

Betonflächen mit Sichtbetonanforderungen

Von Thomas Freimann, Sehnde-Höver

1 Einleitung

Sowohl in anspruchsvollen Verwaltungsbauten als auch im Wohnungsbau hat der Sichtbeton in den vergangenen Jahren wieder vermehrt Anwendung gefunden. Unter Sichtbeton wird allgemein eine Betonoberfläche mit festgelegten Anforderungen an das Aussehen verstanden. Die Gestaltungsmöglichkeiten derartiger Betonoberflächen sind vielfältig und u.a. sowohl von der konstruktiven als auch ausführungstechnischen Detailplanung für das jeweilige Bauteil abhängig. Gestaltungsmerkmale wie z.B. Schalhautstruktur, Fugen und Farbgebung bestimmen maßgeblich die unmittelbare architektonische Wirkung, aber auch die Veränderung des Erscheinungsbilds durch Nutzungseinflüsse wie beispielsweise die Entwässerung. Neben der Gestaltung der Betonoberfläche sind Anforderungen an Betonzusammensetzung und -einbau zu stellen, um eine ausreichende Dauerhaftigkeit zu erzielen.

2 Begriff „Sichtbeton“

Nach DIN 18217 „Betonoberflächen und Schalhaut“ [1] und dem 2004 neu erschienenen BDZ/DBV-Merkblatt „Sichtbeton“ [2] werden sichtbar bleibende Ansichtsflächen aus Beton mit *Anforderungen an das Aussehen* als Sichtbeton bezeichnet. Die Anforderungen an die Betonoberfläche müssen individuell und ausreichend beschrieben werden. Die alleinige Angabe „Sichtbeton“

im Leistungsverzeichnis reicht ohne eine Konkretisierung nicht aus.

DIN EN 206-1 [3] fordert im Abschnitt „Festlegung“: *„In besonderen Fällen (z.B. Sichtbeton) sollten zusätzliche Angaben über Betonzusammensetzung sowie Anforderungen an die Betonausgangsstoffe zwischen Hersteller, Verwender und Verfasser der Festlegung vereinbart werden.“*

Verschiedene Regelwerke und Merkblätter geben Hinweise zu Planung und Ausführung von Sichtbetonbauwerken. Vor allem das DBV/BDZ-Merkblatt „Sichtbeton“ legt für Deutschland erstmalig konkrete Sichtbetonklassen mit definierten Anforderungen fest. Für den deutschsprachigen Raum können folgende Regelwerke angeführt werden:

Deutschland:

- ❑ DIN 18217: „Betonflächen und Schalungshaut“, Ausgabe 12/1981 [1]
- ❑ DBV/BDZ-Merkblatt Sichtbeton, Ausgabe 2004 [2]
- ❑ Merkblatt über Sichtbetonflächen von Fertigteilen aus Beton und Stahlbeton, Fassung 1999, FDB, Bonn [4]

Österreich:

- ❑ ÖNORM B 2211: Beton- und Stahlbetonarbeiten, Ausgabe 07.1986 [5]
- ❑ Merkblatt „Geschalte Betonflächen“ („Sichtbeton“), Ausgabe 06.2002, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Wien [6]

3 Leistungsbeschreibung von Sichtbetonbauteilen

Eine detaillierte und aussagekräftige Leistungsbeschreibung zu Anforderungen an das Sichtbetonbauteil ist Voraussetzung für eine vollständige Kalkulation des Auftragnehmers und für die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Angebote. Sie dient weiterhin als Grundlage für die Abnahme fertiger Bauteile und muss Kriterien für die Beurteilung der ausgeführten Leistung enthalten. Die wesentlichen Elemente, die in einer Leistungsbeschreibung für Sichtbetonbauteile angesprochen werden sollten, sind in **Tafel 1** zusammengestellt.

In dem DBV/BDZ-Merkblatt „Sichtbeton“ wird vom Planenden eine detaillierte Festlegung in eine Klasseneinteilung gefordert. Je nach Anforderung werden Klassen hinsichtlich Textur/Schalhaut, Porigkeit, Farbtongleichheit, Arbeitsfugen, Ebenheit und Musterflächen festgelegt. Eine Übersicht über die Sichtbetonklassen und die daraus folgenden Anforderungen ist in den **Tafeln 2, 3a, 3b und 3c** dargestellt.

Die Wahl des Schalmusterplans sowie die Art der Flächengliederung (Vorsprünge und Simse, Fensterbrüstungen, zurückspringende horizontale oder vertikale Leisten) beeinflussen nicht nur die architektonische Gestaltung, sondern sind auch für die Entwässerung der Oberfläche von entscheidender Bedeutung (**Bild 1**). Durch gezielte Strukturierungen in der Fassadenfläche lassen sich auf lange Sicht negative Verschmutzungen und Laufspuren durch Niederschläge erheblich abmildern.

Für eine nahezu freie Gestaltung der Schalhautabmessungen und Ankeranordnungen kommen meist nur auf-

Tafel 1: Wesentliche Elemente einer Leistungsbeschreibung für Sichtbetonbauteile

Konstruktion	- Schalungsart (i.d.R. Trägerschalung → freie Wahl von Schalhaut und Ankeranordnung) - Ebenheitsanforderungen (ggf. besondere Aussteifung der Schalung)
Gestaltung	- Flächenaufteilung, Schalungsmusterplan - Fugenaufteilung, Fugenausbildung (Schattenfugen, Betonierfugen, Leisten) - Stoß- und Eckausbildung (ggf. Abdichtung, Dreikantleiste) - Anordnung der Schalungsanker (Typ, Verschluss) - Forderung nach punktförmigen Abstandhaltern aus Faserzement
Textur	- Art der Schalhaut (Typ, saugend oder nicht saugend) - Anforderungen an nicht geschalte, abgeriebene oder geschleibte Oberflächen - nachträgliche Bearbeitung (Absäuern, Strahlen, steinmetzmäßige Bearbeitung)
Farbgebung	- Einsatz von Farbpigmenten oder Flüssigfarben - Anfertigung von Farbmustern - Auswahl besonderer Zemente (z.B. Hochofenzemente für besonders helle bzw. bei Einfärbungen für farbintensive Flächen) - Auswahl besonderer Gesteinskörnungen (bei nachträglicher Bearbeitung der Oberfläche) - besondere Anforderungen an Herstelltoleranzen (w/z-Wert-Schwankungen, Mischzeiten, Gleichmäßigkeit von Ausgangsstoffen) - Auftrag von Lasuren
Beurteilung	- Vereinbarung von Muster- oder Erprobungsflächen (Maßstäblichkeit beachten); Festlegung einer Referenzfläche - ggf. Vergleichsbauwerke (Randbedingungen vergleichen) - Beurteilungsabstand festlegen (z.B. üblicher Betrachtungsabstand) - Beurteilungskriterien vereinbaren - besondere Vergütung der Muster- oder Probeflächen
Reparaturmaßnahmen	- Vorgehensweise bei Oberflächenmängeln - Anfertigung von Reparaturmörtel-Musterflächen (Abstimmung Farbtönung und Textur)
Schutzfertiger Bauteile	- besondere Nachbehandlungsmaßnahmen - Schutzmaßnahmen während der Bauphase (Folie, Beschilderung, Kantenschutz usw.) - Schutzmaßnahmen während der Nutzungsphase (Anti-Graffiti-Schutz, Verschmutzungsschutz durch Hydrophobierung)

Tafel 2: Sichtbetonklassen nach DBV/BDZ-Merkblatt „Sichtbeton“ [2]

