen nicht möglich, muß mit der Fugenschneidfirma eine eindeutige Kennzeichnung der Lage des Kerbschnitts vereinbart werden. Der Draht muß regelmäßig durchgeflechtet werden und es ist darauf zu achten, daß entsprechend den geplanten Einbauabschnitten eine ausreichende Länge Leitdraht gespannt ist.
- Die Anzahl der Lastwagen und deren Umlaufzeiten für den Transport des Betons vom Mischplatz zur Einbaustelle muß bei wechselnden Randbedingungen immer neu überprüft werden. Um einen gleichmäßigen Betoneinbau zu gewährleisten, dürfen nicht zu wenig Fahrzeuge eingesetzt werden. Jedoch dürfen auch nicht zu viele mit Beton beladene Fahrzeuge vor dem Einbauzug stehen, damit insbesondere bei sehr warmer Witterung eine rechtzeitige Verarbeitung des Betons sichergestellt ist. Bei zweischichtigem Einbau müssen die Transportfahrzeuge für den Unter- bzw. Oberbeton entsprechend deutlich und dauerhaft gekennzeichnet sein (Bild 9). Der Bauleiter für den Einbauzug, der Einbaumeister und der Mischanlagenfahrer sollen ständig eine aktuelle Liste der eingesetzten Fahrzeuge haben, aus der mindestens deren Typ, mögliche Zuladung und amtliches Kennzeichen hervorgehen. Weiterhin muß überwacht werden, daß für den Betontransport saubere Mulden und keine Mulden aus Aluminium eingesetzt werden.

6. Prüfungen

Das in Eigen-, Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen dreigeteilte Prüfungssystem hat sich grundsätzlich bewährt. Jedoch sollten die Bauunternehmen erkennen, daß es für eine qualitativ hochwertige und zugleich wirtschaftliche Leistung nicht genügt, nur zwangsweise die in den einschlägigen Technischen Vorschriften verlangten Prüfungen abzuarbeiten, sondern daß darüberhinaus eigenverantwortlich weitere Untersuchungen durchzuführen sind, die sie auf Grund ihrer Erfahrungen für erforderlich halten. Auch sollten nicht schon bei der Eignungsprüfung alle Möglichkeiten ausgereizt und nicht grundsätzlich von Baustellen mit optimalen Randbedingungen ausgegangen werden. Der Beton soll vielmehr so konzipiert werden, daß die einschlägigen Anforderungen auch im Rahmen der praktischen Bauausführung bei den dort – im Gegensatz zum Labor – zwangsläufig auftretenden Streuungen mit ausreichender Sicherheit erreicht werden. Gedacht ist zum Beispiel daran, ein ausreichendes, den Randbedingungen des Bauvorhabens angepaßtes Vorhaltemaß für die Betonfestigkeit zu wählen oder den w/z -Wert in der Eignungsprüfung höchstens mit 0,45 anzusetzen und während des Betonierens einen w/z -Wert von höchstens 0,43 anzustreben. Auf keinen Fall sollte der w/z -Wert über 0,45 liegen [13], auch wenn dies in den Vorschriften derzeit nicht ausdrücklich untersagt ist. Für die Prüfungen während der Bauausführung – egal ob durch den Auftragnehmer oder den Auftraggeber – gilt: Es kommt darauf an, wie schnell auf die Ergebnisse reagiert werden kann. Jede Prüfung, die einen bereits eingebauten Beton betrifft, kommt zu spät und hat eigentlich nur noch pathologischen Charakter. Es genügt für beide Parteien nicht, die Prüfungsergebnisse nur aufzuschreiben. Man muß sofort auf Abweichungen von den Vorschriften, den Eignungsprüfungen oder den Erfahrungswerten reagieren, zum Beispiel wenn der Luftporengehalt des Frischbetons (Bild 6) nicht paßt oder die Bestimmung des Zementgehalts mit all ihren Streuungen und Einflüssen auf einen zu geringen Zementgehalt hinweist. Es zeichnet eine Fachfirma aus, wenn sie bei Betonierbeginn, Wetteränderungen oder bei besonderen Vorkommnissen im Rahmen der Eigenüberwachung zusätzliche Prüfungen durchführt, die über die Anforderungen der Technischen Vorschriften hinausgehen, zum Beispiel Prüfung des Luftporengehalts oder der Druckfestigkeit an einem Bohrkern so-



