Entwicklung des Beton- und Stahlbetonbaus

Die Ursprünge der Betonbauweise reichen zurück bis in die Antike und begannen mit der Entdeckung und Entwicklung eines betonartigen mineralischen Baustoffs mit hydraulischer[1] Erhärtung. Auch wenn sich die damalige Technologie des Bauens mit hydraulischen Baustoffen deutlich von der heutigen Betontechnologie unterscheidet, waren die chemisch-physikalischen Erhärtungsreaktionen zwischen den Ausgangsstoffen und die Motivation ihrer Verwendung im Grunde die gleichen. Neben der Verarbeitung von Holz, Lehm und gebrochenem Naturstein war das Bauen mit einem plastischen Baustoff, der in Formen zu einer festen monolithischen Masse erstarrt, bereits in der Antike als eine äußerst vorteilhafte Bauweise erkannt. Die Erfindung oder Entdeckung hydraulischer Baustoffe ist nicht datierbar. Die ersten hydraulischen Bindemittel waren nach heutiger Kenntnis aus Kalk und so genannten puzzolanischen (vulkanischen) Erden komponiert. Die Erkenntnis, dass Kalk und puzzolanische Erden mit Wasser zu einem künstlichen Stein erhärten können, fand nachweislich bereits in der römischen Baukultur breite und vielfältige Anwendung. Das unter der Bezeichnung Opus Caementitium geschichtlich belegte und zum Teil bis heute erhaltene Baumaterial fand schnell breite Akzeptanz. Es war dauerhaft, einfach herzustellen und vielerorts verfügbar. Diese Eigenschaften förderten seine Anwendung und Verbreitung. Geschichtlich dokumentiert sind Wasserleitungen und Aquädukte, Fundamente und Wandkonstruktionen für den Hochbau, alle Arten von Wasserbauwerken für Süß- und Salzwasser sowie baumeisterlich anspruchsvolle Bauwerke wie Brücken und Paläste. Eines der bekanntesten antiken Betonbauwerke ist das Pantheon in Rom (ca. 118–128 n. Chr.). **(**□ abb**)** Der Bau des halbkugelförmigen Kuppelraums mit einem inneren Durchmesser von mehr als 43 Metern markiert einen Höhepunkt in der Entwicklung von Architektur und Konstruktion. Das Pantheon ist ein Ingenieurbauwerk, das offensichtlich in allen konstruktiven, baubetrieblichen und baustofflichen Details mit großer Kreativität und Erfahrung geplant und ausgeführt wurde. Die Kuppel besteht aus einem Leichtbeton, dessen Zusammensetzung offensichtlich mit dem Ziel komponiert wurde, das

[1] Als hydraulisch werden Bindemittel bezeichnet, die mit Wasser zu einem festen Stein erhärten und ihre Festigkeit auch bei Lagerung unter Wasser behalten.

Eigengewicht zu beschränken. Es waren die weit entwickelten Kenntnisse im Umgang mit dem Baustoff Beton, welche die Planer zu diesem einzigartigen Projekt ermutigten und seine Durchführung letztlich ermöglichten.

Mit Ausweitung des römischen Reichs gelangte die römische Betonbauweise in andere Teile Europas. In fast allen größeren römischen Siedlungen finden sich noch heute Zeugnisse des Bauens mit Opus Caementitium. Die Verbreitung dieser Bauweise wurde nur dadurch beschränkt, dass geeignete Ausgangsstoffe wie Kalk und hydraulisch aktive Erden nicht überall verfügbar waren.

Nach dieser frühen Blüte des Bauens mit hydraulischen Baustoffen ging ein großer Teil des Wissens in den nachfolgenden Jahrhunderten verloren. Erst durch die Entwicklung der ersten Zemente im 18. Jahrhundert werden die Anfänge des neuzeitlichen Betonbaus erkennbar. Die zu dieser Zeit bereits verbreitete Verwendung von Eisen und Stahl legte die Kombination des zugfesten Stahls mit dem druckfesten und leichteren Beton nahe. Die Erfindung des Verbundbaustoffs Stahlbeton wird dem französischen Gärtner Joseph Monier (1823–1906) zugeschrieben, der Stahldrähte mit konstruktiver Absicht und dem gewünschtem Erfolg in seinen Betonprodukten platzierte. Monier versuchte, möglichst dünnwandige, trog- und plattenartige Betonteile herzustellen, die bei der Handhabung jedoch oft Risse bekamen oder zerbrachen. Erst durch das Einlegen von Eisendrähten in den frischen Beton konnte er eine ausreichende Stabilität der Bauteile erreichen. Die Offensichtlichkeit der Verbundwirkung von Stahl und Beton legt jedoch die Vermutung nahe, dass die Stahlbetonbauweise nicht nur einen Vater hat.

Nachdem es im ausgehenden 19. Jahrhundert gelang, Kräfte und Spannungen auch in großen und komplexen Tragwerken mathematisch zu beschreiben, diese also rechnerisch gezielt zu bemessen und nachzuweisen, nahm der Stahlbetonbau eine rasche Entwicklung(□abb). Während die bisher verwendeten Baumaterialien Stein und Holz eher für baumeisterlich geprägte Konstruktionen geeignet waren und Stahl als Konstruktionsbaustoff mit hohen Kosten und einem hohen Eigengewicht belastet war, gewährte der Verbundbaustoff Stahlbeton dem Architekten und dem Tragwerksplaner eine neue Gestaltungsfreiheit. Dies führte zum intensiven Einsatz von Stahlbeton in allen Kategorien des Bauens. Es entstanden Großbauwerke in bis dahin unerreicht kurzen Bauzeiten und in sich ständig verbessernder Technik und Qualität. Die Bauweise inspirierte die Architektur durch die Vielfalt von Möglichkeiten

und Variationen zu großer Kreativität. Zu Anfang des 20. Jahrhunderts war das Bauen mit Beton und Stahlbeton fester Teil der globalen Baukultur.

Nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs wurde der technische Stand des Stahlbetonbaus in Deutschland durch internationales Know-how ergänzt. Gestalten und konstruktives Planen mit Beton wurde, ebenso wie die Entwicklung der Betontechnologie, an den Hochschulen gelehrt und durch intensive Forschung wissenschaftlich weiterentwickelt. Es entstand eine allgemeine und umfassende Normung von Bautechnik und Baustoff, welche die architektonische Freizügigkeit im Umgang mit Beton und Stahlbeton unterstützte. In der Folge erreichte die Beton- und Stahlbetonbauweise einen hohen Entwicklungsstand, zeigte jedoch vor allem an den Bauwerken der 60er- und 70er- Jahre deutliche Mängel in der Planung und Ausführung, die eine grundlegende Anpassung der Regelwerke an die Erkenntnisse aus Forschung und Praxis erforderlich machten.
In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts hat sich die Architektur die gestalterischen Möglichkeiten des Bauens mit Beton und Stahlbeton mit großer schöpferischer Kraft zu Eigen gemacht. Neben Konstruktion und Struktur gewann die sichtbare Betonfläche im architektonischen Gesamtkonzept zunehmend an Bedeutung. Architekten wie Le Corbusier, Mies van der Rohe oder Louis I. Kahn integrierten die sichtbare Betonfläche in ihre architektonischen Konzepte. Sichtbetonflächen sind als Elemente der Gestaltung bis heute von ungebrochener Aktualität. Kein Baustoff wird konstruktiv und gestalterisch in gleicher Vielfalt eingesetzt wie Beton. Aufgrund der einfachen Bautechnik und der allgemeinen Verfügbarkeit ist Beton der Baustoff des vergangenen 20. und des 21. Jahrhunderts.

Grundzüge der Betontechnologie

Der Planende, Architekt oder Tragwerksplaner, versteht unter »Beton« im Allgemeinen das fertige Bauteil, also den geformten und erhärteten Festbeton. Dennoch ist es hilfreich, den Baustoff auch in seiner Zusammensetzung und in seiner baubetrieblichen Technik zu kennen und zu begreifen.
Beton war im Ursprung ein Dreistoffgemisch aus Wasser, Zement (Bindemittel) und einem Gesteinskörnungsanteil. Die Gesteinskörnung, früher Betonzuschlag genannt, ist meist ein natürliches Hartgestein, dessen Festigkeit weit über der üblicher Betone

liegt. Auch die Dauerhaftigkeit der Gesteinskörnungen gegenüber möglichen korrosiven Einflüssen, denen ein Betonbauteil ausgesetzt sein kann, ist meist nahezu unbegrenzt. Die Festigkeit und die Dauerhaftigkeit als wichtigste Eigenschaften des Betons sind demnach vor allem über den Zement- und den Wassergehalt im Beton zu steuern. Dafür sind die Eigenschaften des Zements und seine Zusammensetzung maßgebend.
Durch die Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung und eine Reihe von Entwicklungen hat sich das Dreistoffgemisch Beton zu einem Fünf- oder Mehrstoffgemisch entwickelt. Zu den drei Komponenten Zement, Wasser und Gesteinskörnung kamen so genannte Zusatzstoffe und Zusatzmittel hinzu.

