

## Vorbemerkungen

Der erste Beitrag mit dem Titel „Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau“ wurde von den Autoren *A. Steinle* und *V. Hahn* für den Beton-Kalender 1988 erarbeitet. Er erschien erneut im Beton-Kalender 1995 sowie als Buch 1998 in der Reihe Bauingenieur-Praxis. Für den Beton-Kalender 2009 erfolgte eine Aktualisierung von den Autoren *H. Bachmann*, *A. Steinle* und *V. Hahn*, die ebenfalls in der Reihe Bauingenieur-Praxis als Buch 2010 veröffentlicht wurde. Für den Beton-Kalender 2016 wurde der Beitrag von den Autoren *A. Steinle*, *H. Bachmann* und *M. Tillmann* neu konzipiert und komplett überarbeitet. Für den Beton-Kalender 2021 erfolgte eine Aktualisierung von den Autor:innen *H. Bachmann*, *M. Tillmann* und *S. Urban*, die nun in der Reihe Bauingenieur-Praxis in 4. Auflage als Buch veröffentlicht wird.

Im ersten Abschnitt wird zunächst Allgemeines über den Fertigteilbau, über seine geschichtliche Entwicklung und über den Stand der europäischen Normung gesagt. Ein wirtschaftlicher Einsatz von Betonfertigteilen ist nur mit einem fertigungs- und montagegerechten Entwurf möglich. Daher wird im zweiten Abschnitt der Entwurf des Tragwerks von Fertigteilbauten behandelt. Neben den zu beachtenden Randbedingungen für einen fertigtteilgerechten Entwurf werden einige typische Fertigteilkonstruktionen zur Diskussion gestellt.

Im dritten Abschnitt wird die Aussteifung von Fertigteilgebäuden ausführlich behandelt. Insbesondere aufgrund von kritischen Detailnachweisen ist eine ingenieurmäßige und vereinfachende Betrachtung der Aussteifung gegenüber einer computergestützten Berechnung vorzuziehen. Im Weiteren werden dann die verschiedenen Bauteile des Fertigteilbaus dargestellt und schließlich deren Zusammenfügen in Knotenpunkten. Die spezifischen Themen der Bemessung werden im sechsten Abschnitt näher untersucht.

Ein zunehmend wichtiger Anwendungsbereich für Betonfertigteile ist der Fasadensbau. Diesem wird der siebte Abschnitt gewidmet. Gerade hier spielt der Einsatz neuer Betone und Bewehrungen eine große Rolle. Abschließend wird auf die Fertigung eingegangen, um dadurch beim Leser das Verständnis für die Bauweise unter Berücksichtigung der Herstellung zu erweitern.

Neue Betone, neue Bewehrungen, neue Herstellverfahren – diese Themen werden vornehmlich im Fertigteilbau entwickelt oder zumindest erstmals angewendet.

Daher stellt der Betonfertigteilbau eine der innovativsten Bauweisen dar, was sich in einer zunehmenden Verbreitung dieser Bauweise widerspiegelt.

Auch wenn sich die Verfasser in diesem Buch vor allem auf den allgemeinen Hochbau konzentrieren, soll nicht unerwähnt bleiben, dass sich der Betonfertigteilbau beträchtliche Marktanteile in vielen anderen Bereichen des Bauens durch Entwicklung von wirtschaftlichen Sonderlösungen erobern konnte. Als Beispiele können der Brücken- oder der Tunnelbau (Tübbings), Rohre, Maste, Pfähle, Fertigteilkeller, Stützmauern, Raumzellen, Fertigaragen, Lärmschutzwände, Eisenbahnschwellen, landwirtschaftliche Bauten, feste Fahrbahnen genannt werden. Auch „Betonwaren“ des Straßen-, Landschafts- und Gartenbaus, z. B. Pflastersteine, werden in diesem Buch nicht behandelt. Zu diesen Fachgebieten wird auf die entsprechende Spezialliteratur verwiesen.

Das Literaturverzeichnis wurde neu zusammengestellt und enthält im Wesentlichen Literaturstellen der letzten Jahre. Ältere Literaturstellen wurden nur dann beibehalten, wenn sie Lösungsansätze zu grundlegenden Problemstellungen aufzeigen, die auch heute noch gültig sind. Bezüglich älterer Literatur wird insbesondere auf die früheren Beiträge in den Beton-Kalendern 1988, 1995, 2009 und 2016 verwiesen [1–4]. Ebenso wird auf die Erfassung der allgemeinen Literatur des Stahlbetonbaus verzichtet und auf die entsprechenden Beiträge im Beton-Kalender verwiesen, sofern es sich nicht um Arbeiten handelt, die spezielle Probleme des Fertigteilbaus berühren.

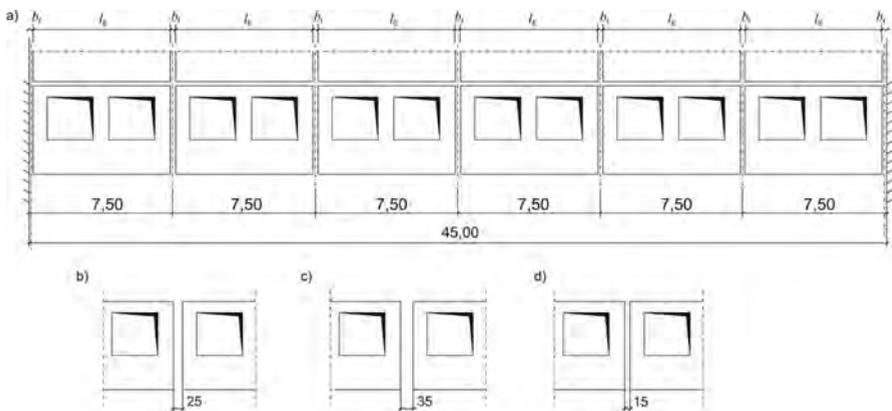
Insbesondere wird auf die Broschüren der Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e. V., z. B. [5, 6] sowie auf [7] hingewiesen. Das fib-Handbuch umfasst darüber hinaus auch internationale Entwicklungen auf dem Gebiet des Betonfertigteilbaus [8]. Im Beton- und Fertigteil-Jahrbuch [9], heute unter der Bezeichnung „Betonbauteile“ veröffentlicht, werden jährlich aktuelle Themen aus dem Bereich des konstruktiven Fertigteilbaus und der Fertigteilarchitektur veröffentlicht.

