

SUMMARY

In Qatar it is permissible to use granulated blastfurnace slag meal, fly ash and microsilica as additions in concrete beside Portland cement. Granulated blastfurnace slag meal accounts for the largest proportion of concrete additions used in Qatar. However, it is not always available in the required quantity because, like the other concrete constituents (with the exception of Portland cement and water), it has to be imported. The aim of these investigations was to check the fundamental suitability of a locally available fly ash in concrete under realistic conditions when compared with a granulated blastfurnace slag that is also regionally available. Test mix formulations were designed on the basis of selected reference concretes and of the QCS 2010 series of standards valid in Qatar, the analyses of the constituent materials and the requirements for the fresh and hardened concrete properties. All the mix formulations were produced and tested in Qatar by a concrete test laboratory. It was found that the use of the available fly ash at lower water/binder ratios and slightly lower superplasticizer contents led to workability properties that were comparable with the properties of the reference concretes. This confirmed that, regardless of the temperature, fly ash can have a positive effect on the workability properties. As expected, the early strengths of concretes containing fly ash are lower. This is also normally associated with lower evolution of heat. The results of the durability investigations that were carried out showed that concretes containing fly ash can be placed in the same respective durability classes defined in QCS 2010 as the reference concretes containing granulated blastfurnace slag meal. ▲

ZUSAMMENFASSUNG

In Katar dürfen im Beton neben Portlandzement auch die Zusatzstoffe Hüttensandmehl, Flugasche und Mikrosilika verwendet werden. Hüttensandmehl stellt den größten Anteil der in Katar verwendeten Betonzusatzstoffe, steht aber nicht immer in der notwendigen Menge zur Verfügung, da es ebenso wie die anderen Betonausgangsstoffe – mit Ausnahme von Portlandzement und Wasser – importiert werden muss. Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, die prinzipielle Eignung einer vor Ort verfügbaren Flugasche im Vergleich zu einem ebenfalls regional verfügbaren Hüttensand im Beton praxisnah zu prüfen. Prüfrezepturen wurden basierend auf ausgewählten Referenzbetonen sowie auf der in Katar gültigen Normenreihe QCS 2010, den Analysen der Ausgangsstoffe sowie den Anforderungen an Frisch- und Festbetoneigenschaften konzipiert. Alle Rezepturen wurden in Katar von einem Betonprüflabor hergestellt und geprüft. Es zeigte sich, dass die Verwendung der zur Verfügung stehenden Flugasche bei geringeren Wasserbindemittelwerten und geringfügig geringeren Fließmittelgehalten zu Verarbeitungseigenschaften führte, die vergleichbar waren mit den Eigenschaften der Referenzbetone. Damit bestätigte sich hier, dass Flugasche temperaturunabhängig einen positiven Effekt auf die Verarbeitungseigenschaften haben kann. Die Frühfestigkeiten von flugaschehaltigen Betonen sind erwartungsgemäß geringer. Damit geht üblicherweise auch eine geringere Wärmeentwicklung einher. Die Ergebnisse der durchgeföhrten Dauerhaftigkeitsuntersuchungen zeigten, dass sich die Betone mit Flugasche in die jeweils gleichen Dauerhaftigkeitsklassen gemäß QCS 2010 einordnen ließen, ebenso wie die Referenzbetone mit Hüttensandmehl. ▲

Investigations on concretes containing fly ash for use in Qatar

Untersuchungen an flugaschehaltigen Betonen für den Einsatz in Katar

1 Initial situation

1.1 Terms of reference

In Qatar it is permissible to use granulated blastfurnace slag meal, fly ash and microsilica as specified in the QCS 2010 series of standards, Section 5, as additions in concrete beside Portland cement. There is no existing procedure comparable with the European k-value scheme for making allowance for concrete additions. Instead of this, QCS 2010, Section 5, defines exposure classes (» Table 1), associated performance criteria (» Table 2) and some other concrete technology conditions. For example:

- » maximum binder content: 500 kg/m³
- » maximum content of granulated blastfurnace slag meal: 70 mass % of binder content
- » maximum content of fly ash: 40 mass % of binder content
- » maximum content of microsilica: 8 mass % of binder content
- » maximum fresh concrete temperature: 32 °C
- » slump usually between 120 mm and 200 mm (on the construction site)
- » concretes for bulky structural elements:
 - no use of "R" cements
 - measures for limiting the heat of hydration (e.g. use of concrete additions, cooling of the concrete constituents)

The concrete constituents have limited availability in Qatar. Although Portland cement is produced in Qatar it is necessary to import the concrete additions, namely granulated blastfur-

Table 1: Exposure classes as specified in QCS 2010

Tabelle 1: Expositionsklassen gemäß QCS 2010

Exposure class	Description
C1: Low Exposure	All reinforced concretes occasionally exposed to humidity. Concrete surfaces protected against weather or aggressive conditions.
C2: Moderate Exposure	Concrete in contact with the ground or below ground, concrete at roof level and all exposed concrete. Concrete surfaces continuously under non-aggressive water. Concrete in contact with non-aggressive soil and subject to moisture condensation.
C3: Severe Exposure	Concrete in contact with the ground, alternate wetting and drying or severe condensation. Exposed to airborne chloride.
C4: Aggressive Exposure	Concrete surfaces exposed to sea water spray or in sea water tidal zone. Occasionally exposed to sea water spray. Exposed to corrosive fumes. Exposed to abrasive action. Where chloride corrosion is the main factor affecting concrete, such as in tidal zones, causeways and structural concrete in contact with water and airborne chloride, the contractor shall assign a specialist to verify and predict the life cycle of concrete. ASTM E-917 to be followed for basic standard measuring and ACI 365 for life-cycle costs of buildings and building systems.