Zement

Zement wird durch Brennen und anschließendes Vermahlen natürlicher mineralischer Rohmaterialien hergestellt, die aus Steinbrüchen gewonnen werden. Dies sind Erden und Gesteine, die sich durch ihre geologische Zusammensetzung für die Herstellung von Zement eignen und in nahezu allen Teilen Deutschlands in regional unterschiedlichen Konzentrationen vorhanden sind. Bei der Zementherstellung entsteht im Brennofen bei ca. 1400°C so genannter Portlandzementklinker, der nach dem Vermahlen unter Zugabe von etwas Gips zur Erhärtungssteuerung zu Portlandzement wird. Reiner Portlandzement (Normbezeichnung CEM I) ist in der Anwendung noch immer weit verbreitet. Er ist aus technischer und ökologischer Sicht jedoch kein zeitgerechtes Produkt mehr. Die nach internationalen Regelungen anzustrebende Absenkung des CO_2 -Ausstoßes bei der Zementherstellung und die Verbesserung und Steuerung der technischen Eigenschaften eines Zements sind nur über das Zumahlen weiterer mineralischer Komponenten zu erreichen. Den aktuellen Normzementen werden z.B. Hüttensand, Kalksteinmehl, Steinkohlenflugasche oder Ölschiefer bei der Herstellung zugegeben. Diese so genannten Zumahlstoffe und die möglichen Zugabemengen sind in der europäischen Zementnorm DIN EN 197 geregelt. Je nach Art und Menge des eingesetzten Zumahlstoffs entstehen Zemente mit anderen Normbezeichnungen. Aus der Bezeichnung sind die stoffliche Zusammensetzung eines Zements und einige seiner technischen Eigenschaften ablesbar. In Tabelle 1 sind einige Hauptzemente, ihre Normbezeichnungen und ihre stoffliche Zusammensetzung aufgeführt.

Zemente werden neben der Bezeichnung der Zementart in Festigkeitsklassen eingeteilt. Die Festigkeitsklasse des Zements ist eine maßgebende Größe zur Planung der Festigkeit eines Betons. Die Steuerung der Festigkeitsklasse also der mit einem Zement erzielbaren Festigkeit, erfolgt vor allem über seine Mahlfeinheit. Alle Eigenschaften, die später den baubetrieblichen Umgang und die Eigenschaften des Betons im erhärteten Zustand bestimmen, sind bereits im Zement anzulegen. Die technischen Zementeigenschaften der unterschiedlichen Zemente sind in den Stoffnormen geregelt und werden bei der Produktionskontrolle vom Hersteller nachgewiesen.

Wasser

Beim Mischen von Zement mit Wasser entsteht so genannter Zementleim. Im technisch günstigen Verhältnis zwischen Zement und Wasser von etwa zwei Gewichtsteilen Zement zu einem Gewichtsteil Wasser entsteht ein dünnflüssiger Zementleim, der innerhalb einer Zeit von etwa 2 bis 4 Stunden zu so genanntem Zementstein erhärtet. Damit diese Reaktion störungsfrei und mit dem gewünschten Ziel abläuft, darf das verwendete Wasser (Anmachwasser) keine erhärtungsstörenden Bestandteile, wie z.B. Huminsäure oder bestimmte Industrieabwässer, enthalten. Zur Betonherstellung wird meist Trinkwasser verwendet. In gewässernahen Transportbetonwerken werden auch natürliche Wässer eingesetzt. Dies erfordert eine regelmäßige Untersuchung des Wassers,da der Gehalt an bestimmten Inhaltsstoffen im Zugabewasser in DIN EN 1008 beschränkt ist. Im Allgemeinen sind jedoch alle natürlichen Wässer als Anmachwasser für Beton geeignet. Auch so genanntes Restwasser, das in Transportbetonwerken beim Reinigen von Anlagen und Mischfahrzeugen anfällt, darf gemäß den Regelungen der gleichen Norm nach entsprechender Aufbereitung und Prüfung erneut als Anmachwasser für Beton verwendet werden.

Gesteinskörnungen

Die im Beton enthaltenen Gesteinskörnungen, sind meist natürlicher Herkunft. Zur Herstellung von Leichtbetonen mit geringer Rohdichte werden auch industriell hergestellte, so genannte leichte Gesteinskörnungen eingesetzt (Blähton, Blähglas etc.). Bei Verwendung natürlicher Gesteinskörnungen mit üblicher Zusammensetzung entsteht so genannter Normalbeton mit Rohdichtewerten von

etwa 2300 bis 2500 kg/m³. Wenn leichte Gesteinskörnungen eingesetzt werden kann an so genannten gefügedichten Leichtbeton, die Rohdichte bis auf Werte von etwa 1200 kg/m³ abgesenkt werden. Gefügedichte Leichtbetone werden statisch und konstruktiv wie Normalbetone behandelt, haben jedoch einen erhöhten Wärmedurchlasswiderstand und erlauben durch das geringere Eigengewicht der Bauteile schlankere Konstruktionen.
Seit einigen Jahren sind auch rezyklierte Gesteinskörnungen zur Verwendung in Beton zugelassen. Hierbei handelt es sich um aufbereiteten Altbeton, der für Betone mit geringeren technischen Anforderungen geeignet ist.
Der überwiegende Teil der natürlichen Kiesvorkommen, abgelagert durch Flussläufe oder urzeitliche Moränen, ist als Gesteinskörnung für die Betonherstellung gut geeignet. Das Rohmaterial wird über Siebe in einzelne Korngruppen sortiert und durch getrennte Zugabe bei der Herstellung des Betons zur gewünschten Kornzusammensetzung gemischt. In Regionen, in denen keine natürlichen Kiesvorkommen vorhanden sind, wird meist gebrochenes Hartgestein verwendet. Hierzu wird das Gestein in Brecheranlagen zerkleinert und nachfolgend ebenfalls in Korngruppen getrennt. Betone, die aus gebrochenem Material hergestellt sind, benötigen meist den Einsatz natürlicher Sande und leicht erhöhte Bindemittelgehalte, um die erforderliche Verarbeitbarkeit zu erreichen. Die Gesteinskörnungen zur Verwendung in Beton sind in DIN EN 12620 genormt.

Betonzusätze

Die im Beton eingesetzten Zusätze werden in Zusatzmittel und Zusatzstoffe unterteilt. Hierzu gehören alle Stoffe, die nicht Teil des ursprünglichen Dreistoffgemischs Zement, Wasser und Gesteinskörnung sind. Die Begriffe Zusatzmittel und Zusatzstoffe sind nicht vertauschbar, da es sich um Zusätze völlig unterschiedlicher Charakteristik und Wirkung handelt.

Zusatzstoffe

Bei den Zusatzstoffen handelt es sich um staubförmige anorganische Stoffe, die dem Beton in großen Mengen zugegeben werden und technisch dem Bindemittel oder, im festen Beton, der Zementmatrix (Zementstein mit feinen Gesteinskörnungsanteilen), zugerechnet werden. Aufgrund der großen Zugabemengen sind Zusatzstoffe bei der Betonzusammensetzung rechnerisch zu berücksichtigen. Zusatzstoffe sind entweder

in Eigenschaften und Zusammensetzung genormt oder über eine so genannte bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DiBt) legitimiert. Die Anwendung der Zusatzstoffe im Beton regelt die Betonnorm DIN EN 206-1 zusammen mit der deutschen Ergänzung DIN 1045-2. Darin werden zwei Arten von Zusatzstoffen unterschieden:

Zusatzstoffe des Typs I sind Stoffe, die keine hydraulischen Eigenschaften besitzen, also nicht an der Erhärtungsreaktion des Bindemittels teilnehmen. Diese Stoffe können die Eigenschaften des frischen und des festen Betons durch ihre physikalische Wirkung im Korngerüst positiv beeinflussen. Zu diesen Stoffen zählen z.B. Gesteinsmehle oder Farbpigmente.

Zusatzstoffe des Typs II sind vor allem die Steinkohleflugaschen. Zusatzstoffe des Typs II wirken latent hydraulisch, das heißt, sie werden durch die im Zement enthaltenen hydraulischen Reaktionspartner zu einer Erhärtungsreaktion angeregt und tragen so zur Festigkeit bei. Steinkohlenflugasche entsteht in Kraftwerken aus den nicht brennbaren Anteilen der natürlichen Kohle. Sie fällt als Filterstaub an, braucht also nicht gemahlen zu werden. Durch die überwiegend kugelförmige Gestalt ihrer Partikel kann die Zugabe von Steinkohlenflugasche bereits im frischen Beton eine Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften bewirken. Steinkohleflugasche wird bei der Betonherstellung in Mengen zwischen etwa 30 bis 80 kg pro Kubikmeter Beton zugegeben und kann jeweils etwa die halben Menge an Zement ersetzen. Ihre Verwendung ist jedoch nur in engen Grenzen technisch und wirtschaftlich von Vorteil, da sie die Dauerhaftigkeit des Betons beeinflusst und deshalb ihre maximale Zugabemenge beschränkt ist.

Ein weiterer *Zusatzstoff des Typs II* ist Silikastaub, ein technisches Nebenprodukt aus der Siliziumherstellung. Silikastaub ist wesentlich feiner als Zement und eignet sich damit zum Ausfüllen und Verdichten von Partikelzwischenräumen im frischen und im festen Beton. Die Zugabe von Silikastaub fördert und verbessert die Bindung zwischen Gesteinskörnung und Zementmatrix. Dadurch lässt sich die Druckfestigkeit des Betons erheblich steigern. So ist die Herstellung so genannter hochfester Betone mit Druckfestigkeiten mit mehr als etwa 60 N/mm² erst durch den Einsatz von Silikastaub möglich geworden. Hochfeste Betone sind im Allgemeinen Gegenstand von Sonderplanungen, da sie bei der Herstellung und Verarbeitung besondere Fachkenntnis und einen erhöhten Überwachungsaufwand erfordern.

Zusatzmittel

Zusatzmittel sind hochwirksame chemische Stoffe, die dem Beton bei der Herstellung meist in flüssiger Form zugegeben werden. Die eingesetzten Mengen sind verhältnismäßig gering und bleiben bei der Berechnung der Betonzusammensetzung meist unberücksichtigt. Zusatzmittel werden vor allem zur Verbesserung der Frischbetoneigenschaften, also zur Unterstützung des Baubetriebs eingesetzt, und dürfen die Eigenschaften des festen Betons nicht negativ beeinflussen. Die bei der Planung des Tragwerks festgelegten Erwartungswerte des festen Betons müssen auch beim Einsatz eines Zusatzmittels zuverlässig erreicht werden.