## Literatur

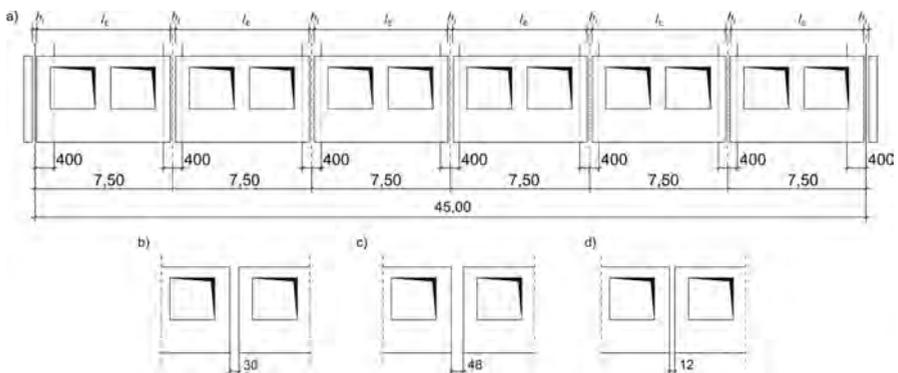
- [1] Steinle, A. und Hahn, V. (1988). Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau. In: *Beton-Kalender 1988, Teil 2* S. 343–513. Berlin: Ernst & Sohn.
- [2] Steinle, A. und Hahn, V. (1995). Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau. In: *Beton-Kalender 1995, Teil 2* S. 459–620. Berlin: Ernst & Sohn.
- [3] Bachmann, H., Steinle, A. und Hahn, V. (2009). Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau. In: *Beton-Kalender 2009, Teil 2* S. 151–335. Berlin: Ernst & Sohn.
- [4] Steinle, A., Bachmann, H. und Tillmann, M. (2016). Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau. In: *Beton-Kalender 2016, Teil 1* S. 237–472. Berlin: Ernst & Sohn.
- [5] Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e. V., *Betonfertigteile im Geschoss- und Hallenbau* (zu beziehen über [www.fdb-fertigteilbau.de](http://www.fdb-fertigteilbau.de)).
- [6] Tillmann, M. (2019). *Knotenverbindungen für Betonfertigteile*. Bonn: Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau, (zu beziehen über [www.fdb-fertigteilbau.de](http://www.fdb-fertigteilbau.de)).
- [7] Bindseil, P. (2012). *Stahlbetonfertigteile nach Eurocode 2 – Konstruktion, Berechnung, Ausführung*. Köln: 4. Aufl., Werner Verlag.
- [8] fib (2014). *Planning and design handbook on precast building structures*.
- [9] *Jahrbuch Beton Bauteile* (jährlich). Gütersloh: Bauverlag GmbH.

der Fertigteile entsprechend berücksichtigt wird. Da dies einen erheblichen Einfluss auf den Bauablauf hat, ist die Durchführung solcher Maßnahmen im Vorfeld sorgfältig mit allen Beteiligten abzustimmen.

Ergebnisse von Passungsberechnungen zur Ermittlung von Fugenbreiten an Fasadensplatten zeigen Abb. 2.6 (mit Aufmaß) und Abb. 2.7 (ohne Aufmaß) [6]. Die Fugenbreiten in Abb. 2.7 sind größer, da in diesem Fall die Ungenauigkeiten des Rohbaus unbekannt sind und somit bei der Passungsberechnung berücksichtigt werden müssen.



**Abb. 2.6** Fugenbreiten bei vorherigem Aufmaß; a) Ansicht und Abmessungen der Fassade, b) Nennmaß der Fugenbreite, c) maximale Fugenbreite, d) minimale Fugenbreite.



**Abb. 2.7** Fugenbreiten ohne vorheriges Aufmaß; a) Ansicht und Abmessungen der Fassade, b) Nennmaß der Fugenbreite, c) maximale Fugenbreite, d) minimale Fugenbreite.

## 2.3 Herstellung

Moderne Herstellungstechniken in Verbindung mit CAD/CAM-Unterstützung (Computer Aided Design bzw. Computer Aided Manufacturing) erlauben eine hohe Flexibilität und Variabilität bei kurzen Herstellungsprozessen. Eine durchdachte Typisierung

von Bauteilen und Verbindungen hilft beim Vermeiden von Missverständnissen und kommt einem kostenoptimierten Bauablauf sehr entgegen. Durch standardisierte Produktionsabläufe mit entsprechenden Wiederholungs- und Einarbeitungseffekten sowie Erfahrung und Routine entstehen enorme Arbeitszeiterparnisse im Werk und auf der Baustelle, die nicht nur Kosten reduzieren, sondern die Qualität und Zuverlässigkeit verbessern und letztlich Transport und Montage erleichtern.

Betonfertigteile sind keine Massenware, sondern „maßgeschneiderte“ Bauteile, da selbst geringe Veränderungen (Querschnittsabmessungen, Bauteillängen, Einbauteile oder Öffnungen) zu unterschiedlichen Schalungsformen und Bewehrungsführungen führen.

Einen anderen Weg beschreitet man mit Modulbauweisen nach dem Baukasten- oder Raumzellenprinzip ([13, 14], Abb. 2.8). Hier werden nicht Bauteile wie Stützen, Wände oder Decken einzeln hergestellt, sondern ganze Raummodule. Der Modulbau bietet einen sehr hohen industriellen Automatisierungs- und Vorfertigungsgrad von bis zu 90 %.

Die Herstellungsprozesse im Fertigteilwerk unterscheiden sich vielfach grundlegend von der konventionellen Fertigung auf der Baustelle (s. Abschnitt 8.1.1). Durch die Verwendung von Systemschalungen werden Schalungs- und Herstellungskosten gesenkt und die Produktivität erhöht. Der Herstellungsaufwand für jedes einzelne Fertigteil und damit auch mögliche Fehlerquellen werden somit auf ein Minimum reduziert.

Die Oberflächen der Schalungsseiten weichen naturgemäß von den ungeschalteten Oberflächen ab, unabhängig davon, ob Holz-, Stahl- oder Matrizenschalungen



**Abb. 2.8** Raummodul (Foto: Laumer Bautechnik).



**Abb. 2.9** Kipptisch.

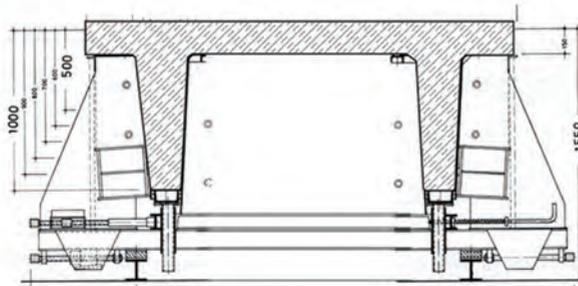
verwendet werden. Daher bedarf es häufig einer zusätzlichen Bearbeitung der ungeschalteten Seite durch Abziehen, Reiben, Glätten oder Rollen.

Flächenartige Fertigteile wie Decken oder Wände werden meist liegend auf Kipptischen hergestellt, sodass die Oberseite die ungeschaltete Seite darstellt (Abb. 2.9). Batterieschalungen, die geschaltete Oberflächen auf beiden Seiten der Wand ermöglichen, sind in Fertigteilwerken nur noch selten anzutreffen.

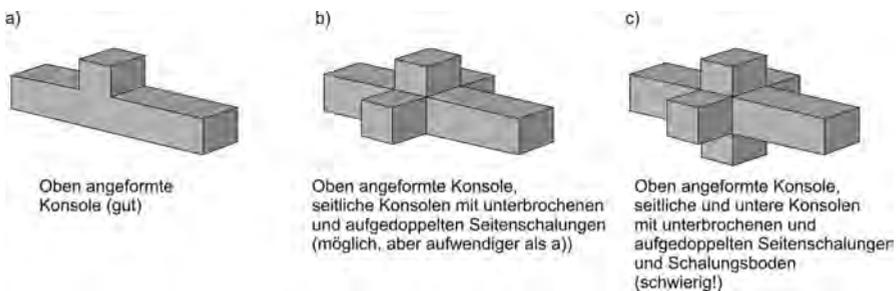
Um zu vermeiden, dass Beton in die Fuge zwischen Seitenschalungen und Bodenschalung läuft, muss die Fuge abgedichtet werden. Dies geschieht im Allgemeinen mit Dreikantleisten aus Holz oder Kunststoff, wodurch die Unterkanten von Fertigteilen im Allgemeinen gefast, d. h. gebrochen sind. Sollen auch die Oberkanten („oben“ im Sinne des Herstellungsprozesses) gefast sein, so muss dies in den Elementzeichnungen angegeben werden. „Scharfe“ Kanten sind möglich, benötigen aber gemäß [15] einen für die Herstellung notwendigen Radius von ca. 3 mm.