Sichtbetonklasse		Beschreibung	Beispiel
Sichtbeton mit geringen Anforderungen	SB 1	geringe gestalterische Anforderungen	Kellerwände, Bereiche mit gewerblicher Nutzung
mit normalen Anforderungen	SB 2	normale gestalterische Anforderungen	Treppenhäuser, Stützwände
mit besonderen Anforderungen	SB 3	hohe gestalterische Anforderungen	Fassaden
	SB 4	besonders hohe gestalterische Bedeutung	repräsentative Bauteile

Sichtbetonklasse	Textur	Porigkeit		Farbton		Arbeits-, Schalhautfugen	Ebenheit	Probefläche	Schalhautklasse
		s ¹⁾	ns ²⁾	s	ns				
SB 1	T1	P1		FT1		AF1	E1	freigestellt	SHK1
SB 2	T2	P2	P1	FT2		AF2		empfohlen	SHK2
SB 3		P3	P2			AF3	E2	dringend empfohlen	
SB 4	T3	P4	P3	FT2	FT3	AF4	E3	erforderlich	SHK3

Die gestalterische Wirkung ist grundsätzlich nur in ihrer Gesamtwirkung angemessen beurteilbar, d.h. nicht nach Maßgabe absolut erklärter Einzelmerkmale. Die Verfehlung vertraglich vereinbarter Einzelmerkmale soll daher nicht zu einer Pflicht zur Mängelbeseitigung führen, wenn der Gesamteindruck des betroffenen Bauteils oder Bauwerks in seiner positiven Gestaltungswirkung nicht gestört ist.

¹⁾ s = saugende Schalung

²⁾ ns = nicht saugende Schalung

wendigere Trägerschalssysteme oder sogar Sonderschalungen in Frage. Die in der Praxis überwiegend angewandten Rahmenschalungen besitzen vorgegebene Schalhauttypen und Ankerbohrungen. Eine Durchankerung erfolgt hierbei in den Stößen der Tafeln, was bei vielen anspruchsvollen Sichtflächen unerwünscht ist.

Der Verschluss der Ankerlöcher sollte im Vorfeld angesprochen werden. Wahlweise können Kunststoffkappen verwendet oder Faserzementstopfen

eingeklebt werden. Beide Verschlussarten sind sowohl oberflächenbündig als auch zurückliegend in einem Konus einsetzbar, wenn z.B. eine regelmäßige Ankerstruktur sichtbar bleiben soll. Alternativ hierzu können Ankerstellen auch mit einem Mörtel verschlossen werden, wobei wie bei Reparaturstellen das Problem der Farbanpassung zu lösen ist (Bild 2). Eine Sonderlösung stellt die eigene Herstellung von Verschlussstopfen mit dem gleichen Beton und Schalhauttyp während des Betonierens dar. Mit Hilfe vorbereiteter

Schalungsformen entstehen so farblich ideal angepasste Stopfen (s. Bild 2 rechts unten).

Bei Verwendung glatter, nicht saugender Schalssysteme kann das Saugverhalten einer neuen Holzdreikantleiste zu einer dunkleren Kante führen. Eine entsprechende Vorbehandlung (Zementleimanstrich, Hydrophobierung) oder der Austausch gegen Kunststoffleisten vermindert Farbunterschiede. In Leistungsverzeichnissen werden zum Teil anstelle einer üblichen Eckausbildung mit

Tafel 3a: Anforderungsklassen für Sichtbeton nach DBV/BDZ-Merkblatt „Sichtbeton“ [2]; Textur und Farbtongleichmäßigkeit

Textur Schal-element-stoß	T1	<ul style="list-style-type: none"> - weitgehend geschlossene Zementleim- bzw. Mörteloberfläche - an Stößen austretender Zementleim bis ca. 20 mm Breite und ca. 10 mm Tiefe zulässig - Rahmenabdruck zugelassen 	Farbton-gleich-mäßigkeit	FT1	<ul style="list-style-type: none"> - Hell-/Dunkelverfärbungen sind zulässig - Rost- und Schmutzflecken sind unzulässig
	T2	<ul style="list-style-type: none"> - geschlossene und weitgehend einheitliche Betonfläche - an Stößen austretender Zementleim bis ca. 10 mm Breite und ca. 5 mm Tiefe zulässig - Versatz, Stöße und Höhe, Grate bis ca. 5 mm zulässig - Rahmenabdruck zugelassen 		FT2	<ul style="list-style-type: none"> - gleichmäßige, großflächige Hell-/Dunkelverfärbungen sind zulässig - unterschiedliche Arten und Vorbehandlung der Schalhaut, Ausgangsstoffe verschiedener Art und Herkunft sind unzulässig
	T3	<ul style="list-style-type: none"> - glatte, geschlossene und weitgehend einheitliche Betonfläche - an Stößen austretender Zementleim bis ca. 3 mm Breite zulässig - feine, technisch unvermeidbare Grate bis ca. 3 mm Höhe zulässig - weitere Anforderungen (Schalungsstöße, Rahmenabdruck) detailliert festlegen 		FT3	<ul style="list-style-type: none"> - geringe Hell-/Dunkelverfärbungen sind zulässig (z.B. leichte Wolkenbildung, geringe Farbtonabweichungen) - großflächige Verfärbungen durch <ul style="list-style-type: none"> • unterschiedliche Art der Schalhaut • unsachgemäße Vorbehandlung • Ausgangsstoffe verschiedener Art und Herkunft • ungeeignete Nachbehandlung sind unzulässig - Rost- und Schmutzflecken sowie deutlich sichtbare Schüttlagen sind unzulässig - Auswahl eines besonderen und geeigneten Trennmittels ist notwendig

Tafel 3b: Anforderungsklassen für Sichtbeton nach DBV/BDZ-Merkblatt „Sichtbeton“ [2]; Porigkeit und Ebenheit

		maximaler Porenanteil je Prüffläche [mm ²]				
Porigkeits-klasse	P1	ca. 3000	(ca. 1,2%)	Ebenheit	E1	- nach DIN 18202, Tab. 3, Zeile 5 (z.B. Messlänge 4 m, nicht flächenfertige Wände: Stichmaß ≤ 15 mm)
	P2	ca. 2250	(ca. 0,9%)		E2	- nach DIN 18202, Tab. 3, Zeile 6 (z.B. Messlänge 4 m, flächenfertige Wände: Stichmaß ≤ 10 mm)
	P3	ca. 1500	(ca. 0,6%)		E3	- nach DIN 18202, Tab. 3, Zeile 6 (z.B. Messlänge 4 m, flächenfertige Wände: Stichmaß ≤ 10 mm)
	P4	ca. 750	(ca. 0,3%)			- Höhere Anforderungen sind gesondert mit den dafür notwendigen Maßnahmen zu vereinbaren.
berücksichtigte Porendurchmesser 2 mm < d < 15 mm je Prüffläche 50 cm x 50 cm						

Tafel 3c: Anforderungsklassen für Sichtbeton nach DBV/BDZ-Merkblatt „Sichtbeton“ [2]; Fugen und Schalhautklassen