Die Hauptanwendung von Zusatzmitteln ist die Verflüssigung des frischen Betons. Diese Wirkungsgruppe wird als Betonverflüssiger oder Fließmittel bezeichnet. Um die technischen Eigenschaften des festen Betons sicherzustellen, muss die Zugabemenge des Wassers bei der Betonherstellung auf einen Maximalwert beschränkt werden.. Die so entstehenden Betone wären ohne verflüssigende Zusatzmittel von sehr steifer oder nur erdfeuchter Konsistenz und mit den üblichen baubetrieblichen Verfahren nicht förder- und einbaubar. Die Leistungsfähigkeit der aktuellen Zusatzmittel erlaubt es jedoch, auch Betone mit sehr geringen Wassergehalten in leicht verarbeitbare oder gar fließende Konsistenzen einzustellen. Seltener angewendet werden so genannte Erstarrungsverzögerer, die bei großvolumigen Betonierabschnitten das Erstarren des Betons gezielt verzögern und den frischen Anschluss zwischen den einzelnen Einbaulagen gewährleisten können. Zur Unterstützung der Frischbetoneigenschaften von Betonen, die aufgrund ihrer Zusammensetzung zum Entmischen neigen, können so genannte Stabilisierer eingesetzt werden...

Die so genannten Luftporenbildner sind Zusatzmittel, die nicht zur Verbesserung der Eigenschaften des frischen Betons verwendet werden, sondern um einen erhöhten Frostwiderstand im festen Beton zu erzielen. Der Einfluss von Luftporenbildnern auf die Eigenschaften des frischen Betons ist vernachlässigbar. Durch Luftporenbildner entstehen im Gefüge des erhärteten Betons kugelförmige Mikroluftporen. Sie wirken bei entsprechender Größe und Verteilung als Expansionsräume, wenn die im Porensystem vorhandene Feuchtigkeit bei Frost gefriert. Durch die geltenden Normen ist der Einsatz von Luftporenbildnern in Bauteilen vorgeschrieben, die eine

hohe Durchfeuchtung erfahren und gleichzeitig erheblichen Angriffen durch Frost in Verbindung mit Tausalzen ausgesetzt sein können.

Eigenschaften und Zusammensetzung des Betons

Die aktuelle Betonnormung entscheidet mittelbar auch über die jeweiligen Verantwortlichkeiten der Beteiligten bei der Planung und Herstellung eines Betonbauwerks. Der Tragwerksplaner und der Ausführende begreifen den Beton allein über seine technischen Eigenschaften. Im Zuge der Tragwerksplanung werden die Druckfestigkeitsklasse und die Dauerhaftigkeitsanforderungen des Betons festgelegt. Aus der Arbeitsplanung des ausführenden Bauunternehmers ergeben sich Anforderungen an die baubetrieblich erforderlichen Frischbetoneigenschaften, wie z.B. die Einbaukonsistenz und das Größtkorn der Gesteinskörnung. Diese Eigenschaften werden beim Betonhersteller, also dem Transportbetonwerk, bestellt und von diesem nachgewiesen und geliefert. Der Entwurf und die Errechnung einer Betonzusammensetzung und der technische Eignungsnachweis eines Betons liegen im Verantwortungsbereich des Betonherstellers. Er kann die Ausgangsstoffe und die Betonzusammensetzung innerhalb der Normvorgaben frei wählen, entscheidet also über Art und Menge des Zements, des Wassers, der Gesteinskörnung der Zusatzmittel und Zusatzstoffe zur Erreichung der geforderten Eigenschaften des frischen und des festen Betons. Architekt und Tragwerksplaner nehmen nur im technisch begründeten Fall Einfluss auf die Betonzusammensetzung. So können z.B. die Auswahl des Zements oder einer Gesteinskörnung für den Architekten von Interesse sein, wenn er an das Aussehen der späteren Betonoberfläche bestimmte Anforderungen stellt. Auch wenn eine weitere Bearbeitung der Betonoberfläche erfolgen soll (Auswaschen, Sandstrahlen, Stocken etc.), kann das Erscheinungsbild der fertigen Oberfläche in Grenzen über die eingesetzte Gesteinskörnung gesteuert werden.

Die Herstellung von Beton auf der Baustelle, wobei die Verantwortung für Zusammensetzung und Eigenschaften das ausführende Bauunternehmen trägt, erfordert erweitertes betontechnologisches Grundwissen sowie eine umfangreiche technische Ausstattung und wird nur noch in besonderen Einzelfällen (Betonstraßenbau, Großprojekte) praktiziert.

Betone und ihre Anwendungen

Normen und Regelwerke

Das Bauen mit Beton ist in Deutschland und Europa durch ein verbundenes Normenwerk geregelt. Obwohl der Geltungsbereich der Betonnormen der großen Bandbreite der Anwendung von Beton weitgehend folgt, gibt es auch regelwerksfreie Bereiche des Betonbaus. Wenn anerkannte Regeln der Technik fehlen, kann es jedoch bei der Planung und Ausführung zu Problemen bei der Bestimmung der Planungs- und Ausführungsgrundlagen kommen, so z.B. bei Industrieböden oder Bauwerken in der Landwirtschaft.

Das zentrale Regelwerk das Bauen mit Beton sind die vier Teile der Normenreihe der DIN 1045 im Zusammenhang mit der europäischjen Baustoffnorm DIN EN 206, Teil 1. Die Normenreihe der DIN 1045 trägt die gemeinsame Überschrift „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton“ und behandelt die Bemessung und Konstruktion (Teil 1) den Baustoff Beton (Teil 2), die Bauausführung (Teil 3) und besondere Regelungen für die Herstellung von Betonfertigteilen (Teil 4). In dieser Reihe nimmt DIN 1045, Teil 2, einen Sonderstellung ein. Während die Teile 1, 3 und 4 der DIN 1045 jeweils in sich geschlossene Normen sind, ist der Teil 2 der DIN 1045 das Nationale Anwendungsdokument zur europäischen Betonnorm DIN EN 206, Teil 1. Für den Baustoff Beton gelten also zunächst die Regelungen der europäischen Norm das zur Anwendung in Deutschland durch DIN 1045, Teil 2, in einzelnen Regelungen ergänzt und erweitert wird. Damit der Anwender die geltenden Bestimmungen nicht mühsam in zwei Regelwerken zusammensuchen und gegenprüfen muss, wurden die Inhalte beider Regelwerke im DIN-Fachbericht 100 „Beton“ sinnvoll zusammengestellt und veröffentlicht.

Die Normenreihe der DIN 1045 ist zusammen mit DIN EN 206, Teil 1, bauaufsichtlich eingeführt und damit Teil des deutschen Bauordnungsrecht. Bauwerke und Bauteile, deren Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit Belang der öffentlichen Sicherheit und Ordnung sind, sind nach diesem Normenwerk zu bemessen und auszuführen. Für solche Bauteile muss bei der Eingabe der Genehmigungsunterlagen eine Tragwerksplanung nach DIN 1045-1 vorliegen. Da der Geltungsbereich dieser Normen auf tragende Bauteile beschränkt ist kann es in Einzelfällen auch bei den genehmigenden Behörden durchaus Unklarheit darüber geben, ob ein Bauteil oder Bauwerk im vorgenannten Sinne in den Geltungsbereich von DIN EN 206-1 und DIN 1045 fällt. (Abb. Schema Normen)

Da die Sicherheit des Tragwerks langfristig nur durch eine hinreichend dauerhafte Konstruktion gewährleistet ist, ist neben Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit auch die Dauerhaftigkeit einer Beton- oder Stahlbetonkonstruktion bauordnungsrechtlich relevant. Dies dient dem volkswirtschaftlich motivierten Schutz und Erhalt des Bestands an Gebäuden und Bauwerken. Aus diesem Grund wurde bei der Neufassung der Betonnormung im Jahr 2000 die Dauerhaftigkeit Teil der Bemessung. Die in die aktuelle Normung integrierte Dauerhaftigkeitsbemessung soll aufgrund der vorhandenen Kenntnisse über die korrosiven Einflüsse und ihrer Auswirkungen auf ein Beton- oder Stahlbetonbauteil eine Mindestlebensdauer von 50 Jahren sicherstellen. Aufgrund der Verschärfung der Normenregeln ist diese Annahme auch bei starken Angriffen realistisch, da bereits an Betonbauwerken, die noch nach vorhergehenden Regelwerken bemessen und erstellt wurden, meist weit höhere Lebensdauern zu beobachten sind.

Die Bemessung der Dauerhaftigkeit eines Betonbauteils ist kein gesonderter rechnerischer Nachweis, sondern geschieht im ersten Schritt dadurch, dass der Tragwerksplaner die bei der Nutzung auf Bauteil wirkenden korrosiven Umgebungsbedingungen erhebt. Diese Umgebungsbedingungen werden bei der Planung durch die Einordnung in ein Klassensystem (Expositionsklassen) festgelegt. Aus den für ein Betonbauteil zutreffenden Expositionsklassen ergeben sich aus den Regelungen der Norm eine ganze Reihe von Handlungskriterien, die bei der Bemessung des Tragwerks, bei der Herstellung und bei der Verarbeitung des Betons für das jeweilige Bauteil zu beachten sind. Werden diese Normregeln bei der Planung und Ausführung eingehalten, kann das fertige Bauteil potenziell gegen die korrosiven Einflüsse bestehen.

