

Maria Teresa Alonso und Patrick Schäffel, Düsseldorf

Zielsichere Herstellung von Industriebetonböden – Praxis- und Laborergebnisse sowie Hinweise zur Stabilität

Dependable production of concrete industrial floors – practical results, laboratory results and some notes on stability

Übersicht

Fehler in der Planung und Herstellung von Betonböden für Frei- und Hallenflächen verursachen kostspielige Schäden. Planer und Bauausführende klagen über fehlende technische Regeln und Prüfkriterien für diese Bauweise. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen liefern Erkenntnisse zu praxisrelevanten Anhaltswerten für die Betonzusammensetzung, die Einbaukonsistenz und das Wasserabsondern. Hierfür wurden neben Laboruntersuchungen eine praxisbasierte systematische Datensammlung zur Betonzusammensetzung deutscher Baustellen angelegt und baustellenbegleitende Untersuchungen durchgeführt. Die Laboruntersuchungen zeigen, dass erweiterte Erstprüfungen erforderlich sind, um die Stabilität des Betons unter Berücksichtigung der Zielwerte für die Konsistenz und das Wasserabsondern sicherstellen zu können. Anhand der Ergebnisse der Eignungsprüfungen im Labor wurde eine Betonzusammensetzung entwickelt, die für die qualifizierte Verarbeitung zu einer hochwertigen Industriebodenfläche in der Praxis geeignet war.

1 Einleitung

Industrieböden für Frei- und Hallenflächen sind in der Regel während ihrer Nutzung hohen Beanspruchungen ausgesetzt und benötigen daher dauerhafte Gebrauchseigenschaften. Die Anforderungen an ihre Oberflächeneigenschaften, wie zum Beispiel an den Verschleißwiderstand und die Ebenheit, die unmittelbar von der Stabilität des Betons bei Einbau und Bearbeitung abhängig sind, sind hoch.

Kriterien für geeignete Betonzusammensetzungen, die die betontechnologischen Anforderungen in verschiedenen Ausführungssituationen sicher erfüllen, stehen derzeit nur bedingt zur Verfügung. Aus der Praxis sind Schadensfälle bekannt, die als Folge ungünstigen Zusammenwirkens betontechnologischer Parameter, der Umgebungsbedingungen und der Herstellung (Einbau- und Baustellengegebenheiten) angesehen werden können. Ursache von Schadensfällen können mangelnde Stabilität des Betons durch Wasserabsondern (Bluten) und ungewöhnliche Erhärtungsvorgänge, wie verzögertes oder plötzliches Erstarren, bei Einbau und Bearbeitung unter Baustellenbedingungen sein.

Unzureichende technische Regeln [1, 2] erschweren zudem die Planung und Herstellung von Betonböden. Eine Besonderheit bei Industrieböden im Gegensatz zu konstruktiven Betonbauteilen besteht darin, dass diese in der Regel keine tragenden Bauteile sind und die Regeln der DIN 1045 nicht in jedem Fall zur Anwendung kommen. Hinweise für die Herstellung von Betonböden sind in Merkblättern des Bundesverbands Estrich und Belag e.V. (BEB), des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins E.V. (DBV) und in Fachveröffentlichungen [3, 4, 5, 6] enthalten. Diese Hinweise führen bei der Planung und Ausführung von Industriebetonböden

Abstract

Faults in the design and production of concrete floors for outdoor and covered surfaces can cause expensive damage. Designers and building contractors complain about the lack of technical regulations and test criteria for this type of construction. The results of the present investigations provide some findings relating to practical guide values for the concrete composition, placement consistency and water secretion. In addition to the laboratory investigations a systematic collection of data for the concrete compositions actually used on German construction sites was compiled for this purpose and investigations were carried out at the construction sites. The laboratory investigations show that extended initial tests are needed to ensure the stability of the concrete while taking account into the target values for consistency and water secretion. With the aid of the results of the suitability tests in the laboratory a concrete composition was developed that proved suitable in practice for skilled processing into high-grade industrial floor areas.

1 Introduction

Industrial floors for exposed and covered areas are usually subjected to heavy stresses during their use and therefore require durable performance characteristics. Heavy demands are made on their surface properties, such as wear resistance and evenness, that are directly dependent on the stability of the concrete during placement and processing.

There are currently only limited criteria available for suitable concrete compositions that reliably fulfil the concrete technology requirements in different applications. Cases of damage are known from practice that can be considered to be the consequence of unfavourable interaction between concrete technology parameters, ambient conditions and production (placement and construction site factors). The reasons for cases of damage may be deficient stability of the concrete due to water secretion (secreted) and unusual hardening events, such as delayed or sudden setting, during placement and processing under construction site conditions.

The design and production of concrete floors is also made more difficult by inadequate technical regulations [1, 2]. One peculiarity of industrial floors when compared with structural concrete elements is that, as a rule, they are not load-bearing elements and the regulations in DIN 1045 are not always applicable. Advice on the construction of concrete floors is contained in the instruction sheets issued by the BEB (Federal Association for Screeds and Overlays) and the DBV (German Concrete and Civil Engineering Association) as well as in technical publications [3, 4, 5, 6]. This advice does not always lead to satisfactory results in the design and construction of concrete industrial floors. Ready-mixed concrete producers complain that according to DIN 1045-2 they should design suitable concrete compositions for the XM exposure class

nicht immer zu zufriedenstellenden Ergebnissen. Transportbetonhersteller beklagen, dass sie nach DIN 1045-2 geeignete Betonzusammensetzungen für die Expositionsclassen XM entwerfen sollen, jedoch keine Hinweise finden, wann ein Beton für eine entsprechende Oberflächenbehandlung geeignet ist. Zudem liegen keine geeigneten Abnahme-/Übergabekriterien vor. Häufig werden zunächst Transportbetonhersteller bei auftretenden Mängeln und Schäden zur Verantwortung gezogen.

Wenn die Stabilität einer Betonzusammensetzung gegeben ist, kann mit Blick auf eine geeignete Kornpackung, abgestimmte Fließmitteldosierung und planmäßige Wechselwirkung zwischen Fließmittel und Zement derzeit nicht sicher beantwortet werden [1, 7]. Die vielseitige Abhängigkeit des Wasserabsonderns des Betons von der Betonzusammensetzung und Faktoren wie Baublauf und Bauteilgeometrie erfordern gezielte Erstprüfungen [8–11]. Die Menge an Wasser, die bei Einbau und Bearbeitung, insbesondere von horizontalen Bauteilen, verträglich sein kann, ist aber nicht definiert. Darüber hinaus fehlen Kenntnisse über die Zusammensetzung und Dicke des Oberflächenmörtels in Abhängigkeit von der Betonzusammensetzung und Betonverarbeitung. Diese sind erforderlich insbesondere im Hinblick auf eine weitere Oberflächenbearbeitung.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass zurzeit wissenschaftlich begründete Erkenntnisse fehlen, die Planern, Betonherstellern und bauausführenden Unternehmen bei der Erstellung von Industriebetonböden unterstützen können.

Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen des IGF-Forschungsvorhabens Nr. 16328 N [12] im Forschungsinstitut der Zementindustrie Untersuchungen zur Optimierung der Betonzusammensetzung mit dem Ziel durchgeführt, Hinweise zur Verringerung der Sedimentations- und Entmischungsneigung von Betonen für Industrieböden geben zu können.

2 Ziel und Umfang der Untersuchungen

Ziel des Forschungsvorhabens war die Erarbeitung von Empfehlungen zur zielsicheren Herstellung von Industriebetonböden. Hierbei sollte die Betonzusammensetzung optimiert werden, um Sedimentations- und Entmischungsneigung zu verringern. Folgende Arbeitsschritte wurden durchgeführt:

- Erarbeitung einer praxisbasierten Datensammlung und Auswertung von baustellenbegleitenden Untersuchungen mit dem Ziel, baupraktisch relevante Betonzusammensetzungen für Industriebetonböden zu ermitteln
- Erweiterung der Erkenntnisse über geeignete Prüfverfahren zur Beurteilung der Stabilität sowie Quantifizierung maßgebender Werte der Konsistenz und des Wasserabsonderns

but cannot find any advice about whether a concrete is suitable for appropriate surface treatment. There are also no suitable acceptance/hand-over criteria available. Ready-mixed concrete producers are often held responsible at first for any deficiencies and damage that occur.

In terms of suitable particle packing, matched addition level of superplasticizer and systematic interaction between superplasticizer and cement, it is not at present possible to state reliably if the stability of a concrete composition is established [1, 7]. The varied dependence of water secretion from concrete on the concrete composition and factors such as construction sequence and geometry of the structural element necessitates carefully controlled initial testing [8-11]. However, the quantity of water that can be tolerated during placement and processing, especially of horizontal structural elements, is not defined. There is also a lack of knowledge concerning the composition and thickness of the surface mortar in relation to the composition and processing of the concrete. This is essential, especially with respect to further surface treatment.

The situation can be summarized by stating there is currently a lack of scientifically based knowledge that can support designers, concrete producers and contractors in the construction of concrete industrial floors.

Against this background, investigations have been carried out at the Research Institute of the Cement Industry as part of IGF Research Project No. 16328 N [12] to optimize the concrete composition with the aim of providing advice on reducing the tendency to sedimentation and segregation in concrete for industrial floors.

2 Aim and extent of the investigations

The aim of the research project was to develop recommendations for dependable production of concrete industrial floors. The intention was to optimize the concrete composition in order to reduce the tendency to sedimentation and segregation. The following steps were taken:

- Preparation of a practical collection of data and evaluation of construction-site investigations with the aim of determining relevant and practical concrete compositions for concrete industrial floors
- Extension of the knowledge relating to suitable test methods for assessing the stability and quantifying relevant values for consistency and water secretion
- Specifying concrete technology measures for achieving the properties required for concrete industrial floors (e.g. segregation stability).
- Production of an industrial floor under practical conditions on the basis of this knowledge

Tafel 1: Zementeigenschaften
Table 1: Cement properties

Zemente Cements	Zementeigenschaften Cement properties							
	Dichte [g/cm ³] Density [g/cm ³]	Mahlfeinheit nach Blaine [cm ² /g] Fineness Blaine [cm ² /g]	Wasseranspruch [M.-%] Water demand [mass %]	Erstarrung [min] Setting time [min]		Druckfestigkeit [MPa] Compressive strength [MPa]		
				Beginn Initial	Ende Final	2 d	7 d	28 d
CEM I 32,5 R	3,06	2540	25,5	205	240	16,7	33,5	46,8
	3,06	3300	24,0	180	225	20,3	37,0	46,4
CEM II/A-LL 32,5 R	3,01	4230	26,0	130	165	24,7	42,0	48,5
CEM II/B-S 42,5 N	3,02	4540	31,0	190	240	21,5	37,1	54,6
CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R	3,01	4280	30,5	200	240	21,3	32,1	43,1
CEM III/A 42,5 N	2,96	4390	29,5	205	255	19,0	36,0	57,9

- Festlegung betontechnologischer Maßnahmen zur Erzielung der für Industriebetonböden erforderlichen Eigenschaften (z.B. Entmischungsstabilität)
- Basierend auf diesen Erkenntnissen Herstellung eines Industriebetonbodens unter Praxisbedingungen

3 Untersuchungen

3.1 Erarbeitung einer Praxisdatensammlung und baustellenbegleitende Untersuchungen

Am Anfang des Projekts standen die Erarbeitung einer praxisbasierten Datensammlung sowie die Dokumentation der Herstellung von Industriebetonböden auf Baustellen. Die Datenaufbereitung und die Untersuchungen auf den Baustellen wurden durch das Institut für Baustoffprüfung und Fußbodenforschung (IBF) durchgeführt. Die Erhebung erfolgte im Verlauf des Jahres 2010 anhand einer Checkliste auf 45 Baustellen. Es wurden Daten zu den Betonzusammensetzungen und den Frischbetoneigenschaften unter praktischen Bedingungen, d.h. unter Berücksichtigung der Baustellengegebenheiten ermittelt. Neun Bauvorhaben wurden direkt begleitet. Erfasst wurden dabei alle Phasen der Herstellung des Industriebetonbodens, vom Beginn des Betonierens bis zum Glätten der Betonoberfläche. Neben Bauteil- und Gebäudedaten wurden Daten zur Betonzusammensetzung erfasst und der Einbau des Betons dokumentiert.

3.2 Labortechnische Untersuchungen

3.2.1 Betonzusammensetzungen

Die labortechnischen Untersuchungen wurden mit einer typischen Betonzusammensetzung für Industriebetonböden durchgeführt. Der Zementgehalt der Betone betrug 340 kg/m^3 . Die Betone wurden mit Wasserzementwerten zwischen 0,50 und 0,60 hergestellt. Hierfür wurden Betone mit sechs verschiedenen Zementen, vier Zusatzmitteln und dreizehn Sieblinien hergestellt. Das Zugabewasser wurde dem Düsseldorfer Leitungsnetz entnommen.

Die Mahlfeinheit der Zemente (gemessen nach Blaine) betrug zwischen $2540 \text{ cm}^2/\text{g}$ beim CEM I 32,5 R und $4540 \text{ cm}^2/\text{g}$ für den CEM II/B-S 42,5 N. Die Mahlfeinheiten der CEM II- und CEM III/A-Zemente lagen über der Mahlfeinheit des CEM I 32,5 R. Die Korngrößenverteilungen der CEM II- und CEM III/A-Zemente wiesen im Vergleich zu den Portlandzementen einen größeren Anteil feiner Partikel auf. Der Wasseranspruch dieser Zemente war größer als der Wasseranspruch der beiden Portlandzemente. Tafel 1 enthält die Zementeigenschaften der verwendeten Zemente.

3 Investigations

3.1 Preparation of a collection of practical data and investigations on construction sites

The project started with the preparation of a collection of practical data and documentation of the production of concrete industrial floors on construction sites. The preparation of data and the investigations on construction sites were carried out by the IBF (Institute for Building Concretes Testing and Flooring Research). The survey took place during 2010 at 45 construction sites with the aid of a check list. Data were obtained concerning the concrete compositions and fresh concrete properties under practical conditions, i.e. taking account of the construction site conditions. Nine construction projects were directly supervised. All phases of the production of the concrete industrial floor were covered, from the start of concreting to smoothing the concrete surface. Not only were data on the structural elements and structures recorded but also data on the concrete composition, and the placement of the concrete was documented.

3.2 Laboratory investigations

3.2.1 Concrete compositions

The laboratory investigations were carried out with a typical concrete composition for concrete industrial floors. The cement content of the concretes was 340 kg/m^3 . The concretes were produced with water/cement ratios between 0.50 and 0.60 using six different cements, four admixtures and thirteen grading curves. The mixing water was taken from the Düsseldorf mains system.

The Blaine fineness of the cements lay between $2540 \text{ cm}^2/\text{g}$ for CEM I 32,5 R cement and $4540 \text{ cm}^2/\text{g}$ for the CEM II/B-S 42,5 N cement. The CEM II and CEM III/A cements were finer than the CEM I 32,5 R cement. The particle size distributions of the CEM II and CEM III/A cements had a greater proportion of fine particles than the Portland cements. The water demand of these cements was greater than the water demand of the two Portland cements. Table 1 lists the cement properties of the cements used.

