

Der Weg zum Gelingen von Sichtbeton

Wissen und Handeln in der Sichtbetonherstellung

Die Herstellung von anspruchsvollem Sichtbeton ist eine Herausforderung. Um diese zu meistern, müssen die Beteiligten nicht nur über profunde Kenntnisse der Betontechnologie verfügen. Auch die Organisation, die Zusammenarbeit im Sichtbetonteam und die Erfahrungen sowie Motivation der Beteiligten sind wesentlich. Vom Zusammenspiel dieser Parameter hängt ab, ob und was sich bei der Planung und Ausführung von Sichtbeton verändern kann und muss, damit die Sichtbetonprojekte der Zukunft gelingen.

■ Von Rolf-Dieter Schulz

Das aktuelle Regelwerk zur Sichtbetonherstellung gibt grundlegende Hinweise zur Planung und Ausführung anspruchsvoller Sichtbetonbauwerke (siehe [1], [2], [3], [4] etc.). In diesem Regelwerk wird das Bewährte weiterentwickelt, die Praxisanwendbarkeit geprüft und Neues eingebunden. Gleichzeitig ergeben sich daraus neue zu beantwortende Fragen.

Die Handicaps der Baupraxis sind bekannt. Sie ergeben sich aus der teilweise unübersichtlichen Planung und Herstellung, z. B. wenn

- Vereinbarungen nicht eingehalten werden,
- Abbruch zugunsten von Neubauten forciert wird (weil das Bauwerk nicht mehr zeitgemäß ist oder sich Fehler einschleichen),
- komplexe Umwelteinflüsse gelegentlich nicht voraussehbar sind usw.

Um das Ziel des guten Gelingens von Sichtbeton zu erreichen und dafür Hinweise zu geben, lassen sich die zu verbessernden, problembehafteten sichtbetontechnologischen Prozesse aus meiner Wahrnehmung heraus in drei Kategorien einteilen:

- Problemlösungsansätze zum konventionellen Sichtbetonspektrum

- das zukünftige Sichtbetonspektrum mit neuen Sichtbetonsorten, -klassen und gegebenenfalls Anforderungskriterien
- praxisorientierte Visionen zur Sichtbetonweiterentwicklung

Problemlösungsansätze zum konventionellen Sichtbetonspektrum

Die Rolle von Wissenstransfer sowie Master- und QS-Plänen

Einzelne betontechnische und betontechnologische Grundlagen und praktische Erfahrungen werden gelegentlich noch nicht ausreichend beachtet (z. B. [1], [2], [3], [4]). Die Ursachen dafür liegen oft nicht im betontechnologischen Bereich, sondern im Qualitätsmanagement – insbesondere, wenn Wissens- und Managementlücken vorhanden sind. Auch die unterschiedlichen Interessen der Beteiligten im Hinblick auf eine Zusammenarbeit und die Besonderheiten des Bauwerks führen gelegentlich

zu Streit (z. B. über Material, Qualität und Gewinn, Ressourceneinsatz). Sie sind immer wieder Ursache von Qualitätsabfall in der Sichtbetonausführung. Deshalb werden nach geltendem Regelwerk Master- und QS-Pläne gefordert und eingesetzt. Aber selbst das sind keine vollständig geeigneten Steuerungsinstrumente. So enthält ein QS-Plan nach geltendem Regelwerk [1] v. a. kognitiv definierte Festlegungen und Vereinbarungen; hier ein Beispiel für einen SB 3 nach [1]:

1. Festlegungen mit Arbeitsanweisung für die Schalungs-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten inklusive Fördern und Einbringen
2. Liefervertrag mit dem Betonhersteller inklusive Transport des Betons vom Betonwerk zur Baustelle (Berücksichtigung der werkseigenen Produktionskontrolle, Koordination nach fachlichem und vertraglichem Regelwerk mit dem QS-Plan und der werkseigenen Produktionskontrolle)
3. Festlegung von weiteren Sichtbetonklassen nach sichtbetontechnologischen Grundsätzen sowie von zwischen Planer, Betonhersteller und der Baustelle zu vereinbarenden Sichtbetonsorten (z. B. aus Stampfbeton, der im Regelwerk bisher nicht ausführlich behandelt wurde, aber angewendet wird); auch Hinweise auf einflussnehmende Parameter aus der Frischbetonherstellung, -verarbeitung und dem -einbau
4. Vereinbarungen zum Einbringen und Verdichten (siehe Tabelle 1)

| lichter Abstand Bewehrung b_{wi} | maximal zulässiges Größtkorn |
|------------------------------------|------------------------------|
| < 12 cm | unzulässig |
| 12 bis < 14 cm | 8 mm |
| 14 bis < 18 cm | 16 mm |
| ≥ 18 cm | 32 mm |