Das System der Expositionsklassen folgt einem einfachen Prinzip: Die Reihe möglicher korrosiver Einflüsse auf ein Beton- und Stahlbetonbauteil ist im Grundsatz bekannt. Listet man die möglichen Angriffe ihrer Art und Intensität nach auf, kann man das normative Expositionsklassensystem leicht herleiten. Dabei steht jede Expositionsklasse für eine bestimmte Art der möglichen korrosiver Angriffe. Da jede Angriffsart in unterschiedlicher Intensität auf das Bauteil wirken kann, erhalten die Klassenbezeichnungen eine Ziffer, die der Intensität der jeweiligen Angriffsart entspricht. Das sich ergebende System ist sehr geeignet, Beton- und Stahlbetonbauteile wirklichkeitsnah und wirtschaftlich gegen die zu erwartenden korrosiven Einflüsse aus den Umgebungsbedingungen zu bemessen. Um dem

Tragwerksplaner die Einstufung in die richtige Klasse zu erleichtern, enthält die Norm zu jeder Expositionsklasse und zu jedem Angriffsgrad Bauteilbeispiele zur Orientierung. Darüber hinaus gibt es zur Einstufung gängiger Bauteile eine ganze Reihe von Arbeitshilfen und Fachliteratur (siehe Anhang S. XX). In der Tabelle xx wird das System der Expositionsklassen entwickelt und den in der Norm zugeordneten Bauteilbeispielen gegenübergestellt.

Grundsätzlich ist jedes Bauteil im Geltungsbereich von DIN 1045 bzw. DIN EN 206-1 im ersten Planungsschritt in die zutreffenden Expositionsklassen einzuordnen, da nur so eine normgerechte Bemessung, Herstellung und Ausführung möglich ist. Diese Einstufung ist Aufgabe des Tragwerksplaners und liegt allein in seiner Verantwortung. Dies ergibt sich aus den Regelungen der Norm und wird im natürlichen Vorgehen bei der Planung deutlich..Da die für das Bauteil zutreffende Expositionsklasse u. a. auch die bei der Bemessung geltende Mindestdruckfestigkeitsklasse festlegt, ist die Tragwerksbemessung eines Betonbauteils ohne die vorherige Einstufung in die geltenden Expositionsklassen nicht sinnvoll möglich. Damit wird deutlich, dass die Festlegung der für das Bauteil geltenden Expositionsklassen eindeutig der Planung obliegt.

Die Einführung des Expositionsklassensystems zur Bemessung der Dauerhaftigkeit hat die Planung von Betonbauwerken und -bauteilen gegenüber früheren Regelungen weit übersichtlicher gestaltet und erheblich erleichtert. Es regelt mit wenigen Ausnahmen jedoch vor allem die Bemessung gegen natürliche Umgebungsbedingungen. Die Planung baulicher Anlagen, in denen die Nutzungs- oder betriebliche Prozessbedingungen zu korrosiven Einflüssen auf die Betonbauteile führen, kann nicht immer allein über das normative Expositionsklassensystem geführt werden. Zu solchen Bauwerken gehören z.B. chemische und galvanische Betriebe, Molkereien, Bauwerke zur Lagerung von Chemikalien, Biogasanlagen und Weitere. Die Bemessung von Betonbauteilen gegen korrosive Prozessbedingungen stellt im Sinne der Norm eine Sonderplanung dar. Sie erfordert die Mitwirkung des Bauherrn bei der Bestimmung der Umgebungs- und Prozessbedingungen und entsprechendes Fachwissen des Planenden oder die Beteiligung externer Sachverständiger.

Um Stahlbetonbauwerken eine ausreichende Dauerhaftigkeit zu verleihen, müssen beide Materialien, der Beton und der Bewehrungsstahl, einen ausreichenden Widerstand gegen korrosive Angriffe erhalten. Den Korrosionsschutz der eingebetteten Bewehrungsstähle wird durch die Dicke und die Qualität der schützenden Betonschicht (Betondeckung) sichergestellt. Die Bewehrungsstähle müssen hierzu völlig und ohne Fehlstellen von der Zementmatrix umhüllt sein. Die Norm behandelt also nur gefügedichte Normal-, Leicht- und Schwerbetone. In der Technologie des Leichtbetons gibt es jedoch auch Betone mit einem haufwerksporigen Gefüge oder mit aufgeschäumter Matrix, die nicht oder nicht allein als tragender Baustoff eingesetzt werden, sondern z.B. als Wärmedämmschicht wirken. Solche Betone können aufgrund ihrer porigen Struktur den Stahl nicht vor den korrosiven Einflüssen aus der Umgebung schützen. Sie gehören damit nicht in den Geltungsbereich der Normen für Stahl- und Spannbeton.
Der überwiegende Teil der im Betonbau verarbeitenden Betone sind Normalbetone. Als solche sind Betone definiert, die eine Rohdichte von über 2000 bis max. 2600 kg/m³ haben. Die in Deutschland üblichen Normalbetone haben Rohdichtewerte von 2350 bis 2450 kg/m³.

Frischer Beton

Während die erforderlichen Festbetoneigenschaften bei der Planung festgelegt werden, richten sich die Anforderungen an die Eigenschaften des frischen Betons vor allem nach den Erfordernissen des Baubetriebs. Sie ergeben sich meist erst bei der Arbeitsplanung des ausführenden Bauunternehmens oder erst unmittelbar vor der Bestellung des Betons. Die wichtigste baubetriebliche Eigenschaft des frischen Betons ist die Betonkonsistenz, die sein Fließ- oder Verformungsvermögen beschreibt. Die Anforderungen an die Betonkonsistenz ergeben sich durch das gewählte Förder- und Einbauverfahren, durch die Geometrie der Schalung und durch den Bewehrungsgehalt des Bauteils. Die Einbaukonsistenz wird deshalb durch das ausführende Bauunternehmen festgelegt. Nur in Ausnahmefällen, wie etwa bei wasserundurchlässigen Bauwerken, kann es sinnvoll sein, die Konsistenz bereits bei der Planung festzulegen. Diese Einzelfälle erfordern jedoch insgesamt eine stärkere Mitwirkung des Planers bei der Arbeitsvorbereitung des ausführenden Unternehmens.

Die Festlegung der Betonkonsistenz durch den Bauunternehmer richtet sich zunächst nach dem gewählten Förderverfahren. Soll der Beton über Pumpen gefördert werden, so müssen Betonzusammensetzung und -konsistenz dafür geeignet sein. Sollen in kurzer Zeit große Mengen Beton durch Pumpen gefördert werden, ist es sinnvoll, die maximale Förderleistung der Geräte auszunutzen und die Konsistenz entsprechend einzustellen. Beim Einbau des Betons ist auch das Verdichtungsverfahren auf die Betonkonsistenz abzustimmen. Komplizierte Bauteil- und Schalungsgeometrien und hohe Bewehrungsdichten erfordern fließfähigere Konsistenzen als großvolumige und flächenhafte Bauteile, in denen der eingebaute Beton in allen Bereichen zur Verdichtung leicht erreichbar ist.
Da Beton nicht toleranzfrei herstellbar ist, kann seine Konsistenz nur unter Angabe eines Konsistenzbereichs bestellt und geliefert werden. Dieser Wertebereich wird durch die Ergebnisse des so genannten Ausbreitmaßes (abb ausbreitmaß □) über eine obere und eine untere Grenze klassifiziert.
Das Ausbreitmaß ist ein einfaches, feldtaugliches Prüfverfahren mit grober, im Allgemeinen jedoch ausreichender Genauigkeit. Zur Messung des Ausbreitmaßes wird zunächst ein konischer Metallschalungskörper auf einem quadratischen Ausbreittisch mit 70 cm Kantenlänge mit dem Beton befüllt. Nach dem Hochziehen des Schalungskörpers ergibt sich je nach Konsistenz des Betons ein mehr oder weniger ausgebreiteter Betonkuchen, der durch 15-maliges einseitiges Anheben und Fallenlassen der Tischplatte weiter verbreitert wird. Nach Ende des Versuchs ergibt sich ein kreisförmiger Betonkuchen, dessen Durchmesser an zwei Stellen rechtwinklig zueinander gemessen wird. Der Mittelwert beider Messungen gibt das Ausbreitmaß an. Normgerechte Betone haben Ausbreitmaße zwischen 34 und 70 cm. In DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 sind Ausbreitmaßklassen vorgegeben. Sie beginnen mit der Klasse F1 und enden bei der Klasse F6. Die Klassenbreite beträgt bei den üblichen weichen Konsistenzen 6 cm. Wenn die vorgegebene Klasseneinteilung für eine Bauaufgabe nicht ausreicht, (z.B. Sichtbeton) kann auch ein fester Zielwert vorgegeben werden, der mit einer Toleranz von ± 3cm eine individuelle Klasse mit üblicher Breite definiert. Wenn es aus technischen Gründen notwendig ist, kann die Klassenbreite weiter eingeschränkt werden, was sich im Allgemeinen aufgrund der erhöhten Herstellungssorgfalt auf den Lieferpreis niederschlägt. Geringere Klassenbreiten als 4 cm (± 2 cm) sind mit der üblichen Anlagentechnik nicht zuverlässig herstellbar und aufgrund der Prüfstreuung kaum

sinnvoll messbar. Die Ausbreitmassklassen sind mit den zugehörigen Werten in Tabelle 3 dargestellt.

Die Ausbreitmassklasse F1 bezeichnet sehr steife Konsistenzen, die ein Ausbreitmaß von 34 cm oder weniger haben. Die folgenden Klassen F2 bis F5 haben jeweils Klassenbreiten von 6 cm. Die Klasse F6 bezeichnet sehr fließfähige Konsistenzen von 63 bis 70 cm. Im Hochbau werden überwiegend die Konsistenzklassen F2 und F3 verwendet. Die Herstellung von Betonen der Konsistenzklassen F4 bis F6 erfordern den Einsatz leistungsfähiger verflüssigender Zusatzmittel.