Arbeits- und Schalhaut-fugen	AF1	- Flächenversatz bis ca. 10 mm zulässig	Schal- haut- klasse	SHK 1	- Bohrlöcher verschlossen (Kunststoffstöpsel) - zulässig sind: Nagellöcher, Beschädigungen durch Rüttler, Kratzer, Betonreste in Vertiefungen, Zementschleier, Aufquellen der Schalhaut im Nagelbereich, Reparaturstellen		
	AF2	- Flächenversatz bis ca. 10 mm zulässig - Feinmörtelaustritte aus neuem Betonierabschnitt rechtzeitig entfernen - Trapezleiste o.Ä. empfohlen			SHK 2	- Bohrlöcher verschlossen (als Reparaturstellen) - zulässig sind: Nagellöcher ohne Absplittierungen, Kratzer (als Reparaturstellen), Zementschleier, Reparaturstellen - nicht zulässig sind: Beschädigungen durch Rüttler, Betonreste in Vertiefungen	
	AF3	- Flächenversatz bis ca. 5 mm zulässig - Feinmörtelaustritte aus neuem Betonierabschnitt rechtzeitig entfernen - Trapezleiste o.Ä. empfohlen				SHK 3	- nicht zulässig sind: Bohrlöcher, Beschädigungen durch Rüttler, Betonreste in Vertiefungen, Aufquellen der Schalhaut im Nagelbereich - in Abstimmung mit AG zulässig sind: Kratzer- und Nagellöcherreparaturen, Zementschleier
	AF4	- Planung der Detailausführung erforderlich - Flächenversatz bis ca. 5 mm zulässig - Feinmörtelaustritte aus neuem Betonierabschnitt rechtzeitig entfernen - weitere Anforderungen (z.B. Arbeitsfugen) sind detailliert festzulegen					

Dreikantleisten scharfe rechtwinklige Kanten gefordert. Diese Forderung beinhaltet einen Mehraufwand zur Aussteifung und Abdichtung des Eckstoßes und erfordert ein vorsichtiges Ausschalen nach einem verlängerten Ausschaltungszeitpunkt. Zusätzlich sollte für die Bauzeit ein wirksamer Kantenschutz eingeplant werden.

Beim Einsatz von liegend hergestellten Sichtbeton-Fertigteilstützen muss berücksichtigt werden, dass die Herstellerseite von Hand oder maschinell abgerieben wird. Die andere Oberflächentextur und das verän-

derte Randgefüge des Betons führen ggf. zu geringen Farbabweichungen und einem unterschiedlichen Erscheinungsbild.

Für Bauteile mit sehr hohen Anforderungen an die Farbgleichheit sollten bereits im Leistungsverzeichnis Hinweise enthalten sein, dass vor der Ausführung in Absprache mit dem Transportbetonhersteller Grenzmaße für die Schwankungsbreite der Einwaagen festgesetzt werden und ein Wechsel der Herkunft und Art der Ausgangsstoffe nicht erlaubt ist. Die in DIN EN 206-1/DIN 1045-2 festgelegten Anforderungen an die Do-

siergenauigkeit mit ± 3 M.-% zielen auf gleichmäßige technische Eigenschaften wie Druckfestigkeit, Rohdichte und Konsistenz ab, nicht jedoch auf optische Gleichmäßigkeit hinsichtlich der Farbtönung (Bild 3). Schon geringe Unterschiede im Wasserzementwert (w/z-Wert) verursachen gerade bei nicht saugenden Schalungen „Hell/Dunkel“-Unterschiede. Mit geringerem w/z-Wert wird die Betonoberfläche dunkler.

Forderungen an die Betonoberfläche in Leistungsverzeichnissen, die technisch nicht oder nicht zielsicher



Bild 1: Verfärbungen an der Betonoberfläche durch fehlerhafte Entwässerungsführung



Bild 2: Verschluss der Ankerhülsen

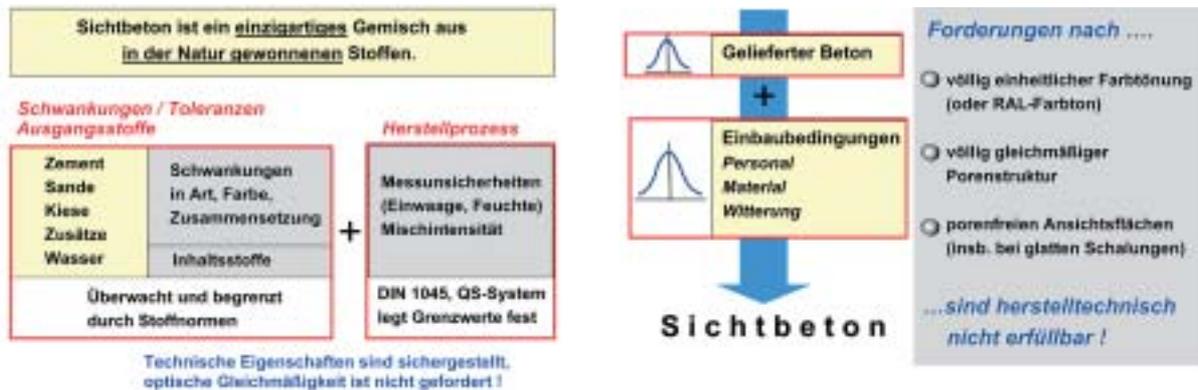


Bild 3: Herstellungstoleranzen durch Ausgangsstoffe, Herstell- und Einbaubedingungen

erfüllt werden können, sollten vermieden werden. Im Einzelnen sind dies:

- gleichmäßiger Farbton aller Betonoberflächen im Bauwerk
- porenfreie Ansichtsflächen (insbesondere bei nicht saugender Schalhaut)
- gleichmäßige Porengröße bzw. -verteilung
- Farbton- und Texturgleichheit im Bereich von Schalungsstößen

Der Grauton von Betonoberflächen kann durch die Auswahl des Zements maßgeblich beeinflusst werden. Portlandzemente CEM I werden mit steigendem Eisenoxidgehalt dunkler. Dunkelgraue bzw. anthrazitfarbene Flächen sind z.B. mit Portland-HS-Zementen CEM I-HS herstellbar (Bild 4). Mit geringeren Eisenoxidgehalten bzw. mit zunehmenden Hüttensandgehalten werden die Zemente heller. Hochofenzemente CEM III ergeben bei gleicher Betonzusammensetzung hellgraue Flächen.

Muster- oder Erprobungsflächen dienen zur Beurteilung der unter den tatsächlichen Randbedingungen auf der Baustelle herstellbaren Sichtbetonqualität. Das Musterbauteil erfordert hierfür eine gewisse Mindestgröße, um möglichst vergleichbare Bedingungen zu dem spä-

teren Betonbauwerksteil zu erhalten. Für das Einbaupersonal, die Schalungsvorbereitung, die Trennmittelauswahl und -auftragsmenge sowie die Betonzusammensetzung besteht nach Herstellung der Musterfläche zudem die Möglichkeit, eine Optimierung der Einbautechnik und Feinabstimmung der Betonzusammensetzung vorzunehmen. Bei der Beurteilung von Musterflächen ist der spätere Betrachtungsabstand während der Nutzung zu berücksichtigen. Beurteilungskriterien können Farbgleichheit, Porenbildung sowie Ebenheit im Bereich von Schalhautstößen (Grate, Versatz) sein. Ziel sollte sein, neben einer repräsentativen Fläche als „Referenz“-Fläche auch Grenzen für die Abnahmeverweigerung festzusetzen. Aus juristischer Sicht ist die Verweigerung der Abnahme (in Deutschland § 12 Nr. 3 VOB/B und § 640 Abs. 1, S. 2 BGB) nur bei *wesentlichen* Mängeln möglich. Es ist daher im Interesse aller Beteiligten, individuell auf das Bau-

werk bezogen festzulegen, was für den Bauherrn einen wesentlichen Mangel darstellt. Beurteilungsgrundlage ist der Gesamteindruck des jeweiligen Bauteils oder Bauwerks. Beispiele für Mängel können je nach Vereinbarung z.B. sein:

- Verwendung eines nicht vereinbarten Schalhauttyps
- Farbabweichungen durch unterschiedliche, nicht vereinbarte Betonzusammensetzungen
- Abzeichnen der Bewehrung
- Rostfahnen
- Rissbildungen und Verfärbungen, verursacht durch unsachgemäße Nachbehandlung (Krakelee- und Frühschwindrisse, Ausblühungen durch Wasseransammlung unter anliegender Folie)
- Verfärbungen durch Trennmittel oder Holzinhaltstoffe bei unbehandelter frischer Brettschalung
- ausgeprägte Schlierenbildung oder Schleppwassereffekte durch lokale Entmischungen

Bild 4: Farbunterschiede durch Verwendung unterschiedlicher Zementarten



- ❑ große Kiesnester aufgrund von Verdichtungsmängeln
- ❑ willkürliche, ungeordnete Anordnung von Schalungsankern (wenn z.B. eine regelmäßige Anordnung im Schalmusterplan vorgegeben war)

Natürlich muss bei der Beurteilung einzelner Mängel die beanstandete Fläche im Verhältnis zur Gesamtfläche mit berücksichtigt werden. Erst wenn der Gesamteindruck des betroffenen Bauteils in seiner angestrebten Wirkung deutlich gestört ist, kann von einem wesentlichen Mangel ausgegangen werden [7].