10: Zur Beurteilung der Textur einer Betonoberfläche möglichst frühzeitig nach der Herstellung eignen sich stationär arbeitende Meßmethoden wie das Pendelgerät, das Sandflächenverfahren und der Ausflußmesser

bald wie möglich, um einen Eindruck von der Festigkeit des eingebauten Betons als Kennwert für die anderen Eigenschaften des Festbetons zu erhalten. Auch sind laufend stichprobenartige Kontrollen der Ebenheit, der Einbaudicke oder der Dübellage unmittelbar nach dem Fertiger sowie der Aufsprühmenge des flüssigen Nachbehandlungsmittels oder eine Prüfung der Textur der fertigen Betonoberfläche (Bilder 2 und 10) durchaus im Interesse des Unternehmers, wenn er sicher gehen will, Qualität zu produzieren. Muß denn immer erst abgewartet werden, bis Prüfungen im Technischen Regelwerk vorgeschrieben sind? Dies hat meist Schadensfälle zur Ursache und häufig besteht dann die Gefahr, daß als Überreaktion versucht wird, Prüfverfahren einzuführen, mit denen in der Praxis kaum Erfahrungen vorliegen.

Den bauausführenden Firmen wird dringend empfohlen, über die Technischen Vorschriften hinaus vom Zement, den Zuschlägen, den Zusatzmitteln und dem Nachbehandlungsmittel regelmäßig auf der Baustelle Rückstellproben zu nehmen, diese stichprobenartig zu untersuchen und mit den Stoffen der Eignungsprüfung zu vergleichen. Wenn hierbei Abweichungen auftreten, deren Folgen für die Qualität auf der Baustelle nicht beurteilt werden

können, sind umgehend Fachleute einzuschalten. Im Extremfall ist der Betoneinbau einzustellen, bis die Fragen einvernehmlich und vor allem zuverlässig geklärt sind. Auch die erzieherische Wirkung von Rückstellproben auf die Baustofflieferanten darf nicht unterschätzt werden.

Kontrollen zum Verbrauch an Baustoffen sollen im Interesse der Qualität und der Wirtschaftlichkeit auch während der Bauausführung durchgeführt werden. Dazu ist auf der Baustelle festzulegen, wer die Baustofflieferungen zumindest augenscheinlich abnimmt, für eine ordnungsgemäße und vollständige Entladung (z. B. von Zuschlägen oder Zement) sorgt, stichprobenartige Kontrollverwiegungen veranlaßt, die Lieferscheine kontrolliert und abzeichnet. Heute sollten alle Baustellen über die entsprechenden EDV-Ausstattungen verfügen, so daß ohne großen Aufwand zum Beispiel arbeitstäglich die Zementmenge, die laut Lieferschein auf die Baustelle geliefert wurde, dem Verbrauch an der Mischanlage, den Ergebnissen der Eigenüberwachungsprüfungen und den eingebauten Betonmengen gegenübergestellt werden kann.

Zu den Aufgaben der betondeckenherstellenden Firma gehört auch die Überwachung der Subunternehmer. Leider



9: Bei zweischichtigem Betoneinbau müssen die Transportfahrzeuge für den Unter- bzw. Oberbeton deutlich und dauerhaft gekennzeichnet sein, um Verwechslungen der Betonarten auszuschließen

gibt es immer noch Bauleiter, die glauben, daß sie für die Qualität der Nachunternehmerleistungen, zum Beispiel der Fugarbeiten, nicht zuständig sind und bei Mängeln der Subunternehmer eben nachbessern muß – wenn dies noch möglich ist! Es muß jedoch eindeutig gesagt werden: der Betondeckenhersteller ist dem Auftraggeber für die Qualität der Gesamtleistung „Betondecke“ verantwortlich. Daher muß er die Leistung der Subunternehmer entsprechend kontrollieren, insbesondere hinsichtlich der Qualität und im Interesse eines planmäßigen Bauablaufes auch hinsichtlich des Leistungsfortschritts. Diese Kontrollen müssen rechtzeitig erfolgen, damit nötigenfalls Verbesserungsmaßnahmen eingeleitet werden können. Ein typisches Beispiel dazu ist die Kontrolle von nächtlichen Fugenschneidarbeiten durch den Bauleiter spätestens am nächsten Morgen. Dabei ist insbesondere festzustellen, ob der Ablauf der Schneidarbeiten gemäß dem Vertrag durchgeführt wurde, die Kerbschnitte (Bild 5) nicht zu früh und nicht zu spät sowie ausreichend tief ausgeführt wurden und ob der Schneidschlamm entfernt wurde.