Aufgrund des Zusammenhangs zwischen dem wirksamen Wasserzementwert (Massenverhältnis Wasser/Zement [w/z]) und den wichtigsten Betoneigenschaften Druckfestigkeit und Dauerhaftigkeit war die traditionelle Betontechnologie stets bestrebt, den Wassergehalt im Beton auf einem möglichst niedrigen Niveau zu halten, um bei konstantem Wasserzementwert auch die erforderlichen Mengen des damals vergleichsweise teuren Zements zu minimieren. Aus diesem Grund wurden zu Ende des 19. und zu Anfang des 20. Jahrhunderts überwiegend sehr steife, meist nur erdfeuchte Betone hergestellt und verarbeitet. Diese Konsistenzen waren schwer zu fördern und wurden meist durch manuelles Stampfen verdichtet (so genannter Stampfbeton). Nach Ende des Zweiten Weltkriegs wurden die Herstellung, die Förderung und der Einbau von Beton zunehmend mechanisiert und automatisiert. Da Stampfbetone kaum mechanisiert verarbeitet werden konnten und die Verdichtung durch Stampfen aufgrund der steigenden Bewehrungsdichten nicht länger möglich war, wurden plastischere Konsistenzen erforderlich. Die Zementgehalte im Beton stiegen deutlich an, um die erforderlichen Einbaukonsistenzen bei konstanten Wasserzementwerten zu erreichen. Mit Aufkommen der verflüssigenden Zusatzmittel ab etwa 1970 war es möglich, immer weichere Betonkonsistenzen ohne Erhöhung der Wassergehalte herzustellen. Die Einbaueigenschaften des Betons wurden seither zunehmend durch Zusatzmittel gesteuert, deren Wirksamkeit ständig gesteigert wurde. Die Technologie erlaubte bald die Herstellung nahezu fließfähiger Konsistenzen bei vergleichsweise niedrigen Wassergehalten.

Ein weiterer Technologiesprung durch die Entdeckung neuartiger, hochwirksamer Wirkstoffgruppen in den Jahren nach 1990 entkoppelte die baubetrieblich erforderliche Konsistenz weitgehend vom Wassergehalt des Betons. Da es nun möglich war, mit sehr geringen Wassergehalten nahezu jede geforderte Konsistenz herzustellen, konnten die planerische Verantwortung für die Festigkeit und die baubetriebliche Freiheit der Konsistenzwahl weitgehend unabhängig voneinander gewährleistet werden. Nachdem sich die baubetrieblichen Einbauverfahren noch vor wenigen Jahren nach den technischen Möglichkeiten der Konsistenzsteuerung richten mussten, ist es heute möglich, den Betoneinbau vor allem nach Wirtschaftlichkeitskriterien zu gestalten, da nahezu jede gewünschte Konsistenz bestell- und lieferbar ist.

Die Betonhersteller greifen die Möglichkeiten der modernen Zusatzmitteltechnologie auf und bieten zunehmend Betone mit sehr fließfähigen Konsistenzen an. Die Entwicklung so genannter Leichtverdichtbarer Betone der Konsistenzklassen F5 und F6 macht es in vielen Fällen möglich, die maximalen Förderleistungen moderner Betonpumpen auszuschöpfen und den Aufwand der Verdichtung zu reduzieren. Es hat sich gezeigt, dass bei der Verwendung Leichtverdichtbaren Betons zur Herstellung großvolumiger oder flächenhafter Bauteile wie Fundamente, Bodenplatten und Geschossdecken weitgehend auf den Arbeitsgang der Verdichtung verzichtet werden kann. Bei vertikalen Bauteilen (Stützen und Wänden) kann ein solches Vorgehen zum Auftreten großer Luftporen an den seitlichen geschalten Bauteilflächen führen. Solche Fehlstellen beeinträchtigen die Betondeckung und können die Qualität von Sichtbetonflächen erheblich beeinträchtigen.

Ein Sonderbeton, der in engem Zusammenhang mit der vorgenannten Zusatzmitteltechnologie steht, ist der so genannte Selbstverdichtende Beton. Bei seiner Herstellung werden die Möglichkeiten der aktuellen Fließmitteltechnologie weitgehend ausgeschöpft. Selbstverdichtende Betone benötigen auch in schwierigen Bauteilgeometrien keinerlei Verdichtungsenergie, sondern nivellieren, verdichten und entlüften sich in der Schalung allein durch die Einwirkung der Schwerkraft. Dies erfordert jedoch eine Betonzusammensetzung, die nicht den Regelungen des aktuellen Normenwerks der DIN EN 206-1 bzw. DIN 1045-2 entspricht. Daher wurde diese Bauweise gesondert in der »DAfStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton« des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton genormt. Selbstverdichtender Beton enthält einen großen Anteil an sehr fließfähigem Bindemittelleim. Dieser wird im Allgemeinen

durch eine hohe Zugabe an Zusatzstoffen des Typs I oder II hergestellt. In dieser fließfähigen Matrix wird die grobe Gesteinskörnung wie in einer honigviskosen Flüssigkeit transportiert. Obwohl Selbstverdichtende Betone eine bisher unbekannte Fließfähigkeit besitzen, ist ihr Wassergehalt außerordentlich gering.
Selbstverdichtende Betone sind vor der Zusatzmittelzugabe nur etwa erdfeucht und können auch mit technisch unüblichen Wasserzementwerten deutlich unter 0,40 hergestellt werden. Aufgrund des hohen Bindemittel- und des äußerst geringen Wassergehalts können Selbstverdichtende Betone sehr gute Festbetoneigenschaften erreichen. Die im Verhältnis zur geplanten Druckfestigkeit in der Praxis oft überhöhten Druckfestigkeitswerte sind ein Merkmal des Selbstverdichtenden Betons.
Das rheologische System[2] des Selbstverdichtenden Betons ist zwar fließfähiger als das üblicher Betone, es zeigt aber eine ausgeprägte Viskosität. Selbstverdichtender Beton nivelliert und entlüftet selbst und fließt bis in engste Schalungsdetails. Er benötigt hierfür jedoch deutlich mehr Zeit als weiche, durch Verdichtungsenergie angeregte Betone. Dieses honigartige Fließverhalten sorgt beim Fördern des Betons dafür, dass die schweren Gesteinskörnungsanteile in der Flüssigkeitsmatrix nicht absinken und der Beton entmischt. Selbstverdichtender Beton wird mit großem Erfolg in Fertigteilwerken angewendet, ist aber aufgrund der erforderlichen Dosiergenauigkeit als Transportbeton nur mit einem zusätzlichen Prüf- und Überwachungsaufwand einsetzbar.
Da auch die Herstellung von Sichtbetonflächen meist einen etwas erhöhten Bindemittel- und Matrixgehalt im Beton erfordert, stellt sich angesichts der neuen Technologien die Frage, ob sich Selbstverdichtender Beton für diese Art der Anwendung besonders eignet. Die Erfahrungen mit der Herstellung von Sichtbeton mit Betonen der Konsistenzklassen F5 und F6 oder mit Selbstverdichtenden Betonen sind jedoch unterschiedlich. Dies zeigt, dass die Herstellung von Sichtbeton nur zum Teil von der Betonzusammensetzung und der Konsistenz abhängt und die Einflüsse aus Arbeitssorgfalt, Schalhaut, Trennmittel und Bauteilgeometrie überwiegen können.

Erhärteter Beton

---

[2] Rheologie ist die Wissenschaft, die sich mit dem Verformungs- und Fließverhalten von Molekülen beschäftigt.

Die Erhärtungscharakteristik des Zements bestimmt auch das Erstarrungs- und Erhärtungsverhaltens des Betons. Wenn keine erhärtungsverzögernden Zusatzmittel eingesetzt werden, beginnt Beton nach ca. 2 bis 2,5 Stunden zu erstarren. Dieses Erstarren ist kein plötzlicher Prozess, sondern kündigt sich bereits nach 1 bis 1,5 Stunden durch deutliches Ansteifen des frischen Betons an. Das Erstarren des Betons markiert den Übergang vom plastischen Zustand des Frischbetons in den spröd-elastischen Zustand des festen Betons. In diesem Phasenübergang läuft die Hydratation des Zements, also seine Reaktion mit dem enthaltenen Wasser zu Zementstein, mit größter Intensität. Das im Gefüge des Betons vorhandene Wasser wird zu großen Teil verbraucht und in den Zementstein eingebunden. Das verbleibende freie Wasser wird durch die Rekristallisation des Zementsteins in die entstehenden Porenräume gedrängt. Das fortschreitende Kristallwachstum verbraucht weiter Wasser und die verbleibenden Porenräume werden weiter eingeschränkt. Wenn die einzelnen Zementpartikel durch die entstehenden Kristalle miteinander verwachsen und nicht mehr frei beweglich sind, erstarrt der Beton und beginnt zu erhärten. Als Erhärtung wird die Festigkeitsbildung im bereits erstarrten Beton bezeichnet. Der Verlauf der Erhärtung und damit die Bildung der Festigkeit sind abhängig von der Zementart, vom Wasserzementwert und einigen weiteren Faktoren. Übliche Betone im Hochbau entwickeln bei mittleren Temperaturen in der Zeit vom Einbau bis zum Ausschalen nach ca. 1 bis 3 Tagen etwa 30 bis 70 % ihrer Zielfestigkeit.