1 Ausgangssituation

1.1 Aufgabenstellung

In Katar dürfen im Beton neben Portlandzement auch die Zusatzstoffe Hütten sandmehl, Flugasche und Mikrosilika gemäß der Normenreihe QCS 2010, Kapitel 5, verwendet werden. Eine dem europäischen k-Wert-Konzept vergleichbare Vorgehensweise zur Anrechnung von Betonzusatzstoffen existiert nicht. In QCS 2010, Kapitel 5 werden stattdessen Expositionsklassen (» Tabelle 1), zugehörige Performancekriterien (» Tabelle 2) sowie einige weitere betontechnologische Rahmenbedingungen definiert. Beispielsweise:

- » Maximaler Bindemittelgehalt: 500 kg/m³
- » Maximaler Gehalt an Hütten sandmehl: 70 M.-% vom Bindemittelgehalt
- » Maximaler Gehalt an Flugasche: 40 M.-% vom Bindemittelgehalt
- » Maximaler Gehalt an Mikrosilika: 8 M.-% vom Bindemittelgehalt
- » Maximale Frischbetontemperatur: 32 °C
- » Setzmaß üblicherweise zwischen 120 mm und 200 mm (auf der Baustelle)
- » Betone für massive Bauteile:
 - Keine Verwendung von „R“-Zementen
 - Maßnahmen zur Begrenzung der Hydratationswärme (z.B.: Verwendung von Betonzusatzstoffen, Kühlung der Betonausgangsstoffe)

Die Verfügbarkeit der Betonausgangsstoffe in Katar ist begrenzt: Während Portlandzement in Katar produziert wird, müssen die Betonzusatzstoffe Hütten sandmehl, Flugasche und Mikrosilika sowie die Gesteinskörnung importiert werden. Hütten sandmehl stellt den größten Anteil der in Katar verwendeten Betonzusatzstoffe, steht aber nicht immer in der notwendigen Menge zur Verfügung.

Ziel dieses Projekts war es daher, die prinzipielle Eignung einer vor Ort verfügbaren Flugasche im Vergleich zu einem ebenfalls regional verfügbaren Hütten sand praxisnah im Beton zu prüfen. Da die Versuche mit den vor Ort üblichen Betonausgangsstoffen durchgeführt werden sollten und diese Materialien nicht in ausreichender Menge exportiert werden dürfen, wurden die Versuche in Katar durchgeführt.

Verschiedene in Katar gängige Betonzusammensetzungen wurden als Referenzen ausgewählt: » Tabelle 5 zeigt die Betonzusammensetzung für massive Bauteile (C1), für die Anwendung in moderater Exposition gemäß QCS 2010 (C2),

nace slag meal, fly ash and microsilica and aggregates. Granulated blastfurnace slag meal accounts for the majority of concrete additions used in Qatar but is not always available in the necessary quantities.

The aim of this project was therefore to check the fundamental suitability of locally available fly ash in concrete under realistic conditions when compared with a granulated blastfurnace slag that is also regionally available. The trials were to be carried out with the concrete constituents normally used on site. These materials are not allowed to be exported in sufficient quantities so the trials were carried out in Qatar.

Various concrete compositions that are common in Qatar were chosen as reference concretes. Table 5 shows the concrete compositions for bulky structural elements (C1), for use under moderate exposure as defined in QCS 2010 (C2), for use under maximum exposure as defined in QCS 2010 (C3) and for a water reservoir (C7). A comparison concrete containing fly ash was designed to match each of these reference compositions containing granulated blastfurnace slag. As QCS 2010, Section 5, Para. 5.3.2, limits the maximum permissible fly ash content to 40 % with respect to the binder content in some cases mixtures of granulated blastfurnace slag and fly ash were used in the comparison concretes.

For logistical and time reasons it was not possible to carry out iterative optimization of the concrete composition on site. Instead of this, the analysis of the constituents (Section 3) was used to design a test mix formulation for each reference mix formulation. This had to comply with the following conditions:

- » constant binder content in the concrete
- » constant paste content (therefore low water/binder ratio for concrete compositions containing fly ash)
- » consistent workability properties

Table 2: Durability requirements as specified in QCS 2010
Tabelle 2: Dauerhaftigkeitsanforderungen gemäß QCS 2010

Requirement	Unit	Exposure class			
		C1	C2	C3	C4
Water penetration depth acc. to EN 12390-8	mm	25	15	10	5
Water absorption acc. to BS1881, Part 122	%	2.5	2.0	1.6	1.2
Resistance to chloride penetration acc. to ASTM C1202	C	4000	2000	1000	500
Resistance to chloride migration acc. to NT Build 492	m ² /s	–	5.0×10 ⁻¹²	3.0×10 ⁻¹²	1.0×10 ⁻¹²



Figure 1: Lusail City – a new part of the town in northern Doha for about 250 000 residents; the entire infrastructure was built using fly ash

Bild 1: Lusail City – ein neuer Stadtteil im Norden Dohas für ca. 250 000 Einwohner; die komplette Infrastruktur wird u.a. unter Verwendung von Flugasche gebaut

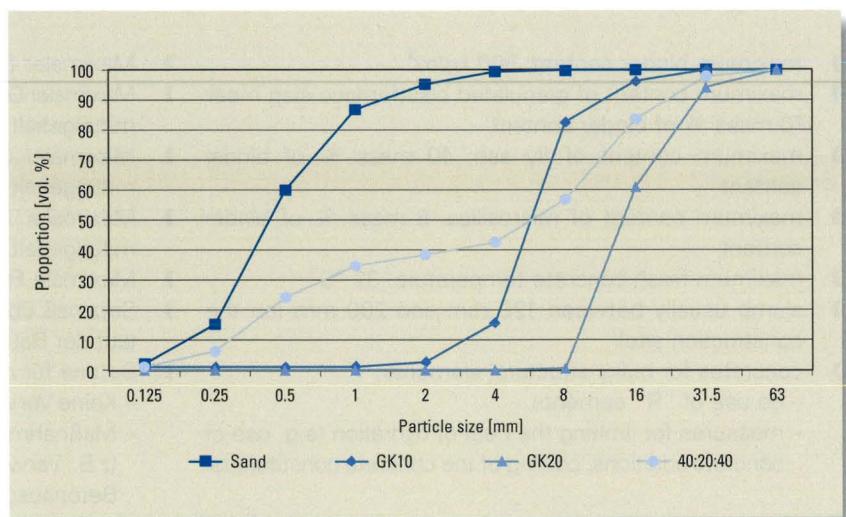


Figure 2: Aggregate grading curves

Bild 2: Sieblinien der Gesteinskörnung

für die Anwendung in der höchsten Exposition gemäß QCS 2010 (C3) sowie für ein Wasserreservoir (C7). Zu jeder dieser hütten sandhaltigen Referenzzusammensetzungen wurde ein Vergleichsbeton mit Flugasche konzipiert. Da der maximal zulässige Flugaschegehalt gemäß QCS 2010, Kapitel 5, Absatz 5.3.2, auf 40 % bezogen auf den Bindemittelgehalt begrenzt ist, wurden in den Vergleichsbetonen teilweise