4 Koordination von Planung und Ausführung

Das Aussehen einer Sichtbetonoberfläche wird letztendlich von einer Vielzahl von Einflussgrößen aus Gestaltung, Herstellprozess, Ausführung und Nutzungsbedingungen beeinflusst. Die Verantwortlichkeiten für die einzelnen Arbeitsschritte teilen sich Planende, Ausführende und Betonhersteller. Für ein gelungenes Sichtbetonbauwerk ist es erforderlich, eine enge Abstimmung und Koordination zwischen den beteiligten Gruppen sicherzustellen. Zu wenigstens zwei Zeitpunkten im Bauablauf – in der Planungs- und in der Ausführungsphase – sollten Abstimmungsgespräche am „runden Tisch“ eingeplant werden.

1. Planungsphase, wenn AN bekannt

Ziele:

- ❑ Unklarheiten in der Leistungsbeschreibung beseitigen
- ❑ fehlende Angaben ergänzen
- ❑ technische Machbarkeit überprüfen
- ❑ Sensibilisierung aller Beteiligten (Das angezielte Aussehen und Eigenschaften, auf die von Bau-



Bild 5: Planungsschema für Sichtbetonbauteile

herren- und Architektenseite besonderen Wert gelegt wird, sollten von allen Beteiligten als Gemeinschaftsaufgabe mitgetragen werden.)

2. Ausführungsphase, vor Betoneinbau

Maßnahmencheck

- ❑ Schalung/Bewehrung;
- ❑ Herstellung (Toleranzen, Anschlussbeton);
- ❑ Transport (Fahrzeit, Logistik, zeitlicher Abstand);
- ❑ Kontrollen (Prüfungen); Fördern/Einbau/Verdichtung;
- ❑ Nachbehandlung; Schutzmaßnahmen (Anschlussbewehrung.);
- ❑ Absprache von Musterflächen (Umfang, Zeitplan, Beurteilungsmaßstab)

Zu Beginn einer Sichtbetonplanung steht der Architekt bzw. der Tragwerksplaner vor der Aufgabe, dem Bauherrn die Besonderheiten und Eigenheiten einer Sichtbetonfläche deutlich zu machen. Wenn der Bauherr bisher keine Erfahrung mit Sichtbetonflächen gemacht hat, sollten nicht nur die Gestaltungsvielfalt des Baustoffs in Form, Farbe und Textur, sondern auch die Schwankungsbreiten im Aussehen bei unterschiedlichen Schalhauttypen

(Farbunterschiede, Wolkenbildung, Marmorierungen, Poren und Lunker) angesprochen werden. Unter Zuhilfenahme von Musterflächen oder ggf. Vergleichsbauwerken können auf diese Weise die Bauherrenwünsche mit der technischen Machbarkeit in Einklang gebracht werden (Bild 5). Der Hinweis auf den meist unterschiedlichen optischen Eindruck frisch entschalteter Sichtbetonflächen im Rohbau im Vergleich zum fertig gestellten Bauwerk ist hilfreich. Im Kontext mit anderen farblich einheitlich wirkenden Materialien wie Holz, Glas oder Stahl verhelfen kleinere Unterschiede im Aussehen innerhalb der Sichtbetonfläche eher zu einem individuellen Charakter und zu einer Lebendigkeit und werden im Gesamteindruck selten als störend empfunden.

5 Konstruktive Gestaltung

5.1 Einflüsse aus Witterung

Sichtbetonflächen können für Innenbereiche oder als Außenbauteile konzipiert werden. Im Außenbereich mit direktem Witterungskontakt muss eine sorgfältige Planung der Niederschlagsentwässerung erfolgen, um den Einfluss von Staub-

ablagerungen und Verschmutzungen gering zu halten und ein dauerhaft gleichmäßiges Aussehen zu erreichen. Einen Alterungseinfluss auf Farbgebung und Aussehen haben

1. Carbonatisierung
2. Entwässerung von Niederschlag (Laufspuren)
3. Staubbinding, Verschmutzung

Die Carbonatisierung der Randzone von Betonoberflächen mit Luftkontakt kann im Laufe des ersten Jahres zu einer Aufhellung der Fläche führen. Hiermit sind keine Ausblühungen gemeint, die ggf. im frühen Betonalter durch Wasserbeaufschlagung (Niederschlag oder Kondensation) auftreten können und vermeidbar sind.

Als Carbonatisierung bezeichnet man die Reaktion von Calciumhydroxid $\text{Ca}(\text{OH})_2$ und Luftkohlendioxid $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ zu Calciumcarbonat

CaCO_3 im Kapillarporensystem der Betonrandzone. Das neu entstandene Reaktionsprodukt ist nahezu weiß. Da diese Reaktion bereits in der äußersten Randzone beginnt, kann je nach Ausbildung des Porensystems (abhängig von Dichtigkeit und Festigkeit) und Regenbeaufschlagung (Reaktionsgeschwindigkeit, geringer Transport an die Oberfläche) eine Aufhellung mehr oder weniger deutlich zu Tage treten. Unterliegt die Sichtbeton-Außenfläche einem gleichartigen Witterungseinfluss, führt die Aufhellung meist zu einer gewissen Vergleichmäßigung im Gesamteindruck. Farbtonunterschiede werden etwas vermindert. Umgekehrt zeigen stark unterschiedliche Niederschlagsmengen z.B. bei Überhängen und Simsen Unterschiede in der Aufhellung durch Carbonatisierung. Die Aufhellung ist bei dunkel eingefärbten Sichtflächen (rot, braun, anthrazit, schwarz) deutlicher sichtbar als bei ohnehin hellen Betonflächen.

Die Regenbeaufschlagung und der Wasserabfluss über die Fassadenfläche muss in Zusammenhang mit der Höhe der Staubbinding durch die Oberflächentextur betrachtet werden. Das Regenwasser transportiert angelagerte Schmutzpartikel zum unteren Bereich der Fläche. Besonders bei Flächen mit geringer Regenbeaufschlagung (wetterabgewandte Seiten) reicht die Regenmenge unter Umständen nicht aus, die Staubanlagerungen regelmäßig von der gesamten Fläche zu entfernen. Es tritt eine Konzentration von Schmutzfahnen im unteren Bereich auf [8].