Die Druckfestigkeit ist die technisch wichtigste Eigenschaft des festen Betons. Betonbauteile werden bei der Tragwerksplanung mit einer so genannten Rechenfestigkeit, also einer im theoretischen Bemessungsmodell angenommenen Druckfestigkeit, bemessen. Diese Festigkeitsannahme kann nur gelten, wenn der Beton im Bauteil diesen theoretischen Druckfestigkeitswert mit hinreichender Sicherheit erreicht oder überschreitet. Das Bemessungssystem enthält Sicherheiten zur Kompensation möglicher Ungenauigkeiten aus den Annahmen der einwirkenden Lasten, aus der Modellierung des statischen Systems und aus Abweichungen im Material. Solche Abweichungen im Material können sich durch Ungenauigkeiten in der Betonzusammensetzung, bei der Herstellung und bei der Verarbeitung des Betons ergeben. Um zu gewährleisten, dass die tatsächlichen Abweichungen im Material die bei der Tragwerksberechnung angesetzten Sicherheiten nicht ausschöpfen, ist ein weiteres, allein auf die Planung und den Nachweis der

Betondruckfestigkeit ausgerichtetes Sicherheitssystem erforderlich. Da ein hinreichend genauer Nachweis der Betondruckfestigkeit nur durch eine zerstörende Prüfung möglich ist, entfällt die Möglichkeit der direkten Prüfung am Bauteil. Die Druckfestigkeitsprüfung erfolgt an Proben (Probewürfeln), die bei der Herstellung und Verarbeitung aus dem Beton eines Bauteils entnommen werden. Diese Probewürfel werden nach so genannten Normbedingungen (ca. 20°C und 65% rel. Luftfeuchte) gelagert und im Alter von 28 Tagen geprüft. Von diesen Prüfergebnissen wird auf den Beton des gesamten Bauteils geschlossen.
Die standardisierten Lagerungs- und Prüfungsbedingungen sind zur Aussagefähigkeit und Vergleichbarkeit von Druckfestigkeitswerten erforderlich. Die klimatischen Bedingungen der Normlagerung vor der Prüfung sind für die Erhärtung des Betons sehr günstig. Bei der Prüfung der Druckfestigkeit wird die potenzielle Druckfestigkeit bestimmt, die Druckfestigkeit also, die der Beton bei sehr günstigen Erhärtungsbedingungen nach 28 Tagen entwickelt. Da die Erhärtungsbedingungen im Bauwerk meist nicht so günstig sind wie die Normbedingungen, wird der im Labor gemessene 28-Tage-Wert meist deutlich höher sein, als die zum Zeitpunkt der Prüfung im Bauteil vorhandene Festigkeit. Unter besonders widrigen Erhärtungsbedingungen, etwa im Winter, hat Bauwerksbeton auch nach 28 Tagen oder später die im Labor gemessene Druckfestigkeit oft noch nicht erreicht, jedoch können ungünstige Erhärtungsbedingungen die Festigkeitsentwicklung im Bauteil nur verlangsamen, sie aber nicht langfristig aufhalten. Da der Bauwerksbeton seine Festigkeitsentwicklung jedoch bis zur technischen Endfestigkeit fortsetzt, wird er die nach 28 Tagen im Labor gemessene Druckfestigkeit mit großer Sicherheit erreichen oder deutlich übersteigen.
Der wirksame Sicherheitsabstand zwischen der angenommenen Druckfestigkeit der Tragwerksberechnung und der geprüften Betondruckfestigkeit ergibt sich aus den zulässigen Wertegrenzen. Die oberen, mit allen Sicherheitsbeiwerten aus Lastannahme, Modellbildung und Materialabweichung versehenen Druckfestigkeitswerte der Tragwerksplanung bilden zugleich die untere statistische Schranke der Nachweiswerte bei der praktischen Prüfung der Druckfestigkeit am Bauwerksbeton. Damit ist die Wahrscheinlichkeit eines Bauteilversagens aufgrund zu geringer Betonfestigkeiten mit ausreichender statistischer Sicherheit ausgeschlossen.

Die Festigkeitsentwicklung des Bauwerksbetons im jungen Alter ist nur aus baubetrieblicher Sicht interessant. Sie kann längere Ausschalfristen, Nachbehandlungszeiten oder eine längere Hilfsunterstützung von Decken und Unterzügen erfordern, bedeutet aber keine Einschränkung der Betongüte im Bauteil. Das Sicherheitssystem zur Annahme und zum Nachweis der Betondruckfestigkeit ist bauordnungsrechtlich geregelt. Zur eindeutigen technischen Kommunikation zwischen dem Planenden, dem Betonhersteller (Transportbetonwerk) und der mit der Verarbeitung des Betons befassten Bauunternehmung formulieren die Normen des Betonbaus ein System vom Betondruckfestigkeitsklassen. Gegenüber früheren Normbezeichnungen wird die Betondruckfestigkeitsklasse in den aktuellen Regelungen mit dem Buchstaben C für Concrete, der englischen Bezeichnung für Beton, und einem aus zwei Zahlenangaben bestehenden Klassenbeiwert gebildet (z.B. C25/30). Die Bezeichnung über den Doppelwert erklärt sich durch die unterschiedliche Gestalt der verwendeten Probekörper. In angelsächsischen Ländern wird die Druckfestigkeitsprüfung nicht an würfelförmigen, sondern an zylindrischen Probekörpern durchgeführt, an denen bei gleicher Betonfestigkeit geringere Druckfestigkeitswerte gemessen werden als am Würfel. Deshalb war bei der Europäisierung der Regelwerke die zunächst etwas verwirrende Doppelbezeichnung erforderlich. Für die Anwendung in Deutschland genügt der Blick auf den zweiten, höheren Klassenwert. Die Druckfestigkeitsklassen sind in Tabelle 4 dargestellt.

Planen mit Beton

Verantwortungsabgrenzung

Die Erfahrungen im Umgang mit verschiedenen bauvertraglichen Modellen, insbesondere mit der »Vergabe und Vertragsordnung für Bauleistungen« (VOB), haben auch die Neugestaltung der Regelwerke des Betonbaus in den letzten Jahren bestimmt. Während die VOB Planung und Ausführung in den einzelnen Teilen A, B und C sinnvoll trennt, hat diese Verantwortungsabgrenzung nun auch Eingang in die Struktur der Normen gefunden. Aus diesem Grund sind die Planung (Bemessung), die Betonherstellung und die Bauausführung bewusst in unterschiedlichen Normteilen geregelt. Besonders deutlich ist die Abgrenzung zwischen Planung und Ausführung in den Regelungen der VOB C, ATV DIN 18331, Betonarbeiten, Ausgabe 1/2005 dargestellt. Obwohl sich diese vertragliche Ausführungsnorm des Betonbaus auf den Geltungsbereich der VOB C beschränkt, ist sie in einzelnen Regelungen

beispielhaft für das Zusammenwirken von Planung und Ausführung und bezeichnet auch die aktuelle Rechtsauffassung zur vertragsgemäßen Realisierung von Bauleistungen.
Bei der Planung von Betonbauwerken ist zunächst grundsätzlich zu diskutieren, wie viel der Planer planen soll, muss oder darf. Diese Diskussion betrifft die oft schwer zu lösende Aufgabe des Planers, die Leistung hinreichend und vollständig zu beschreiben ohne jedoch den Ausführenden in seiner Auswahlfreiheit von Materialien und Verfahren sowie in seiner Innovativität einzuschränken.
Das derzeitige Rechtsverständnis sowie die Strukturen der Regelwerke stellen den Planer in deutliche Distanz zu den baubetrieblichen Belangen der Ausführung.

Um die Verantwortungsabgrenzung zwischen Planung und Ausführung auch im Einzelfall zu verstehen ist es hilfreich, Planung und Ausführung als »Ziel-Weg-System« zu betrachten. Der Planende sollte sich streng daran halten, allein die bauvertragliche *Zielsetzung* in der allgemeingültigen Fachsprache und der Begrifflichkeit der zutreffenden technischen Regelwerke zu formulieren. Aufgabe des Ausführenden ist es, unter den geltenden Randbedingungen einen technisch geeigneten und wirtschaftlichen *Weg* aus der Vielzahl der technischen Möglichkeiten zur Realisierung der planerischen Zielsetzung zu wählen. Hierzu setzt er seine fachliche Qualifikation und Erfahrung ein. Die Freiheit bei der Wahl des Wegs gibt dem Ausführenden die Möglichkeit, den technischen und wirtschaftlichen Erfolg seines Vorgehens aus eigener Kapazität und Leistungsfähigkeit heraus zu steuern und motiviert ihn zu innovativem Handeln.
Werden bereits in der Planung und im nachfolgenden Bauvertrag Ziel und Weg vermischt, ist es meist schwierig, diese Unschärfen im praktischen Alltag der Ausführung und Bauleitung zu bewältigen. Hierzu ein Beispiel aus der Praxis:

Situation:
Zur Herstellung von Flächen in gehobener Sichtbetonqualität schreibt der Planende die Beschaffenheitsmerkmale der Flächen in hinreichender Genauigkeit aus und ordnet im Leistungsverzeichnis zusätzlich die Herstellung von Erprobungsflächen an, nach deren Herstellung die endgültige Oberflächenqualität zusammen mit dem Ausführenden festgelegt werden soll. Aufgrund seiner Erfahrungen an vorausgegangenen Projekten fügt der Planende den vertraglichen Regelungen eine

»technische Spezifikation« hinzu, die verbindliche Vorgaben und Beschränkungen für die an den Sichtbetonflächen zu verwendenden Materialien enthält. Nachstehend ein Auszug aus den vertraglichen Regelungen:

Vertragsauszug:

X. Zusätzliche technische Vertragsbedingungen

X.1 Sichtbeton der LV-Positionen M.MMM bis N.NNN

X.1.1 Technische Spezifikation der zu verwendenden Materialien

X.1.1.1 Schalung
Die Schalhaut zur Herstellung der Sichtbetonflächen muss strukturlos glatt, nicht saugend und die Schalhautoberfläche muss mit einer wasserdichten Polyphenolbeschichtung vergütet sein.