The target consistency, measured as the flow-table spread 35 min after the end of mixing, was $(540 \pm 20) \text{ mm}$. This time was specified with a view to the typical travelling times for ready-mixed concrete. The consistency was controlled with concrete admixtures complying with DIN EN 934-2. A superplasticizer based on a combination of melamine and naphthalene sulfonates (MNS) and a polycarboxylate ether (PCE) of the "prefabricated component" type was used. A BV concrete plasticizer was also used, and a polycarboxylate ether (PCE) of the "consistency retainer" type was also used in individual cases.

Tafel 2: Verwendete Sieblinien

Table 2: Grading curves used

Gesteinskörnung Rheinkies Rhine gravel aggregate													
Siebweite [mm] Mesh width [mm]	Siebdurchgang [Vol.-%] Screen undersize [vol. %]												
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	SW
0,063	0,2	2,0	1,0	1,0	1,4	1,2	1,0	0,7	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2
0,125	0,4	3,1	1,6	1,6	2,2	1,9	1,6	1,1	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6
0,25	2,6	5,4	3,6	3,6	4,3	4,1	3,7	2,9	2,6	3,8	3,5	4,4	3,3
0,5	13,3	14,4	11,8	11,8	12,5	13,1	12,7	11,1	11,5	19,2	17,7	22,4	16,3
1	22,8	22,1	19,0	19,1	19,7	21,0	20,5	18,4	19,3	32,6	30,1	38,1	27,6
2	31,8	32,0	32,1	38,7	32,8	28,0	26,0	38,0	24,8	37,7	34,9	44,0	31,8
4	45,8	45,8	45,4	47,9	46,1	42,4	38,3	47,2	37,1	46,2	43,4	52,8	36,5
8	68,6	68,6	67,5	63,4	68,1	66,2	59,1	62,7	58,0	62,0	59,8	68,1	55,0
16	98,4	98,4	98,3	98	98,3	98,2	97,8	98,0	97,8	98,6	98,5	98,8	98,3
32	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Die Zielkonsistenz, gemessen als Ausbreitmaß 35 Minuten nach Mischende, betrug (540 ± 20) mm. Die Festlegung auf diesen Zeitpunkt erfolgte mit Blick auf typische Fahrzeiten für Transportbeton. Die Konsistenzsteuerung erfolgte mit Betonzusatzmitteln gemäß DIN EN 934-2. Hierfür wurde ein Fließmittel basierend auf einer Kombination von Melamin- und Naphthalin-sulfonaten (MNS) sowie ein Polycarboxylatether (PCE) „Typ Fertigteil“ verwendet. Ergänzend wurde ein Betonverflüssiger BV eingesetzt. In einzelnen Fällen wurde ein Polycarboxylatether (PCE) „Typ Konsistenzhalter“ benutzt.

Durch eine gezielte Variation der Feinmörtelzusammensetzung wurden die Sedimentationsneigung und das Wasserabsondern der Betone beeinflusst. Dazu wurden die Sieblinien A16/B16 mit und ohne die Korngruppe 0/0,125 verwendet. Ergänzend wurden Variationen der Korngruppe 0/2 vorgenommen. Es wurden Rheinkies-Gesteinskörnungen gemäß DIN EN 12620 verwendet. Tafel 2 enthält die Daten zu den verwendeten Sieblinien. Der Einfluss von Wassergehaltsschwankungen, wie z.B. durch den variierenden Feuchtegehalt der Gesteinskörnung, wurde bei gezielter Variation des Wassergehalts untersucht.

3.2.2 Untersuchungen

An allen Betonen wurden die Konsistenz auf dem Ausbreitisch nach DIN EN 12350-5, der Luftgehalt nach DIN EN 12350-7, die Frischbetonrohddichte gemäß DIN EN 12350-6 und das Wasserabsondern mit dem Eimerverfahren nach [11] bestimmt.

Weiterhin erfolgte eine optische Beurteilung der Entmischungsneigung bzw. der Mischungstabilität durch die Beobachtung des Ausbreitkuchens nach der Bestimmung der Konsistenz des Frischbetons. Die Beurteilung des Sedimentationsverhaltens der Betone erfolgte ebenfalls visuell. Hierfür wurden die erhärteten Betonkörper jeweils aus dem Eimer entnommen. Die Betone wurden trocken angesägt und gespalten. Anhand der Spaltflächen wurde die Entmischungsneigung beurteilt.

Hinweise für die Übertragung auf die Praxis wurden mit prismatischen Probekörpern mit einer Fläche von 50 cm x 50 cm und einer Höhe von 20 cm im Labor gewonnen [13]. Die abgesonderte Wassermenge der Probekörper wurde in Anlehnung an das DBV-Merkblatt [11] bestimmt.

Zur Bestimmung des Erstarrens von Beton wurde das Knetbeutelverfahren nach DIN 18218 angewendet. Ebenfalls wurde zur Bestimmung des Erstarrungsverhaltens des Frischbetons der Eindringwiderstand nach [1] gemessen. Bei diesem Verfahren wird die erforderliche Eindringkraft eines Metallkegels (Kreiskegel 20°) in die Frischbetonoberfläche bis zu einer Eindringtiefe von 20 mm mithilfe einer Kraftmessdose ermittelt.

Folgende Festbetoneigenschaften wurden bestimmt: Rohdichte und Druckfestigkeit sowie die Oberflächenzugfestigkeit des Betons. Die Druckfestigkeit des Betons wurde nach DIN EN 12390-3 an Würfeln mit einer Kantenlänge von 150 mm ermittelt. Die Herstellung und Lagerung der Probekörper erfolgte nach DIN EN 12390-2, Berichtigung 1. Die Rohdichte des Betons wurde aus der Masse und den Abmessungen der Würfel unmittelbar vor der Prüfung der Druckfestigkeit ermittelt. Die Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit des Betons erfolgte in Anlehnung an DIN EN 1542. Die Oberflächenzugfestigkeit wurde aus der Zugkraft beim Abriss der kreisförmigen oder quadratischen Prüfstempel ermittelt. Diese Prüfstempel wurden an die Betonoberflächen von den im Labor oder an der Baustelle hergestellten Betonen geklebt.

Die Rohdichte, die Druckfestigkeit und die Porosität des Betons der Betonplatten wurden an Bohrkernen mit einem Durchmesser von 150 mm aus der Mitte der Betonplatte bestimmt. Die Prüfung der Druckfestigkeit erfolgte nach DIN EN 12504. Die Rohdichte wurde aus der Masse und den Abmessungen der Proben unmittelbar vor der Prüfung der Druckfestigkeit ermittelt. Die Porosität im Porenbereich von ca. $0,004 \mu\text{m}$ bis $6 \mu\text{m}$ wurde mithilfe der Quecksilberdruckporosimetrie (Hg-Porosität) gemäß DIN 66133 bestimmt.

The water secretion and tendency to sedimentation of the concretes was regulated by carefully controlled variation of the fine mortar composition. The A16/B16 grading curve, with and without the 0/0.125 particle size group, was used for this purpose. Variations were also made in the 0/2 size group. Table 2 contains the data for the grading curves used. The influence of fluctuations in water content, e.g. due to varying moisture content of the aggregate, was examined during carefully controlled variation of the water content.

3.2.2 Investigations

The consistency on the flow table as specified in DIN EN 12350-5, the air content as specified in DIN EN 12350-7, the fresh concrete bulk density as specified in DIN EN 12350-6 and the water secretion measured by the bucket method specified in [11] were determined for all the concretes.

The tendency to segregate and the mix stability were also assessed visually by examining the pat of concrete on the flow table after determining the consistency of the fresh concrete. The sedimentation behaviour of the concretes was also assessed visually, for which the hardened concrete specimens were each removed from the bucket. The concretes were notched with a saw in the dry state and split. The tendency to segregation was assessed from the split faces.

Information on the applicability to practical situations was obtained in the laboratory with prismatic specimens with an area of 50 cm x 50 cm and a depth of 20 cm [13]. The quantity of water secreted from the specimens was determined following the procedure in the DBV instruction sheet [11].

The knead-bag method specified in DIN 18218 was used for determining the setting time of the concrete. The penetration resistance specified in [1] was also used for determining the setting behaviour of the fresh concrete. In this method the force required for a metal cone (circular 20° cone) to penetrate into the surface of the fresh concrete up to a depth of 20 mm is measured with a load cell.

The following hardened concrete properties were determined: bulk density, compressive strength and surface tensile strength of the concrete. The compressive strength of the concrete was measured on cubes with an edge length of 150 mm as specified in DIN EN 12390-3. The specimens were produced and stored as specified in DIN EN 12390-2, Amendment 1. The bulk density of the concrete was determined from the mass and the dimensions of the cube immediately before the compressive strength test. The surface tensile strength of the concrete was determined from the force needed to pull off a circular or square test punch using the procedure in DIN EN 1542. The test punch was glued to the surface of the concretes produced in the laboratory or on the construction site.

The bulk density, the compressive strength and the porosity of the concrete in the concrete slabs were determined on drill cores with a diameter of 150 mm taken from the centres of the concrete slabs. The compressive strength was tested as specified in DIN EN 12504. The bulk density of the concrete was determined from the mass and dimensions of the sample immediately before the compressive strength test. The porosity in the pore size range from about $0.004 \mu\text{m}$ to $6 \mu\text{m}$ was determined by mercury intrusion porosimetry (Hg porosity) as specified in DIN 66133.

The time-dependent water content in the concrete cross-section at different heights was determined by a few specific trials. The water content of the concrete was determined by drying in a drying cabinet at 105 °C and by the microwave method [11]. Three buckets were produced as specified in [11] to obtain the specimens. Measurements to determine the water secretion were carried out first in these three buckets. The measurements ended after 2 h and 6 h. After removal of the water that had been drawn off, samples were taken from any two of the buckets to determine the water content in the concrete. In the third bucket the water that had been drawn off after the 6 h measurement was returned to the concrete and the bucket was covered with film and stored at about 20 °C

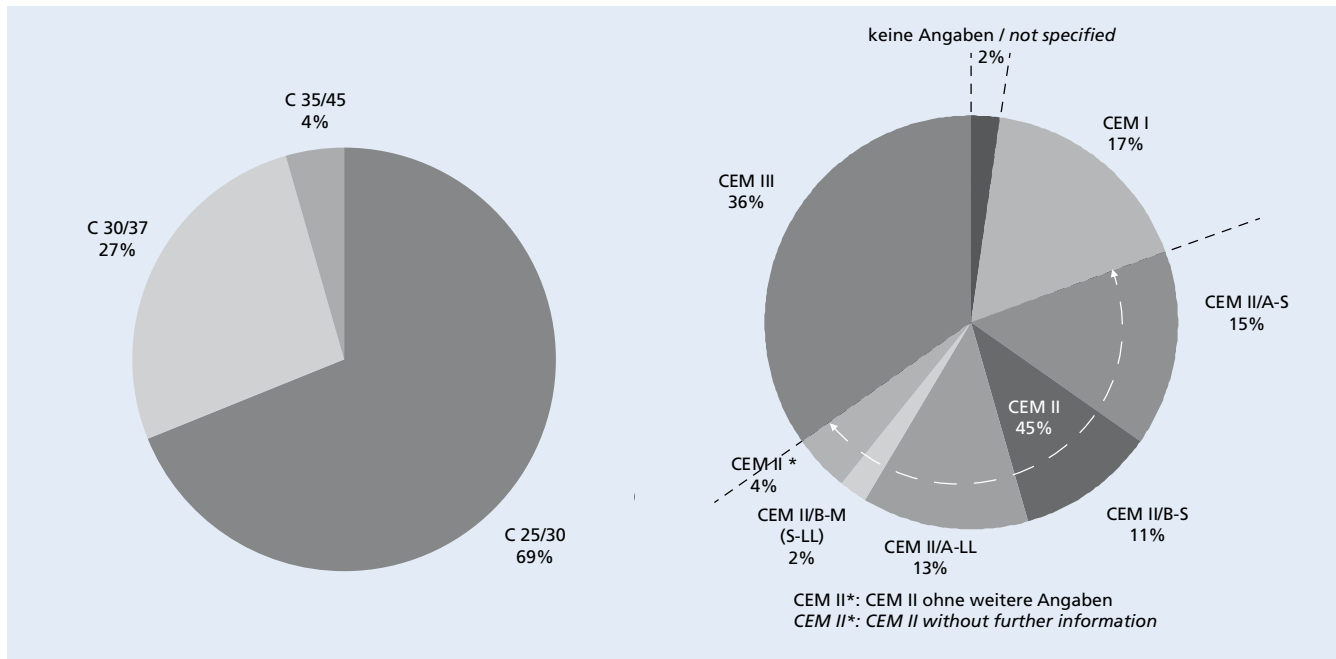


Bild 1: Daten zur Betonzusammensetzung (Auswertung basiert auf einer Stichprobe von 45 deutschen Baustellen im Jahr 2010)
Figure 1: Data on concrete compositions (evaluation based on a random sample of 45 German construction sites in 2010)

Mit einigen gezielten Versuchen wurde der zeitabhängige Wassergehalt im Betonquerschnitt über die Höhe bestimmt. Der Wassergehalt des Betons wurde durch Trocknung im Trockenschrank bei 105 °C sowie mit dem Mikrowellenverfahren [11] bestimmt. Zur Gewinnung der Prüfkörper wurden drei Eimer nach [11] hergestellt. In diesen drei Eimern wurden zunächst Messungen zur Bestimmung des Wasserabsonderns durchgeführt. Die Messung endete nach 2 h bzw. nach 6 h. Nach Entfernen des abgesaugten Wassers wurden aus jeweils zwei Eimern Proben zur Bestimmung des Wassergehalts im Beton entnommen. In jeweils einem Eimer wurde das abgesaugte Wasser nach der 6-h-Messung wieder auf den Beton zurückgegeben und der Eimer wurde bis zum nächsten Tag abgedeckt mit Folie bei rd. 20 °C gelagert. Der erhärtete Beton wurde aus dem Eimer entnommen, angesägt und dann gespalten.

Die Laboruntersuchungen wurden im Laborklima bei rd. 20 °C durchgeführt. Die Betonzusammensetzungen, die verwendeten Prüfverfahren sowie die bestimmten Frischbetoneigenschaften wurden ausführlich in [13] dargestellt.

3.3 Baustellenuntersuchungen an optimiertem Beton

Die Herstellung einer größeren Bodenfläche fand am 28.02.2012 im Institut für Baustoffprüfung und Fußbodenforschung (IBF), Troisdorf, statt. In einem Transportbetonwerk wurden 16 m³ Beton mit 340 kg/m³ CEM II/B-S, einem Wasserzementwert von w/z = 0,50 und dem Betonverflüssiger BV hergestellt. Die Lieferung zur Baustelle erfolgte in zwei Chargen. Bei Ankunft des Betons wurde die angestrebte Zielkonsistenz (Ausbreitmaß) von rd. 540 mm mit dem Fließmittel des Typs MNS eingestellt. Die Lufttemperatur in der Halle betrug rd. 17 °C.

Die Frischbetoneigenschaften, das Erstarren des Betons und die Festbetoneigenschaften wurden wie in Abschnitt 3.2.2 beschrieben ermittelt. An Bohrkernen aus der Mitte der Versuchsflächen wurden die Rohdichte, die Druckfestigkeit und die Porosität des Betons bestimmt.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der praxisbezogenen Datensammlung zur Betonzusammensetzung deutscher Baustellen und der baustellenbegleitenden Untersuchungen

In der Datensammlung und bei den begleiteten Baustellen wurden überwiegend Betonböden innenliegender Hallenflächen er-

until the next day. The hardened concrete was removed from the bucket, notched with a saw and then split.