Table 3: Constituents

Tabelle 3: Ausgangsstoffe

Constituent	Abbreviation
Portland cement	C
Granulated blastfurnace slag meal	S
Fly ash ASTM C618 Class F	V
Microsilica ASTM C1240	D
Sand	–
Aggregate, chippings, max. size 10 mm	GK10
Aggregate, chippings, max. size 20 mm	GK20
Superplasticizer PCE HaBe RMC 414	–

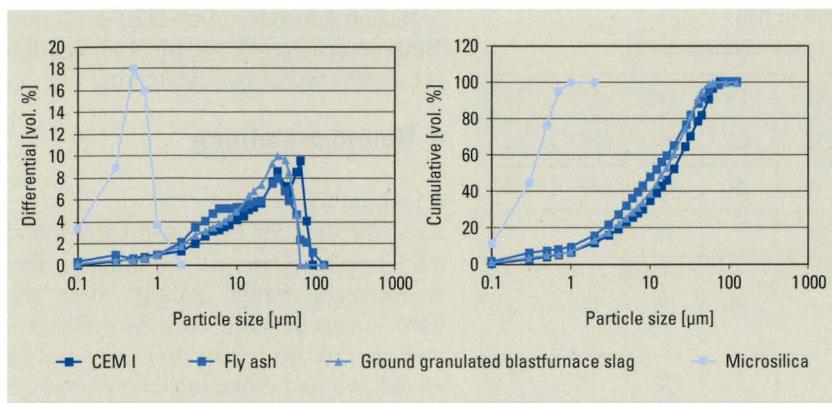


Figure 3: Particle size distribution of the Portland cement and of the concrete additions (left: differential representation; right: cumulative curve)

Bild 3: Partikelgrößenverteilung des Portlandzements und der Betonzusatzstoffe (links: Differenzielle Darstellung; rechts: Summenkurve)

Table 4: Chemical composition of the constituents Portland cement C, fly ash V, granulated blastfurnace slag meal S and microsilica D

Tabelle 4: Chemische Zusammensetzung der Ausgangsstoffe Portlandzement C, Flugasche V, Hütten sandmehl S und Mikrosilika D

Parameter	Unit	C	V	S	D
SiO ₂	mass %	19.9	53.0	33.3	77.0
Al ₂ O ₃	mass %	4.49	20.8	13.9	0.87
TiO ₂	mass %	0.22	0.87	0.54	0.02
P ₂ O ₅	mass %	0.17	0.29	0.02	0.05
Fe ₂ O ₃	mass %	3.01	10.8	0.50	10.8
Mn ₂ O ₃	mass %	0.05	0.08	0.22	0.19
MgO	mass %	4.18	3.59	4.76	1.54
CaO	mass %	62.9	4.94	42.6	0.60
SO ₃	mass %	2.69	0.38	0.11	0.35
K ₂ O	mass %	0.49	1.86	0.35	3.57
Na ₂ O	mass %	0.15	1.79	0.22	0.77
Sodium equivalent	mass %	0.47	3.01	0.45	3.11
CO ₂ , 950 °C	mass %	1.12	0.10	2.18	2.91
H ₂ O, 950 °C	mass %	0.75	0.26	0.61	1.46
Loss on ignition	mass %	1.86	0.36	2.79	4.37
Total	mass %	100.1	98.8	99.4	100.1
C ₃ S	mass %	65.5	n.d.*)		
C ₂ S	mass %	8.63			
C ₃ A	mass %	6.94			
C ₄ AF	mass %	9.34			
Density	g/cm ³	3.16	2.50	2.88	2.39
Fineness, Blaine	cm ² /g	3150	3170	4160	n.d.*)
Fineness, BET	cm ² /g	n.d.*)			150460

*⁾ n.d. = not determined

- » concrete compressive strengths that are as comparable as possible
- » durability performance that is as comparable as possible

The results shown here therefore do not necessarily represent the optimum for the use of the fly ash under investigation.

Mischungen von Hütten sand und Flugasche verwendet.

Aus logistischen und zeitlichen Gründen konnte eine iterative Optimierung der Betonzusammensetzung vor Ort nicht durchgeführt werden. Stattdessen wurde anhand der Ausgangsstoffanalysen (Kapitel 3) je Referenzrezeptur eine Prüfrezeptur konzipiert, die folgende Bedingungen einhalten sollte:

- » Konstanter Bindemittelgehalt im Beton
- » Konstanter Leimgehalt (damit geringerer Wasserbindemittelwert bei flugaschehaltigen Betonzusammensetzungen)
- » Gleichbleibende Verarbeitbarkeiteigenschaften
- » Möglichst vergleichbare Betondruckfestigkeit
- » Möglichst vergleichbare Dauerhaftigkeitsperformance

Die hier dargestellten Ergebnisse stellen daher nicht zwangsläufig ein Optimum für den Einsatz der untersuchten Flugasche dar.

2 Analyse der Ausgangsstoffe

Die Ausgangsstoffe sind in » Tabelle 3 zusammengestellt. Die Analyse der Ausgangsstoffe fand im Vorfeld der Betonversuche beim Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) statt.