Für das Verhalten einer Sichtbetonfläche unter Niederschlag ist das Adsorptionsverhalten des Baustoffs Beton zu beachten. Das Kapillarporensystem mineralischer Baustoffe kann in Abhängigkeit der Zusammensetzung größere Wassermengen und damit auch Schmutzmengen aufnehmen [9]. Erst wenn die ge-

Tafel 4: Einflussgrößen auf die Staubbinding und Entwässerung

Neigung der Fläche	senkrecht	geringe Staubbinding → normale Beregnung
	nach innen geneigt	starke Staubbinding → starke Beregnung (Schmutzfahnen in unteren Abschnitten möglich)
	nach außen geneigt	sehr geringe Staubbinding → i.d.R. keine Beregnung (einzelne starke Regenereignisse können zu Laufspuren führen)
Textur	rau, grobe Struktur (nachträglich bearbeitet)	hohe Staubbinding, aber Laufspuren optisch unauffälliger
	glatte Schalung, nicht saugend	geringe Staubbinding, aber Laufspuren deutlich sichtbar
Ausrichtung der Fläche	Wetterseite (große Regenmengen)	<ul style="list-style-type: none"> - glatte und grobe Texturen sind einsetzbar - horizontale Kehlen sorgen für gleichmäßige Wasserverteilung (dichte Anordnung vorteilhaft)
	wetterabgewandte Seite (geringe Regenmengen)	<ul style="list-style-type: none"> - Staub fangende, grobe Texturen vermeiden - horizontale Kehlen → gleichmäßigerer Wasserabfluss - keine geneigten Oberflächen (Staubfänger) - nur in Teilbereichen vorspringende Bänder vermeiden (Laufspuren)
	Windeinfluss (Windrichtung, Verwirbelung, Windschatten)	<ul style="list-style-type: none"> - Einfluss Wind wird mit zunehmender Bauhöhe größer - Laufspuren in Windrichtung - Fassade mit Windschattenbereichen führt zu ungleichmäßiger Verschmutzung - Staubablagerung im Windschatten und Verwirbelungsstellen am größten - senkrechte Kehlen verhindern ungleichmäßige Regenbeaufschlagung durch Seitenwind
	Fassadenhöhe Abstand zum Verkehr	<ul style="list-style-type: none"> - Intensität von Staubablagerungen nimmt von oben nach unten hin zu - in Verkehrsbereichen erhöhte Staubentwicklung

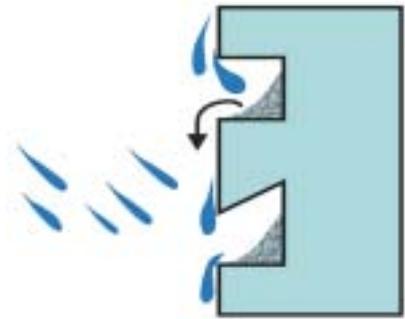


Bild 6: Horizontale Kehlen zur Vergleichmäßigung des Wasserabflusses

samte Randzone des Betons wasser-gesättigt ist, fließt Überschusswasser nach unten ab. Somit werden Staubpartikel auf Flächen mit geringer Regenbeaufschlagung selten gänzlich abgewaschen, sondern nur in den unteren Bauteilabschnitt verlagert. Derartige Adsorptionszonen erscheinen im Laufe der Zeit dunkler als Fließzonen mit starker Regenbeaufschlagung.

Das Ziel einer nachhaltigen Fasadengestaltung muss es sein, bei schwierigen Entwässerungssituationen entweder Staub fangende Texturen möglichst zu vermeiden oder durch eine klare Strukturierung horizontaler und ggf. vertikaler Fugen

bzw. Kehlen eine Vergleichmäßigung und einheitliche Verteilung des Niederschlagswassers über die gesamte Fläche zu erzielen (Tafel 4, Bild 6). Trotz ihrer Staub fangenden Wirkung sorgen sie für eine Wasserverteilung zwischen Bereichen mit hohen Fließmengen und benachbarten Zonen. Laufspuren treten weniger deutlich hervor. Bei der Anordnung von zurückspringenden Kehlen muss das Maß der Betondeckung um die Kehlentiefe vergrößert werden.

5.2 Geometrie, Abmessungen

Die Festlegungen von Bauteilgeometrie und Abmessungen folgen in

erster Linie dem architektonischen Konzept, richten sich aber zwangsläufig auch nach Kriterien der Ausführbarkeit und Dauerhaftigkeit. Dem verständlichen Wunsch des Architekten nach schlanken, optimierten Konstruktionen stehen Anforderungen an eine möglichst risikoarme Ausführung des Sichtbetonbauteils gegenüber. Dahinter stehen Forderungen nach Mindestabmessungen an Wände bzw. Stützen, die sich aus Betondeckung, Bewehrungstechnik und richtigem Betoneinbau ergeben. Für eine bewehrte Außenwand in Geschosshöhe summieren sich die Anforderungen wie in Bild 7 gezeigt zu Wanddicken von etwa 30 cm.

Beispiel für die Mindestabmessung einer bewehrten Außenwand für einwandfreien Betoneinbau:

Betondeckung nach DIN 1045-1:

außen $c_v = 4,0 \text{ cm}$ (XC4, $d_{\text{Stab}} \leq 20 \text{ mm}$)
 innen $c_v = 2,0 \text{ cm}$ (XC1, $d_{\text{Stab}} \leq 10 \text{ mm}$)

Bewehrung: 2 x Betonstahlmatte
 z.B.: 2 x 2 x 0,8 cm = 3,2 cm

Reduzierung der Fallhöhe durch Schüttschlauch
 bzw. Fallrohr (+ 4 cm): 18 cm – 22 cm

 Gesamtwanddicke: 27 cm – 31 cm

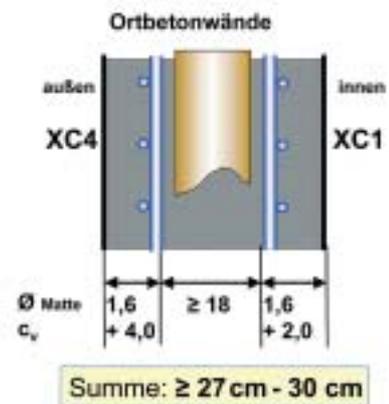


Bild 7: Beispiel für Wanddicken aus betontechnologischen Gründen

Die Dauerhaftigkeit der Randzone eines Betonbauteils wird durch drei Parameter sichergestellt:

- ❑ an die Umgebungsbedingung angepasste ausreichende Betondeckung
- ❑ an die Umgebungsbedingung angepasste ausreichende Dichtigkeit (Mindestdruckfestigkeitsklasse)
- ❑ ausreichend lange Erhärtung der Randzone durch Nachbehandlungsmaßnahmen

Alle drei Maßnahmen werden über die vom Architekten/Tragwerksplaner zu treffende Festlegung von Expositionsklassen für die jeweiligen Oberflächen des Sichtbetonbauteils gesteuert. Jede Expositionsklasse verlangt eine Mindestdruckfestigkeitsklasse, die im Vergleich mit der statisch erforderlichen Festigkeit, sofern diese geringer ist, als maßgebend anzunehmen ist. Einige typische Umgebungsbedingungen für Sichtbetonbauteile mit den entsprechenden Zuordnungen für Beton nach Eigenschaften sind in **Tafel 5** zusammengestellt.

Falls die Betonoberflächen nachträglich gestrahlt oder steinmetzartig bearbeitet werden, ist das Maß der Betondeckung um die Abtragstiefe zu erhöhen.

Für den Betoneinbau in hohen, schlanken Bauteilen ist eine Reduzierung der freien Fallhöhe auf < 1 m erforderlich, um Entmischungen vorzubeugen. Hierzu müssen Fallrohre oder Schüttschläuche in den Bewehrungszwischenraum eingeführt werden können. Ein ausreichend großer Zwischenraum ist auch für die Verdichtung des Betons mit einem Innenrüttler erforderlich. Bewehrungsanordnungen wie in **Bild 8** sind zu vermeiden, da die Verdichtung des Bauteils nicht mehr sachgerecht ausführbar ist.