Balken- oder Plattenbalkenquerschnitte werden oftmals in starren Schalungen hergestellt. Dann sind die Seiten von „Rechteckträgern“ oder von Stegen von TT-Platten angevoutet, damit solche Elemente nach dem Aushärten des Betons ohne Schalungshaftung aus der Schalung gehoben werden können (Abb. 2.10). Bei sichtbaren Knotenpunkten sind solche herstellungsbedingten Eigenschaften von Fertigteilen beim Entwurf zu berücksichtigen.

Stützen werden meist liegend in einer Schalung hergestellt, sodass in der Regel die Einfüllseite der Stütze die ungeschaltete Seite darstellt. Hat die Stütze Konsolen nach unterschiedlichen Richtungen, so ist mit dem Werk abzuklären, auf welcher Seite die Stütze betoniert werden soll oder kann (Abb. 2.11).



**Abb. 2.10** Schalung einer TT-Platte.



**Abb. 2.11** Liegend hergestellte Stützen; a) mit oberseitiger Konsole, b) mit dreiseitigen Konsolen, c) mit vierseitigen Konsolen.

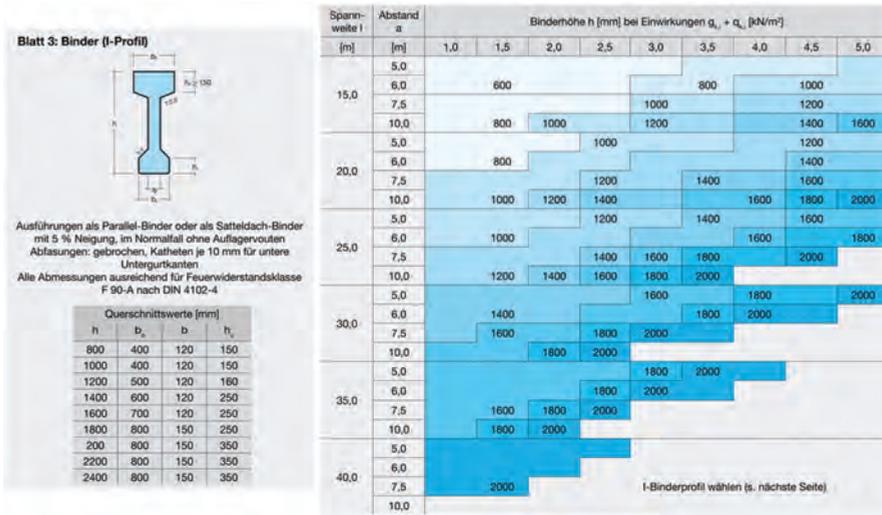
In [1] sind ein umfassendes Typenprogramm sowie Tragfähigkeitstabellen für Betonfertigteile enthalten. Damit lassen sich in der Entwurfsphase die erforderlichen Querschnittsabmessungen vordimensionieren, die als Grundlage für die Kalkulation dienen können (Abb. 2.12).

Konsolen, ausgeklinkte Auflager, Gabellagerungen, Scherbolzen und Elastomergelager sind ständig wiederkehrende Konstruktionselemente des Betonfertigteilbaus, sodass ein Wiederholungseffekt auch hier vorhanden ist und der Arbeitsaufwand reduziert werden kann. Standardisierte und katalogisierte Verbindungen wie im Stahlbau sind im Betonfertigteilbau allerdings nicht umzusetzen. Ausführliche Hinweise und Details sowie typische Beispiele zu Knotenverbindungen für Betonfertigteile enthalten [1] und [4].

## 2.4 Transport und Montage

### 2.4.1 Allgemeines

Herstellung, Transport und Montage sind die wesentlichen Einflussgrößen für die Elementierung eines Bauwerks und müssen deshalb schon bei der Entwurfsplanung berücksichtigt werden. Elementierung bedeutet die Unterteilung eines Gebäudes



**Abb. 2.12** Auszug aus dem FDB-Typenprogramm und der FDB-Tragfähigkeitstabelle (aus [1]).

bzw. eines Gebäudeabschnitts in herstellbare, transportable und montierbare Einheiten. Wichtige Faktoren sind hierbei maximale Transportabmessungen, Transportgewicht und Transportwege sowie mögliche Montagegewichte und Hebezeuge im Werk und auf der Baustelle.

Je kleiner die Elemente bzw. je größer die Stückzahlen, desto größer ist der Arbeitsaufwand für Herstellung, Transport und Montage, für Befestigungen und Verbindungen der einzelnen Elemente untereinander sowie für die Herstellung der Fugen. Daher sollte eine maximale Größe der Elemente angestrebt werden, um den oben beschriebenen Aufwand im Werk und auf der Baustelle zu minimieren und unnötige Kosten zu vermeiden.

Örtliche Gegebenheiten und Montageweisen sind von großer Bedeutung. Beim Bauen auf der grünen Wiese sind selten Zwangspunkte zu berücksichtigen, die einen störenden Einfluss auf den Bauablauf haben könnten (Abb. 2.13a). Beim Bauen in dicht bebauten innerstädtischen Gebieten kann allerdings aufgrund beengter Bau-situationen der ausschließliche Einsatz eines Hochbaukrans unumgänglich sein, sodass die Konstruktion aufgrund der geringen Traglast eher kleinteilig gestaltet werden muss (Abb. 2.13b).

### 2.4.2 Transport

Die maximalen Abmessungen (Länge, Breite, Höhe) und das maximale Gesamtgewicht von Fahrzeugen bzw. Fahrzeugkombinationen sind in der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) festgelegt (Tab. 2.7). Aus den zulässigen Werten der



**Abb. 2.13** a) Unbehinderte Montage mit Auto- und Raupenkränen, b) Montage in der Großstadt mit Hochbaukränen (Foto: Architekturforum).

StVZO für die Fahrzeuge ergeben sich die maximal möglichen Abmessungen der Bauteile:

- maximale Länge bei üblichen Zugmaschinen ca. 12,5 m,
- maximale Breite 2,50 m,
- maximale Höhe in Abhängigkeit der Höhe des Aufliegers ca. 3,60 m,
- das maximale Gewicht der Bauteile beträgt in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp ca. 25 t. Darüber hinaus gibt es in der Regel Begrenzungen der Achslast von 10 t.

Bei größeren Abmessungen oder größerem Gesamtgewicht wird eine Sondergenehmigung nach Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) §29 bzw. StVZO § 70 erforderlich. Transporte sind in solchen Fällen evtl. mit eigener oder mit Polizeibegleitung durchzuführen. Derartige Ausnahmen können von den jeweiligen höheren Verwaltungsbehörden (z. B. Regierungspräsidien) für den Einzelfall oder als Dauererlaubnis auf mehrere Jahre erteilt werden (Tab. 2.7).

**Tab. 2.7** Zulässige Abmessungen und Gesamtgewicht für Straßentransport (abhängig von der jeweiligen Genehmigungsbehörde).