X.1.1.2 Beton
Zur Herstellung des Betons darf nur Portlandzement der Art CEM I 32,5 eingesetzt werden. Der Mindestzementgehalt im Beton beträgt 320 kg/m³. Der Mörtelgehalt des Betons soll zur Herstellung von Sichtbeton ausreichend sein. Der wirksame Wasserzementwert des Betons darf maximal 0,55 betragen. Der Beton darf beim Einbau kein höheres Ausbreitmaß als 45 cm aufweisen.

Analyse

X.1.1.1 Schalung
Die Schalhaut zur Herstellung der Sichtbetonflächen muss strukturlos glatt, nicht saugend ~~und die Schalhautoberfläche muss mit einer wasserdichten Polyphenolharzbeschichtung vergütet~~ sein.
Die Forderung nach einer wasserdichten Polyphenolharzbeschichtung engt die technische Vielzahl der Möglichkeiten des Einsatzes einer glatten, nicht saugenden Schalung auf eine Produktgruppe ein. Sie ist im Streben nach

einer möglichst guten Oberflächenqualität sinnlos, da qualitätsrobustere Neuentwicklungen auf diese Weise vertraglich ausgeschlossen werden.

X.1.1.2 Beton

~~*Zur Herstellung des Betons darf nur Portlandzement der Art CEM I 32,5 eingesetzt werden. Der Mindestzementgehalt im Beton beträgt 320 kg/m³. Der Mörtelgehalt des Betons soll zur Herstellung von Sichtbeton ausreichend sein. Der wirksame Wasserzementwert des Betons darf maximal 0,55 betragen. Der Beton darf beim Einbau kein höheres Ausbreitmaß als 45 cm aufweisen.*~~

Diese vertraglichen Forderungen enthalten durchweg baubetriebliche Planungsansätze. Sie beschreiben damit einen vielleicht möglichen Weg zum Ziel einer hochwertigen Sichtbetonfläche. Die Planung des baubetrieblichen Vorgehens und damit auch die Wahl der Betonzusammensetzung und die Auswahl der Ausgangsstoffe sind jedoch originäre Pflicht und Freiheit des Ausführenden. Er verantwortet vertraglich die Qualität der fertigen Flächen und sollte nicht durch baubetriebliche Einschränkungen behindert werden. Zudem sind die Forderungen eines Mindestzementgehalts, eines maximalen Wasserzementwertes und eines maximalen Ausbreitmaßes überbestimmt, da diese Größen voneinander abhängen. Meist ist es nicht möglich, mit solchen Vorgaben einen geeigneten Beton und die geforderte Flächenqualität herzustellen. Vertraglich Forderungen zu Betonzusammensetzungen müssen oft nach den ersten Praxisversuchen zurückgezogen werden.

Die oben aufgeführten vertraglichen Forderungen sind beispielhaft für einen großen Teil üblicher Bauverträge zur vertraglichen Leistung Sichtbeton. Aus den vertraglichen Forderungen ist die Absicht des Planers erkennbar, den aus eigenen Erfahrungen richtigen *Weg* zum *Ziel* vertraglich vorzugeben. Da der Planer mit diesen Forderungen in den Verantwortungsbereich des Ausführenden eingreift, fällt ihm zunächst auch die Verantwortung zu für den Fall, dass das vertraglich vorgeschriebene Vorgehen nicht den gewünschten Erfolg zeigt . Im vorliegenden Fall verantwortet der Planer die Betonzusammensetzung durch ihre vertragliche Festlegung. Dies kann eine Nachforderung des Ausführenden begründen, wenn sich

die vorgeschriebene Betonzusammensetzung als ungeeignet erweist und kostenrelevant verändert werden muss.

Der Ausführende sieht seine Fachkenntnis und seine Innovativität durch die vertraglichen Festlegungen zur Schalhaut und zur Betonzusammensetzung eingeschränkt. Da er aber letztlich den vertraglichen Gesamterfolg (»hochwertige Sichtbetonflächen«) verantwortet, gelingt ihm die Umsetzung seiner innovativen Leistungsfähigkeit nur über den zeit- und kostenträchtigen Umweg, die vertraglichen Vorgaben im praktischen Versuch auf ihre Tauglichkeit zu prüfen und erforderlichenfalls über Änderungen zu verhandeln.

Es ist nicht leicht, *Ziel* und *Weg* im praktischen Planungsalltag zuverlässig auseinander zu halten, da die abgrenzenden Kriterien oft ungenau sind. Als Beispiel für das richtige »Abgrenzungsgefühl« kann man sich eine Taxifahrt in einer fremden Stadt vorstellen: Der Fahrgast (Planer) steigt in ein Taxi und erklärt sein Fahrtziel (vertragliche Merkmale und Eigenschaften der Bauteile).
Der Taxifahrer hat die Ortskenntnis (Fachwissen, Regelwerke) und ein geeignetes Fahrzeug (Personal- und Geräteausstattung) um den Fahrgast sicher an das gewünschte Ziel zu bringen. Kein vernünftiger Fahrgast wird dem Taxifahrer vorschreiben, das Ziel nur auf drei Rädern oder nur im dritten Gang anzusteuern und er wird in unbekannter Umgebung auch nicht auf die Idee kommen, selbst die Navigation zu übernehmen.

Vertragsverhältnisse

Einen allgemeingültigen Ablauf der vorvertraglichen Planung für ein Hochbauprojekt für alle Fälle anzugeben ist schwierig, da jede Baumaßnahme einen Einzelfall darstellt, der Abweichungen vom üblichen Vorgehen erfordern kann. Bei Projekten öffentlicher Bauherren sind die Abläufe durch die Bestimmungen der VOB vorgegeben. Bei Projekten privater Bauherren hat der Planer meist den Auftrag und die Freiheit, die Regeln, nach denen Planung, Vergabe und Ausführung ablaufen sollen, weitgehend festzulegen oder zumindest in erheblichem Maße mitzugestalten. Hieraus ergeben sich planerische Pflichten und Chancen.

Zur Planung und Ausführung von Hochbauprojekten vergibt der Bauherr im Allgemeinen zwei unterschiedliche vertragliche Leistungen:

Die Planung und die Bauleitung werden meist durch Ingenieurverträge auf Basis der »Honorarordnung für Architekten und Ingenieure« (HOAI) beauftragt, abgeleistet und vergütet. Der Vertragspartner des Bauherrn ist meist der Architekt, der im Zuge der Gesamtplanung des Objekts einzelne Planungsleistungen (z.B. die Tragwerksplanung) an weitere Fachplaner vertraglich weitergibt.

- Die Ausführung wird an ein qualifiziertes Fachunternehmen vergeben, damit entsteht ein Bauvertrag. Rechtliche Grundlage jedes Vertrags ist in Deutschland das Bürgerliche Gesetzbuch (BGB), ggf. ergänzt durch die Regelungen der VOB, Teile B und C. Der Bauvertrag beschreibt die vertragliche Leistung in ihrer Art und Menge sowie die Frist, in welcher sie zu erbringen ist. Er bildet die Beurteilungsgrundlage der vertraglichen Leistung und regelt deren Abnahme und Vergütung, die Zahlungsbedingungen und die Gewährleistung.

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 0 pt + Tabstopp nach: 17,85 pt + Einzug bei: 17,85 pt

Die Vorbereitung des Bauvertrags und seine technische Ausgestaltung sind im Allgemeinen Aufgabe des Planers. Der Bauherr ergänzt die technischen Vertragsinhalte um wirtschaftliche Rahmenregelungen wie z.B. Zahlungsbedingungen, Sicherheitsleistungen, Gewährleistungsregelungen etc. Hierbei ist zu beachten, dass die Preisfindung des Bieters mit Abgabe des Angebots und damit vor dem endgültigen Vertragsabschluss zwischen dem Bauherrn und dem Ausführenden abgeschlossen ist. Das nachträgliche Hinzufügen von Leistungen oder Vertragsbedingungen, die nicht in der Angebotskalkulation des Bieters berücksichtigt sind und eine technische oder wirtschaftliche Erschwernis für den Bieter darstellen, erfordert eine Neuverhandlung des Gesamtpreises unter Berücksichtigung der hinzugekommenen Aufwende.

Zwischen dem bauleitenden Planer und dem ausführenden Unternehmer entsteht üblicherweise kein Vertragsverhältnis. Wenn der Planer die Bauleitung jedoch erfolgreich betreiben soll, ist eine gewisse Weisungsbefugnis gegenüber dem ausführenden Unternehmer unerlässlich. Er muss, auch im Sinne der

Schadensbegrenzung für die beteiligten Parteien, mangelhafte oder nicht vertragsgemäße Leistungen frühzeitig ablehnen bzw. anhalten können. Er muss abnahmebereite Teilleistungen, die durch nachfolgende Maßnahmen verdeckt werden, zügig und verzögerungsfrei abnehmen oder deren Nachbesserung fordern können. Der Planer ist jedoch zunächst weder durch den Bauvertrag noch durch seinen Planungsauftrag autorisiert, dem Unternehmer Anweisungen zu erteilen. Auf die Praxis hat dieser Umstand normalerweise keine Auswirkungen, da der ausführende Unternehmer die Mitwirkung des Planers benötigt und seinen Weisungen meist ohne Prüfung des vertraglichen Hintergrunds Folge leistet. Dennoch besteht eine Rechtsunsicherheit, die in schwerwiegenden Streitfällen und bei kostenrelevanten Entscheidungen des Planers unangenehme Folgen für alle Beteiligten haben kann. Darum sollte der Bauherr dem bauleitenden Planer einen festgelegten Teil seiner vertraglichen Rechte gegenüber dem Unternehmer in Form einer Vollmacht überschreiben. Den Projektpartnern Bauleitung und Ausführung muss zu jedem Zeitpunkt klar sein, was der bauleitende Planer entscheiden darf und in welchen Fällen die Information oder die Zustimmung des Bauherrn erforderlich ist.