Tafel 5: Festlegung für Beton nach Eigenschaften für typische Sichtbetonwände (Beispiele)

Beschreibung der Umgebung	Expositionsklassen	Mindestdruckfestigkeitsklasse (für Dauerhaftigkeit)	Verlegemaß der Betondeckung für kleinsten Stabdurchmesser [cm]
Innenbauteil (ständig trocken)	XC1	C16/20	2,0
Wand mit Zugang zur Außenluft (offene Halle, vor direkter Witterung geschützt)	XC3, XF1	C25/30	3,5
Außenwand (außen frei bewittert, Innenseite Dämmung)	XC4, XF1 (Innenseite XC1)	C25/30	außen 4,0 innen 2,0
Außenwand (frei stehend bewittert)	XC4, XF1	C25/30	4,0
Außenwand im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen (Innenseite Dämmung)	XC4, XD1, XF2 (Innenseite XC1)	C25/30 LP	außen 5,5 innen 2,0

Natürlich sind grundsätzlich auch schlanke hohe Wände mit geringeren Wanddicken herstellbar. Mit dem bisher „klassisch“ hergestelltem Sichtbeton mit etwa 45 cm Ausbreitmaß (F3) wird das Ausführungsrisiko bei hohen Erwartungen an das Aussehen jedoch unvermeidbar hoch.

Neue Möglichkeiten bieten hingegen mehlkornreiche, mit PCE-Fließ-

mitteln hergestellte Normalbetone nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 der Konsistenzklassen F5 und F6. Mit Ausbreitmaßen bis zu 70 cm erfordern diese Betone nur eine geringe Rüttelenergie und können über längere Fließwege auch eng bewehrte Bauteile sicher umschließen. Der Mehraufwand für Material sowie sorgfältige Einbaulogistik, Mischungsentwicklung und Kon-



Bild 8: Dicht liegende Bewehrung um Aussparung, die eine Verdichtung mit dem Innenrüttler ausschließt

trollprüfungen sollte allerdings vorab berücksichtigt werden. Ebenso sind die Schalungssysteme auf die meist höheren Betondrücke zu bemessen. Bei Annahme des hydrostatischen Drucks lassen die zulässigen Drücke für die meisten Systemschalungen (zwischen 60 kN/m² und 80 kN/m²) häufig nur eine Betonierhöhe von bis zu 3 m in einem Arbeitsgang zu.

5.3 Schalhaut

Die Schalhaut bestimmt maßgeblich das Aussehen von Sichtbeton. Grundsätzlich unterscheiden sich Schalhauttypen hinsichtlich Saugverhalten und Oberflächentextur (Tafel 6). Saugende Schalungen nehmen Luft und Überschusswasser aus der Betonrandzone auf. Die Oberflächen sind dadurch nahezu porenfrei, erscheinen aber durch die Verminderung des w/z-Werts etwas dunkler als bei nicht saugender Schalhaut. Die Saugfähigkeit kann nach mehreren Einsätzen abnehmen und die Flächen im Vergleich zu davor betonierten Abschnitten heller wirken. Sehr glatte und helle Oberflächen lassen sich bei gleicher Be-

tonzusammensetzung nur mit nicht saugenden Schalhauttypen herstellen. Sie begünstigen aber geringe Farbunterschiede und Wolkenbildungen sowie die Entstehung von Poren und Lunkern.

Neue saugende Holzschalungen sollten beim ersten Einsatz in untergeordneten Bauteilen verwendet oder z.B. durch einen Zementleimanstrich vorbehandelt werden, um Verfärbungen durch Holzinhaltsstoffe bei anspruchsvollen Bauteilen auszuschließen.

Bei Verwendung von Hochofenzement nimmt der Betonkern üblicherweise durch geringe Gehalte von Sulfiden im Hüttensand, die bei der Hydratation mit Metallionen reagieren, eine grünlich-blaue Farbe an. Diese Reaktion findet nur unter Luftabschluss statt. Werden nicht saugende Schalungssysteme und Stoßabdichtungen verwendet, die die Betonoberfläche nahezu luftdicht abschließen, entsteht die Blaufärbung temporär auch an der Oberfläche und ist unmittelbar nach dem Entschalen sichtbar. Durch Luftsauerstoff oxidieren die grünlich-blauen Metallsulfide

in kurzer Zeit zu farblosen Metallverbindungen (Sulfate, Sulfite). Die Blaufärbung an der Betonoberfläche geht vollständig zurück.

Bei der Planung von Sichtbetonbauteilen sollten unterschrittene Schalungen oder Deckelschalungen weitgehend vermieden werden, da diese das Entlüften des Betons behindern und sich Luftansammlungen unter der Schalhaut ergeben.

5.4 Fugen

Sichtbare Fugen auf einer Sichtbetonoberfläche entstehen an Schalhautstößen oder an Arbeits- und Scheinfugen. Die Fugeneinteilung der Schalhaut und die Ankeranordnung sind in der Regel in einem Schalungsmusterplan (Maßstab 1 : 50) vom Planer vorzugeben. Daraus ergeben sich horizontale und vertikale Betonierabschnitte sowie die Festlegung etwaiger Scheinfugen in den Wänden. Die maximalen Fugenabstände von Schalungsplatten richten sich nach den Liefergrößen und liegen bei Breiten von 1,25 m bis 3,00 m und Längen von 2,50 m bis 6,00 m. Die Fugen sind bei nor-

Tafel 6: Einfluss unterschiedlicher Schalhaut-Typen auf die Oberfläche

	Schalhauttyp		
	saugend	schwach saugend	nicht saugend
Beispiel	<ul style="list-style-type: none"> - Brettschalung rau oder gehobelt - Spanplatten - Sperrholz unbehandelt - Dränvlies 	<ul style="list-style-type: none"> - Schalrohre aus Pappe 	<ul style="list-style-type: none"> - Sperrholz filmvergütet - Sperrholz mit Polypropylenschicht - Kunststoff-Verbund-Konstruktion - Stahlblech - Matrizen - Schalrohre aus Metall, Kunststoff
Trennmittel	<ul style="list-style-type: none"> - unempfindlicher gegenüber Trennmittel 	<ul style="list-style-type: none"> - kein Trennmittel erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> - sorgfältige Trennmittelauswahl - geringe Auftragsmengen
Oberfläche	<ul style="list-style-type: none"> - raue Oberfläche - kaum Poren und Lunker - Oberfläche dunkler - Einfluss Holzinhaltsstoffe bei neuer Schalung (Vorbehandlung mit Zementleim) - bei Drainvlies Gefahr der Faltenbildung - neue Holzschalung gleichartig lagern, sonst Farbunterschiede 	<ul style="list-style-type: none"> - glatte Oberfläche - wenige Poren 	<ul style="list-style-type: none"> - glatte Oberfläche - Poren und Lunker möglich - Oberfläche heller - Farbunterschiede möglich - sorgfältige Ausbildung der Schalhautstöße erforderlich - bei Stahlschalung Gefahr von Rostflecken