(1) Notwendiger Bewehrungsabstand nach [5]

Tabelle: © Rolf-Dieter Schulz nach [5]



| Deckblatt | |
|-----------|--|
| 1 | Bauvorhaben und Adressaten: Auftraggeber, Architekturbüro/ Objektüberwachung, Tragwerksplaner, Auftragnehmer (und Ersteller), Betonhersteller, Sichtbetonberatung und -koordination |
| Inhalt | |
| 2 | Aufgabenstellung am Objekt |
| 3 | Sichtbetonteam: Auftraggeber, Architekturbüro/Objektüberwachung, Tragwerksplaner, Auftragnehmer, Eigenüberwachung, Betonherstellwerk, Sichtbetonkoordination |
| 4 | <p>Verantwortliche/r Fachbauleiter/in für die Ausführung der Sichtbetonbauteile des Auftragnehmers Vereinbarungen (gemäß Bauvertrag):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erstellung von Ausführungsdetails, welche die Herstellung von Bauteilen in SB 3-Qualität ermöglichen - Erarbeitung von Schalungs- und Betonagekonzepten - Herstellung von Labormustern, Mock ups und Erprobungsflächen - Festlegung von Arbeitsanweisungen für die ggf. erforderliche Oberflächenbehandlung (Hydrophobierung) und -bearbeitung - Festlegung Referenzmuster - Schaffung von Baumständen, die die Herstellung des SB 3 bzw. SB 4 gemäß Leistungsverzeichnis ermöglichen - Abnahmevereinbarungen in der Betonherstellung - Details zur Weiterentwicklung der Sichtbetontechnologie beim Betonhersteller und auf der Baustelle, wenn erforderlich |
| 5 | Sichtbetonbauteile: Herstellungshinweise in der Betonierreihenfolge der Bauteile |
| 6 | Qualitätssicherungssystem und Risikomanagement für die Herstellung der Sichtbetonflächen etc. |
| 7 | Schalung mit Anordnung und Ausführung von Arbeitsfugen |
| 8 | <p>Arbeitsanweisung für Schal-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Arbeitsanweisung für die Schalung: <ul style="list-style-type: none"> • Herstellen, Prüfen, Lagern und Warten • Ausschalen der Wände • Ausschalen der Decken • Ausschalen der Unterzüge - Bewehrungsarbeiten - Betonierarbeiten |
| 9 | Konsistenz und Rheologie des Frischbetons |
| 10 | <p>Bauteilbezogene Schutz- und Nachbehandlungsmaßnahmen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nachbehandlung und Schutz der Decken - Nachbehandlung und Schutz der Wände |

Übersicht: © Rolf-Dieter Schulz

5. Arbeitsanweisungen für die Schalungsherstellung, -kontrolle, Lagerung, Wartung und Einsatzplanung bis zum Ausschalen (Ausschalfristen), Schutz der Schalung und der Sichtbetonoberflächen
6. Angaben zum Schutz- und zu Nachbehandlungsmaßnahmen (der Schalung, der Sichtbetondeckenuntersichten, der Sichtbetonwände etc.)

Im Rahmen eines Wissenstransfers wären zusätzlich zu diesen kognitiven Festlegungen z. B. Erkenntnisse und Erfahrungen über das geltende Regelwerk hinaus zu ergänzen und konsequent umzusetzen. Zudem sollten Festlegungen zur Begegnungskultur unter den Beteiligten und die Dynamik von Motivatoren (Engagement) hinzugefügt werden. Ein entsprechender QS-Plan, der dies berücksichtigt, könnte grundsätzlich wie folgt gegliedert sein (Bild 2):

- Teil 1: Festlegungen und kognitive (logisch) definierte Sichtbetontechnologie (wie vor)
- Teil 2: Emotionale Stimulationsfaktoren: Motivation, Team- und Gruppenverhalten
- Teil 3: Weiterentwicklung aus dem noch vorhandenen Nichtwissen zum Wissen

Masterpläne und QS-Pläne sollten als Grundlage verstanden werden. Wenn sie gelegentlich fehlen, entstehen gravierende Unklarheiten. Fehlen damit z. B. Hinweise zur erforderlichen Zusammenarbeit unter den Beteiligten, bleibt beispielsweise unklar, wann die Bildung eines Sichtbetonteams mit differenzierter Teilnehmerswahl erforderlich wird und welcher Informationsfluss unter den Teammitgliedern strikt einzuhalten ist.