Die Kornzusammensetzung der Gesteinskörnungen wurde gemäß DIN EN 933-1 ermittelt. » Bild 2 zeigt die Kornzusammensetzungen der Gesteinskörnungen sowie die für alle Betone verwendete Gesamtsieblinie, die aus den Einzelfraktionen vor Ort zusammengestellt wurde. Die Gesteinskörnungen GK10 und GK20 wiesen vor Ort nach Augenschein deutlich höhere Feinanteile auf als die Proben, die rund ein halbes Jahr zuvor im VDZ geprüft wurden. Entsprechend wurde die Sieblinie an die Gegebenheiten vor Ort angepasst (Zusammensetzung Sand:GK10:GK20 = 40:20:40).

Die Partikelgrößenverteilung des Portlandzements und der Betonzusatzstoffe wurde mittels Lasergranulometrie ermittelt. » Bild 3 zeigt die Ergebnisse.

Die chemische Zusammensetzung des Portlandzements und der Betonzusatzstoffe wurde mittels Röntgenfluoreszenzanalyse, einem Alternativverfahren gemäß DIN EN 196-2, geprüft. » Tabelle 4 zeigt

3 Betonzusammensetzungen

Die Zusammensetzung der Betone zeigen die » Tabellen 5 und 6. Die Fließmittelmengen zur Einstellung einer ein-

Table 5: Reference compositions (RC) and test compositions (TC)

Tabelle 5: Referenzzusammensetzungen (RZ) und Prüfzusammensetzungen (PZ)

Parameter	Unit	C1	C4	C2	C5	C3	C6	C7	C8
		RC	TC	RC	TC	RC	TC	RC	TC
Cement	mass %	29	35	60	70	45	50	40	60
Fly ash	mass %	–	30	–	25	–	25	–	35
Granulated blastfurnace slag	mass %	66	30	35	–	50	20	60	–
Microsilica	mass %	5	5	5	5	5	5	–	5
w/b		0.34	0.33	0.35	0.34	0.32	0.31	0.35	0.34
Superplasticizer	% w.r.t. b.	1.0	1.0	0.9	0.7	1.0	0.9	1.3	1.2

% w.r.t. b: relative to the binder content (cement + granulated blastfurnace slag meal + fly ash + microsilica)

Table 6: Reference compositions (RC) and test compositions (TC)

Tabelle 6: Referenzzusammensetzungen (RZ) und Prüfzusammensetzungen (PZ)

Parameter	Unit	C1	C4	C2	C5	C3	C6	C7	C8
		RC	TC	RC	TC	RC	TC	RC	TC
Cement	kg/m³	108.0	129.9	258.0	301.0	205.0	226.3	160.0	240.0
Fly ash	kg/m³	–	111.0	–	107.5	–	113.1	–	140.0
Granulated blastfurnace slag	kg/m³	244.0	111.0	150.5	–	225.0	90.5	240.0	–
Microsilica	kg/m³	18.0	18.1	21.5	21.5	22.5	22.6	–	20.0
Total	kg/m³	370.0	370.0	430.0	430.0	452.5	452.5	400.0	400.0
w/b		0.34	0.33	0.35	0.34	0.32	0.31	0.35	0.34
Superplasticizer	% w.r.t. b.	1.0	1.0	0.9	0.7	1.0	0.9	1.3	1.2

% w.r.t. b: relative to the binder content (cement + granulated blastfurnace slag meal + fly ash + microsilica)

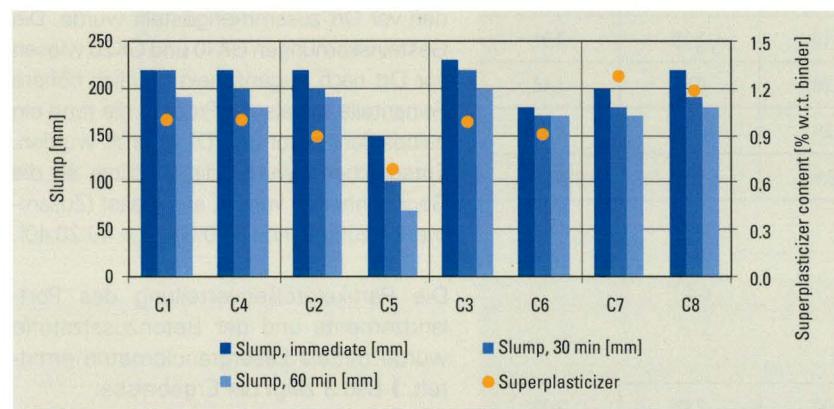


Figure 4: Slump

Bild 4: Setzmaß

2 Analysis of the constituents

The constituents are listed in Table 3. The constituents had been analyzed in advance at the German Cement Works Association (VDZ) before the concrete trials.

The particle size compositions of the aggregates were determined in accordance with DIN EN 933-1. Fig. 2 shows

heitlichen Konsistenz von (220 ± 10) mm (Setzversuch gemäß ASTM C143) wurden in Einstellmischungen bestimmt.

4 Betonherstellung

4.1 Allgemeines

Zum Mischen des Betons in Katar stand ein Freifallmischer zur Verfügung. Einstellversuche hatten gezeigt, dass die Betonausgangsstoffe ab einem Füllvolumen von rd. 30 l nicht mehr zuverlässig verteilt wurden. Entsprechend wurden je Betonzusammensetzung so viele Chargen (jeweils 25 l bis 30 l) produziert, wie zur Bestimmung der Frisch- und Festbetoneigenschaften benötigt wurden.

Gemäß QCS 2010 darf Beton mit einer Frischbetontemperatur von maximal 32 °C verwendet werden. Hierzu dürfen die Gesteinskörnung bzw. das Wasser gekühlt werden. Da letzteres die in Katar üblichere Methode darstellt, wurde in diesem Projekt das Zugabewasser mittels Zugabe von Eis auf eine Temperatur von (5 ± 1) °C gekühlt. Die übrigen Betonausgangsstoffe wurden mit Raumtemperatur (rd. 35 °C) verwendet.