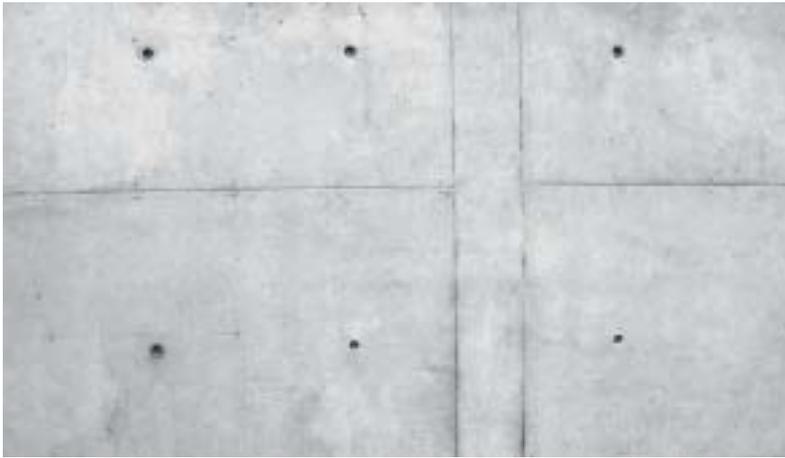


Bild 9a: Gut abgedichtete Stoßfugen der Schalung; nur geringe Dunkelfärbungen der Nahtstellen durch Wasseraustritt



Bild 9b: Zementleimaustritt durch unzureichende Abdichtung

malen Anforderungen so dicht auszubilden, dass kein Zementleim, sondern allenfalls eine geringe Menge Wasser auslaufen kann (Bilder 9a und 9b). Dies führt aufgrund der Wasserzementwert-Veränderung zu schmalen, etwas dunkler aussehenden Nähten. In besonderen Fällen können Schalungsfugen mit Schaumstoff- oder Moosgummiestreifen abgedichtet werden. Die Abdichtungsbänder sollten eine nur geringe Saugfähigkeit besitzen. Die gesonderte Abdichtung ist im Leistungsverzeichnis festzulegen.

Die Anordnung und Ausbildung von Arbeits- (Betonierfugen) und Scheinfugen sollte zwischen Planer und Bauausführung abgestimmt werden. Gegebenenfalls ist eine optische Betonung durch zurück-springende Leisten (Trapez- oder dreieckförmige Kehlen) gewünscht, um z.B. geringe Farbunterschiede zwischen verschiedenen Betonierabschnitten weniger auffällig erscheinen zu lassen oder die Rissbildung über Scheinfugen in eine Schattenzone zu verlegen. Erinnert sei an die notwendige Vergrößerung der Betondeckung um die Tiefe der Kehle. Durch eine Kehle lässt sich auch ein geringer Versatz in der Ebene

kaschieren, der sich durch zusammengepresste Abdichtungsbänder zwischen Altbeton und Schalung für den neuen Betonierabschnitt zwangsläufig mit etwa 2 mm bis 3 mm einstellt. Auch wenn keine Kehlen geplant werden, sollten horizontale Arbeitsfugen mit innen an der Schalung befestigten Vierkant-Holzleisten als exakte Linie ausgebildet werden (Bild 10). Die Leiste wird mit dem Entschalen des 1. Abschnitts entfernt.

Die Planung von Ankeranordnungen muss die statisch erforderliche Anzahl und dem Höchstabstand

von Ankern für den jeweiligen Schalungstyp und Betonierdruck berücksichtigen, um übermäßige Verformungen und Längungen zu vermeiden.

5.5 Trennmittel

Bei allen Sichtbetonschalungen (saugend oder nicht saugend) ist die richtige Auswahl und exakte Auftragsmenge des Trennmittels entscheidend für ein gleichmäßiges Aussehen und eine geringe Porenanzahl. Hilfestellung bietet das DBV-Merkblatt „Trennmittel für Beton“ [10]. Im Zweifel sollte der Trenn-

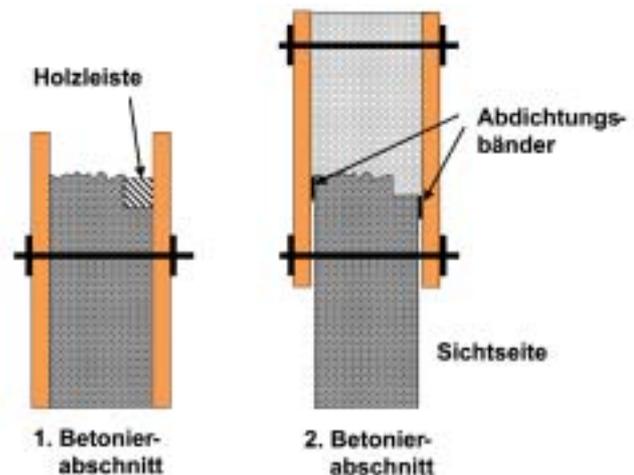


Bild 10: Ausbildung einer horizontalen Arbeitsfuge

mittel- oder Schalungshersteller gefragt werden, welche Kombinationen Schalhaut – Trennmittel mit welcher jeweiligen Auftragsmenge gute Erfahrungen gezeigt haben. Grundsätzlich nimmt die erforderliche Auftragsmenge stark ab bei nicht saugender Schalhaut. Durch zu große Auftragsmengen bleiben Luftblasen beim Verdichten in der Randzone gefangen, so dass übermäßige Lunker- und Porenansammlungen nach dem Ausschalen sichtbar sind. Der Trennmittelfilm muss besonders bei nicht saugenden Schalungen gleichmäßig und dünn (ca. 10 g/m²) aufgetragen werden. Sehr lange Standzeiten der aufgestellten und behandelten Schalung bis zum Betonieren sind zu vermeiden.

Da von dem Trennmittel ein entscheidender Einfluss auf die Sichtbetonqualität ausgeht, ist das Sprüherät sorgfältig einzustellen (> 5 bar Druck, richtige Düse) und das mit dem Aufsprühen beauftragte Personal entsprechend einzuweisen, damit der Trennmittelfilm nicht zu dick wird.

6 Betonzusammensetzung

Der Beton muss ein gutes Zusammenhaltevermögen mit geringer Entmischungsneigung aufweisen. Bei zu hoher Viskosität entsteht allerdings eine Klebwirkung, die den Einbau erschwert. Generell sollten bei zusammenhängenden Bauteilabschnitten weder die Herkunft der Ausgangsstoffe noch das Lieferwerk gewechselt werden. Für Hell-Dunkel-Unterschiede sind im Wesentlichen Wasserzementwert-Schwankungen verantwortlich. Hier können in Abstimmung mit dem Lieferwerk ggf. kleinere Dosierunsicherheiten ($\pm 1\%$) als in DIN EN 206-1 vereinbart werden. Die Grenzwerte der Betonzusammensetzung für die gewählten Expositionsklassen sind einzuhalten. Darüber hinaus haben sich

für „klassische“ Betone folgende Angaben in der Praxis bewährt [11]:

- ❑ w/z-Wert $\leq 0,55$ (ggf. Fließmittelzusatz bei geringen w/z-Werten)
- ❑ Mehlkorn + Feinstsandanteil (k); Anteil $\leq 0,25$ mm: w/k $\approx 0,40$
- ❑ Ausbreitmaß im Übergang der Konsistenzklassen F2/F3 (besser Zielwert Ausbreitmaß fordern ± 2 cm)
- ❑ Sieblinie A/B, nahe B; Gesteinskörnungen: zusätzlich Kategorie Q_{0,25} für Korngröße < 4 mm; Kategorie Q_{0,05} für Korngröße > 4 mm (Begrenzung der leichtgewichtigen organischen Verunreinigungen)
- ❑ ausreichend hoher Leimgehalt
- ❑ Größtkorn in Abhängigkeit von Bewehrungsdichte und Stababstand
- ❑ Einsatz von Fließmittel FM oder Verzögerer VZ hinsichtlich Sedimentationserscheinungen prüfen
- ❑ kein Restwasser oder Restbeton verwenden

Kurze, gleich bleibende Transportzeiten und ein kontinuierlicher Umlauf der Fahrmischer sind für die Gleichmäßigkeit des Betons vorteilhaft. Die Mischdauer jeder Charge im Transportbetonwerk sollte 60 Sekunden nicht unterschreiten.