Teamarbeit und Management

Auch der Qualitätseinfluss eines gut funktionierenden Teams – im Gegensatz zur nicht funktionierenden Routinebetonierkolonne – ist gravierend. Der aktuelle Facharbeitermangel in Deutschland führt hier zu Qualitätsrisiken. Die Bauwirtschaft hat sich insbesondere in der Personalausstattung und -qualifikation verändert. Das Sichtbetonmanagement müsste dieser Herausforderung betontechnologische und/oder vertragliche Antworten geben; dies tut es aber nicht ausreichend.

Teamgeist und Stolz des Teams, wenn der anspruchsvoll gestaltete Sichtbeton gelingt, steigern die Bereitschaft, das Bestmögliche zu erreichen und zu erhalten (Qualitätskonstanz). Das ist auch exakt der Punkt, an dem ein Koordinator, der die sichtbetontechnologischen Zusammenhänge beherrscht, aktiv werden muss. Er muss einen brauchbaren Teamstatus erreichen und kontinuierlich aufrechterhalten. Ein Moderator sollte von Beginn der Sichtbetonplanung und -herstellung an bis zur Nutzung steuern, sich als Beteiligter auch selbst mit verändern, Risiken und Fehler erkennen, den QS-Plan mitgestalten und im Zuge der Fehlerbegrenzung Mängel vermeiden helfen.

Das Sichtbetonteam muss sich formen, bis sich in der Zusammenarbeit eine Routine entwickelt, um ohne Moderation selbstständig arbeiten und Optimierungen durchführen zu können. Das Ausführungsteam sollte in der personellen Besetzung und im

(2) Grundlagen zur Erstellung eines Qualitätssicherungsplans für Sichtbetonbauteile mit Teil 1 kognitiv und Teil 2 Sichtbetonmanagement



Bild © Rolf-Dieter Schulz

(4) Lohaus-Wandschalung

Zusammenwirken in dieser Hinsicht Entwicklungspotenzial besitzen. Das betrifft nicht nur das jeweils eigene Personal, sondern gilt auch für Nachunternehmer und Stabsabteilungen, z. B. im Betonlabor.

Ein Beispiel soll nun zeigen, dass nicht alle Aspekte schon vorab eindeutig klar sind, sondern durch erfahrene und engagierte Führungskräfte gesteuert werden müssen:

Zu den oft unvollständig vorbereiteten Arbeitsschritten gehören die überwachte Frischbetonherstellung und der Frischbetontransport mit der eindeutig festgelegten Übergabe des Frischbetons auf der Baustelle. Erschwert werden können diese Schritte

durch Veränderungen des Frischbetons, diskontinuierliches Einbringen, schwierige geometrische Formen, schwierigen Frischbetontransport, hohe Bewehrungskonzentrationen oder anderes. Hier sind Zeit und Konsequenz notwendig mit einer ausreichenden sichtbetontechnologischen Vorbereitungsphase inklusive Erprobungen im Labor sowie an Mustern (z. B. Schalungsmuster) und den danach herzustellenden Erprobungsflächen (nach [1]). Schon in der Vorbereitungsphase sollte beachtet werden:

- Ist die vorgegebene Aufgabenstellung zwischen Auftraggeber, Planern, Betonhersteller, Ausführenden so durchsetzbar (Sichtbetonteam, Koordinationsmaßnahmen)?
- Sind die Bauhilfsstoffe richtig gewählt (Schalung, Trennmittel etc.)?
- Welche Angaben für eine Richtrezeptur sollten bereits in der Ausschreibung berücksichtigt sein?
- Wie und wo soll die zu verwendende robuste Betonsorte definiert, entwickelt, erprobt und eingesetzt werden?
- Welchen Störungen kann man vorbereitend begegnen?
- Ist eine Optimierung der Betonsorte im Betonierprozess nach Plan A (z. B. abhängig von der Jahreszeit und Witterung) auch noch in der Praxis durchsetzbar (Plan B)?
- Sind störende Unregelmäßigkeiten erkennbar und mit einem alternativen Arbeitsschritt in der Betontechnologie vermeidbar?