	<b>Ohne besondere Genehmigung (nach StVZO § 32)</b>	<b>Mit Jahresdauergenehmigung (StVO §29 und StVZO § 70)</b>
Breite	2,55 m	3,00 m
Höhe	4,00 m	4,00 m
Länge	15,50 m	24,00 m
Gesamtgewicht	40 t (nach § 34)	48 t (Zugmaschine mit Selbstlenk-Anhänger)

Bei Sondertransporten bedarf es einer frühzeitigen Prüfung der Transportroute, auch hinsichtlich der möglichen Transportzeiten (ggf. nur Nachttransport). Überschreiten diese Sondertransporte die Ländergrenzen, ist darüber hinaus von jedem Bundesland die Transportgenehmigung einzuholen und aufeinander abzustimmen. Dies kann sich im Einzelfall äußerst komplex darstellen mit negativen Auswirkungen auf die Kosten und die Transportzeit.

Für den Straßentransport werden die in Tab. 2.8 aufgeführten Fahrzeuge eingesetzt.

Bezüglich der Erreichbarkeit einer Baustelle ist zu berücksichtigen, dass häufig nicht nur Straßen, sondern auch unbefestigte Wirtschaftswege oder Baustraßen zu befahren und Brücken zu über- oder unterqueren sind. Zulässige Achslasten bzw. Gesamtgewichte auf unbefestigten Wegen oder auf Brücken sowie zulässige Durchfahrthöhen unter Brücken sind daher zu beachten. Dichte Bebauungen (Abb. 2.15), enge Kurvenradien, Kreisverkehre, Ampelanlagen, Beschilderungen oder Beleuchtungen können ebenfalls Zwangspunkte darstellen. Darüber hinaus sind unter Umständen besondere Genehmigungen an Feiertagen oder während der Ferienzeit einzuholen.

**Tab. 2.8** Fahrzeuge für den Straßentransport.

Bauteilart	Beförderungsmittel
Stützen und Binder bis 16 m Länge	Sattelzug mit ggf. ausziehbarem Sattelaufleger
Stützen und Binder ab 16 m Länge	Zugmaschine mit Nachläufer (Abb. 2.14a)
Fassadenplatten	Innenlader (Abb. 2.14b)
Bodenplatten und Fundamentbalken	Sattelzug mit ggf. Tieflader
Brückenträger	Zugmaschine mit Nachläufer (Abb. 2.15)



**Abb. 2.14** a) Zugmaschine mit Nachläufer, b) Innenlader.



**Abb. 2.15** Transport eines Brückenträgers.

Zur Ladungssicherung von flächigen Betonfertigteilen auf Straßenfahrzeugen siehe VDI-Richtlinie 2700 Blatt 10.1, in der eine Auswahl geeigneter Verfahren und Methoden zur Ladungssicherung beschrieben wird. Des Weiteren sind aktuelle Untersuchungen zur Ermittlung von Gleit-Reibbeiwerten zwischen unterschiedlichen Kontaktflächen (Beton auf Stahl, Beton auf Holz, Beton auf Beton) für den Transport von flächigen Bauteilen in die Richtlinie eingegangen. Hinweise und Empfehlungen zur Ladungssicherung von konstruktiven Fertigteilen enthält [16].

Fertigteile sollten beim Transport und der Montage durch geeignete Maßnahmen geschützt werden. Um Abdrücke oder Verfärbungen an den Bauteilen zu vermeiden, hat sich eine Lagerung z. B. auf Kunststoffnoppenplatten bewährt.

Bahntransporte sind lediglich in Einzelfällen eine sinnvolle Alternative zum Straßentransport, z. B. wenn sehr schwere Fertigteile oder große Mengen über einen langen Zeitraum zu befördern sind. Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Bahntransport ist ein eigener Gleisanschluss des Fertigteilwerks, da ansonsten die erforderliche Vorfracht vom Fertigteilwerk zum Bahn-Umschlagplatz die Gesamtkosten erhöht. Die wesentlichen Einschränkungen für Bahntransporte ergeben sich aus dem Lichtraumprofil der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO). Bei großen Bauteillängen ist darauf zu achten, dass das Lichtraumprofil insbesondere in Kurven nicht überschritten wird. Bei herkömmlichen Flachwagen ergeben sich darüber hinaus Höhenbegrenzungen. Sendungen in Containern, bei denen die Breite und Höhe je auf ca. 2,30 m und die Länge auf 12,00 m begrenzt sind, kommen für konstruktive Betonfertigteile nur selten in Betracht [17].

Der Transport mit dem Schiff ist sehr selten, da zum einen das Wasserstraßennetz nicht die gleiche Dichte wie das Schienen- oder das Straßennetz hat und zum anderen die langen Fahrzeiten die Logistik erschweren. Lediglich bei einem direkten Zugang der Baustelle zu einer Wasserstraße, beim Transport von sehr großen und schweren Bauteilen oder über sehr lange Strecken kann ein Schiffftransport vorteilhaft sein [17, 18].

### 2.4.3 Montage

Bei der Montageplanung spielen folgende Aspekte eine Rolle:

- Art des Bauwerks (Brücke, Halle, Geschossbau),
- örtliche Gegebenheiten (angrenzende Bebauung, Brücken, Leitungen),
- Terminplanung (Bauabschnitte, Bauzeit),
- gesetzliche Vorgaben.

Häufige Montagearten sind:

- vertikale Montage, bei der die Fertigteile feldweise über die gesamte Gebäudehöhe versetzt werden (z. B. bei Schallschutzwänden oder Hallen),
- horizontale (geschossweise) Montage (z. B. bei mehrgeschossigen Skelettbauten).

Bei einer sortenreinen Montage beschränkt sich eine Montagekolonne auf die Montage jeweils gleicher Bauteile.

## 7

# Fassaden aus Betonfertigteilen

## 7.1 Allgemeines

Beton hat sich zudem in den letzten Jahren zu einem leistungsfähigen Hochtechnologiebaustoff entwickelt, der aufgrund seiner Formbarkeit bislang ungeahnte kreative Möglichkeiten eröffnet. Eine zunehmende Experimentierfreude von Architekten und Betonfertigteilerherstellern geht mit dieser Entwicklung Hand in Hand.

Der Trend zu Fassaden aus Architekturbeton ist unverkennbar. Der Begriff „Architekturbeton“ beinhaltet nach [1] einerseits hohe Anforderungen an Oberfläche, Form und Farbe der Fertigteile und andererseits konzeptionelle Aspekte, wenn Betonfertigteile bewusst als Gestaltungselement der Architektur ausgewählt werden.

In der Fachliteratur erhält dieses Thema eine immer größere Bedeutung. Insbesondere das jährlich erscheinende Jahrbuch „Betonbauteile“ gibt interessante Einblicke in aktuelle Entwicklungen [2] (Abb. 7.1).

Beispiele für konstruktive und gestalterische Lösungen von Betonfassaden zeigt Abb. 7.2. Dies sind z. B.:

- Lochfassaden,
- aufgelöste Fassaden oder flächige Kombinationen,
- Gitter- und Bandfassaden.

Darüber hinaus kann eine Einteilung in die unterschiedlichen Typen von Wandplatten erfolgen:

- Sandwichplatten (Abschnitt 7.5),
- großformatige vorgehängte Wandplatten (Abschnitt 7.6.1),
- kleinformartige vorgehängte Wandplatten, z. B. Betonwerksteinplatten (Abschnitt 7.6.2).