The laboratory investigations were carried out at about 20 °C. The concrete compositions, the test methods used and the fresh concrete properties measured have been reported in detail in [13].

3.3 Construction site investigations on optimized concrete

A large floor area was produced on 28.02.2012 at the IBF (Institute for Building Concretes Testing and Flooring Research), Troisdorf. 16 m³ concrete were produced in a ready-mixed concrete plant with 340 kg/m³ CEM II/B-S cement, a water/cement ratio w/c = 0.50 and a plasticizer. The concrete was delivered to the construction site in two batches. When the concrete arrived the consistency (flow table spread) was adjusted to the desired value of about 540 mm using an MNS superplasticizer. The air temperature in the hall was about 17 °C.

The fresh concrete properties, the setting of the concrete and the hardened concrete properties were determined as described in Section 3.2.2. The bulk density, compressive strength and porosity of the concrete were determined on drill cores taken from the centre of the test area.

4 Results

4.1 Results from the data collection on concrete compositions obtained under practical conditions from German construction sites and the investigations carried out at the construction sites

The data collection and the monitored construction sites mainly involved concrete floors in covered areas. The concretes were delivered to the construction sites as ready-mixed concrete. As a rule, concretes of the C25/30 or C30/37 strength classes containing CEM II and CEM III cements of the 32,5 N and 42,5 N strength classes were used to produce the covered areas (Fig. 1). The cement content lay between 320 kg/m³ and 340 kg/m³, and the water/cement ratio lay between 0.44 and 0.55. The aggregates consisted mainly of 0/16 or 0/32 gravel, but in some cases of 0/22 chippings. From the information in the data collection on the construction of the concrete slabs, the concrete composition and the production it can be assumed that this corresponds to the information in the literature on concrete floors, e.g. in [3, 5, 7]. The fresh concrete temperatures lay between 10 °C and 25 °C.

fasst. Die Betone wurden als Transportbeton auf die Baustellen geliefert. In der Regel wurden Betone der Festigkeitsklasse C25/30 bzw. C30/37 mit CEM II- und CEM III-Zementen der Zementfestigkeitsklassen 32,5 N und 42,5 N zur Herstellung der Hallenflächen verwendet (Bild 1). Der Zementgehalt lag zwischen 320 kg/m³ und 340 kg/m³; der Wasserzementwert zwischen 0,44 und 0,55. Die Gesteinskörnungen bestanden überwiegend aus Kies 0/16 bzw. 0/32, teilweise aus Splitt 0/22. Die Angaben in der Datensammlung zum Aufbau der Betonplatten, Betonzusammensetzung und Herstellung lassen vermuten, dass diese den Literaturangaben für Betonböden, z.B. in [3, 5, 7] entsprechen. Die Frischbetontemperaturen betragen zwischen 10 °C und 25 °C.

Alle Betone wurden mit Zusatzmitteln (BV oder FM) auf die an der Baustelle geforderte Konsistenz eingestellt. Die Betone wurden i. d. R. in der Konsistenzklasse F4 eingebaut, und das Wasserabsondern wurde mit qualitativen Angaben der ausführenden Unternehmen bewertet (Bild 2). Im Zuge der Dokumentation der Baustellen wurde festgestellt, dass eine max. abgesonderte Wassermenge von rd. 4 kg/m³ gemessen im Eimerverfahren nach [11] der qualitativen Aussage „gering“ entsprach.

Die Datensammlung lieferte zudem Erkenntnisse zum Zeitfenster, innerhalb dessen üblicherweise das Glätten der Betonoberfläche stattfindet bzw. eine Verschleißschicht (Hartstoffestreuung, Hartstoffestrich) aufgebracht werden kann. Die Liegezeit vom Einbau des Betons bis zum Beginn der Bearbeitung der Oberfläche wird durch die Luft- und Frischbetontemperatur beeinflusst. Steigende Luft- und Frischbetontemperaturen verkürzen i.d.R. den Zeitraum bis zum möglichen Beginn der Bearbeitung der Oberfläche. Eine eindeutige Abhängigkeit der Bearbeitungszeiten von der Zementart, vom Wasserzementwert oder vom Ausbreitmaß wurde nicht gefunden.

Bild 3 zeigt eine Korrelation zwischen dem nach dem Eimerverfahren [11] festgestellten Ende des Wasserabsonderns des Betons und dem Zeitpunkt, an dem mit der Oberflächenbearbeitung des Betons (Abscheiben der Betonoberfläche) begonnen wurde. Der Zeitpunkt des Beginns der Oberflächenbehandlung wurde mittels der so genannten „Stiefelprobe“ ermittelt. Mit der Stiefelprobe wird in der Praxis die Trittfestigkeit des Betonbodens durch den Bearbeiter subjektiv beurteilt. Die Oberflächenbearbeitung begann etwa 1 h bis 2,5 h nach Erreichen der maximal

All the concretes were adjusted to the required consistency at the construction site with admixtures (plasticizers or superplasticizers). As a rule the concretes were in the F4 consistency class when they were placed and the water secretion was evaluated on the basis of qualitative information from the contracting companies (Fig. 2). During the documentation of the construction sites it was established that a maximum quantity of secreted water of about 4 kg/m³ measured by the bucket method described in [11] corresponded to the qualitative statement “slight”.

The data collection also provided information about the time window within which the smoothing of the concrete surface usually takes place or a wearing layer (granolithic surfacing, granolithic screed) can be applied. The resting time from the placement of the concrete to the start of processing the surface is influenced by the temperatures of the air and the fresh concrete. Increasing air and fresh concrete temperatures usually shorten the time before it is possible to start processing the surface. No clear dependence of the processing times on the type of cement, the water/cement ratio or the flow table spread was found.

Fig. 3 shows the correlation between the end of water secretion from the concrete determined by the bucket method [11] and the time at which the treatment of the concrete surface (striking off the concrete surface) was started. The moment when the surface treatment started was determined by the “boot test” by which in practice the tread resistance of the concrete floor is assessed subjectively by the operator. The surface treatment started about 1 h to 2.5 h after the quantity of water secreted in the bucket had reached a maximum. No clear correlation was found between the setting time of the concrete established by the knead-bag method and the time when the surface treatment began. Relatively large fluctuations between the individual values were found in the penetration resistance test (see Section 3.2.2) by the penetration needle method [1]. The average penetration force determined as described in [1] when the surface treatment of the concrete started (striking off the concrete surface) lay between about 50 N and 130 N.

Evaluation of the data and comparison with the concrete compositions given in the literature for concrete industrial floors provided the boundary conditions for the concrete compositions that were used for the laboratory investigations.

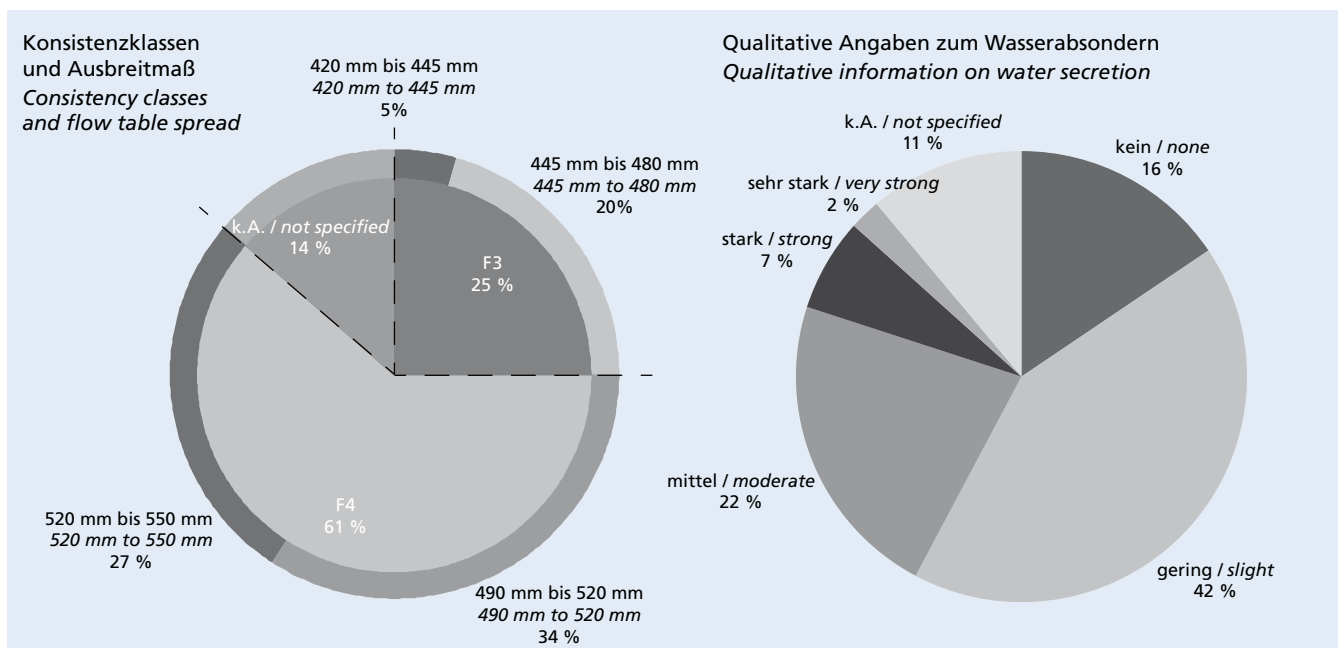


Bild 2: Daten zu Frischbetoneigenschaften (Auswertung basiert auf einer Stichprobe von 45 deutschen Baustellen im Jahr 2010; k. A.: keine Angaben)

Figure 2: Data on fresh concrete properties (evaluation based on a random sample of 45 German construction sites in 2010; k.A.: not specified)

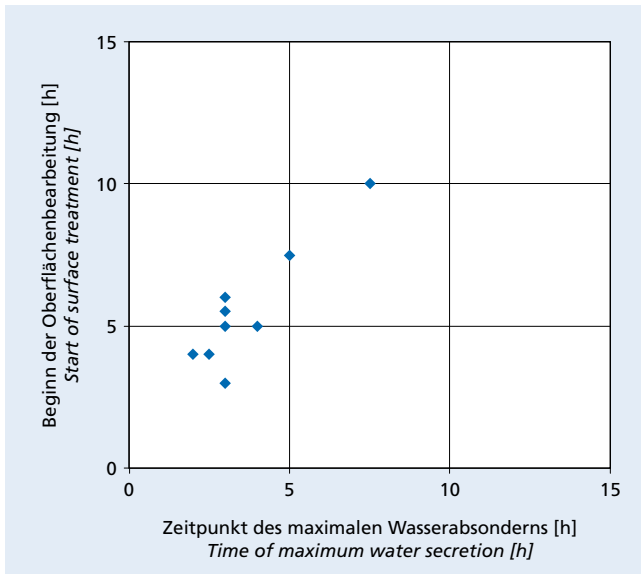


Bild 3: Zeitpunkt des max. Wasserabsondorns nach [11] und Beginn der Oberflächenbearbeitung. Auswertung basiert auf einer Basisstichprobe von neun deutschen überwachten Baustellen im Jahr 2010

Figure 3: Time of maximum water secretion according to [11] and start of surface treatment. Evaluation based on a basic random sample of nine monitored German construction sites in 2010

abgesonderten Wassermenge im Eimer. Eine eindeutige Korrelation zwischen dem mit dem Knetbeutelverfahren festgestellten Erstarrungszeitpunkt des Betons und dem Zeitpunkt des Beginns der Oberflächenbearbeitung, wurde nicht festgestellt. Bei der Prüfung des Eindringwiderstandes (s. Abschnitt 3.2.2) mit dem Penetrationsnadel-Verfahren [1] wurden relativ große Schwankungen zwischen den Einzelwerten festgestellt. Die zum Zeitpunkt des Beginns der Oberflächenbearbeitung des Betons (Abscheiben der Betonoberfläche) im Mittel ermittelte Eindringkraft gemäß [1] lag zwischen etwa 50 N bis 130 N.

Die Auswertung der Daten und der Vergleich mit den in der Literatur angegebenen Betonzusammensetzungen für Industriebetonböden lieferten die Randbedingungen für die Betonzusammensetzungen, die für die Laboruntersuchungen verwendet wurden.

4.2 Ergebnisse der labortechnischen Untersuchungen

4.2.1 Frischbetoneigenschaften

Bei der Einstellung der Zielkonsistenz von (540 ± 20) mm im Ausbreitversuch mit dem Betonverflüssiger und den Fließmitteln wurde festgestellt, dass die Ausbreitmaße mit einer schrittweisen Dosierung geringer waren als mit einer einmaligen Zusatzmitteldosierung. Eine jeweilige über den Sättigungspunkt des Zusatzmittels hinausgehende Dosierung führte zu keiner weiteren Verflüssigung, wohl aber zu Entmischungserscheinungen. Diese Entmischungserscheinungen zeigten sich in Form von Wasser- oder Leimrandbildung im Ausbreitversuch sowohl mit dem Zusatzmittel MNS als auch mit dem PCE „Typ Fertigteile“. Die Leimrandbildung nahm mit der Zeit (bei der späteren Bestimmung des Ausbreitmaßes) z.T. vollständig ab. Entmischungserscheinungen zeigten die Betone mit dem Portlandzement CEM I 32,5 R mit $2540 \text{ cm}^2/\text{g}$ nach Blaine und mit dem CEM II/BS 42,5 N mit $4540 \text{ cm}^2/\text{g}$ nach Blaine bei Verwendung des MNS und des PCE. Durch Erhöhung des Mehlkorngehalts traten keine Wasser- oder Zementleimrandbildungen mehr auf (Bild 4). Hierzu wurde der Siebdurchgang der Sieblinie S1 (A16/B16) im Bereich der Korngruppe 0/0,125 von 0,4 Vol.-% auf 3,1 Vol.-% erhöht. Diese Betone wurden dann mit der Sieblinie S2 hergestellt (Tafel 2).

Die maximal abgesonderten Wassermengen lagen zwischen rd. $2,0 \text{ kg}/\text{m}^3$ und $4,5 \text{ kg}/\text{m}^3$. Mit dem feiner gemahlten Portland-

4.2 Results of the laboratory investigations

4.2.1 Fresh concrete properties

During the adjustment to the target consistency of (540 ± 20) mm in the flow table spread test using plasticizers and superplasticizers it was established that the flow table spreads were smaller with stepped additions than with a single addition of admixture. An addition level in excess of the saturation point of the particular admixture did not have any further plasticizing effect but did cause segregation phenomena. These segregation phenomena became apparent through the formation of water or paste borders in the flow table test both with the MNS admixture and with the “precast element” type of PCE admixture. The formation of paste borders decreased, in some cases completely, with time (with later determination of the flow table spread). The concretes made with CEM I 32,5 R Portland cement ($2540 \text{ cm}^2/\text{g}$ Blaine) and with CEM II/BS 42,5 N cement ($4540 \text{ cm}^2/\text{g}$ Blaine) exhibited segregation phenomena when the MNS and PCE admixtures were used. Water and cement paste borders no longer appeared when the fines content was increased (Fig. 4). The screen undersize of the S1 grading curve (A16/B16) in the 0/0.125 particle size range was increased from 0.4 vol. % to 3.1 vol. %. These concretes were then produced with the S2 grading curve (Table 2).