- Welche Ergänzungen zur ersten Fassung des Master- und QS-Plans sind notwendig?

Das konventionelle Sichtbetonspektrum aus technischer Sicht

Für die vorhandenen konventionellen Betontechnologien gilt nach wie vor: vieles existiert und ist schon betontechnologischer Standard. So sind im aktuellen Regelwerk Definitionen und Anforderungen mit entsprechenden Materialparametern festgelegt. Diese geben jedoch nur die aktuellen Regeln der Technik wieder; sie müssen permanent an neue Entwicklungen angepasst werden. Dazu gehören z. B. Korrekturen in den Gestaltungsanforderungen für Sichtbetonflächen, aber auch neue Anforderungen an den Umweltschutz, Energieeinsparung, Nachhaltigkeit (siehe Tabelle 3) sowie an neue Technologien, z. B. Karbonfasern. Auch die offenbar in der Baupraxis bestehenden Wissenslücken sind ein Ansatzpunkt für die Weiterentwicklung eines Regelwerks. Sie können durch eine deutlichere Kenntnisnahme der Wirklichkeit auf der Baustelle (Personal, Witterungsbedingungen etc.) geschlossen werden. Hierzu seien nachfolgend einige Beispiele vorgestellt, auch wenn nicht auf alle Anwendungsbereiche eingegangen werden kann:

Schalungsvorbereitung

Die Schalungsvorbereitung mit dem Schalungssystemhersteller erfordert Informationen über das festgelegte Schalungssystem. Diese sollten aus dem Schalungsmusterplan hervorgehen mit Festlegungen zur Schalungshaut, zum Trennmittel, zur Verdichtungsart sowie deren Umfang und Kontrolle (z. B. bereits in der Phase der erweiterten Eignungsprüfung).

Die Entwicklung von verbesserten Schalungssystemen bzw. Schalungshauttypen (in Tabelle 5 in [1]) zeigte, dass nicht nur die Investitionskosten für ein Schalungssystem und eine Schalungshaut im neuen und späteren Zustand berücksichtigt werden müssen, sondern auch die Beschichtungsstoffe, deren Haltbarkeit (z. B. bei Neuentwicklungen oder notwendigen Reparaturen wegen häufigeren Einsätzen)

| Sichtbetonklassen nach [1] für Ortbeton | Anforderungen | Anwendungsbeispiele aus [1] |
|---|---|--|
| SB 1 | geringe gestalterische Anforderungen | Kellerwände oder Bereich mit vorwiegend gewerblicher Nutzung |
| SB 2 | normale gestalterische Anforderungen | Treppenhäuser und Stützwände |
| SB 3 | hohe gestalterische Anforderungen | Fassaden |
| SB 4 ¹⁾ und ²⁾ | besonders hohe gestalterische Anforderungen | repräsentative Bauteile |

¹⁾ Erforderliche aktuell bereits definierte Erweiterungen: Erste Erweiterung mit flexibler Definition z. B. auch nach VOB (DIN 18331) Architekturbeton

²⁾ Hinzugefügt werden müssten u. a. weitere Sichtbetonklassen mit flexibler Definition oder Architekturbeton und die neuen Sichtbetonsorten, die sich aus der wissenschaftlichen Weiterentwicklung von Leichtbeton, ultrahochfestem Beton und gedrucktem Beton ergeben.

(3) Sichtbetonklassen und vorgeschlagene Erweiterungen nach [1]



(5) Beispiel für eine konventionelle SB 4-Vorbereitung: Farbtonauswahl am Mock up



(6) Mock up für ein Bauvorhaben

und Sonderbauteile. Die Koordination der Haupteinflussparameter Schalung, Trennmittel und Frischbeton sollte hier unbedingt im Zusammenhang betrachtet werden.