Da die Gesteinskörnung vollständig trocken vorlag, wurde der Wassergehalt der Betone um die Wasseraufnahme der Gesteinskörnung erhöht. In Ermangelung entsprechender Prüfeinrichtungen (beispielsweise Drahtkorb- oder Pyknometerverfahren gemäß EN 1097-6) wurde die benötigte Wassermenge für einen visuell nicht mehr trockenen, aber noch nicht glänzenden Zustand („kernfeucht und oberflächentrocken“) der Gesteinskörnung gravimetrisch zu rd. 1,1 M.-% der Gesteinskörnung bestimmt.

4.2 Mischregime

Die Gesteinskörnung wurde rd. 30 s trocken vorgemischt. Anschließend wurde 1/3 des Wassers zugegeben und weitere rd. 30 s gemischt. Der Zement sowie die Betonzusatzstoffe wurden zugegeben und für wenige Sekunden gemischt. Abschließend erfolgte die Zugabe des übrigen Wassers (2/3) sowie der benötigten Fließmittelmenge. Es wurde solange gemischt, bis das Fließmittel augenscheinlich vollständig aufgeschlossen war, d.h. bis sich augenscheinlich eine homogene Betonmasse in der angestrebten Konsistenz zeigte (rund fünf weitere Minuten).

4.3 Frischbetoneigenschaften

Das Setzmaß gemäß ASTM C143, das zugehörige Setzfließmaß (ohne Hubstöße) sowie das Ausbreitmaß gemäß DIN EN 12350-5 wurden direkt nach dem Mischen, nach 30 min sowie 60 min nach Mischende bestimmt. Der Beton wurde zwischen den Versuchen jeweils mit Plastikfolie abge-

the particle size composition of the aggregates and the overall grading curve used for all the concretes. This was made up on site from the individual fractions. Visual examination on site indicated that the aggregates GK10 and GK20 contained a significantly larger proportion of fines than the samples that had been tested about half a year earlier at the VDZ. The grading curve was therefore adjusted correspondingly to match the conditions on site (composition – sand: GK10:GK20 = 40:20:40).

The particle size distributions of the Portland cement and of the concrete additions were determined by laser granulometry. The results are shown in Fig. 3.

The chemical compositions of the Portland cement and of the concrete additions were checked by X-ray fluorescence analysis, an alternative method specified in DIN EN 196-2. The results are shown in Table 4.

3 Concrete compositions

The concrete compositions are shown in Tables 5 and 6. The quantities of superplasticizer needed to obtain a uniform consistency of 220 ± 10 mm (slump test as defined in ASTM C143) were determined in experimental mixtures.

4 Concrete production

4.1 General

A free-fall mixer was available in Qatar for mixing the concrete. Preliminary trials had shown that the concrete constituents could not be distributed reliably above a filling volume of about 30 l. Depending on the concrete composition, as many batches (each 25 l to 30 l) were therefore produced as were needed for determining the fresh and hardened concrete properties.

According to QCS 2010 it is permissible to use concrete with a maximum fresh concrete temperature of 32°C . The aggregate or the water may be cooled for this purpose. The latter is the more usual method in Qatar so in this project the mixing water was cooled to a temperature of $5 \pm 1^\circ\text{C}$ by the addition of ice. The other concrete constituents were used at room temperature (about 35°C).

The aggregate was completely dry so the water content of the concretes was increased by the amount of water absorbed by the aggregate. In the absence of appropriate test equipment (e.g. the wire basket or pycnometer methods specified in EN 1097-6) the quantity of water required for the aggregate to achieve a state that is visually no longer dry but is not yet shining ("moist core and dry surface") was determined gravimetrically as about 1.1 mass % of the aggregate.