The maximum quantity of secreted water lay between about $2.0 \text{ kg}/\text{m}^3$ and $4.5 \text{ kg}/\text{m}^3$. With the finely ground CEM I 32,5 R Portland cement ($3300 \text{ cm}^2/\text{g}$ Blaine) and PCE the quantity of secreted water rose to about $11 \text{ kg}/\text{m}^3$ when the PCE was added by mixing it with the mixing water. For the same concrete composition the concretes made with CEM II and CEM III/A cements usually exhibited less tendency to secreting than the concretes made with CEM I Portland cement. This means that the quantity of secreted water sometimes varied substantially depending on the combination of concrete constituents. Table 3 summarizes the results of the investigations. These and other influencing factors, such as the type and addition level of the admixtures, the water/cement ratios, the mixing process and the type of compaction as well as the geometry and temperature are shown in [13].

4.2.2 Stability of the concrete

The stability of the concrete was initially assessed in the fresh state. Any water or cement paste borders on the concrete in the flow table spread test were assessed visually. Concretes with similar flow table spreads exhibited borders with strongly marked differences. The borders of the extended pat of concrete and the quantities of secreted water measured in the bucket fell with increasing fines content and with decreasing water content or lower addition level of admixture [13]. The results showed that the quantity of water secreted in the bucket test as specified in [11] is not in itself sufficient for assessing the stability of the concrete. Fig. 5 shows that more than twice as much secreted water does not lead to significantly increased segregation as evaluated by the flow table spread test. Fig. 5 also shows the influence of the fines content on the fresh concrete properties at constant admixture addition level. This is confirmed by the results with other concrete compositions. Using the example of concrete made with CEM I 32,5 R cement and $w/c = 0.60$ without superplasticizer, Fig. 6 shows that a stable extended pat of concrete was obtained on the flow table in spite of a maximum quantity of secreted water of about $30 \text{ kg}/\text{m}^3$.

However, the water secretion can sometimes result in different water contents over the concrete cross-section. Fig. 7 (left), for example, shows the water content of two concretes with a water/cement ratio $w/c = 0.53$. Fresh concrete was taken from the top and bottom 2 cm and dried to constant weight in a drying cabinet at 105°C or in a microwave. These investigations were carried out with specimens taken from the bucket (see Section 3.2.2). The water content of the concrete was determined over the height of the test piece.

Fig. 7 (right) shows the fresh concrete properties of the concretes. The fresh concrete properties at a water/cement ratio $w/c = 0.50$ are also shown for comparison. The concretes with a $w/c = 0.50$ showed a significant decrease in water secretion when compared with those with a $w/c = 0.53$. The concretes with $w/c = 0.53$

zement CEM I 32,5 R (3300 cm²/g nach Blaine) und PCE stieg die Blutwassermenge bei Zugabe des PCE im Zugabewasser gemischt auf rd. 11 kg/m³. Die Betone mit den CEM II- und CEM III/A-Zementen zeigten bei gleicher Betonzusammensetzung in der Regel eine geringere Blutneigung als die Betone mit Portlandzement CEM I. Die Blutwassermenge variierte somit z.T. erheblich in Abhängigkeit der Kombination der Betonausgangsstoffe. Tafel 3 enthält die Übersicht der Untersuchungsergebnisse. Diese und andere Einflüsse wie die Dosierung und Art des Zusatzmittels, die Wasserzementwerte, der Mischvorgang, die Verdichtungsart sowie die Geometrie und die Temperatur sind in [13] dargestellt.

4.2.2 Stabilität des Betons

Die Stabilität des Betons wurde zuerst im frischen Zustand beurteilt. Hierfür wurden die ggf. entstandenen Wasser- oder Zementleimränder des Betons auf dem Ausbreittisch im Ausbreitversuch visuell bewertet. Die Betone zeigten bei ähnlichen Ausbreitmaßen unterschiedlich stark ausgeprägte Ränder. Die Ränder des Ausbreitkuchens und die abgesonderten Wassermengen gemessen im Eimer verringerten sich mit zunehmendem Mehlkorngesamt und bei abnehmendem Wassergehalt bzw. geringerer Zusatzmitteldosierung [13]. Die Ergebnisse zeigten, dass die abgesonderte Wassermenge mit dem Eimerverfahren nach [11] alleine zur Beurteilung der Stabilität des Betons nicht ausreicht. Bild 5 zeigt, dass eine mehr als verdoppelte abgesonderte Wassermenge nicht zu einer deutlich verstärkten Entmischung, bewertet nach dem Ausbreitversuch, führte. Bild 5 zeigt auch den Einfluss des

showed a similar water content in the top 2 cm. In the bottom 2 cm the water content of the concrete with the higher quantity of secreted water of 23 kg/m³ was, however, lower than for the concrete with a quantity of secreted water of 17 kg/m³. Immediately after production the water content of the fresh concretes was determined as 7.7 mass %. The water content determined by drying at 105 °C was, as expected, somewhat lower than with the microwave method specified in [11].

From the results it can be assumed that the ratio between the upper and lower water contents (W_{top}/W_{bottom}) is a measure of the water content gradient and is therefore a measure of the cross-sectional homogeneity of the concrete. Fig. 8 (left) shows that the water content gradient was heavily dependent on the water content of the concrete. Fig. 8 (right) shows that up to 6 h the gradient increases with increasing w/c ratio. At 24 h the upper and lower water contents come closer together for the two w/c ratios due to advancing hydration.

The concretes were taken from the bucket at 24 h, notched with a saw and then split. The sectional view provides information about segregation and deficient stability through the formation of mortar layers on the surface of the concrete (Fig. 9).

Samples were taken from the top and bottom 20 mm of the test piece to determine the porosity by mercury intrusion porosimetry (see Fig. 9). There was practically no difference in the porosity values of the mortar matrix in the lower part of the samples for different water/cement ratios. The values were about 12 vol. %. Higher values of about 16 vol. % for w/c = 0.50 and about 17 vol. % for w/c

Portlandzement CEM I 32,5 R (2540 cm²/g nach Blaine);
z = 340 kg/m³; w/z = 0,50; Zusatzmittel 1,6 M.-% MNS
CEM I 32,5 R Portland cement (2540 cm²/g Blaine); c = 340 kg/m³;
w/c = 0.50; admixture 1.6 mass % MNS



Portlandhüttenzement CEM II/B-S 42,5 N (4540 cm²/g nach Blaine)
z = 340 kg/m³; w/z = 0,50; Zusatzmittel 1,1 M.-% PCE-A
CEM II/B-S 42,5 N Portland-slag cement (4540 cm²/g Blaine);
c = 340 kg/m³; w/c = 0.50; admixture 1.1 mass % PCE-A



Bild 4: Einfluss der Gesteinskörnungszusammensetzung, insbesondere der Korngruppe 0/0,125, auf die Wasser- und Zementleimrandbildung des Betons im Ausbreitversuch
Figure 4: Influence of the aggregate particle size composition, in particular of the 0/0.125 size group, on the formation of water and cement paste borders around the concrete in the flow table test

Tafel 3: Frischbetoneigenschaften der Betone der labortechnischen Untersuchungen. Betone mit $c = 340 \text{ kg/m}^3$; $w/z = 0,50$
 Table 3: Properties of the fresh concrete in the laboratory investigations. Concretes with $c = 340 \text{ kg/m}^3$; $w/c = 0.50$

Zement Cement	Sieblinie Grading curve	Zusatzmittel Admixture		a_{35} [cm]	max. abgesonderte Wassermenge [kg/m ³] Max. water secretion [kg/m ³]	Optische Beurteilung des Betons im Ausbreitversuch Visual assessment of the concrete in the flow-table test
		Art Type	Menge [M.-% v.z] Quantity [mass % w.r.t. c]			
CEM I 32,5 R mit einer Mahl- feinheit von 2540 cm ² /g nach Blaine CEM I 32,5 R with a fineness of 2540 cm ² /g Blaine	S1	MNS	1,6	51	n.b.	Leimrandbildung formation of paste borders
	S2			52		keine Auffälligkeit no abnormality
	S1	PCE-A	0,6	52		Leimrandbildung formation of paste borders
CEM I 32,5 R mit einer Mahl- feinheit von 3300 cm ² /g nach Blaine CEM I 32,5 R with a fineness of 3300 cm ² /g Blaine	S1	MNS	1,4	55	4,6	keine Auffälligkeit no abnormality
	S2	PCE-A*)	0,7	50	11,2	keine Auffälligkeit no abnormality
CEM III/A-LL 32,5 R	S1	MNS	1,4	56	1,9	keine Auffälligkeit no abnormality
		PCE-A*)	0,8	54	4,1	keine Auffälligkeit no abnormality
CEM II/B-S 42,5 N	S1	MNS	3,4	54	n.b.	Leimrandbildung formation of paste borders
		PCE-A	1,1	58		Leimrandbildung formation of paste borders
	S2	MNS	2,2	58		keine Auffälligkeit no abnormality
		PCE-A	1,1	56		keine Auffälligkeit no abnormality
CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R	S1	MNS	2,2	55	n.b.	keine Auffälligkeit no abnormality
		PCE-A*)	1,3	60	n.b.	keine Auffälligkeit no abnormality
CEM III/A 42,5 N	S1	MNS	1,2	52	4,6	keine Auffälligkeit no abnormality
		PCE-A	0,4	54	4,9	keine Auffälligkeit no abnormality
		PCE-A*)	0,6	52	1,6	keine Auffälligkeit no abnormality

*) Das PCE-A (PCE „Typ Fertigteil“) wurde im Zugabewasser gemischt zugegeben; n.b.: nicht bestimmt

*) The PCE-A (“prefabricated element“ PCE) was added by mixing it with the mixing water; n.b.: not determined

Mehlkorngehalts bei konstanter Zusatzmitteldosierung auf die Frischbetoneigenschaften. Die Ergebnisse weiterer Betonzusammensetzungen bestätigen dies. Bild 6 zeigt am Beispiel des Betons mit CEM I 32,5 R, $w/z = 0,60$ ohne Fließmittel, dass sich trotz einer maximal abgesonderten Wassermenge von rd. 30 kg/m^3 ein stabiler „Ausbreitkuchen“ auf dem Ausbreittisch einstellte.

Durch das Wasserabsondern kann sich jedoch ein z. T. unterschiedlicher Wassergehalt im Betonquerschnitt einstellen. Bild 7 links zeigt beispielhaft den Wassergehalt von zwei Betonen mit dem Wasserzementwert von $w/z = 0,53$. Hierfür wurde Frischbeton aus den oberen bzw. unteren 2 cm entnommen und im Trockenschrank bei $105 \text{ }^\circ\text{C}$ oder in der Mikrowelle bis zur Massekonstanz getrocknet. Diese Untersuchungen wurden mit aus dem Eimer gewonnenen Prüfkörpern durchgeführt (s. Abschnitt 3.2.2). Der Wassergehalt des Betons wurde über die Höhe der Prüfkörper ermittelt.

Bild 7 rechts zeigt die Frischbetoneigenschaften der Betone. Vergleichend dazu sind auch die Frischbetoneigenschaften bei einem Wasserzementwert von $w/z = 0,50$ dargestellt. Die Betone

= 0,52 and $w/c = 0,54$ were obtained in the area near the surface. The porosity of the concrete with $w/c = 0,54$ was determined on sample concrete from the region of the mortar-rich surface (see Fig. 9, right). Segregation phenomena therefore led to an increase in the proportion of fines, in the water content and in the porosity at the concrete surface. Immediately below the fines-rich layer at the surface the porosity was about 12 vol. %.

Visual assessment of the hardened concrete in specimens from the buckets and drill cores showed that a changed concrete composition can occur over the cross-section due to water secretion in spite of maintaining the target values for quantity of secreted water and consistency, and an accumulation of mortar may occur at the surface.

Extended preliminary tests with a corresponding hardened concrete trial would therefore be needed to obtain information about the accumulation of fines at the surface.

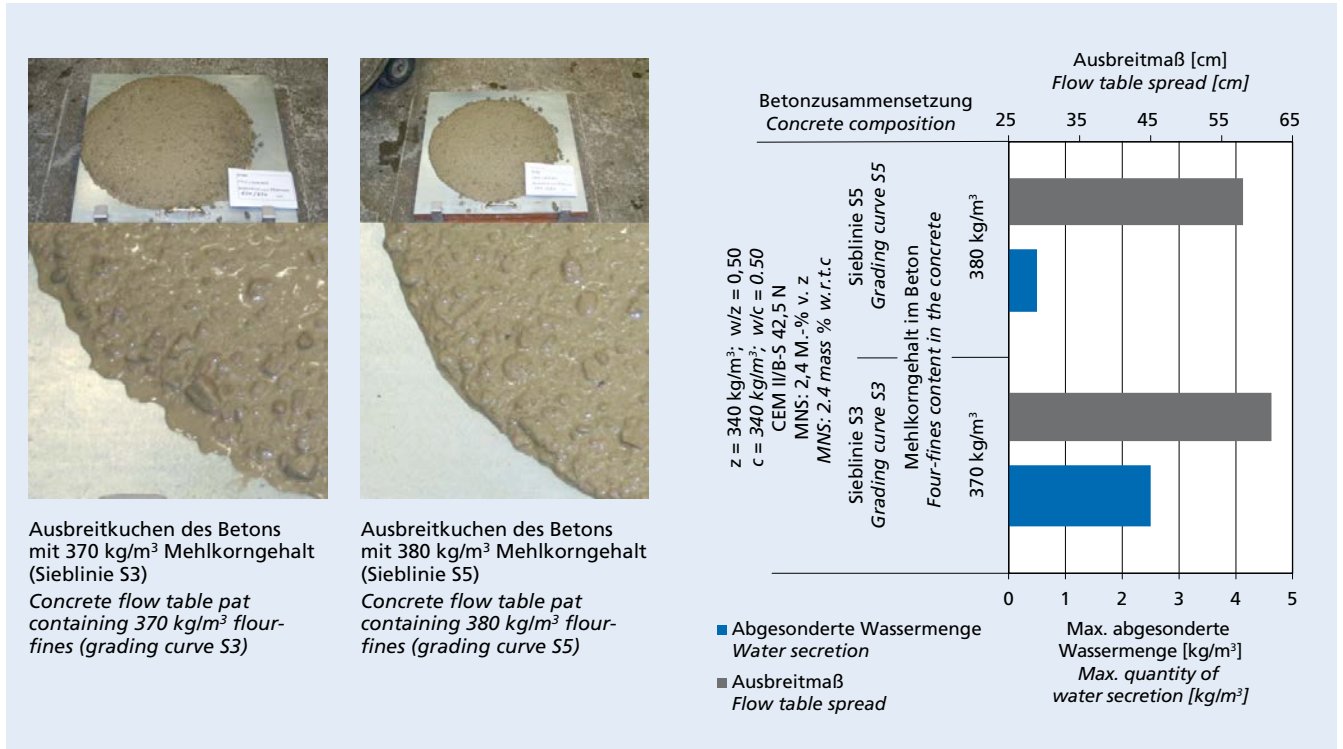


Bild 5: Einfluss des Mehlkorngehalts der Sieblinie des Betons auf die Stabilität des Betons im Ausbreitversuch (links) und auf das Ausbreitmaß und die abgesonderte Wassermenge (rechts)
Figure 5: Influence of the flour-fines content of the concrete grading curve on the stability of the concrete in the flow table spread test (left) and on the flow table spread and quantity of water secretion (right)