Betonsorten

Eine robuste Betonsorte muss nicht komplett neu entwickelt werden. Durch Ergänzungen an Labormustern und Zusammenarbeit der Betontechnologen mit den Bauausführenden, dem Tragwerksplaner und dem Architekten kann eine bestehende Betonsorte weiterentwickelt und in der erweiterten Eignungsprüfung auf ihre Robustheit überprüft werden (Bilder 5 bis 8). Eine solche Betonsortenentwicklung sollte nach erster Prüfung auch auf Optimierbarkeit untersucht werden. Vorbehalte bezüglich des zusätzlichen Aufwands durch die Labormusterentwicklung und Mock up-Herstellung erweisen sich meist als nicht gerechtfertigt. Natürlich sind die entstehenden Kosten, Qualität etc. vorab zu klären.

Bauhilfsstoffe

Auch die Auswahl der Bauhilfsstoffe sollte kritisch entschieden werden, da sie Mehrkosten verursachen. Ein Zusatzmitteleinsatz bei der Betonsortenentwicklung kann beispielsweise bei einer Vielfalt von Möglichkeiten zu klaren Entscheidungen führen, z. B. bei den wirksamen Kettenmolekülen von PCE. (Hierbei handelt es sich um Polymere, deren Zusammensetzung an die gewünschte verflüssigende Wirkung individuell für die Betonsorte angepasst werden muss; es gibt kurze, lange und verzweigte PCE-Kettenmoleküle.)

Porigkeit

Störende Porigkeiten können durch den Einsatz von rheologischen Messungen am Zementmörtel bis 0/2 mm mit Rückschlüssen auf größere Körnungen (meist 0/16 mm) beherrscht werden. Hierzu sind jedoch vertiefte Kenntnisse von sichtbetontechnologischen Wechselwirkungen sowie Kenntnisse zur Bestimmung des Sedimentationsverhaltens notwendig. Ein Anwendungsbereich ist z. B. die extreme Dimensionierung von Stützen mit größerer Stützhöhe. Im Beispiel in Bild 9 weist eine scheinbar einfach herzustellende Stahlbetonstütze in SB 3 (nach [1]) nach dem Betonieren Sedimentationsunterschiede am Stützensockel auf. Die homogen ähnliche, analog dimensionierte Sichtbetonstütze mit 6 m Höhe zeigt diese Sedimentationserscheinungen nicht. Wenn diese Stütze jedoch 12 m hoch ist und unerwünschte, nicht mehr hinnehmbare Oberflächenunregelmäßigkeiten vermieden werden sollen, sind Steuerungsmaßnahmen mit unterschiedlichen Feinstsieblinien zur Erhaltung der gewünschten Konsistenz und Vermeidung von Sedimentation beim Einbringen notwendig.

Bewehrung

Die Bewehrung gehört in der konventionellen Sichtbetonherstellung zu den Bereichen, in denen immer wieder Korrekturen auf der Baustelle notwendig werden. Daher sollte der Tragwerksplaner die Bewehrung auf der Baustelle auf die Betonierbarkeit hin prüfen, um das Einbringen und Verdichten des Betons mit zu verbessern. Entsprechende Korrekturvorschläge sind auch durch die TGA und Objektüberwachung zu unterbreiten.

Das alte Thema der „zu dichten“ Bewehrung bedarf einer entsprechenden Planung in Leistungsphase 5 der HOAI (siehe auch Tabelle 1). Nach Auffassung des Autors gilt das nicht nur für die Bewehrung, sondern auch für die Dimensionierung. Hier kann v. a. die zeichnerische 3D-Kontrolle (z. B. im Zuge des Einsatzes von BIM) zu einer Verbesserung der Bauteildicken und Bewehrungsverteilung führen.

Eine zu hohe Bewehrungskonzentration behindert oft den Einbau und das Verdichten des frischen Betons und kann zu nicht mehr hinnehmbaren Oberflächenunregelmäßigkeiten führen. Wenn sich auf der Sichtbetonoberfläche Bewehrung abzeichnet, kann die Ursache u. a. darin liegen, dass die Innenrüttler die Bewehrung während des Betonierens berühren. Erfolgt die Berührung nur kurzzeitig, wird die Zentrifugalkraft am Betonstahl keine sichtbaren Abzeichnungen hervorrufen. Reagiert der Facharbeiter an der Rüttelflasche also schnell, ist mit keinen signifikanten Bewehrungsabzeichnungen zu rechnen. Andernfalls nimmt die störende Intensität von Abzeichnungen zwar mit fort-



(7) Labormuster für die Farbtonfestlegung auf Basis von vier verschiedenen robusten Betonsorten: Erprobt wurde u. a., welche Betonsorte bessere Eigenschaften hinsichtlich der Durchfeuchtung und des Hydrophobierungseffekts besitzen.