Abb. 7.1 Fassaden aus Architekturbeton (Fotos: FDB-Mitgliedsunternehmen).

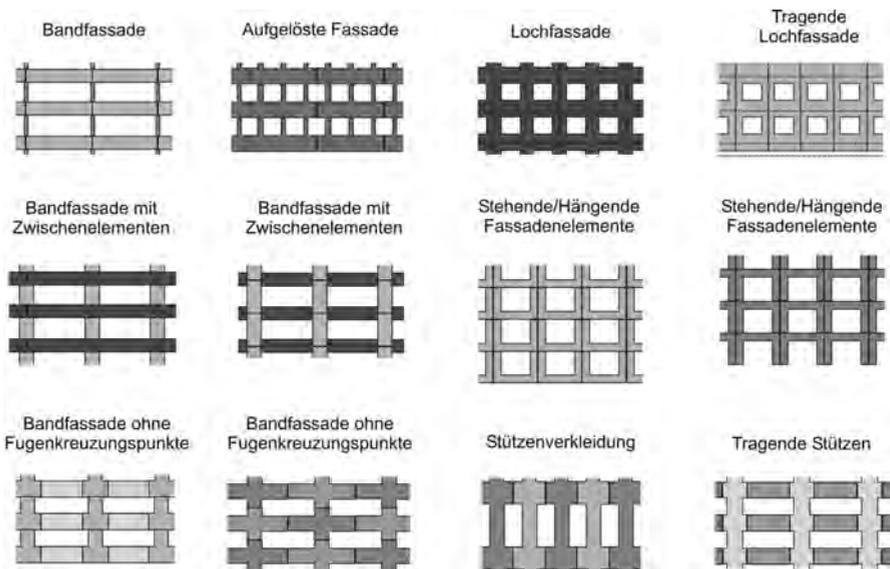


Abb. 7.2 Beispiele für Fassadengestaltungen.

## 7.2 Entwurf

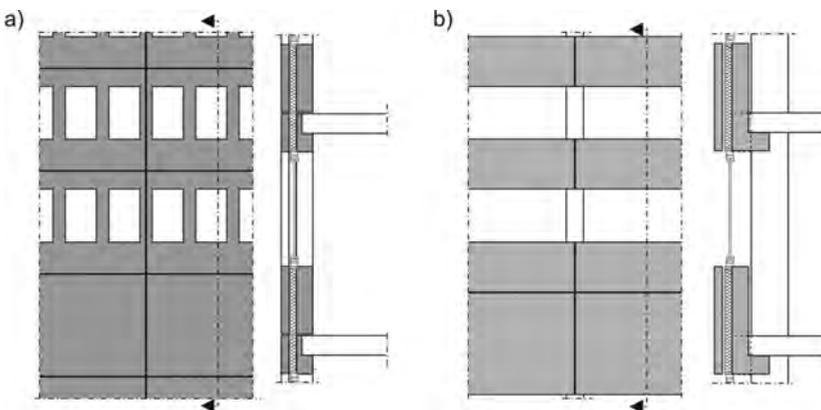
Betonfassaden lassen sich prinzipiell in Fassaden mit direkter Lastabtragung oder mit Lastabtragung durch Stützen einteilen. Im ersten Fall erfolgt die Abtragung der Lasten an den Gebäudeaußenseiten direkt durch die übereinanderstehenden Wandtafeln. Bei tragenden Fassaden aus Sandwichelementen werden die Lasten durch die innen liegende Tragschicht aufgenommen, die an den horizontalen Elementfugen durch Mörtel kraftschlüssig verbunden werden (Abb. 7.3).

Tragschichten können vor, zwischen oder hinter den Stützen angeordnet werden. Hieraus ergeben sich zusätzliche Gestaltungsmöglichkeiten z. B. bei der Einteilung der Fensteröffnungen.

Die Fassadenplanung muss die statischen, bauphysikalischen, haustechnischen und architektonischen Gesichtspunkte sowie die Einflüsse der Fremdgewerke berücksichtigen. Hierfür sollte ein frühzeitiger Kontakt mit einem Herstellerwerk aufgenommen werden.

Für die Fassadenplanung gelten nach [1] und [3] folgende Randbedingungen:

- Die Abmessungen sollten nicht größer sein als Länge/Höhe = 9,5 m/3,8 m. Dies ergibt sich aus den Abmessungen eines Innenladers, in dem die Elemente transportiert werden (s. Abschnitt 2.4.2).
- Bei Lochfassaden sollte die Pfostenbreite mindestens 200 mm betragen.
- Bei Konsolbändern sollten die Abmessungen nicht kleiner sein als Breite/Höhe = 140 mm/200 mm.
- Die Fugenbreite wird von verschiedenen Aspekten beeinflusst (s. Abschnitt 2.2.1) und sollte 20 mm nicht unterschreiten. Die bewusste Anordnung von Fugen kann insbesondere in Kombination mit Scheinfugen auch als Gestaltungselement eingesetzt werden.



**Abb. 7.3** Schematische Ansichten und Fassadenschnitte bei zwei Tragwerksarten aus [3]; a) Fassade mit direkter Lastabtragung (hier: Lochfassade), b) Fassade mit Lastabtragung durch Stützen (hier: Bandfassade).

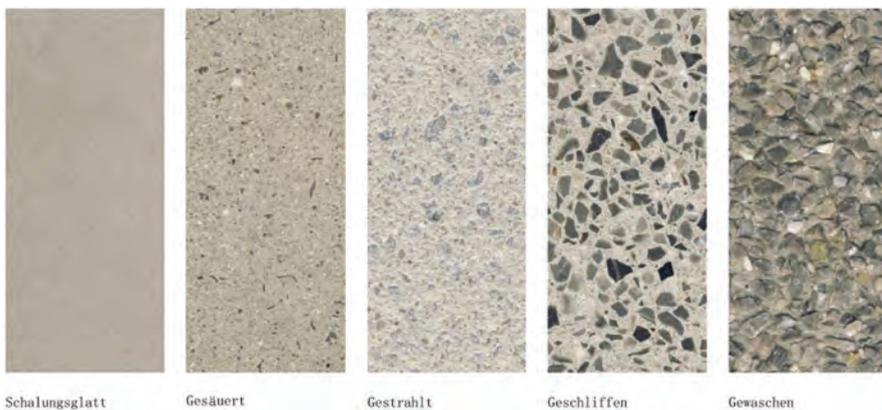
- Die Ausbildung der Kanten mit einer Fase wird empfohlen. Diese wird durch Einlegen einer Dreikantleiste aus Kunststoff hergestellt, die die Dichtigkeit der Schalung sicherstellt. Eine „scharfkantige“ Ausbildung ist möglich, benötigt allerdings einen für die Herstellung notwendigen Radius von ca. 3 mm und erfordert darüber hinaus einen erhöhten Aufwand [1].
- Die Ausbildung der Laibungen und ihre Oberflächenbeschaffenheit müssen detailliert festgelegt werden. Dies betrifft z. B. Fensteranschlüge, Fensterbänke oder Sonnenschutzeinrichtungen.
- Bei geometrisch aufwendigen oder allseitig sichtbaren Architekturbetonelementen können sichtbar bleibende Transportanker nicht immer vermieden werden. Deshalb sind in diesen Fällen die Lage, Anordnung und das Verschließen zu planen und festzulegen.