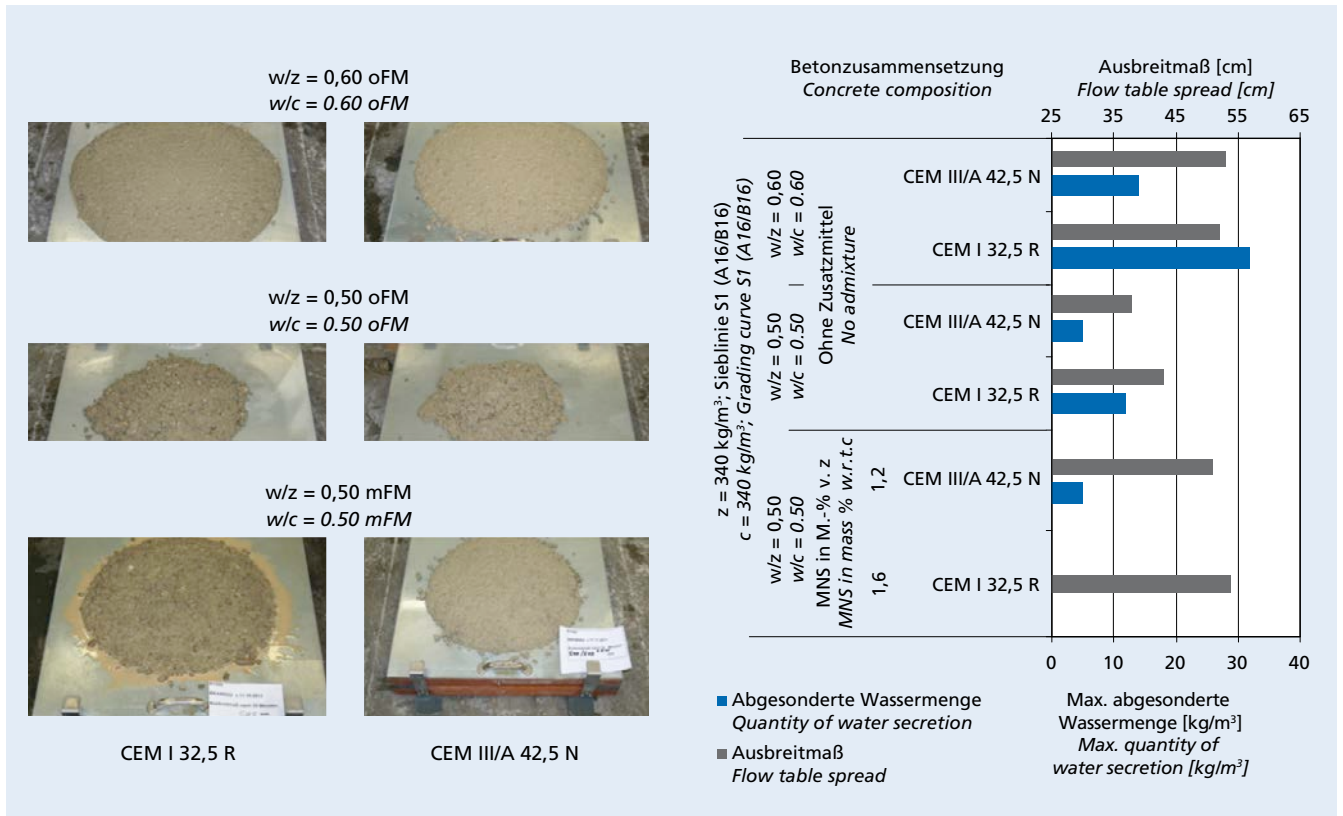


Bild 6: Einfluss des Wasserzementwerts und der Fließmitteldosierung auf die Stabilität des Betons im Ausbreitversuch (links) und auf das Ausbreitmaß und die abgesonderte Wassermenge (rechts). oFM: ohne Fließmittel; mFM: mit Fließmittel. Bei dem Beton mit CEM I 32,5 R und mFM wurde die abgesonderte Wassermenge nicht bestimmt.
Figure 6: Influence of the water/cement ratio and the superplasticizer addition level on the stability of the concrete in the flow table test (left) and on the flow table spread and the quantity of water secretion (right). oFM: no superplasticizer; mFM: with superplasticizer. The water secretion was not determined for the concrete made with CEM I 32,5 R and mFM

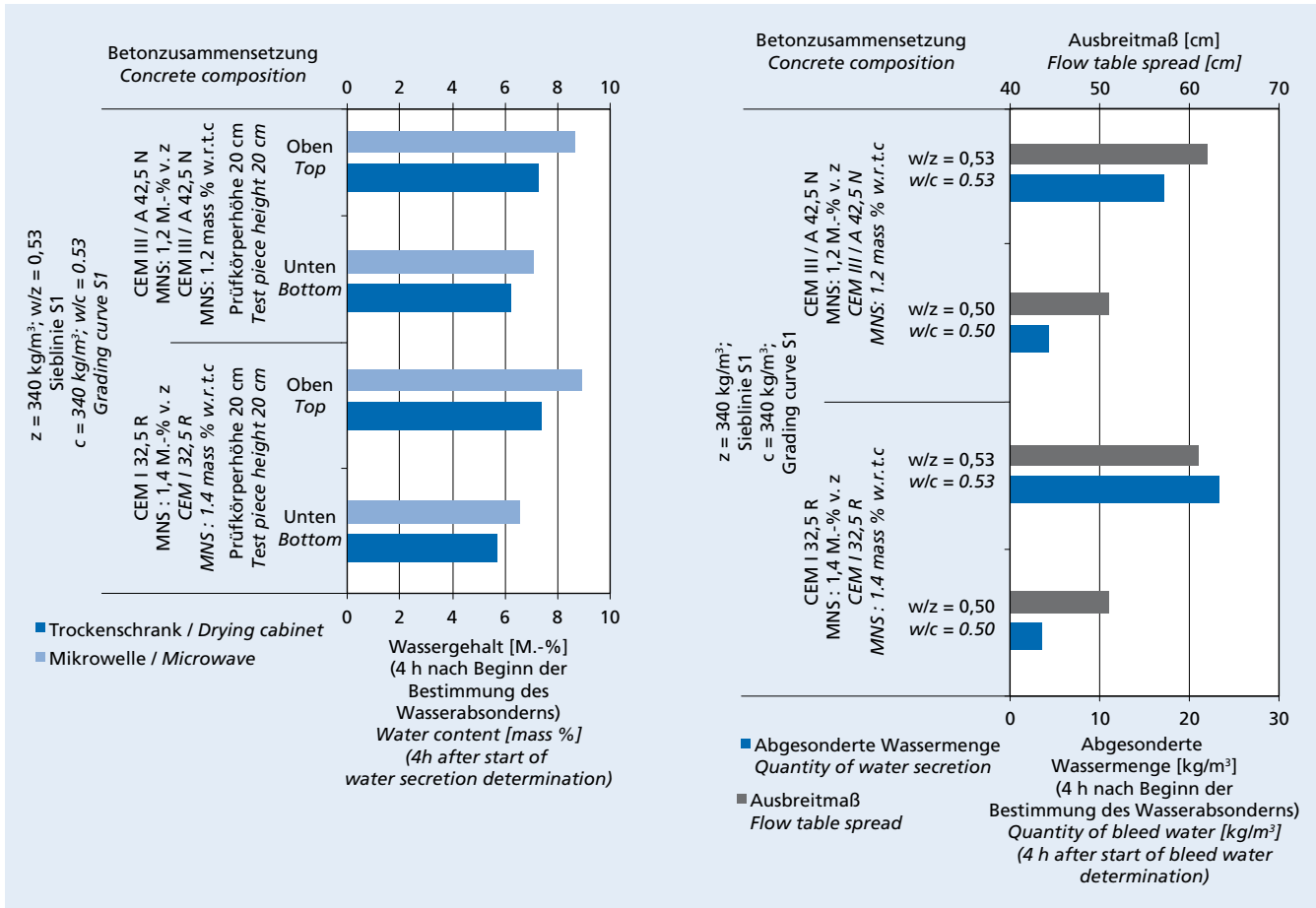


Bild 7: Verteilung des Wassergehalts im Querschnitt am Beispiel der Betone mit Portlandzement CEM I 32,5 R und CEM III/A 42,5 N (links) und Ausbreitmaß und abgesonderte Wassermenge (rechts)
Figure 7: Distribution of the water content over the cross-section using the example of concretes made with Portland cement CEM I 32,5 R and CEM III/A 42,5 N (left), and flow table spread and quantity of water secretion (right)

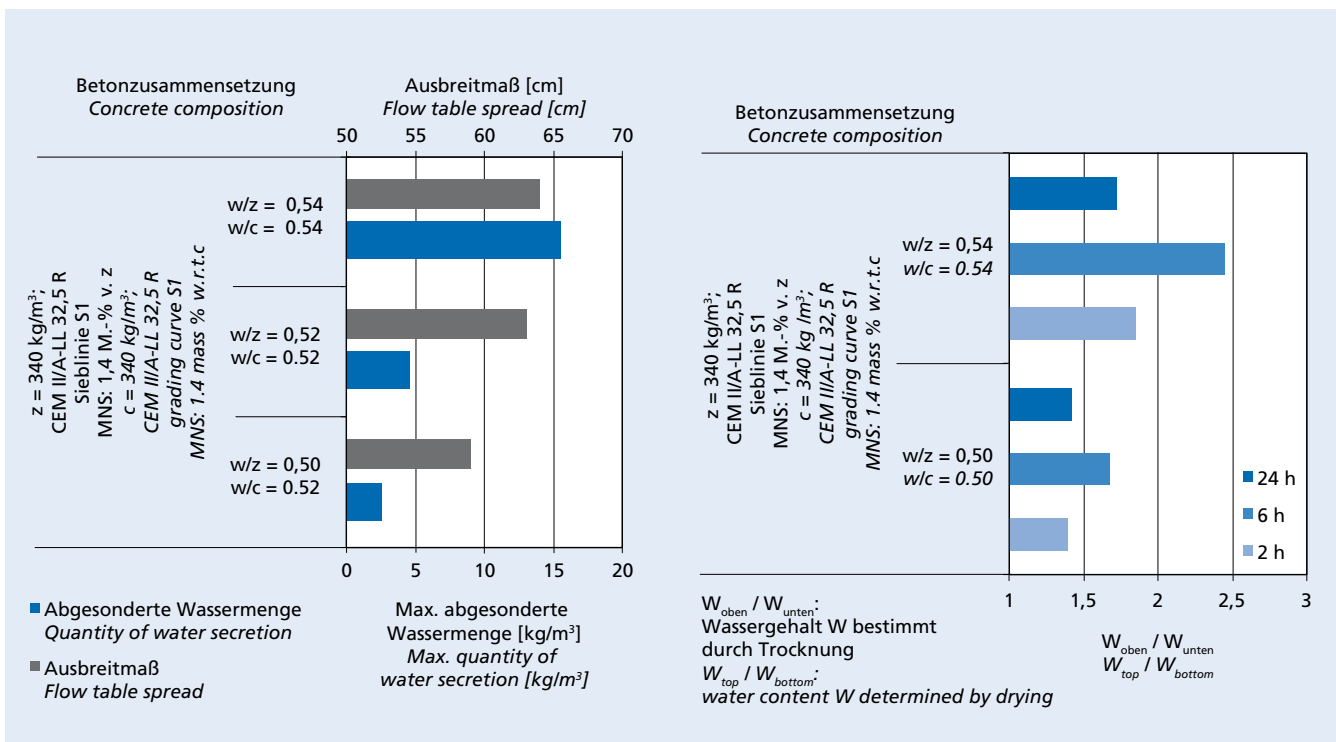


Bild 8: Frischbetoneigenschaften und Wassergehalt-Gradienten im Querschnitt
Figure 8: Fresh concrete properties and water content gradients over the cross-section



Bild 9: Prüfkörper zur Beurteilung der Stabilität im erhärteten Zustand und zur Bestimmung der Porosität im Alter von 28 Tagen. $z = 340 \text{ kg/m}^3$; Zement CEM II/A-LL 32,5 R; MNS: 1,4 M.-% v.z.; Sieblinie S1

Figure 9: Test pieces for assessing the stability in the hardened state and for determining the porosity at the age of 28 days. $c = 340 \text{ kg/m}^3$; cement CEM II/A-LL 32,5 R; MNS: 1.4 mass % w.r.t. c; grading curve S1

mit einem $w/z = 0,50$ zeigten eine deutliche Abnahme des Wasserabsonders im Vergleich zu dem $w/z = 0,53$. Die Betone mit dem Wasserzementwert von $w/z = 0,53$ zeigten in den oberen 2 cm einen ähnlichen Wassergehalt. In den unteren 2 cm war der Wassergehalt des Betons mit der höheren abgesonderten Wassermenge von 23 kg/m^3 allerdings niedriger als beim Beton mit einer abgesonderten Wassermenge von 17 kg/m^3 . Direkt nach der Herstellung wurde der Wassergehalt der Frischbetone mit 7,7 M.-% bestimmt. Der Wassergehalt war durch Trocknung bei 105°C erwartungsgemäß etwas kleiner als im Mikrowellen-Verfahren nach [11].

Die Ergebnisse lassen vermuten, dass das Verhältnis zwischen dem oberen und unteren Wassergehalt ($W_{\text{oben}}/W_{\text{unten}}$) ein Maß für einen Wassergehalt-Gradienten ist und somit ein Maß für die Homogenität des Betons im Querschnitt darstellt. Bild 8 links zeigt, dass der Wassergehalts-Gradient stark vom Wassergehalt des Betons abhängig war. Bild 8 rechts zeigt, dass der Gradient bis 6 h mit zunehmendem w/z -Wert zunimmt. Im Alter von 24 h, bedingt durch den Hydrationsfortschritt, nähern sich die Wassergehalte oben und unten bei beiden w/z -Werten an.

Die Betone wurden im Alter von 24 Stunden aus dem Eimer entnommen, angesägt und dann gespalten. Das Schnitt- bzw. Spaltbild gibt Hinweise auf Entmischungen bzw. die mangelnde Stabilität durch Bildung von Mörtelschichten an der Betonoberfläche (Bild 9).

Zur Bestimmung der Porosität mittels Quecksilberdruckporosimetrie wurden Proben aus den obersten bzw. untersten 20 mm der Prüfkörper entnommen (s. Bild 9). Die Porositätswerte der Mörtelmatrix im unteren Bereich der Proben unterschieden sich auch bei unterschiedlichen Wasserzementwerten praktisch nicht. Die Werte lagen bei rd. 12 Vol.-%. Höhere Werte ergaben sich im oberflächennahen Bereich mit rd. 16 Vol.-% bei $w/z = 0,50$ und mit rd. 17 Vol.-% bei $w/z = 0,52$ bzw. $w/z = 0,54$. Die Porosität des Betons mit $w/z = 0,54$ wurde an Probenmaterial aus dem Bereich der mörtelreichen Fläche ermittelt (s. Bild 9 rechts). Entmischungserscheinungen führten somit zu einer Erhöhung des Feinstoffanteils, des Wassergehalts sowie der Porosität an der Betonoberfläche. Unmittelbar unter der feinststoffreichen Schicht an der Oberfläche lag die Porosität bei rd. 12 Vol.-%.

Die optische Beurteilung des erhärteten Betons an Prüfkörpern aus den Eimern und Bohrkernen zeigte, dass sich trotz Einhaltung der Zielwerte der Konsistenz und der Blutwassermenge durch das Wasserabsondern eine veränderte Betonzusammensetzung im Querschnitt einstellen kann und sich ggf. Mörtelanreicherungen an der Oberfläche bilden können.