(8) Hydrophobierungstest



(9) Sockel einer 12 m hohen Sichtbetonstütze



(10) Ausschalvorgang

schreitender Austrocknung und Aushärtung ab. Ein sichtbarer Rest bleibt jedoch.

Eine Lösung dafür kann sein, die Betondeckung der Bewehrung auf der Oberfläche zu vergrößern. So könnte mit dem Tragwerksplaner vereinbart werden, welche Distanz zwischen Rüttelflasche und dem Betonstahl notwendig ist und es könnten Ergänzungen zur nominellen Betondeckung $n_{c,c}$ festgelegt werden. Alternativ kann ein koordiniertes Einbringen festgelegt werden mit einem zweiten oder dritten parallel arbeitenden Facharbeiter jeweils an einer Rüttelflasche.

Einbringen und Verdichten von konventionellem Beton

Stahlbetondecken z. B. mit Sichtbetonuntersichten können nach gründlicher Reinigung der Deckenschalung mit Pumpbeton hergestellt werden. Für Wände und Stützen geht das nicht. Es gibt aber auch hier Möglichkeiten, den Verdichtungsprozess zu differenzieren, z. B. durch analoges Verdichten dort, wo die Bewehrungskonzentration im Widerspruch zu den Anforderungen der Normung steht. Die bei Wänden empfohlene Krankübelbetonage im Kontraktorverfahren sollte im Zuge der Mock up-Herstellung überprüft werden im Hinblick auf Aspekte wie beispielsweise Ausflusskonsistenz aus dem Krankübelschlauch, Art und Länge des Schlauches. Zudem sind bei der Betonage im Kontraktorverfahren ein Verschluss des Schlauches am Ende und ein geeignetes Schlauchmaterial erforderlich.

Optimierungen beim Einbringen und Verdichten sind auch durch den Einsatz von mehreren Innenrüttlern oder den vorherigen Einbau von Rüttlern in die Schalung möglich, die bei vollzogener Verdichtung nur gezogen und nicht auch noch eingefädelt werden

müssen. Zu diesem Prozess gehört auch, das nur kurz in Schalung belassene Bauteil nach erster Abtrocknung der Sichtbetonflächen durch erprobte Hydrophobierungsmittel (z. B. Silane und Siloxane) zu schützen.

Ausschalvorgang

Die Daten für den Ausschalvorgang sollten allen Beteiligten präsent und im Terminplan berücksichtigt sein. Es sollte vorab bekannt sein, wann die Ausschalfestigkeit ausreicht wird, um z. B. ein Abbrechen von Kanten zu vermeiden. Die Anforderungen an den richtigen Ausschalzeitpunkt für die Betonsorte und das Sichtbetonbauteil können [1] und [2] entnommen werden.

Unregelmäßigkeiten am Frischbeton direkt nach dem Ausschalvorgang zeigen, dass der Beton oft weniger homogen ist, als es scheint. Auf jeden Fall reicht ein erstes Abtrocknen, das bei trockenem Wetter und geeigneten Temperaturen relativ schnell einsetzt, aber nicht aus, um kritische **Farbton-unregelmäßigkeiten** erkennen zu können. Der bisher (in Parallelität zur Festigkeitsentwicklung) vorgeschlagene Beurteilungszeitpunkt nach frühestens drei Wochen lässt sich leider nicht weiter allgemeingültig verfeinern. Dazu ist das Betonsortenspektrum (inklusive verwendeter Betonausgangsstoffe) inzwischen zu groß. Deshalb kann dieser Zeitraum als gültiges Minimum nach wie vor angenommen werden.