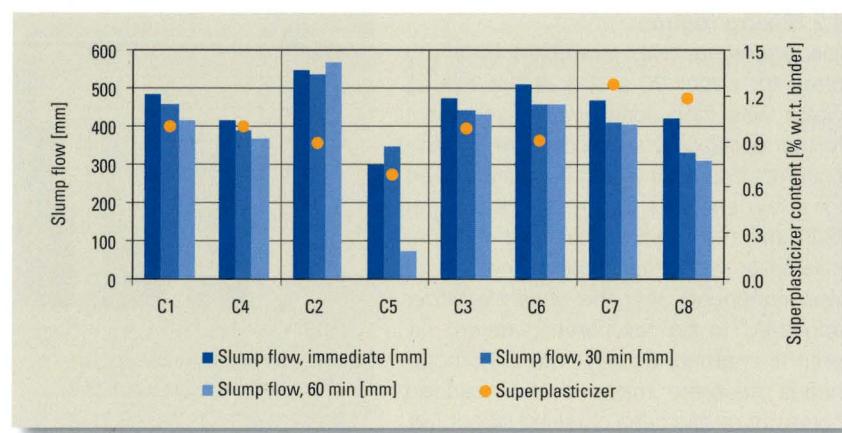


Figure 5: Sump flow

Bild 5: Setzfließmaß

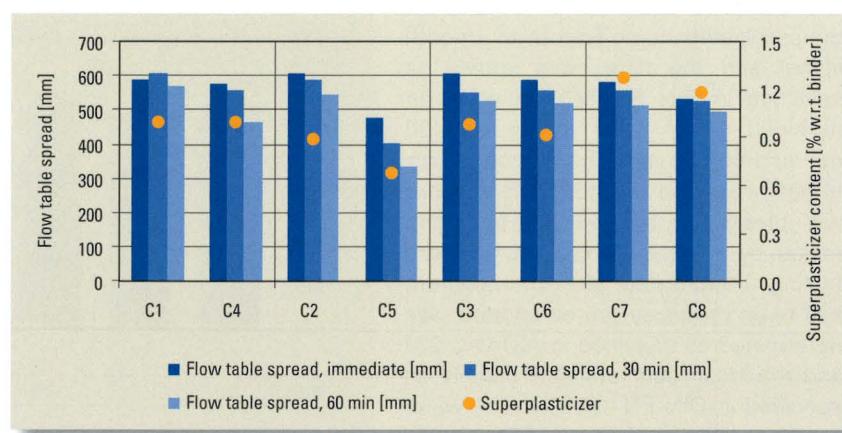


Figure 6: Flow table spread

Bild 6: Ausbreitmaß

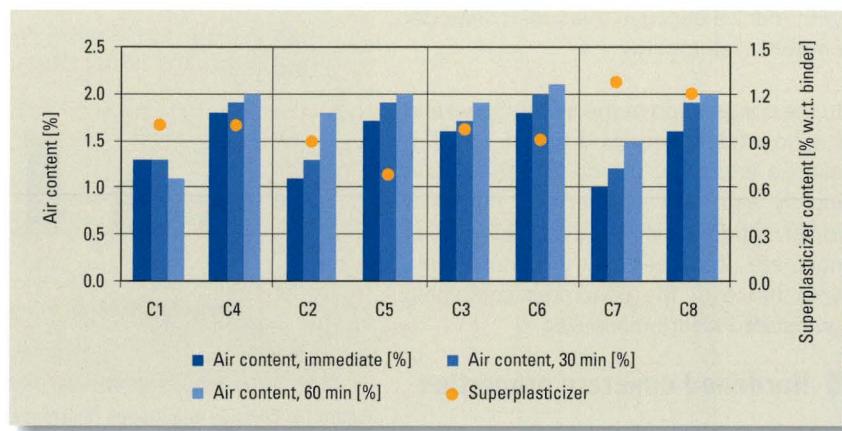


Figure 7: Air content

Bild 7: Luftgehalt

deckt und vor der Prüfung per Hand für rd. 10 s aufgemischt. Direkt nach Herstellung des Betons wurden der Luftgehalt gemäß ASTM C 231 und die Frischbetonrohdichte gemäß DIN EN 12350-6 bestimmt. Das Wasseraussondern gemäß ASTM C 232 wurde 10 min nach Mischende bestimmt. Die Bilder 4 bis 7 zeigen die Ergebnisse. Bei Mischung C5 wurde das Zielsetzmaß in Folge des zu geringen Fließmittelgehaltes nicht erreicht.

Beim Vergleich der Setzfließmaße sowie der Ausbreitmaße (Bilder 5 und 6) zeigt sich, dass die flugaschehaltigen Betone bei geringerem w/b-Wert und geringerem Fließmittelleinsatz Frischbetoneigenschaften aufweisen, die mit den

4.2 Mixing regime

The aggregate was premixed in a dry state for about 30 s. 1/3 of the mixing water was then added and mixed for a further approx. 30 s. The cement and the concrete additions were added and mixed for a few seconds. The rest of the water (2/3) and the required quantity of superplasticizer were then added. The mixing was continued until the superplasticizer appeared to be fully broken down, i.e. until it seemed visually that a homogeneous concrete mass of the required consistency had been obtained (about five further minutes).

4.3 Fresh concrete properties

The slump as specified in ASTM C143, the associated slump flow (with smooth lifting) and the flow table spread as specified in DIN EN 12350-5 were determined directly after mixing, and 30 min and 60 min after the end of mixing. In each case the concrete was covered with plastic film between the tests and mixed by hand for about 10 s before testing. Immediately after the concrete had been produced the air content was determined as specified in ASTM C 231 and the fresh concrete bulk density as specified in DIN EN 12350-6. The water secretion as specified in ASTM C 232 was determined 10 min after the end of mixing. The results are shown in Figs. 4 to 7. The target slump was not achieved with mix C5 because the superplasticizer content was too low.

In the comparison of the slump flows and the flow table spreads (Figs. 5 and 6) it can be seen that the concretes containing fly ash with a lower w/b ratio and lower superplasticizer input exhibit fresh concrete properties that are comparable with those of the concretes containing granulated blastfurnace slag.

5 Hardened concrete properties

5.1 Production of the test specimens

The test specimen moulds were each filled in three layers and compacted by strokes with a rammer for each layer in accordance with ASTM C192. The test specimens were removed from the mould after one day and stored under water at 20 °C until testing.

5.2 Concrete compressive strength

The concrete compressive strength was tested by the technical laboratory at the age of 2, 7 and 28 days as specified in DIN EN 12390-3 on cubes with edge lengths of 150 mm. The results are shown in Figs. 8 and 9. As expected, the early strengths of the concretes containing fly