4.3 Optimization of the concrete composition in the laboratory

It was intended that the starting point for optimizing a concrete composition in the laboratory should be an initially relatively unstable concrete. The aim was to keep the cement content and water/cement ratio constant but change the concrete composition so that the stability of the concrete was ensured while maintaining the target values for consistency and water secretion required for constructing concrete floors. The stability was evaluated by visual assessment of segregation phenomena in the fresh and hardened concrete. From the collection of data for concrete floors (see Section 4.1), the data in the literature and information from contracting companies it was thought that a target flow table spread of about 540 mm on placement and a water secretion of about 3 kg/m^3 in winter or 5 kg/m^3 in summer would lead to the required result for concrete industrial floors. The concretes were to be produced with a cement content of 340 kg/m^3 and a water/cement ratio $w/c = 0.50$ using superplasticizers. Concrete was produced using a CEM II/B-S 42,5 N Portland-slag cement with a fineness of $4540 \text{ cm}^2/\text{g}$ Blaine and a water demand of 31.0 %. This concrete formed a marked cement paste border in the flow table test when produced with an A16/B16 (S1) grading curve, regardless of the admixture used (see Fig. 4, top right, and Table 3).

The concrete composition was optimized by changing the grading curve of the aggregate. The influence of the particle size composition on the consistency and water secretion was investigated by carefully controlled variation of the 0/2 particle size group in the A16/B16 grading curve.

The results showed that an increase in fines content in the concrete leads to a decrease in consistency and water secretion and that the admixture addition level has a strong influence. As a rule, the formation of a paste border in the flow table test could be reduced by raising the fines content, see Fig. 4, bottom right (cf. [1]). However, very slight segregation phenomena in the pat of concrete on the flow table were also detected with the MNS admixture at the high fines content of about 390 kg/m^3 in the chosen unstable concrete with the S2 grading curve (see Table 2). Fines contents of less than 370 kg/m^3 are recommended for the construction of concrete industrial floors [6].

If the change in grading curve results in a higher packing density of the aggregate that is not offset by adjusting the water content then excess water and water secretion can be expected. Fig. 10 shows that a reduction in the proportion of the 0/2 particle size group with the same content of fines and very fine sand in the concrete can lead to a reduction in water secretion from about 3.5 kg/m^3 to about 0.5 kg/m^3 .

Es wären somit erweiterte Erstprüfungen mit Durchführung eines entsprechenden Festbetonversuchs erforderlich, um Hinweise auf die Feinstoffanreicherung an der Oberfläche zu erhalten.

4.3 Optimierung der Betonzusammensetzung im Labor

Als Ausgangspunkt für die Optimierung einer Betonzusammensetzung im Labor sollte ein zunächst relativ instabiler Beton dienen. Ziel war die Betonzusammensetzung unter Beibehaltung des Zementgehalts und Wasserzementwerts so zu verändern, dass die Stabilität des Betons bei Einhaltung der Zielwerte für Konsistenz und Wasserabsondern der Bauweise Betonböden gewährleistet war. Die Stabilität wurde durch die optische Beurteilung von Entmischungerscheinungen im Frisch- und Festbeton bewertet. Aus der Betonböden-Datensammlung (s. Abschnitt 4.1), Literaturdaten und Informationen ausführender Firmen wird für Industriebetonböden ein Zielausbreitmaß von rd. 540 mm beim Einbau und ein Wasserabsondern von rd. 3 kg/m³ im Winter bzw. 5 kg/m³ im Sommer als zielführend angesehen. Dabei sollten die Betone mit einem Zementgehalt von 340 kg/m³ und einem Wasserzementwert von w/z = 0,50 unter Verwendung von Zusatzmitteln hergestellt werden. Es wurde ein Beton mit einem Portlandhüttenzement CEM II/B-S 42,5 N mit einer Feinheit von 4540 cm²/g nach Blaine und einem Wasseranspruch von WA = 31,0 % hergestellt. Dieser Beton zeigte eine starke Zementleimrandbildung im Ausbreitversuch bei der Herstellung mit einer Sieblinie A16/B16 (S1) unabhängig vom verwendeten Zusatzmittel (s. Bild 4 oben rechts und Tafel 3).

Die Optimierung der Betonzusammensetzung wurde durch Veränderungen der Sieblinie der Gesteinskörnung durchgeführt. Der Einfluss der Kornzusammensetzung auf die Konsistenz und das Wasserabsondern wurde durch eine gezielte Variation der Korngruppe 0/2 an den Sieblinien A16/B16 untersucht.

Die Ergebnisse zeigten, dass eine Zunahme des Mehlkorngehalts im Beton zur Abnahme der Konsistenz und des Wasserabsonderns bei starkem Einfluss der Zusatzmitteldosierung führt. Somit konnte die Leimrandbildung im Ausbreitversuch mit einer Erhöhung des Mehlkorngehalts in der Regel vermindert werden, s. Bild 4 unten rechts (vgl. [1]). Jedoch wurden sehr leichte Entmischungerscheinungen des Ausbreitkuchens mit dem Zusatzmittel MNS auch bei hohem Mehlkorngehalt des instabilen ausgewählten Betons mit der Sieblinie S2 von rd. 390 kg/m³ festgestellt (s. Tafel 2). Für die Bauweise Industriebetonböden werden Mehlkorngehalte kleiner als 370 kg/m³ empfohlen [6].

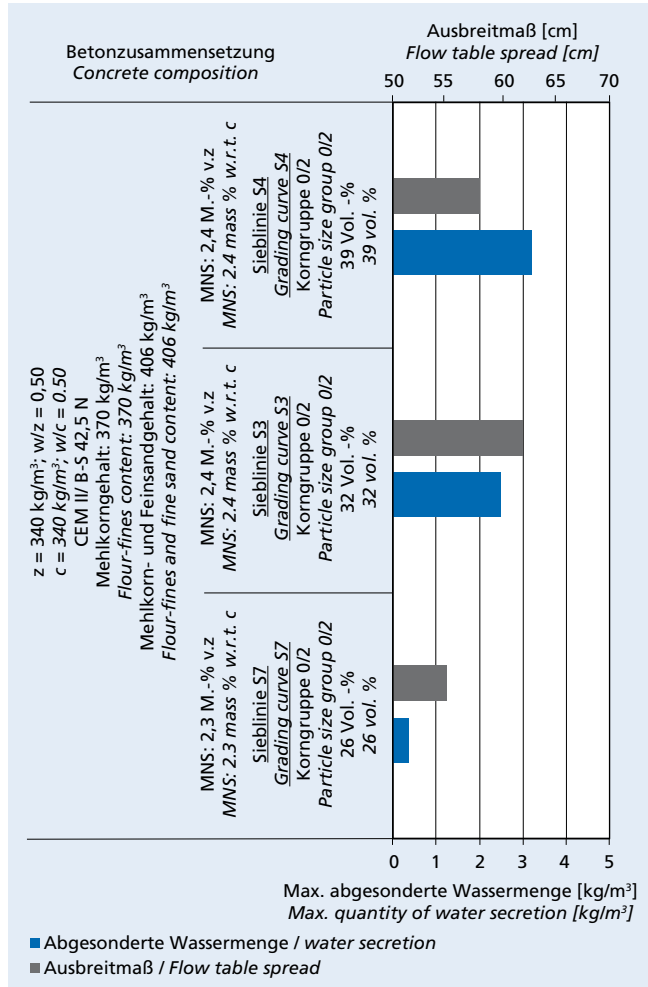


Bild 10: Einfluss der Sandkorngruppe 0/2 der Sieblinie bei gleichbleibendem Mehlkorngehalt von 370 kg/m³ auf Ausbreitmaß und abgesonderte Wassermenge

Figure 10: Influence of the 0/2 sand particle size group in the grading curve with constant flour-fines content of 370 kg/m³ on the flow table spread and quantity of water secretion

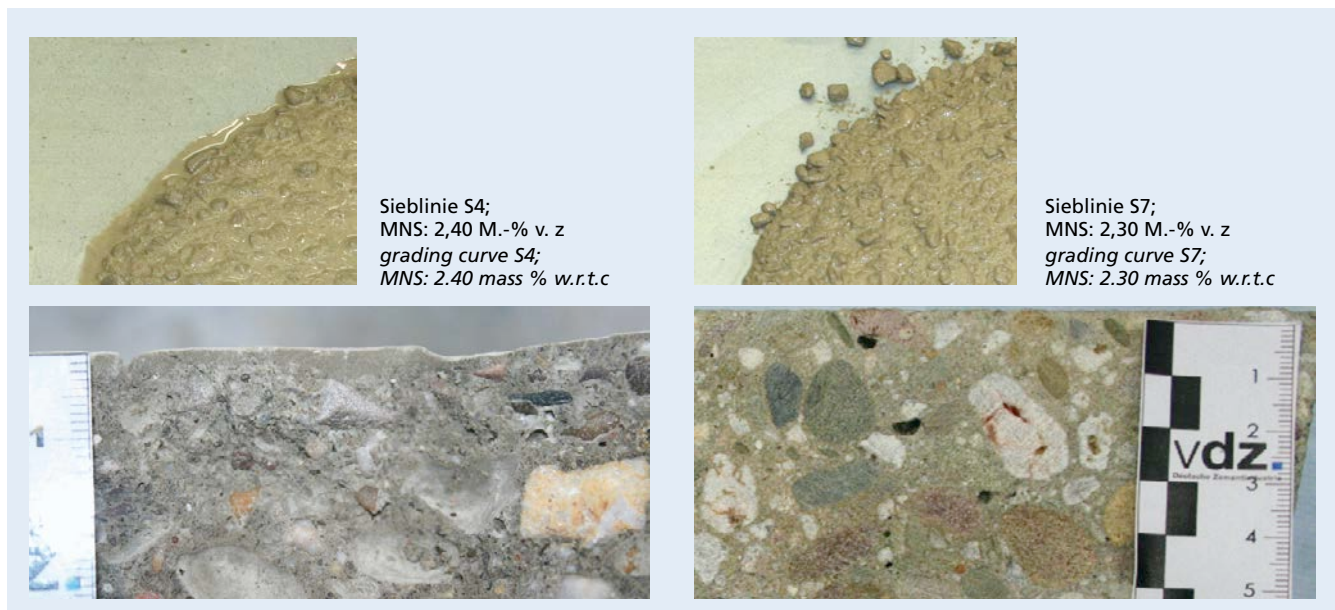


Bild 11: Einfluss der Kornzusammensetzung der Sieblinie auf die Stabilität des Frischbetons und die Feinstörtelverteilung im Festbeton. z = 340 kg/m³; w/z = 0,50; Mehlkorngehalt des Betons: 370 kg/m³; Zement: CEM II/B-S 42,5 N; Zusatzmittel

Figure 11: Influence of particle size composition of the grading curve on the stability of the fresh concrete and the fine mortar distribution in the hardened concrete. c = 340 kg/m³; w/c = 0,50; flour-fines content of the concrete: 370 kg/m³; cement: CEM II/B-S 42,5 N; admixtures

Entsteht durch die Veränderung der Sieblinie eine höhere Packungsdichte der Gesteinskörnung, auf die jedoch nicht mit einer Anpassung insbesondere des Wassergehalts reagiert wird, so ist mit einem Wasserüberschuss und Wasserabsondern zu rechnen. Bild 10 zeigt, dass eine Verringerung des Anteils Korngruppe 0/2 bei gleichbleibendem Mehlkorn- und Feinstsandgehalt des Betons zur Verringerung des Wasserabsonderns von rd. 3,5 kg/m³ auf rd. 0,5 kg/m³ führen kann.

Der mit der Sieblinie S4 hergestellte Beton zeigte bei höchster Packungsdichte und niedrigstem Wasseranspruch der Sieblinie eine leichte Zementleimumrandung im Ausbreitversuch. Die Bildung eines Wasser- und Zementleimrands im Ausbreitversuch wurde umso größer, je niedriger der Mehlkorngehalt bei unverändertem Sandanteil war. Bei Einhaltung der zuvor formulierten Zielwerte für das Ausbreitmaß und das Wasserabsondern am Frischbeton zeigten sich in Abhängigkeit der Sieblinie z.T. deutliche Zementleimablagerungen an der Oberfläche des Festbetons. Bild 11 zeigt beispielhaft, dass sich durch eine Erhöhung des Anteils der Korngruppe 0/2 von 26 Vol.-% auf 39 Vol.-% der Sieblinie A16/B16 ein Zementleimrand im Frischbeton im Ausbreitversuch bildet und im Festbeton eine oberflächige Feinmörtelanreicherung festzustellen war (s. Bild 11, links).

Bild 12 zeigt, dass Leimablagerungen an der Oberfläche des erhärteten Betons unabhängig von der Prüfgeometrie entstehen können. Die Art des Prüfkörpers kann hierbei einen Einfluss auf das Wasserabsondern haben. Mit dem Eimer wurde ein Wasserabsondern von 3,4 kg/m³ ermittelt. In der Prüfplatte war das

At the maximum packing density and minimum water demand for the grading curve the concrete produced with the S4 grading curve exhibited a slight border of cement paste in the flow table test. The formation of a water and paste border in the flow table test became greater the lower the fines content with an unchanged proportion of sand. When the previously formulated target values for flow table spread and water secretion for the fresh concrete were maintained there were significant deposits of cement paste on the surface of the hardened concrete in some cases, depending on the grading curve. Fig. 11, for example, shows that raising the proportion of the 0/2 particle size group from 26 vol. % to 39 vol. % in the A16/B16 grading curve resulted in a cement paste border in the fresh concrete in the flow table test and an accumulation of the fine mortar on the surface of the hardened concrete (see Fig. 11, left).

Fig. 12 shows that accumulations of paste can occur on the surface of the hardened concrete, regardless of the test geometry. The nature of the test piece can have an effect on the water secretion. Water secretion of 3.4 kg/m³ was measured with the bucket test, but the water secretion with the test slab of 1.9 kg/m³ was about half that value [13]. The accumulation of fine mortar on the surface of the test piece was about 5 mm thick regardless of the geometry (see Fig. 12, bottom).

Investigations were then carried out on concrete with the S9 grading curve with a fines content of 350 kg/m³. The higher packing density of the S9 grading curve when compared with the S7 curve increased the quantity of secreted water in the bucket from 0.5 kg/m³ to 2 kg/m³ (see Figs. 10 and 13). No paste or water bor-



Bild 12: Feinmörtelanreicherung an Prüfkörpern aus dem Eimerverfahren (links) und Zementleimanreicherung an Prüfkörpern aus der Betonplatte (rechts); $c = 340 \text{ kg/m}^3$; $w/z = 0,50$; CEM II/B-S 42,5 N; Sieblinie S4; 2,4 M.-% v. z MNS
Figure 12: Accumulation of fine mortar in test pieces from the bucket method (left) and accumulation of cement paste in test pieces from the concrete slab (right); $c = 340 \text{ kg/m}^3$; $w/c = 5.0$; CEM II/B-S 42,5 N; grading curve S4; 2.4 mass % MNS w.r.t.c

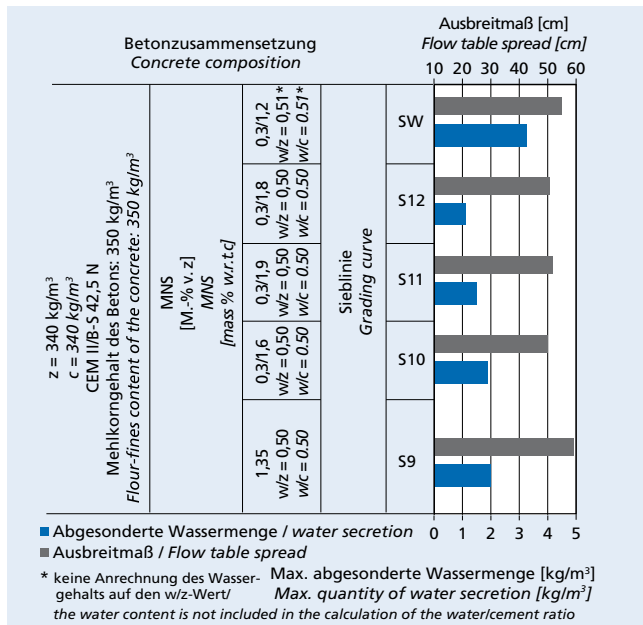


Bild 13: Einfluss der Sieblinie auf das Ausbreitmaß und die abgesonderten Wassermenge zur Optimierung der Betonzusammensetzung
Figure 13: Influence of the grading curve on the flow table spread and quantity of water secretion for optimizing the concrete composition

Wasserabsondern mit 1,9 kg/m³ etwa halb so groß [13]. Die Feinmörtelanreicherung an der Prüfkörperoberfläche hatte unabhängig von der Geometrie eine Dicke von rd. 5 mm (s. Bild 12, unten).