Nicht vorhersehbare Einflüsse

Zu den nicht änderbaren betontechnologischen Einflüssen gehören die Temperatur, die relative Luftfeuchtigkeit und die Kondenswasserbildung beim Ausschalen. Bauwasserbildung an der Betonoberfläche kann konstruktiv vermieden werden. Für

Kondenswasserbildung, die sich im Herbst und Winter beim Ausschalen zeigt, gilt dies nicht. Als physikalisches Phänomen ist sie in ihren Ursachen nicht steuerbar. Wenn sich an der Betonoberfläche Kondenswasser bildet, zeigen sich helle Fließrinnen, die einen kaum sichtbaren Erosionsvorgang an der Oberfläche (mikroskopisch rau und damit heller; siehe [6]) abbilden. Diese Weißaufhellung ist unumkehrbar, es verbleiben vertikale, aufgehellte Fließrinnen. In diese Kategorie fällt auch die Dunkelverfärbung [6] infolge Betonage bei für die Sichtbetonherstellung ungeeigneten Umweltbedingungen (im unteren Teil von Wänden bei Plus-Temperaturen bis zu etwa 10 °C und hoher relativer Luftfeuchtigkeit).

Praxisorientierte Sichtbetonweiterentwicklung

Es findet sich kein plausibles Argument dafür, nur konventionellen Sichtbeton zu bauen. Auch Weiterentwicklungen sind möglich; dabei gilt es, Misserfolge und Kritik zuzulassen. Die praxisorientierte Weiterentwicklung zu modernen Betonen aus bereits bekannten Forschungsergebnissen erfordert stets Umstellungen und Neubewertungen. Die Einführung neuer Sichtbetone wird Aufklärungsarbeit und Vertiefung des Fachwissens erfordern. Dabei sollten wir darauf achten, dass das Fehlerisiko zuvor genauer untersucht wurde, um Gefahren zu vermeiden.

Risiken in der zukünftigen Sichtbetonherstellung lassen sich anfangs nicht erkennen. Allerdings kamen schon in der Vergangenheit von seriösen Sichtbeton- und Fertigteilherstellern immer wieder neue wegweisende Entwicklungen – unabhängig von der später erforderlichen Zulassung für den praktischen Einsatz. Neue Grenzen werden z. B. für neue Sichtbetonsorten mit

- Karbonfasern
- Basaltfasern
- Textilgewebe
- beim Drucken von Beton

festzulegen sein, denn diese führen absehbar zu umfangreicheren und komplexeren Herstellungsprozessen. Zu den bisher vom Gesetzgeber vorgegebenen Genehmigungs-

auflagen gehören dann – wie teilweise schon begonnen – z. B. auch Anforderungen an die Energieeinsparung, Nachhaltigkeit und den Ressourcenverbrauch.

Eine der fatalsten Entwicklungen der letzten Jahrzehnte besteht aber meiner Meinung nach darin, Wissensvermittlung als ausreichend anzusehen. Dies führt zu einer von rein naturwissenschaftlich-kognitiven Erkenntnissen bestimmten Entscheidungshaltung. Das emotionale Mitwirken der Teambeteiligten bleibt unberücksichtigt. Aus jeder Vision eines zukünftigen sichtbetontechnologischen Niveaus generieren sich Motivation und der Wunsch, einen anderen Zustand zu entwickeln als den, den es bisher gegeben hat. Diese Details sind in Master- und QS-Plänen nicht sichtbar; sie lassen sich aber mit Kreativität und Wechselwirkungen im Sichtbetonteam durch offene Diskussion (nicht immer möglich) einbringen, um eine optimierte Lösung zu erreichen.

Bedeutung von Erfahrungen

Die sichtbetontechnologische Zukunft wird nach dem aktuellen Wissensstand geprägt sein von Energie- und Ressourceneinsparung in jeglicher Hinsicht. Gleichzeitig besteht eine Neugier und Sehnsucht nach neuen Materialkenntnissen für die Betongestaltung und -ausführung. Das bedeutet u. a.: Wir benötigen häufiger neben der Variante A auch die Varianten B, C und D, die durch Forschen und neue Erfahrungen entstehen. Bedenkenlose Routine übersieht aber sich ankündigende Probleme. Erfahrung an sich gewährleistet keine Sachkenntnis und Qualitätssicherheit, weil Menschen sehr häufig und immer wieder dieselbe Erfahrung machen – und zu wenig tun, um die Wiederholung zu beseitigen. Erfahrungen können dadurch zu einer Falle werden [7]. Sie sind nur dann hilfreich, wenn sie bei Vorgängen eingesetzt werden, die jenen Vorgängen gleichen, an denen man diese Erfahrungen gesammelt hat. Auch Pläne sind nach bereits bekannten Daten und Abläufen entwickelt, weshalb sie bei neuartigen Projekten oft wenig erfolgversprechend wirken. Um ein Scheitern zu verhindern, ist also zwischen wirklich übertragbaren Erfahrungen und solchen, die nur scheinbar gleich sind, zu differenzieren [7].