## 7.3 Oberflächen

### 7.3.1 Allgemeines

Aufgrund der Witterungsunabhängigkeit und gleichbleibender Herstellungsbedingungen sowie der ortsfesten Schalungen bietet die werkmäßige Herstellung von Betonbauteilen gute Voraussetzungen für eine gleichmäßige Qualität der Oberfläche.

Die Betonoberfläche ist das Spiegelbild der Schalung. Neben schalungsglatten Oberflächen gibt es zahlreiche nachträglich durchzuführende Arbeitstechniken wie Auswaschen, Feinwaschen, Säuern, Strahlen, Bürsten oder Schleifen bzw. traditionelle handwerkliche Techniken wie Spitzen, Stocken oder Scharrieren. Unterschiedliche Arbeitstechniken führen selbst bei gleichen Betonrezepturen zu deutlichen Unterschieden in Struktur und Farbe (Abb. 7.4).



**Abb. 7.4** Unterschiedliche Arbeitstechniken bei gleicher Betonrezeptur (aus [4]).

Die Sichtseiten von Fassadenplatten lassen sich auch mithilfe von Schalungsmatrizen durch Aufdickungen oder Vertiefungen sowie mit partiell unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheiten und flächengliedernden Scheinfugen plastisch gestalten. Darüber hinaus kann eine Beschichtung z. B. mit Natursteinplatten oder Mauerziegeln erfolgen. Die Unterschiede zwischen „Architekturbeton“ [1] und Sichtbeton [5] werden in Abschnitt 7.3.2 erläutert.

Unterschiedliche Farbwirkungen und Farbeffekte können durch die Verwendung farbiger Gesteinskörnungen erzielt werden. Gesteinskörnungen sollten möglichst einer Charge entnommen werden, um gute Voraussetzungen für gleichmäßige Eigenschaften zu erhalten. Der Einsatz von unplanmäßig verfärbenden Bestandteilen in der Gesteinskörnung sollte möglichst vermieden werden. Zu diesen Bestandteilen gehört beispielsweise Pyrit, ein Eisensulfid, welches bei der Oxidierung Eisenoxyd erzeugt und dadurch sichtbare „Roststellen“ an der Betonoberfläche hinterlassen kann. Da momentan keine zuverlässige Prüfmethode bekannt ist, mit der Pyritbestandteile erfasst und aussortiert werden können, bleibt hierfür bislang nur die Augenscheinprüfung übrig. Da diese bekanntermaßen ungenau ist, wird man einzelne „Roststellen“ als natürlichen Bestandteil des Baustoffs Beton weiterhin akzeptieren müssen. Bei häufigerem Auftreten sollten die entsprechenden Lagerungsstätten gemieden werden.

Zur weiteren Farbgestaltung können unterschiedliche Zementsorten verwendet sowie farbige Pigmente zum Beton beigemischt werden. Graue Zemente erzeugen eher „gedeckte“ und dunkle Farbtöne, während durch die Verwendung von Weißzement leuchtende und hellere Farben entstehen.

Farbpigmente oder flüssige Farbe sind z. B. Eisenoxid für Braun-, Gelb-, Rot- und Schwarz-, Chromoxid für Grün- sowie Kobalt-Aluminiumoxid für Blautöne. Bearbeitete oder texturierte Oberflächen besitzen in der Regel eine höhere Farbgleichmäßigkeit.

Zur Abstimmung der Betonzusammensetzung, Oberflächenbearbeitung und Oberflächenbehandlung empfiehlt es sich, Erprobungsflächen herzustellen. Die Erprobungsfläche, die den Wünschen des Bauherrn entspricht, wird als Referenzfläche für den Auftrag festgelegt und als Beurteilungskriterium bei der Abnahme herangezogen. Die Größe der Referenzfläche sollte der tatsächlichen Bauteilgröße entsprechen und unter gleichen Bedingungen hergestellt werden.

Ausblühungen entstehen durch Abscheidungen von Calciumcarbonat und erzeugen Kalkfahnen an Betonoberflächen. Durch besondere Maßnahmen (z. B. Hydrophobieren) können diese zwar reduziert, aber nicht vollständig vermieden werden. Bearbeitete Oberflächen neigen zu deutlich weniger Ausblühungen als unbearbeitete. Zum Thema Ausblühungen siehe auch [6].

Ein Abzeichnen der Bewehrungsabstandhalter kann durch besondere Maßnahmen wie das Aufhängen der Bewehrung oder das Betonieren der Vorsatzschicht in zwei Abschnitten erfolgen. Dabei wird zunächst die halbe Vorsatzschicht vorbetoniert, dann die Bewehrung eingelegt und in einem weiteren Betonierschritt die zweite Hälfte der Vorsatzschicht betoniert. Da diese Maßnahmen sehr zeit- und

kostenintensiv sind, sollten sie nur bei höchsten Anforderungen an die Oberflächen vereinbart werden.

Für Transport und Montage sollten hochwertige Fertigteilelemente durch geeignete Maßnahmen geschützt werden. Um Abdrücke oder Verfärbungen an den Bauteilen zu vermeiden, hat sich nach [1] eine Lagerung z. B. auf Kunststoffnoppenplatten bewährt.

Kleinere Schäden an Fassadenelementen, z. B. bei der Handhabung auf der Baustelle, können durch Betonkosmetik behoben werden. Es empfiehlt sich in diesen Fällen, vor der Ausführung Arbeitsproben an Referenzflächen durchzuführen.

### 7.3.2 Sichtbeton und Architekturbeton

Nach [5] wird mit dem Begriff „Sichtbeton“ die sichtbar bleibende Betonfläche mit Anforderungen an das Aussehen, jedoch ohne ausgeprägte Gestaltungsabsicht bezeichnet. Die Sichtbetonfläche ist dabei der sichtbar bleibende Teil, der herstellungstechnische Merkmale erkennen lässt und die architektonische Wirkung eines Bauteils oder Bauwerks maßgebend bestimmt. Hierbei ist zwischen den geschalteten Seiten und der Einfüllseite zu unterscheiden. In [5] wird eine Standard-Ausführung von Sichtbetonflächen bei Fertigteilen definiert, die der Sichtbetonklasse 2 (SB 2) gem. [5] entspricht.

Die Forderung im Leistungsverzeichnis nach „Sichtbeton nach FDB-Merkblatt Nr. 1“ reicht demnach nur für die Standard-Ausführung aus. Bei Abweichungen von der Standard-Ausführung muss vor der Ausführung eine eindeutige und praktisch ausführbare Leistungsbeschreibung unter Berücksichtigung der aufgeführten Merkmale vorliegen, die ggf. durch Zeichnungen, Referenzflächen oder Hinweise auf ähnliche Leistungen zu erläutern ist. Als Hilfsmittel dazu dient die Checkliste in [6].

Bei Sichtbetonoberflächen ist ein Vergleich mit ausgeführten Bauten eine wirkungsvolle Hilfe. Bei einem Vergleich mit bestehenden Bauwerken ist jedoch zu berücksichtigen, dass die geforderte Ansichtsfläche der gewählten Referenzfläche nur bei gleichen Ausgangsbedingungen (Form, Abmessungen, Ausgangsstoffen, Betonzusammensetzung, Schalung, Verarbeitung, Nachbehandlung, Witterung, Betonalter usw.) entsprechen wird.