In der Folge wurden Untersuchungen an Beton mit der Sieblinie S9 bei einem Mehlkorngehalt von 350 kg/m³ durchgeführt. Die höhere Packungsdichte der Sieblinie S9 gegenüber S7 erhöhte die Menge an abgesondertem Wasser von 0,5 kg/m³ auf 2 kg/m³ im Eimer (s. Bild 10 und Bild 13). Dabei konnten keine Leim- oder Wasserränder beim Ausbreitversuch und keine Leimablagerungen im erhärteten Beton festgestellt werden.

Die Übertragbarkeit der Laborprüfergebnisse auf Praxisverhältnisse wurde an der Betonzusammensetzung mit der Sieblinie S9 in einem Transportbetonwerk überprüft. Hierfür war die Pumpbarkeit für den praxiserfahrenen Einbau des Betons zu berücksichtigen und die im Transportwerk üblicherweise verwendeten Zusatzmittel. Das Transportbetonwerk verwendet üblicherweise einen Betonverflüssiger BV im Werk und eine Kombination von Melamin- und Naphthalinsulfonaten MNS vor Übergabe auf der Baustelle. Der Einfluss üblicher Sieblinien im Transportbetonwerk wurde untersucht. Die Sieblinien S10, S11 und S12 wurden verwendet (s. Tafel 2). Die Gesteinskörnungen stammten aus dem Bestand des Forschungsinstituts. Die Betone zeigten im frischen und erhärteten Zustand keine Auffälligkeiten. Bei einem konstanten Mehlkorngehalt von 350 kg/m³ verringerte sich mit den Sieblinien S10, S11 und S12 gegenüber der Sieblinie S9 die abgesonderte Wassermenge des Betons von rd. 2,0 kg/m³ auf rd. 1,2 kg/m³.

Um die Pumpbarkeit und gleichzeitig die angestrebte abgesonderte Wassermenge von ca. 3 kg/m³ gewährleisten zu können, wurde die Korngruppe 0/2 der Sieblinie S9 geändert und entsprach der Sieblinie SW (s. Tafel 2). Bei den Laboruntersuchungen wurde der Wassergehalt der Zusatzmittel angerechnet. Dies ist bei Zugabe des MNS auf der Baustelle nicht möglich. Bild 13 zeigt den Einfluss der Sieblinie auf das Ausbreitmaß und die Blutwassermenge.

Die Ergebnisse der Optimierung zeigten, dass über die Abnahme der Korngruppe 0/2 innerhalb der Sieblinie die abgesonderte Wassermenge bei konstantem Mehlkorngehalt und bei starker Abhängigkeit von der Fließmitteldosierung vermindert werden konnte. Ebenfalls zeigten die Ergebnisse, dass eine Abnahme des Mehlkorngehaltes der Sieblinie das Ausbreitmaß und die abgeson-

ders were detected in the flow table test and no paste accumulations in the hardened concrete.

The applicability of the laboratory results to practical conditions was checked using the concrete composition with the S9 grading curve in a ready-mixed concrete plant. The pumpability for practical placement of the concrete had to be taken into account, as well as the admixtures normally used in the ready-mixed plant. The ready-mixed concrete plant normally uses a BV plasticizer at the plant and a combination of melamine and naphthalene sulfonates (MNS) before handover at the construction site. The influence of the usual grading curves was investigated in the ready-mixed concrete plant. The S10, S11 and S12 grading curves were used (see Table 2). The aggregates came from the Research Institute's stock. The concretes did not exhibit any abnormalities in the fresh or hardened state. When compared with the S9 grading curve the quantity of water secreted from the concretes at a constant fines content of 350 kg/m³ was reduced from about 2.0 kg/m³ to about 1.2 kg/m³ with the S10, S11 and S12 grading curves.

The 0/2 particle size group in the S9 grading curve was changed and corresponded to the SW grading curve (see Table 2) in order to ensure the pumpability and, at the same time, the required quantity of secreted water of about 3 kg/m³. The water content of the admixtures was included in the calculations for the laboratory investigations. This is not possible for addition of the MNS at the construction site. Fig. 13 shows the influence of the grading curve on the flow table spread and quantity of secreted water.

The results of the optimization showed that for a constant fines content, and with heavy dependence on the addition level of superplasticizer, the quantity of secreted water could be reduced by lowering the 0/2 particle size group within the grading curve. The results also showed that a reduction in the fines content in the grading curve raises the flow table spread and the quantity of secreted water. The fines content needed at the required admixture addition level has to be determined in order to fulfil the requirements for workability and water secretion at the guaranteed stability.

The results obtained in the laboratory can be applied to construction site conditions to a limited extent. Water secretion measured by the bucket method may be lower under practical conditions than under laboratory conditions. For horizontal areas and the same test depth of about 20 cm this is determined by, among other things, using vibrating cylinders in comparison with vibrating tables. Transport of the fresh concrete to the construction site has to be taken into account as another influencing variable. Longer mixing times sometimes reduce the quantity of secreted water [13]. For a concrete containing the "consistency retainer" type of PCE the longer mixing times led to almost complete suppression of the water secretion [13]. However, the use of "consistency retainer" PCEs in the production of concrete industrial floors does not lead to the required result. The extended workability and resting times that this produces can delay the start of finishing and smoothing the concrete surfaces [14].

This means that the values from the bucket method cannot be applied directly to practical conditions. Furthermore, the scatter of the test method is sometimes of the same order of magnitude as the criteria/limits under discussion (see also [13, 15]). The information from this section cannot be generalized. Any other concrete compositions must be optimized to suit the constituents.

4.4 Practical concreting

Concrete was produced in a ready-mixed concrete plant on the basis of the laboratory investigations, see Section 4.3. When the concrete arrived at the construction site a superplasticizer was added to achieve the required target consistency (flow table spread) of about 540 mm.

The concrete was easy to place and compact, and there were no problems with striking off and smoothing the concrete surface. Only a small quantity of water was secreted at the surface before the start of further surface treatment. No essential differences were found between the individual test areas during placement of the concrete or during the surface treatment of the concrete and subsequent determination of the hardened concrete properties.



Bild 14: Herstellung der horizontalen Versuchsflächen am 29.02.2012
Figure 14: Production of the horizontal test surfaces on 29/02/2012

derte Wassermenge erhöhen. Um gleichzeitig die Anforderungen an die Verarbeitbarkeit und das Wasserabsondern bei gewährleis- teter Stabilität zu erfüllen, ist der erforderliche Mehlkorngelalt bei der notwendigen Zusatzmitteldosierung zu ermitteln.

Eine Übertragung der im Labor gewonnenen Ergebnisse auf die Bauwerkverhältnisse ist bedingt möglich. Das Wasserabson- dern im Eimerverfahren kann sich unter Praxisverhältnissen ge- genüber Laborbedingungen verringern. Bei horizontalen Flächen und gleicher Versuchshöhe von rd. 20 cm wird dies u.a. durch An- wendung von Rüttelflaschen im Vergleich zum Rütteltisch festge- stellt. Der Transport des Frischbetons zur Baustelle ist als weitere Einflussgröße zu berücksichtigen. Längere Mischzeiten verringern teilweise die abgesonderte Wassermenge [13]. Bei einem Be- ton mit dem PCE Typ „Konsistenzhalter“ führten längere Misch- zeiten zu einer annähernd vollständigen Unterbindung des Was- serabsonderns [13]. Allerdings ist die Verwendung von PCE Typ

Eight test areas were produced with two lots of concrete delivered at different times. The concrete was placed at depths of 20 cm and 25 cm for each of four areas. The fall height of the concrete from the pump was varied slightly for areas with the same placement depth. The mixing times were also extended by 15 min. Fig. 14 shows photographs of the production of the horizontal test areas.

In this case the treatment of the concrete surface (about 4.5 h after placement) began when the “stiff to semi-solid” category was reached using the knead-bag method specified in DIN 18218 (Fig. 15). The maximum quantity of water secreted by the delivered concrete in the bucket test was determined after four hours. This means that the surface treatment started quite close to the time when the quantity of water secreted in the bucket reached its maximum (cf. Section 4.1).

The penetration resistance for a penetration depth of 20 mm was measured at 5 points on each area. A penetration force of

„Konsistenzhalter“ im Falle der Herstellung von Industriebetonböden nicht zielführend. Die dadurch verlängerten Verarbeitungs- und Liegezeiten können den Beginn der Nacharbeitung und des Glättens der Betonoberflächen verzögern [14].

Eine direkte Übertragbarkeit der Werte aus dem Eimerverfahren auf Praxisverhältnisse ist somit nicht möglich. Darüber hinaus liegen die Streuungen des Prüfverfahrens teilweise in der Größenordnung diskutierter Kriterien/Grenzwerte (s. auch [13, 15]). Die Aussagen dieses Abschnittes können nicht verallgemeinert werden. Andere Betonzusammensetzungen müssen in Abhängigkeit der Ausgangsstoffe optimiert werden.

4.4 Praxisbetonage

Auf der Grundlage der Laboruntersuchungen wurde Beton in einem Transportbetonwerk hergestellt, s. Abschnitt 4.3. Bei Ankunft auf der Baustelle wurde dem Beton zur Einstellung der angestrebten Zielkonsistenz (Ausbreitmaß) von rd. 540 mm ein Fließmittel zugegeben.

Der Beton ließ sich gut einbauen und verdichten. Die Betonoberfläche konnte problemlos abgezogen und geglättet werden. Bis zum Beginn der weiteren Oberflächenbearbeitung sonderte sich nur eine geringe Menge Wasser an der Oberfläche ab. Beim Einbau des Betons sowie bei der Oberflächenbearbeitung des Betons und bei der späteren Bestimmung der Festbetoneigenschaften wurden zwischen den einzelnen Versuchsflächen keine wesentlichen Unterschiede festgestellt. Es wurden acht Versuchsflächen mit zwei zeitverschobenen Betonlieferungen hergestellt. Die Einbauhöhen von jeweils vier Flächen betragen 20 cm und 25 cm und die Fallhöhe des Betons aus der Pumpe wurde innerhalb der Flächen gleicher Einbauhöhe leicht verändert. Darüber hinaus wurden die Mischzeiten um 15 Minuten verlängert. Bild 14 zeigt Fotos der Herstellung der horizontalen Versuchsflächen.

Der Beginn der Bearbeitung der Betonoberfläche (rd. 4,5 h nach dem Einbau) erfolgte in diesem Fall bei Vorliegen der Kategorie „steif bis halbfest“ nach dem Knetbeutelverfahren gemäß DIN 18218 (Bild 15). Die maximale abgesonderte Wassermenge des gelieferten Betons im Eimer wurde nach vier Stunden bestimmt. Somit begann die Oberflächenbearbeitung etwa zeitnah

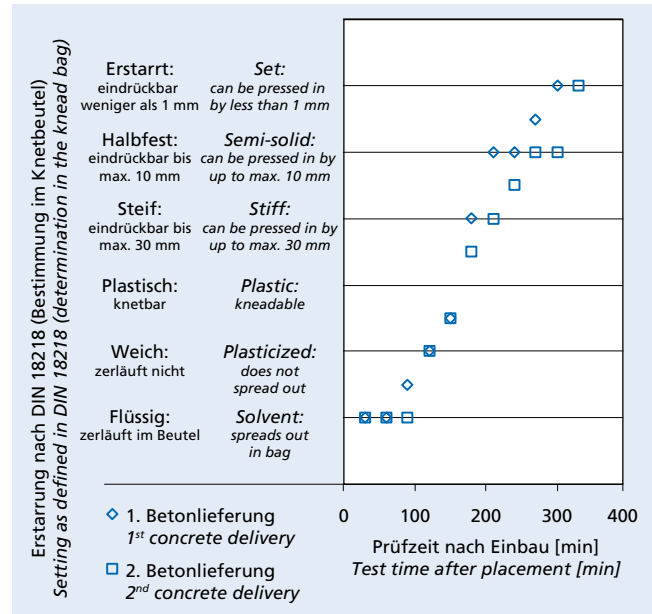


Bild 15: Ergebnisse der Untersuchungen zum Erstarren nach DIN 18218

Figure 15: Results of the investigations on setting as defined in DIN 18218

(22 ± 4) N was measured before the initial striking off (after about 4 h) while a penetration force of (96 ± 11) N was measured before the second striking off (after about 6 h). The surface tensile strengths of the test areas at 7 days were greater than 2 N/mm². Direct comparison with the results in [16] does not seem possible because the concrete surfaces in [16] were coated with an application of granolithic concrete. A penetration resistance of over 150 N is given in [16] as a guide value for walk-on stability of the concrete

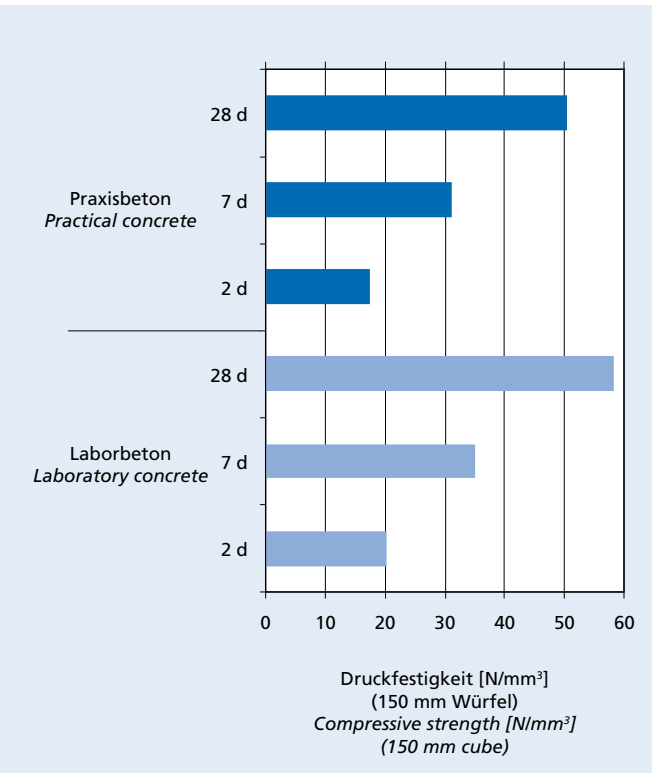
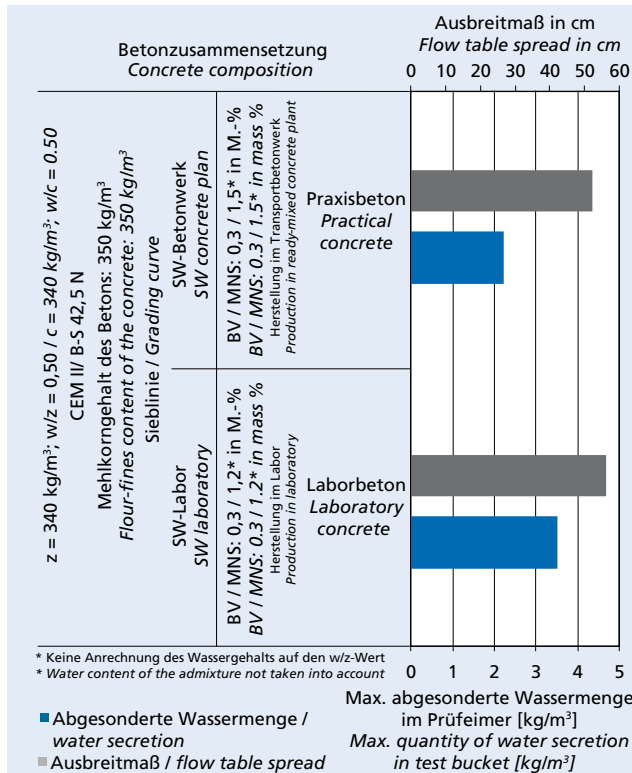


Bild 16: Frischbeton- und Festbetoneigenschaften des Laborbetons und des Praxisbetons
Figure 16: Fresh and hardened concrete properties of concretes produced in the laboratory and in practice

zum Zeitpunkt des Erreichens der maximalen abgesonderte Wassermenge im Eimer (vgl. Abschnitt 4.1).