Das verdeutlicht sich derzeit auf der Baustelle an der Personalbesetzung, insbesondere der Facharbeitersituation, die inzwischen v. a. für Nachunternehmer zum Risiko geworden ist. Betonfachkräfte benötigen eine ausreichende und praxisnahe Qualifikation durch Aus- und Weiterbildung, um in ihrem Engagement und Qualitätsempfinden geschult zu werden. Wissen, Unwissenheit sowie handwerkliche Professionalität und Management ergänzen sich und sind besonders wertvoll, wenn Mitarbeiter sensibilisiert werden können, sich zu bemühen, Lücken aufzudecken und zu beseitigen.

Die Betontechnologie mit den sich verschiebenden Grenzen der Machbarkeit sollte versuchen, sich in einer zu schützen, die Umwelt mit Einbindung in die aktuelle gesellschaftliche Situation fortzuentwickeln. Das ist möglich mit erfolgreicher Einbindung

in die Wirklichkeit der Bauwirtschaft. Dazu ist einerseits das vorhandene Wissen und die Erfahrung zu berücksichtigen. Andererseits unterstützen die zuvor genannten Maßnahmen im Baustellenmanagement die Qualitätssicherung. Hier sind v. a. die Wechselwirkungen im Sichtbetonteam zu beachten. Informationen sollten allgemein zugänglich sein und zu klaren und schnelleren Reaktionen auf Veränderungen führen – in der zuvor definierten bzw. geplanten Reihenfolge. Diese Aspekte sind sowohl in der konventionellen Betontechnologie als auch in den künftigen komplexeren Herstellungsprozessen möglich. ■

Literatur

- [1] DBV/VDZ-Merkblatt Sichtbeton, Fassung 06/2015
- [2] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik: Richtlinie Sichtbeton – Geschalte Betonflächen inklusive Gütezeichen „Fachbetrieb für Sichtbeton“, Ausgabe 11/2009
- [3] Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilebau e. V. (FDB): Merkblatt Nr. 8 über Betonfertigteile aus Architekturbeton, Ausgabe 03/2020
- [4] Bundesanstalt für Straßenwesen: ZTV-ING – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Ausgabe Oktober 2021
- [5] Krell, J.: Einbau und Verdichten planen – Der Einbau bestimmt die Bauteileigenschaften, in: BFT International, Jg. 86, Nr. 2, 2020, S. 87–88
- [6] Strehlein, D.; Schiebl, P.: Fleckige Dunkelverfärbungen an Sichtbetonflächen. Charakterisierung und ursächliche Mechanismen im erhärtenden Beton, in: Beton, Jg. 59, Nr. 1/2, 2009, S. 24–31
- [7] Welzer, H.: Selbstdenken. 4. Aufl., Fischer Verlag, Frankfurt 2020

Zur Person



Rolf-Dieter Schulz

studierte an der TU Dresden. 1965 schloss er sein Studium mit Diplom ab. Von 1965 bis 1969 übernahm er in Berlin planerische und wissenschaftliche Aufgaben. Anschließend arbeitete er bis 1972 als Bauleiter in München. Von 1972 bis 1978 leitete er das Labor der Münchner Baustoffprüfungs-GmbH, von 1978 bis 1987 war er Abteilungsleiter bei der Sager + Woerner Bau-AG, München sowie in den Jahren 1982/1983 gleichzeitig Geschäftsführer der vacuplan GmbH. Anschließend übernahm er bis 2006 Tätigkeiten als Bauberater des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins e. V. und Überwachungsingenieur der Gütegemeinschaft Erhaltung von Bauwerken e. V. 1976 gründete er zudem das Ingenieurbüro für das Bauwesen in Brunthal bei München, das er bis heute leitet.

Kontakt

Ingenieurbüro für das Bauwesen
Dipl.-Ing. Rolf-D. Schulz
Eichenstr. 15a, 85649 Brunthal
Internet: www.beton-schulz.de
E-Mail: r.d.schulz@beton-schulz.de