Zu den Kontrollprüfungen oder zusätzlichen Prüfungen des Auftraggebers ist anzumerken, daß die Ergebnisse unverzüglich der ausführenden Firma mitgeteilt werden sollen, damit mögliche Fehler einvernehmlich behoben werden können oder schon frühzeitig Abweichungen bei der Durchführung der Prüfung selbst ausgeräumt werden können.

7. Schlußbemerkung

Beton ist für hochbelastete Verkehrs-

flächen insbesondere aus Gründen der Verkehrssicherheit, des Umweltschutzes und der Wirtschaftlichkeit die beste Lösung. Um diesen Vorsprung zu erhalten und weiter auszubauen, müssen die Erfahrungen aller mit der Herstellung von Betonflächen befaßten Fachleute laufend gepflegt und erweitert werden.

Auch hier gilt, daß Qualität ihren Preis hat. Wer als Unternehmer dem Auftraggeber zielsicher Qualität abliefern will, ohne dabei die Wirtschaftlichkeit außer acht zu lassen, muß insbesondere über umfangreiche Erfahrungen verfügen und bereit sein, über die Technischen Vorschriften hinaus zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen. Das kann manchmal zunächst einen erhöhten Aufwand bedeuten, sich jedoch bei der Betrachtung der gesamten Leistung für die Qualität und letztendlich auch für den Unternehmer bezahlt machen.

Schrifttum

- 1 Vollpracht, A.: Qualitätssichernde Maßnahmen bei der Herstellung von Verkehrsflächen aus Beton. Betonstraßentagung 1997. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Schriftenreihe der Arbeitsgruppe „Betonstraßen“, Heft 23. Bonn: Kirschbaum Verlag, 1999, S. 74–76
- 2 Richtlinien über technische und personelle Anforderungen an ordentliche Mitglieder, Ausgabe 1997. Gütegemeinschaft Betonstraßen e. V. Köln-Marienburg, 1997
- 3 Zusätzliche Regelungen und Erklärungen des Auftragnehmers für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 1997. Gütegemeinschaft Betonstraßen e. V. Köln-Marienburg, 1997
- 4 Franke, H.-J.: Erfahrungen mit Betonstraßen II – die Sicht des Auftraggebers. Beton 49 (1999) H. 6, S. 338–341
- 5 Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 14/1995: Brückenbeläge – Betondeckschichten auf kurzen Brücken. Bundesministerium für Verkehr, Bonn, 20. April 1995
- 6 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton, ZTV Beton-StB, wird derzeit überarbeitet (1999)
- 7 Wilk, W.: Concrete Pavements on Bridges. Technical Report, Final Version. PIARC/AIPCR, C 7/SC 8, Dezember 1998
- 8 Grüning, R.; Leykauf, G.: Betondecken auf Brücken. Straße und Autobahn 50 (1999) H. 6, S. 294–298
- 9 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt, ZTV Asphalt-StB 94, Ausgabe 1994, Änderungen und Ergänzungen, Ausgabe 1998. Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau. Köln: FGSV Verlag, 1998
- 10 Asphalt-Produzenten vertrauen eigenem Produkt: Gewährleistungsfrist auf fünf Jahre verlängert. Deutsches Baublatt Nr. 239, September 1997, S. 32
- 11 Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 19/1995: Zemente für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton. Bundesministerium für Verkehr, Bonn, 15. Juli 1995
- 12 Springenschmid, R.; Fleischer, W.; Reimer, B.: Zemente für Fahrbahndecken aus Beton. Straße und Autobahn 44 (1993) H. 7, S. 415–421
- 13 von Wilcken, A.; Fleischer, W.: Beton im Verkehrswegebau – Qualität und Vielfalt durch Gleitschalungstechnik. Straße und Autobahn 49 (1998) H. 12, S. 664–673
- 14 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton, ZTV Beton-StB 93, Ausgabe 1993. Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau. Köln: FGSV Verlag, 1993 (wird derzeit überarbeitet)
- 15 DIN 1045: Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung. Ausgabe Juli 1988
- 16 Eisenmann, J.: Auswirkung der Verkehrsbelastung auf die Bemessung von Betondecken. Betonstraßentagung 1991. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Schriftenreihe der Arbeitsgruppe „Betonstraßen“, Heft 20. Bonn: Kirschbaum Verlag, 1992, S. 28–30