Der Begriff „Architekturbeton“ umschreibt nach [1] sehr hochwertige und anspruchsvolle Ausführungen, die eine möglichst „perfekte“, einheitliche Oberfläche und Farbe zum Ziel haben. Die Bauteile sind mit ausgeprägter architektonischer Gestaltungsabsicht konzipiert und müssen hinsichtlich Oberfläche, Farbe und Form mit einem hohen Maß an Fachwissen und besonderer Sorgfalt hergestellt werden. Dabei spielen auch Detailpunkte, Betonrezepturen, Gesteinskörnungen, Oberflächenbearbeitungen und Nachbehandlungsmethoden eine besondere Rolle.

Daher ist Architekturbeton sehr beratungsintensiv und kann nicht, wie der Sichtbeton, durch das Festlegen von bestimmten Eigenschaften beschrieben werden. Der Umgang mit Architekturbeton erfordert in der Planungs- und Ausführungsphase

wesentlich mehr Zeit als bei üblichen Bauvorhaben. In [1] ist ein Leitfaden für die Ausschreibung von Architekturbeton enthalten, der u. a. folgende Vorgehensweise empfiehlt:

- Im Dialog zwischen Architekten, Planer und Architekturbetonhersteller wird das Ziel für die anstehende Aufgabe jeweils individuell definiert. Diese Definition wird als Zusätzliche Technische Vertragsbedingung (ZTV) Bestandteil der Ausschreibung.
- Es werden Erprobungsflächen zur Abstimmung der Betonzusammensetzung, der Oberflächenbearbeitung, des Oberflächenschutzes und der Kanten- und Eckausbildung ausgeschrieben: Erprobungsplatte (Größe bis 30 cm × 30 cm) zur Abstimmung der Oberflächenbeschaffenheit bzw. Erprobungsflächen (Größe bis 2 m × 2 m) zur Abstimmung der Betonzusammensetzung, der Oberflächenbearbeitung, des Oberflächenschutzes und der Kanten- und Eckausbildung. Die Erprobungsflächen, die den Wünschen des Bauherrn entsprechen, werden als Referenzfläche für den Auftrag festgelegt.
- Nach Bedarf werden Referenzelemente (Mock-Up) ausgeschrieben. Das Referenzelement, das den Wünschen des Bauherrn entspricht, wird als Referenzelement für den Auftrag festgelegt.

Werks- und Objektbesichtigungen sowie das Herstellen von Erprobungs- und Referenzelementen sind beim Architekturbeton zum Erreichen des Konsenses zwischen den Vorstellungen des Planers und dem ausführungstechnisch Machbaren unabdingbar. Diesem Prozess, der für das Ergebnis und die Zufriedenheit des Kunden entscheidend ist, muss ein hoher Stellenwert eingeräumt werden.

### 7.3.3 Gestaltung durch die Schalung

#### 7.3.3.1 Allgemeines

Betonoberflächen geben die aus dem Zementstein und der feinen Gesteinskörnung gebildete Mörtelschicht an der Oberfläche wieder. Die Oberfläche der Schalungsseite und die Oberfläche der Einfüllseite sind dabei nicht gleich. Die Einfüllseite wird als ungeschaltete Seite nachträglich z. B. durch Abziehen, Reiben, Glätten oder Rollen bearbeitet.

Schalungsstöße sollten in der Planung berücksichtigt werden. Das Abzeichnen von Schalungsstößen kann durch das Aufbringen von Beschichtungen über den gesamten Schalungsboden vermindert werden.

#### 7.3.3.2 Glatte Schalungen

Für die Herstellung schalungsglatte Sichtbetonoberflächen werden häufig beschichtete oder lackierte Holzschalungen verwendet. Hierdurch wird eine gleichmäßigere Oberflächenqualität erreicht als bei Stahlschalungen, die aufgrund der häufigen Verwendung oftmals kleinere Schadstellen, z. B. Kratzer, aufweisen. Allerdings sind Holzschalungen auch teurer als Stahlschalungen.

### 7.3.3 Strukturschalung

Strukturmatrizen bestehen zumeist aus Kunststoff und ermöglichen eine beliebige Oberflächentextur, wobei die dadurch entstehenden Licht- und Schattenwirkungen der Ansichtsfläche eine größere optische Gleichmäßigkeit verleihen können. Es ist bei der Planung darauf zu achten, dass die Abmessungen der Fertigteile auf die verfügbaren Formengrößen der Matrizen abgestimmt werden. Die Fugen an den Stoßstellen der Matrizen sollten sorgfältig geplant werden. Abb. 7.5 zeigt einige Beispiele.

### 7.3.4 Nachträglich bearbeitete Oberflächen

Es gibt eine große Vielzahl nachträglicher Bearbeitungsmöglichkeiten:

- Auswaschen der oberen Mörtelschicht zum Freilegen der Gesteinskörnung. Hierfür wird vor dem Betonieren ein Kontaktverzögerer auf die Schalung aufgetragen. Es ergibt sich in Abhängigkeit von der Auswaschtiefe und der verwendeten Gesteinskörnung eine strukturierte, „körnige“ Oberfläche (Abb. 7.6).



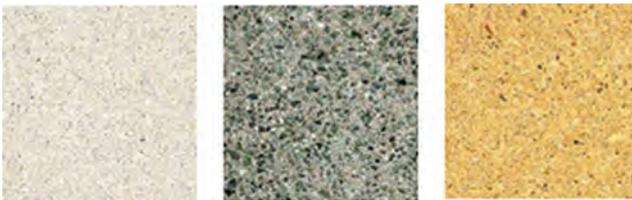
Abb. 7.5 Beispiele für Oberflächen mit Strukturschalungen.



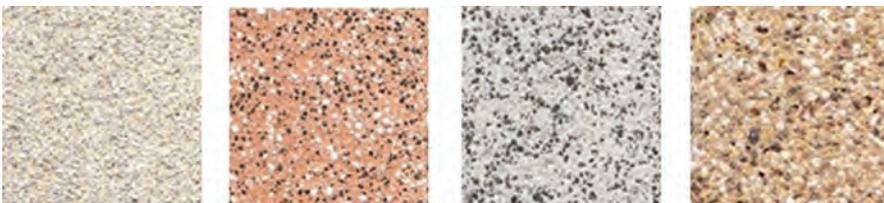
Abb. 7.6 Ausgewaschene Betonoberflächen.

- Beim Absäuern wird eine Säure auf die erhärtete Betonoberfläche aufgetragen, mit der die oberste Mörtelschicht entfernt und die Zementhaut aufgeraut wird. Die Säure wird anschließend mit Wasser vollständig neutralisiert. Abgesäuerte Oberflächen sind durch sandsteinartige Oberflächen gekennzeichnet, bei der die Feinanteile des Betons optisch hervorgehoben werden (Abb. 7.7).
- Beim Sandstrahlen wird durch den Beschuss mit einem festen Strahlgut die obere Mörtelschicht mechanisch abgetragen. Im Gegensatz zum Absäuern und Auswaschen wird bei dieser Methode auch die Gesteinskörnung selbst gebrochen, was eine stark aufgeraute Oberfläche erzeugt (Abb. 7.8).
- Beim Schleifen werden wenige Millimeter der Betonoberfläche abgetragen, wodurch die Gesteinskörnung sichtbar bleibt. Durch ein mehrmaliges Fräsen und Polieren entstehen sehr glatte, glänzende und äußerst repräsentative Oberflächen (Abb. 7.9).
- Durch Stocken, Spitzen, Scharrieren oder Bossieren werden steinmetzmäßige Effekte von Hand oder maschinell erzeugt.