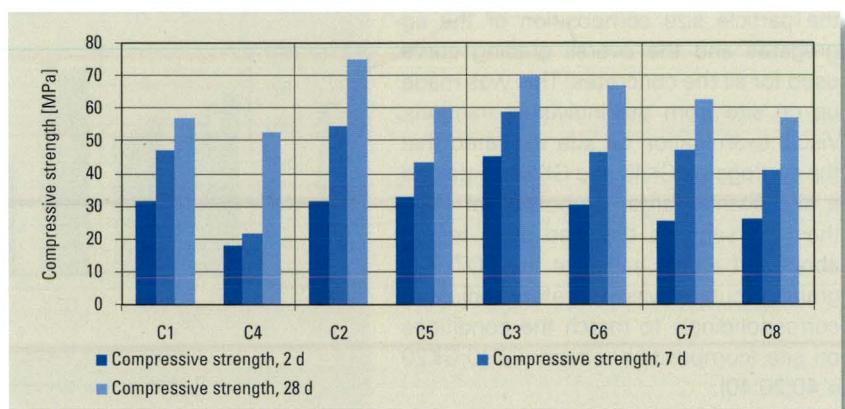


Figure 8: Compressive strengths

Bild 8: Druckfestigkeiten

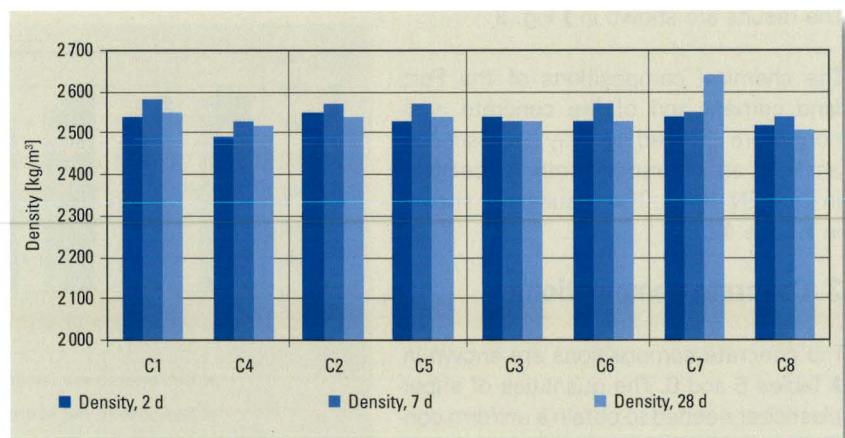


Figure 9: Hardened concrete bulk densities

Bild 9: Festbetonrohdichten

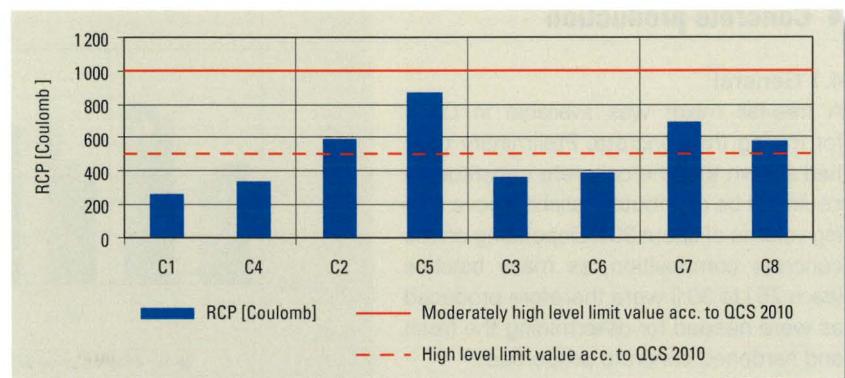


Figure 10: Chloride penetration resistance RCP

Bild 10: Chlorideindringwiderstand RCP

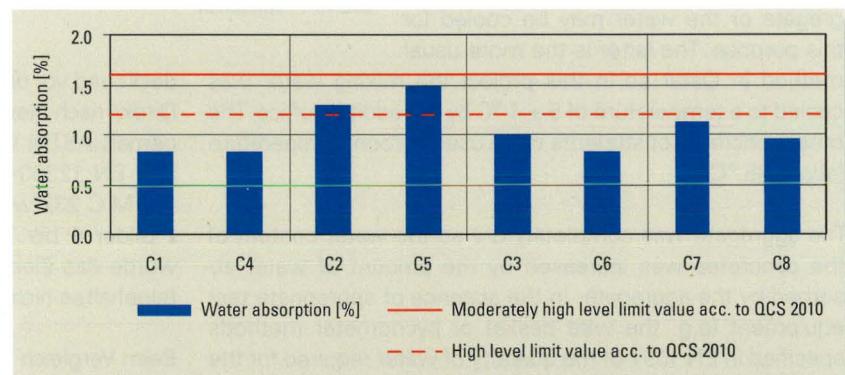


Figure 11: Water absorption as specified in BS 1881, Part 122

Bild 11: Wasseraufnahme gemäß BS 1881, Teil 122

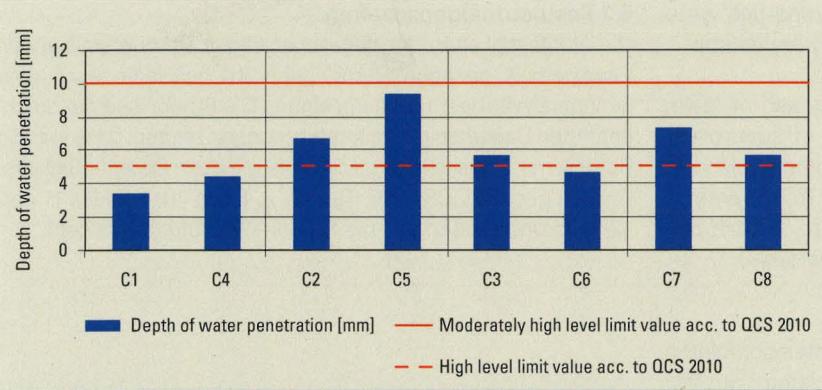


Figure 12: Depth of water penetration as specified in DIN EN 12390-8

Bild 12: Wassereindringtiefe gemäß DIN EN 12390-8

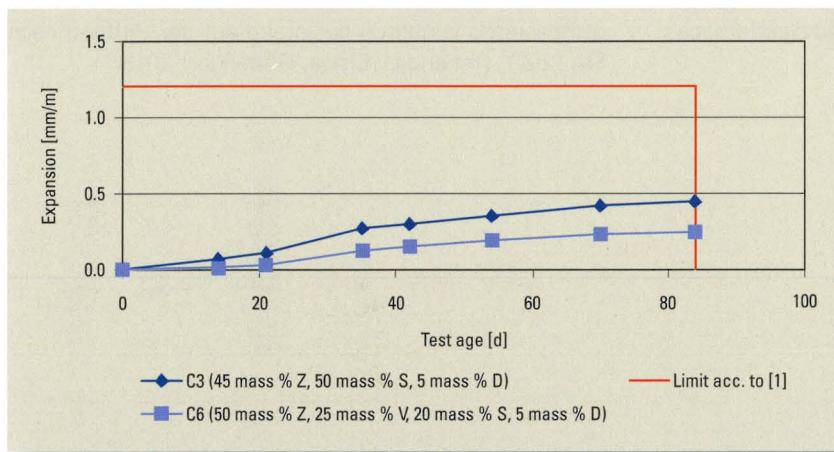


Figure 13: Sulfate resistance as specified in SIA 262, Appendix D

Bild 13: Sulfatwiderstand gemäß SIA 262, Anhang D

ash are lower. This is usually also accompanied by the evolution of less heat.

5.3 Resistance to chloride penetration

The resistance to chloride penetration was determined by the technical laboratory at the age of 28 days in accordance with ASTM C 1202. The results are shown in Fig. 10.