Der Penetrationswiderstand für eine Eindringtiefe von 20 mm wurde an jeweils fünf Stellen je Fläche gemessen. Vor dem ersten Abscheiben (nach ca. 4 h) wurde eine Penetrationskraft von (22 ± 4) N ermittelt. Vor dem zweiten Abscheiben (nach ca. 6 h) wurde eine Penetrationskraft von (96 ± 11) N bestimmt. Die Oberflächenzugfestigkeit der Versuchsflächen im Alter von 7 d war größer als 2 N/mm^2 . Ein direkter Vergleich mit den Ergebnissen in [16] erscheint nicht möglich, da die Betonoberflächen in [16] mit einer Hartstoffapplikation vergütet wurden. In [16] wird ein Penetrationswiderstand von über 150 N als Orientierungswert für die Begehbarkeit der Betonoberfläche angegeben. Eine Oberflächenzugfestigkeit im Alter von 7 d von über $2,0 \text{ N/mm}^2$ gewährleistet einen monolithischen Verbund. Dieser Verbund wird in der Regel erreicht, wenn die Hartstoffschicht zu einem Zeitpunkt appliziert wird, zu dem der Beton einen Penetrationswiderstand zwischen 150 N und 250 N aufweist.

Zum Vergleich wurden weitere Untersuchungen mit einem Beton gleicher Zusammensetzung im Forschungsinstitut durchgeführt. Einen Überblick wesentlicher Untersuchungsergebnisse im Vergleich zeigt Bild 16.

Die abgesonderte Wassermenge im Eimerverfahren des Praxisbetons betrug rd. $2,3 \text{ kg/m}^3$. Der Vergleichsversuch im Labor ergab einen Wert von rd. $3,5 \text{ kg/m}^3$. Eine längere und intensivere Mischzeit des Praxisbetons und die Verdichtung mit der Rüttelflasche bei der Praxisbetonage im Vergleich zur Verdichtung der Eimer auf dem Rütteltisch im Labor könnten zur Verringerung des Wasserabsonderns des Praxisbetons beitragen. Die Würfeldruckfestigkeiten des Betons der Praxisbetonage waren zu allen Prüfterminen geringer als die des Laborbetons. Die Unterschiede können mit dem höheren Wassergehalt des Praxisbetons gegenüber dem Laborbeton erklärt werden, weil im Labor die Gesteinskörnungen trocken verwendet wurden und der Wassergehalt des Fließmittels an der Baustelle nicht berücksichtigt wurde.

Die in der Halle hergestellten Flächen wiesen keine Mörtel- bzw. Zementleimanreicherungen an den Oberflächen auf. Die Ergebnisse aus Labor und Praxis waren in dieser Hinsicht vergleichbar. Die Untersuchungen unter Laborbedingungen führten zu einer Betonzusammensetzung, die für die qualifizierte Verarbeitung zu einer hochwertigen Industriebetonbodenfläche geeignet war.

4.5 Hinweise und Empfehlungen zur Beurteilung der Stabilität und ggf. zur Optimierung der Betonzusammensetzung im Labor

Die Stabilität eines Betons für Industrieböden kann in einem ersten Schritt über die Bestimmung des Ausbreitmaßes nach dem Mischen beurteilt werden. Leim- oder Wasserränder können auf Stabilitätsprobleme des Betons hindeuten. Bei ähnlichen Ausbreitmaßen können unterschiedlich stark ausgeprägte Ränder des Ausbreitkuchens entstehen. Dabei sind schmalere Ränder und abnehmende Mengen an abgesondertem Wasser bei zunehmendem Mehlkörnunggehalt und bei abnehmendem Wassergehalt oder FM-Dosierung zu erwarten.

Die Bestimmung der abgesonderten Wassermenge mit dem Eimerverfahren nach [11] liefert Ergebnisse, die zur Beurteilung der Stabilität hilfreich sein können. Allerdings reicht die abgesonderte Wassermenge allein für eine Stabilitätsbeurteilung nicht aus. Mit zunehmender Menge an abgesondertem Wasser wurde auch ein zunehmender Wassergehaltsgradient im Betonquerschnitt bestimmt. Der Wassergehalt des Betons kann an Betonproben aus den Prüfkörpern im Eimer durch Trocknung ermittelt werden. Durch die optische Beurteilung des erhärteten Betons an Prüfkörpern aus den Eimern bzw. aus Bohrkernen kann abgeschätzt werden, ob sich bei Einhaltung der Zielwerte der Konsistenz und der abgesonderten Wassermenge Mörtelanreicherungen an der Oberfläche und eine veränderte Betonzusammensetzung im Querschnitt zu erwarten sind.

In erweiterten Erstprüfungen, z.B. an den erhärteten Prüfkörpern aus dem Eimerverfahren kann die Stabilität des Betons bei Einhaltung der Zielwerte von Konsistenz und Wasserabsondern

surface. A surface tensile strength of over 2.0 N/mm^2 at 7 days ensures a good monolithic bond. As a rule, this bond is achieved if the layer of granolithic concrete is applied at a time when the concrete has a penetration resistance of between 150 N and 250 N.

Further investigations with a concrete of the same composition were carried out at the Research Institute for comparison. Fig. 16 summarizes the comparison of the important results of the investigations.

The quantity of water secreted by the practical concrete in the bucket test was about 2.3 kg/m^3 . The comparison test in the laboratory gave a value of about 3.5 kg/m^3 . The longer and more intensive mixing time for the practical concrete and compaction with a vibrating cylinder during the practical concreting compared with compaction of the bucket on the vibrating table in the laboratory could contribute to the reduction in water secretion by the practical concrete. The cube compressive strengths of the concrete from the practical concreting were lower at all test ages than those of the laboratory concrete. The differences can be explained by the higher water content in the practical concrete than in the laboratory concrete because dry aggregates were used in the laboratory and the water content of the superplasticizer was not taken into account at the construction site.

The areas produced in the hall did not exhibit any surface accumulation of mortar or cement paste. In this respect the results from the laboratory and practice were comparable. The investigations under laboratory conditions led to a concrete composition that was suitable for skilled processing to give a high-grade concrete industrial floor area.

4.5 Advice and recommendations for assessing the stability and, where applicable, for optimizing the concrete composition in the laboratory

The first step in assessing the stability of a concrete for industrial floors is to determine the flow table spread after mixing. Borders of paste or water can be an indication of stability problems in the concrete. Borders of varying extent around the extended pat of concrete can be produced with similar flow table spreads. Narrower borders and decreasing quantities of secreted water can be expected with increasing fines content and decreasing water content or superplasticizer addition level.

Determination of the quantity of secreted water by the bucket method specified in [11] gives results that can be helpful for assessing the stability. However, the quantity of secreted water is not in itself sufficient for a stability assessment. An increasing water content gradient over the concrete cross-section was also found with increasing quantity of secreted water. The water content of the concrete can be determined by drying concrete samples taken from the specimens in the bucket. By visual assessment of the hardened concrete from specimens from the bucket or from drill cores it is possible to estimate whether surface accumulations of mortar and a changed concrete composition over the cross-section are to be expected when maintaining the target values for consistency and quantity of secreted water.

The stability of the concrete while maintaining the target values for consistency and quantity of secreted water can be ensured in extended initial tests, e.g. on the hardened specimens from the bucket method. The time of maximum water secretion in the laboratory investigations can serve as a guide value for the correct time of surface treatment of a concrete industrial floor.

sichergestellt werden. Der Zeitpunkt des max. Wasserabsonderns in Laboruntersuchungen kann als Orientierungswert für den richtigen Zeitpunkt der Oberflächenbearbeitung eines Industriebetonbodens gelten.

5 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen liefern Erkenntnisse, die zu einer zielsicheren Herstellung von Industriebetonböden in der Praxis beitragen können.

Durch die Erarbeitung und Auswertung einer praxisbasierten Datensammlung zur Betonzusammensetzung sowie die Dokumentation der Herstellung von Industriebetonböden auf Baustellen wurden praxisrelevante Anhaltswerte für die Betonzusammensetzungen, für die Einbaukonsistenz und für das Wasserabsondern gewonnen. Im Zentrum der Betrachtungen stand die Auswirkung der Betonzusammensetzung auf die Stabilität des Betons. Leim- oder Wasserränder des Ausbreitkuchens deuten auf unzureichende Stabilität des Betons hin. Die Ergebnisse zeigen, dass die abgesonderte Wassermenge allein für eine Stabilitätsbeurteilung eines Betons für Industriebetonböden nicht ausreicht. Die optische Beurteilung des erhärteten Betons an Prüfkörpern zeigte, dass sich trotz Einhaltung der Zielwerte der Konsistenz und abgesonderten Wassermenge eine veränderte Betonzusammensetzung im Querschnitt einstellen kann und sich ggf. Mörtelanreicherungen an der Oberfläche bilden können. Im Rahmen der Untersuchungen wurden die Möglichkeiten der Optimierung der Betonzusammensetzung im Labor aufgezeigt. Die Untersuchungen unter Laborbedingungen führten zu einer Betonzusammensetzung, die für die qualifizierte Verarbeitung zu einer hochwertigen Industriebetonbodenfläche in der Praxis geeignet war.

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 16328 N der Forschungsvereinigung Verein Deutscher Zementwerke e.V. bzw. VDZ gGmbH wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

5 Summary

The results of these investigations provide findings that can contribute to dependable practical production of concrete industrial floors. By compiling and evaluating a collection of data for the concrete compositions that are actually used, as well as documentation of the production of concrete industrial floors on construction sites, practical guide values were obtained for the concrete compositions, placement consistency and water secretion. The treatment focused on the effect of the concrete composition on the stability of the concrete. Paste or water borders around the flow table pat indicate inadequate stability of the concrete. The results show that the quantity of water secretion alone is not sufficient for assessing the stability of a concrete for concrete industrial floors. Visual assessment of the hardened concrete in test pieces showed that in spite of meeting the target values for consistency and quantity of water secretion the concrete composition can change over the cross-section because of the water secretion, and accumulations of mortar may occur at the surface. Possible ways of optimizing the concrete composition were highlighted in the laboratory during the investigations. The investigations under laboratory conditions led to a concrete composition that proved suitable in practice for skilled processing into high-grade concrete industrial floor areas.

Funding note

IGF project 16328 N of the Research Association of the VDZ (German Cement Works Association) and of VDZ gGmbH was funded through the AiF (Federation of Industrial Research Associations) as part of the programme by the Federal Ministry for Economics and Energy based on a decision by the German Federal Parliament to promote joint industrial research and development (IGF).

Literatur / Literature

- [1] Breitenbücher, R.: Potentielle Ursachen von Mängeln in Industrieböden aus Beton und deren Bewertung. Industrieböden aus Beton. 4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung, Universität Karlsruhe, März 2007. Universitätsverlag, Karlsruhe 2007, S.73-81
- [2] Industrieböden aus Beton. 4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung. Universität Karlsruhe 8TH, 15. März 2007. Universitätsverlag, Karlsruhe 2007
- [3] Deutscher Beton- und Bautechnik Verein E. V. (DBV): Merkblatt Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen. Berlin 2004
- [4] Bundesverband Estrich und Belag e.V. (BEB); Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e. V. (DBV): Betonböden für Hallenflächen, Troisdorf/Berlin, Februar 2000
- [5] Ebeling, K.: Betonböden für Produktions- und Lagerhallen. Verlag Bau+Technik, Düsseldorf 2006
- [6] Lohmeyer, G.; Ebeling, K.: Betonböden für Produktions- und Lagerhallen. Planung, Bemessung, Ausführung. Verlag Bau+Technik, Düsseldorf 2012
- [7] Wöhl, U.: Betontechnologische Aspekte bei der Ausführung von Bodenplatten. Industrieböden aus Beton. 4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung. Universität Karlsruhe 8TH, 15. März 2007, Universitätsverlag, Karlsruhe 2007, S. 57–61
- [8] Krell, J.: Die Konsistenz von Zementleim, Mörtel und Beton und ihre zeitliche Veränderung. Schriftenreihe der Zementindustrie 46, Betonverlag, Düsseldorf 1985
- [9] Rendchen, K.: Einfluss der Granulometrie von Zement auf die Eigenschaften des Frischbetons und auf das Festigkeits- und Verformungsverhalten des Festbetons. Schriftenreihe der Zementindustrie 45, Betonverlag, Düsseldorf 1985
- [10] Schießl, P.; Weber, J.W.; Schwamborn, B.; Leißner, J.: Blüten von Frischbeton. Schriftenreihe des Bundesverbandes der Deutschen Transportindustrie. Betonverlag, Düsseldorf 1998
- [11] Merkblatt: Besondere Verfahren zur Prüfung von Frischbeton. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein E. V. (DBV), Berlin 2007
- [12] www.vdz-online.de/abgeschlossene_projekte.html
- [13] Alonso, M. T.; Schäffel, P.: Das Wasserabsondern von Beton. Laborergebnisse und Übertragbarkeit auf praktische Verhältnisse. beton 64 (2014) H. 11, S. 455–469 und H. 12, S. 509–515
- [14] Deutsche Bauchemie: Anwendung von Fließmitteln auf PCE-Basis im Industriebodenbau. Informationsschrift Deutsche Bauchemie e.V., 1. Ausgabe, Frankfurt am Main 2011
- [15] Heese, C.; Breit, W.: Ermittlung der Blutneigung im Eimerverfahren. Verfahrensbedingte Einflussparameter. beton 62 (2012) H. 4, S. 110–115
- [16] Breitenbücher, R.; Siebert, B.: Zielsichere Herstellung von Industrieböden mit Hartstoffschichten. beton 56 (2006) H. 4, S. 148-156