7 Bauausführung

Bereits anhand der Musterfläche können Arbeitsabläufe der Betoniermannschaft festgelegt und eventuell verbessert werden. Im Einzelnen sind dies: Trennmittelauftrag auf die Schalung, Einbau und Aussteifung der Bewehrung, Fördern und Einbringen des Betons (Begrenzung der Schüttagungen), Verdichten und Nachverdichten. Für alle späteren Betonierabschnitte sollten die Zeitspannen zwischen Entladung, Einbau der einzelnen Schüttagungen, Verdich-

tung und Nachverdichtung möglichst gleich lang gehalten werden.

Die Schüttagungen sind auf 30 cm bis 50 cm zu begrenzen, um keine Luftansammlungen zu erhalten. Aus dem gleichem Grund ist eine Verringerung der Fallhöhe auf < 1 m anzustreben.

Insbesondere bei Bauteilen mit geringer Betondeckung (Innenbauteile) muss die Wandbewehrung sorgfältig ausgesteift werden. Andernfalls kann z.B. beim Rütteln die Bewehrung mitschwingen und lokale Entmischungen verursachen. An der Oberfläche zeichnet sich dann die Lage der Bewehrung ab.

In oberen Wand- und Stützenabschnitten muss der Beton nachverdichtet werden.

Bei Betonen der Überwachungsklasse 1 nach DIN 1045-3 sollten für Sichtbetonbaustellen zusätzliche Prüfungen der Konsistenz (Ausbreitmaß) und der Gleichmäßigkeit bei Abnahme vereinbart werden. Nach DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 ist die Konsistenzprüfung nur in Zweifelsfällen gefordert, was der großen Bedeutung beim Sichtbeton nicht gerecht wird.

Unmittelbar nach Ende des Betoninbaus beginnt nach DIN 1045-3 die Nachbehandlung des Betons. Das Belassen in der Schalung gilt als Nachbehandlungsmaßnahme. Für die Nachbehandlung von Sichtbetonflächen eignen sich insbesondere die folgenden günstigen Maßnahmen:

- ❑ Belassen in der Schalung über den Ausschaltzeitpunkt hinaus
- ❑ Folie auf Abstand (darf nicht anliegen)
- ❑ trockenes Jutetuch auf der Fläche, darüber Folie

Auf keinen Fall dürfen frisch ent-schalte Betonoberflächen mit Wasser

besprüht oder von Regen beaufschlagt werden, weil die Gefahr von Ausblühungen dann groß wird. Die Ausschallfristen sollten für verschiedene Bauteilabschnitte einheitlich eingehalten werden, um Helligkeitsunterschiede zu vermeiden. Bei der Verwendung von flüssigen Nachbehandlungsfilmen (Curing-Mittel) ist Vorsicht geboten. Nur wenn an Probeflächen nachgewiesen wurde, dass keine farbliche Beeinträchtigung vorhanden ist, kann der Einsatz gestattet werden. Hierfür ist die Zustimmung des Auftraggebers einzuholen.

Deckenuntersichten aus Sichtbeton gehören zu den am schwierigsten auszuführenden Sichtbetonbauteilen. Der Witterungseinfluss ist hier am größten und nicht immer beherrschbar. Durch Niederschlag oder Kondensation (Morgentau) entstehen an den Bewehrungsstäben Rostfahnen/-flecken, die häufig auch die Schalhaut erreichen und später auf der Betonoberfläche als braune Flecken sichtbar sind. Vermeidbar sind hingegen Bindedrahtreste, die auf der Schalung liegen bleiben. Die Schalung sollte unmittelbar vor dem Betonieren ausgeblasen werden, um Verschmutzungen, Drahtreste und Wasserpfützen zu entfernen.

Fertig gestellte Bauteile sind während des weiteren Bauablaufs vor Beschädigungen und Verschmutzungen zu schützen (z.B. Kantenschutz, Folienabhängung, Beschilderung).

8 Reparaturmörtel

Grundsätzlich ist es sehr aufwendig, einen geeigneten und farblich angepassten Reparaturmörtel zu entwickeln.

Die Vorgehensweise für das Ausbessern von Oberflächenmängeln mit

Reparaturmörtel sollte bereits in der Leistungsbeschreibung festgelegt werden.

- ❑ Maßnahmen bei Oberflächenmängeln vertraglich festlegen
- ❑ vorher Probefelder zur Farbabstimmung anlegen (Beurteilung im trockenen Zustand)

Farbunterschiede zwischen Reparaturmörtel und Sichtbetonfläche entstehen durch

- ❑ Zementart, Sandfarbe, w/z-Wert
- ❑ Oberflächenstruktur (Glanz) und Austrocknungsverhalten
- ❑ Carbonatisierung/Alterung

Mit Probefeldern sollte die Farbtönung und die Oberflächentextur der des Sichtbetonbauteils angeglichen werden. Vorteilhaft ist es, die gleiche Zementart wie im Bauteil zu verwenden, um sowohl die Grautönung als auch das gleiche Carbonatisierungs-/Alterungsverhalten zu erreichen.

9 Zusammenfassung

Die Planung und Herstellung von anspruchsvollen Sichtbetonbauwerken stellt aufgrund der vielfältigen Einflüsse eine besondere Herausforderung dar. Nicht nur Materialschwankungen der Ausgangsstoffe und der Herstell- und Einbauprozess beeinflussen die Farbgebung, sondern auch Witterungseinflüsse und die Carbonatisierung der Betonoberfläche. Die für die Gestaltung dauerhafter Sichtbetonbauteile maßgebenden Planungs- und Ausführungsschritte wurden aufgezeigt und Hinweise zur Fehlervermeidung gegeben.

Literatur

[1] DIN 18217: „Betonflächen und Schalungshaut“, Ausgabe 12/1981.

- [2] DBV/BDZ-Merkblatt Sichtbeton, Ausgabe 2004, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. Berlin, und Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Köln.
- [3] DIN EN 206-1: Beton – Festlegung, Eigenschaften und Konformität, Ausgabe 7/2001; DIN 1045-2 : Deutsche Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1, Ausgabe 7/2001.
- [4] Merkblatt über Sichtbetonflächen von Fertigteilen aus Beton und Stahlbeton, Fassung 1999. Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteiltbau, Bonn.
- [5] ÖNORM B 2211: Beton- und Stahlbetonarbeiten, Ausgabe 07/1986.
- [6] Merkblatt „Geschalte Betonflächen“ („Sichtbeton“), Ausgabe 06/2002, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Wien.
- [7] Schulz, R.-D.: „Planung, Ausschreibung und Beurteilung von Sichtbeton“, Beton+Fertigteiltechnik 70 (2004), H. 2, S. 40-43; Kongressunterlage der 48. Ulmer Beton- und Fertigteiltage, Februar 2004.
- [8] Huberty, J.M.: Fassaden in der Witterung. Beton-Verlag, Düsseldorf 1983.
- [9] Döring, W. et al.: Fassaden: Architektur und Konstruktion mit Betonfertigteilen. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V., Köln; Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteiltbau e.V., Bonn 2000.
- [10] DBV-Merkblatt „Trennmittel für Beton – Teil A: Hinweise zur Auswahl und Anwendung“, Ausgabe 3/1997, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Berlin.
- [11] Ebeling, K.: „Sichtbeton – Planungs- und Ausführungshinweise: Der Aufgabenbereich des Bauingenieurs“; beton 48 (1998), H. 4, S. 208-214.