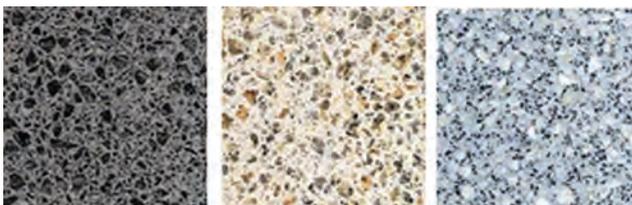
Bei allen genannten Methoden ergeben sich durch eine gezielte Auswahl der Gesteinskörnungen (Granit, Kalkstein, Porphyry oder Quarz) sowie der Kornformen (runder Kies oder eckiger Splitt) unterschiedliche Strukturwirkungen.



**Abb. 7.7** Abgesäuerte Betonoberflächen.



**Abb. 7.8** Sandgestrahlte Oberflächen.



**Abb. 7.9** Geschliffene Oberflächen.

### 7.3.5 Witterungsverhalten

#### 7.3.5.1 Allgemeines

Betonoberflächen sind im Laufe der Jahre der Witterung und damit Umwelteinflüssen und verkehrsbedingten Verunreinigungen ausgesetzt. Betonoberflächen können über einen langen Zeitraum ansehnlich bleiben, wenn Aspekte wie Wasserführung oder Schutz gegen Verschmutzungen planerisch berücksichtigt werden [5, 7, 9, 10]. Die kontrollierte Ableitung des Regenwassers spielt hier eine besondere Rolle, da durch das Regenwasser die Schmutzpartikel über die gesamte Fassade transportiert werden.

Verschmutzungen oder optische Veränderungen durch die Alterung der Oberfläche können auch durch betontechnologische Maßnahmen verringert werden. Insbesondere hochfeste und damit auch sehr dichte und dauerhafte Betone wie UHPC weisen hervorragende Eigenschaften auf (siehe z. B. [11]).

#### 7.3.5.2 Planung

Die Menge des anfallenden Regenwassers und daraus resultierende Schmutzablagerungen hängen von der Windrichtung und den Windschattenbereichen ab. Schmutzablagerungen an Bauwerksflächen sind bei geringer Windgeschwindigkeit am größten. Mit zunehmendem Regenwasseranfall werden Schmutzpartikel auf Fassadenflächen weiter transportiert. Die Intensität von Schmutz- und Staubablagerungen ist an den Fußpunkten von Gebäuden daher am größten [12].

Verschieden geneigte Flächen binden unterschiedliche Regenwassermengen. Die Menge des anfallenden Regenwassers und somit auch Schmutzablagerungen sind bei senkrechten Flächen naturgemäß geringer als bei nach innen geneigten (Abb. 7.10a). Bei Schlagregenbeanspruchung kann das Wasser bei senkrechten Flächen darüber hinaus nahezu ungehindert abfließen.

Trotz der größten anfallenden Regenmenge zeigen nach innen geneigte Flächen ein geringeres Selbstreinigungsverhalten als eine senkrechte Fläche, da sich insbesondere an den unteren Rändern der abgewaschene Schmutz ablagert (Abb. 7.13b). Nach innen geneigte Fassadenflächen sollten daher durch eine Überdeckung wie z. B. eine überstehende Balkon- oder Dachfläche geschützt werden.

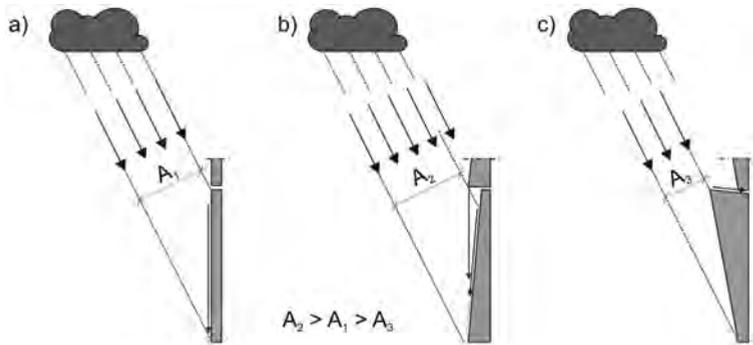
Die Regenwassermenge ist bei nach außen geneigten Fassadenflächen am geringsten. Der obere Rand und die Wasserführung müssen jedoch so ausgebildet werden, dass das Wasser nicht außen an der Fassadenfläche ungehindert und unkontrolliert abfließt (Abb. 7.10c).

Unbehandelte Betonoberflächen können relativ große Wassermengen absorbieren und somit auch viele Schmutzpartikel aufnehmen. Das überschüssige Wasser wird so lange in die unteren trockenen Bereiche befördert, bis die gesamte Fläche wassergesättigt ist. Erst danach findet ein unkontrollierter Abfluss des Regenwassers statt. Die Fließzonen des Regenwassers werden daher heller, während die

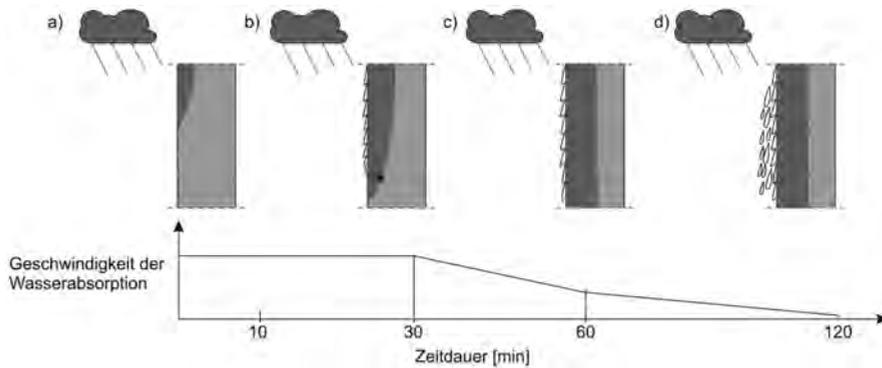
Absorptionszonen durch die ständige Schmutzablagerung zunehmend dunkler erscheinen [12] (Abb. 7.11).

Durch deutliche Überstände horizontaler Bauteile (z. B. Fensterbänke) und die Ausbildung von Tropfkanten, die das Wasser vor der Fassadenfläche ableiten, können Betonfassaden vor Verschmutzungen geschützt werden (Abb. 7.12).

Eine geplante Wasserführung durch eine richtungsgebundene senkrechte Oberflächenstruktur kann nach [1] das unkontrollierte Abfließen des Wassers vermeiden. Eine weitere Möglichkeit der Wasserführung und der Vermeidung von Schmutzablagerungen durch Regenwasser sind Innenentwässerungen, die das Wasser in speziellen Rohrleitungen hinter der Vorsatzschicht abführen.



**Abb. 7.10** Unterschiedliche Regenwassermengen bei verschiedenen geneigten Flächen (nach [12]); a) senkrechte Fläche, b) nach innen geneigte Fläche, c) nach außen geneigte Fläche.



**Abb. 7.11** Wasserabsorption und Wassersättigung einer Oberfläche (nach [12]); a) Absorption, b) Beginn des Abrieselns und Absorption, c) Untergrund gesättigt und Abfließen des Wassers, d) Abfließen und Abtropfen des Wassers.