5.4 Water absorption and water permeability under pressure

The water absorption and water permeability under pressure were determined by the technical laboratory in accordance with BS 1881, Part 122 and DIN EN 12390-8 respectively at the age of 28 days. The results are shown in Figs. 11 and 12.

5.5 Sulfate resistance

Three concrete cubes each with edge lengths of 150 mm with the C3 and C6 mix formulations were sent to the VDZ for sulfate resistance testing. Six drill cores with a diameter of 29 mm were taken for each type of concrete. The testing started at the age of 36 days in accordance with SIA 262/1, Appendix D.

6 Evaluation of the results

6.1 Fresh concrete properties

The aim when setting the fresh concrete consistency was to achieve a uniform slump of 220 ± 10 mm, determined by the slump test specified in ASTM C143. This objective was not achieved with mix C5 because the superplasticizer level was too low. However, this mix also gave fresh concrete with good workability and compactibility. The fresh concrete den-

hüttensandhaltigen Betonen vergleichbar sind.

5 Festbetoneigenschaften

5.1 Probekörperherstellung

Die Prüfkörper wurden in jeweils drei Lagen gefüllt und durch Stöße mit einem Stampfer je Lage gemäß ASTM C192 verdichtet. Die Prüfkörper wurden nach einem Tag entformt und bis zur Prüfung unter Wasser bei 20 °C gelagert.

5.2 Betondruckfestigkeit

Die Betondruckfestigkeit wurde im Alter von 2, 7 und 28 Tagen gemäß DIN EN 12390-3 an Würfeln mit einer Kantenlänge von 150 mm durch das TechLab geprüft. Die Bilder 8 und 9 zeigen die Ergebnisse. Die Frühfestigkeiten der flugaschehaltigen Betone sind erwartungsgemäß geringer. Damit geht üblicherweise auch eine geringere Wärmeentwicklung einher.

5.3 Chlorideindringwiderstand

Der Chlorideindringwiderstand wurde gemäß ASTM C 1202 im Alter von 28 Tagen durch das TechLab bestimmt. Bild 10 zeigt die Ergebnisse.

5.4 Wasseraufnahme und Wasserdrückfestigkeit

Die Wasseraufnahme und die Wassereindringtiefe unter Druck wurden gemäß BS 1881, Teil 122 bzw. DIN EN 12390-8 im Alter von 28 Tagen durch das TechLab bestimmt. Die Bilder 11 und 12 zeigen die Ergebnisse.

5.5 Sulfatwiderstand

Für die Prüfung des Sulfatwiderstands wurden jeweils drei Betonwürfel mit einer Kantenlänge von 150 mm der Betonrezepturen C3 und C6 an den VDZ versandt. Je Betonsorte wurden sechs Bohrkerne mit einem Durchmesser von $\varnothing = 29$ mm entnommen. Mit der Prüfung gemäß SIA 262/1, Anhang D wurde im Alter von 36 Tagen begonnen.

6 Bewertung der Ergebnisse

6.1 Frischbetoneigenschaften

Ziel für die Einstellung der Frischbetonkonsistenz war ein einheitliches Setzmaß von (220 ± 10) mm, bestimmt mit dem Setzversuch gemäß ASTM C143. Bei Mischung C5 wurde infolge des zu geringen Fließmittelgehalts das Zielsetzmaß nicht erreicht. Dennoch ergab auch diese Mischung einen gut verarbeitbaren und verdichtbaren Frischbeton. Die Festbetonrohdichte (Bild 9) sowie die weiteren Festbetoneigenschaften wurden durch die vergleichsweise geringe Setzmaß nicht signifikant beeinflusst.

Es zeigte sich, dass die Verwendung der zur Verfügung stehenden Flugasche bei geringeren Wasserbindemittelwerten und geringfügig geringeren Fließmittelgehalten zu Verarbeitungseigenschaften führte, die vergleichbar den Eigenschaften der Referenzbetone waren. Damit bestätigte sich hier, dass Flugasche temperaturunabhängig einen positiven Effekt auf die Verarbeitungseigenschaften haben kann.

sity (Fig. 9) and the other fresh concrete properties were not significantly affected by the comparatively low slump.

It was found that the use of the available fly ash at lower water/binder ratios and slightly lower levels of superplasticizer led to workability properties that were comparable with the properties of the reference concretes. This therefore confirmed that, regardless of the temperature, fly ash can have a positive effect on the workability properties.

6.2 Hardened concrete properties

As expected, the early strengths of the concretes containing fly ash are lower, which is usually also associated with the evolution of less heat. The results of the durability investigations that were carried out showed that the concretes made with fly ash can be classified in the same respective durability classes as defined in QCS 2010 (Table 2, Fig. 10, Figs. 11 and 12) as the concretes made with granulated blastfurnace slag meal. ▲

6.2 Festbetoneigenschaften

Die Frühfestigkeiten der flugaschehaltigen Betone sind erwartungsgemäß geringer. Damit geht üblicherweise auch eine geringere Wärmeentwicklung einher. Die Ergebnisse der durchgeführten Dauerhaftigkeitsuntersuchungen zeigten, dass sich die Betone mit Flugasche in die jeweils gleichen Dauerhaftigkeitsklassen gemäß QCS 2010 (Tabelle 2, Bild 10, Bilder 11 und 12) einordnen ließen wie die Betone mit Hüttensandmehl. ▲

LITERATURE / LITERATUR

- [1] Loser, R.; Leemann, A: Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D. Empa, Dübendorf 2013.

Since 70 years your specialist for casting and steel from Düsseldorf

Whether cast, forged or welded; we deliver **wear-resistant products** also for your facility.

crusher

primary
hammer
jaw
cone
impact
gyratory
roller

mills

ball mills
tube mills
roller mills

furnaces and coolers

rotary kilns
satellite coolers
clinker coolers
preheaters

You need more information? Please contact:

Mr Wünsche

Tel.: 0049/211/9469-752

E-Mail: Wolfgang.Wuensche@wegusta.com

www.wegusta.com

Management System ISO 9001:2008 ID 9108624009

86

CEMENT INTERNATIONAL ▶ 4/2016 ▶ VOL. 14