Das Leistungsverzeichnis

In Vorbereitung des Bauvertrags erstellt der Planende zunächst die Ausschreibungsunterlagen. Zentraler Teil der Ausschreibung und des späteren Bauvertrags ist bei üblichen VOB-Verträgen die Leistungsbeschreibung. Sie besteht mindestens aus dem Leistungsverzeichnis (LV), in welchem die vertragliche Leistung, in sinnvolle Teilleistungen zerlegt, detailliert und nach Bauteilen und Leistungsschritten getrennt aufgeführt ist. Gegebenenfalls beinhaltet die Leistungsbeschreibung auch Ausführungsbedingungen, soweit diese direkte oder indirekte Kosten verursachen. Das Leistungsverzeichnis wird aus den vom Planer zuvor ermittelten Massen, also den Stückzahlen, den Flächen-, Längen- oder Volumenmaßen der Einzelbauteile und der zu ihrer Herstellung erforderlichen Arbeiten erstellt. Das Leistungsverzeichnis setzt sich zusammen aus so genannten Leistungspositionen (Teilleistungen), die in sinnvoller und geordneter Struktur aufgelistet und nummeriert sind. Jede Leistungsposition enthält die folgenden Angaben:

- Eine Ortsangabe, aus der zu erkennen ist, wo, also an welchem Bauteil oder Teil eines Bauteils eine Leistung zu erbringen ist. Es ist hilfreich, das Leistungsverzeichnis mit technischen Unterlagen (Zeichnungen, Planunterlagen etc.) zu ergänzen und eindeutig auf diese zu verweisen. Meist ist der Ort der Leistung bereits aus der Systematik der Nummerierung des Leistungsverzeichnisses zu erkennen.

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 0 pt + Tabstopp nach: 28,35 pt + Einzug bei: 28,35 pt

- Eine Massenangabe (Vordersatz), die zeigt, in welcher Menge die jeweilige Leistung zu erbringen ist. Der Vordersatz kann je nach Leistung eine Stückzahl oder eine Längen-, Flächen- oder Volumenangabe sein und ist eine Abschätzung des Planers aus dem vorliegenden Planungsstand. Der Bieter, also das Bauunternehmen, das die Bauleistung kalkuliert und anbietet, gibt in seinem Angebot zu jeder Teilleistung zunächst den Einzelpreis an, der sich auf die Einheitsdimension der Massenangabe bezieht und multipliziert im zweiten Schritt seinen Einzelpreis mit dem Massenvordersatz zum Gesamtpreis der Teilleistung.

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 0 pt + Tabstopp nach: 28,35 pt + Einzug bei: 28,35 pt

- Einen Leistungstext, in dem die Leistung näher beschrieben wird. Der Leistungstext sollte kurz, klar und unter Verwendung gängiger Fachbegriffe und Bezeichnungen verfasst sein. Jede Teilleistung kann neben der Hauptleistung so genannte Nebenleistungen enthalten. Wenn in einer Teilleistung Nebenleistungen enthalten sein sollen, ist es hilfreich, im Text auf diese zu verweisen (z.B. An- und Abtransport, Aufstellen, Vorhalten, Rückbau und Entsorgung etc.)

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 0 pt + Tabstopp nach: 28,35 pt + Einzug bei: 28,35 pt

Der Begriff der »Nebenleistung« stammt aus der VOB (vgl. VOB Teil C ATV DIN 18299 / DIN 18331, jew. Abs. 4). Nebenleistungen im Sinne der VOB sind Leistungen, die in so engem ausführungstechnischen Zusammenhang mit der Hauptleistung stehen, dass sie dieser zugerechnet werden und im Leistungstext nicht gesondert aufgeführt werden müssen. Der Aufwand für eine Nebenleistung ist in der Vergütung der Hauptleistung enthalten. Für den Ausschreibenden bedeutet dies, dass er eine »Nebenleistungen gemäß VOB« nicht explizit aufführen muss und sie im Zuge der Hauptleistung ohne gesonderte Vergütung erhält. Der Bieter muss

die Aufwendungen für Nebenleistungen in den Einzelpreis der Hauptleistung einrechnen.
Die VOB benennt zwar einige Beispiele, dennoch gibt es nur wenige eindeutige »Nebenleistungen nach VOB«. Die Definition einer Nebenleistung ist im Einzelfall schwierig und führt immer wieder zu Auseinandersetzung über die Vergütung von Leistungen, die der Planer als Nebenleistung versteht, der Ausführende jedoch als so genannte Besondere Leistung. Deshalb ist es ratsam, Nebenleistungen in den Leistungstexten möglichst zu erwähnen oder sie ab einem bestimmten Aufwand grundsätzlich als gesonderte Leistungsposition auszuschreiben.

Das Leistungsverzeichnis ist die Hauptgrundlage der Preisermittlung (Kalkulation) eines jeden Bieters und muss entsprechende Anforderungen erfüllen:

- Jede Teilleistung ist detailliert und für jeden Bieter eindeutig und verständlich zu beschreiben, das heißt, jeder Bieter muss aus den Leistungstexten eine gleichartige Leistung erkennen und diese anhand der enthaltenen Angaben ohne besonderen Aufwand kalkulieren können (vgl. VOB A, § 9, *Beschreibung der Leistung*).

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 0 pt + Tabstopp nach: 28,35 pt + Einzug bei: 28,35 pt

- Die Summe der Teilleistungen soll die Gesamtleistung lückenlos und vollständig beschreiben, das heißt, es sollen bei der Ausführung möglichst keine Leistungslücken und keine erhebliche Massenwidersprüche entstehen.

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 0 pt + Tabstopp nach: 28,35 pt + Einzug bei: 28,35 pt

Die VOB, Teil A, verlangt bei einem Bauvertrag mit Leistungsbeschreibung (Leistungsvertrag) eine einfache, unkomplizierte und allgemeinverständliche Beschreibung der Leistung. Der Planende sollte sich an diese Forderung auch dann halten, wenn er bei der Planung und Erstellung der vertraglichen Unterlagen nicht an die Regelungen von VOB A gebunden ist, da die aktuelle Rechtsauffassung bei der Beurteilung einer Leistungsbeschreibung im Wesentlichen nach diesen Kriterien entscheidet.
Arbeiten, die nicht im Leistungsverzeichnis aufgeführt und keine Nebenleistung im Sinne der VOB, jedoch zur Ausführung der vertraglichen Leistung erforderlich sind, können eine Nachforderung (Nachtrag) des Unternehmers begründen. Dies gilt sinngemäß für den Fall, dass der Massenvordersatz einer Leistungsposition bei der

Ausführung erheblich, das heißt um mehr als 10 %, überschritten wird. Hierbei ist zu beachten, dass Massenabschätzungen im Zuge der Planung grundsätzlich nur eingeschränkt genau sind. Massenabweichungen von 10 % und mehr sind bei der Planung von Neubaumaßnahmen jedoch selten.

Zur Erstellung der Leistungstexte von Beton- und Stahlbetonarbeiten können auch die »Standard-Leistungsbücher für das Bauwesen« verwendet werden. Die Standard-Leistungsbücher enthalten Leistungskataloge zur Planung von Bauleistungen für öffentliche Auftraggeber. Sie stehen jedem Planer zur Verfügung und sind ein geeignetes Hilfsmittel zur raschen und problemlosen Erstellung von Leistungstexten.
Vor der Erstellung des Leistungsverzeichnisses sollte eine genaue Betrachtung der örtlichen Gegebenheiten und der Bedingungen erfolgen, unter denen die Baumaßnahme durchzuführen ist.. Oft ergeben sich dabei notwendige Beschränkungen der Lärm-, Staub- und Abwasserentwicklung oder der Baustellenlogistik, die bei der Verfahrensauswahl zu teureren Lösungen zwingen können. Bei benachbarten Wohngebäuden oder gewerblich genutzten Gebäuden sind in manchen Fällen aufwendige Schutz- und Leitmaßnahmen für den Publikumsverkehr erforderlich. Umweltauflagen oder die Funktionen benachbarter Gebäude (Altenheime, Krankenhäuser etc.) können besondere Maßnahmen zur Lärmminderung oder Beschränkungen der täglichen Arbeitszeiten erforderlich machen. Dies sollte dem Planer bei der bei Abschätzung der Kosten, spätestens jedoch beim Aufstellen des Leistungsverzeichnisses bekannt sein.
Die genannten Punkte sind vom Planer unter der Mitwirkung des Bauherrn zu klären und abzustimmen. Sie sind für die Kostensicherheit, für die Güte der Planung und für einen ungestörten, terminsicheren Bauablauf erforderlich. Wenn sich hieraus vertragliche Beschränkungen ergeben, können diese meist nicht in den Leistungspositionen berücksichtigt werden, sondern müssen in anderen Vertragsteilen, etwa den Besonderen Vertragsbedingungen (vgl. VOB, Teil B, § 1, Abs. 2) geregelt werden.

Der Bauvertrag

Verfahren, Vor- und Nachteile der VOB

Die Vielfalt bauvertraglicher Modelle bei Neubauprojekten beeinflusst die Planung und Ausführung technisch kaum, sondern variiert meist nur die vertraglichen Verantwortlichkeiten. Der in Deutschland übliche Bauvertrag ist der so genannte Leistungsvertrag nach VOB. Er gründet auf der traditionellen Arbeits- und Verantwortungsteilung zwischen Planung und Ausführung.

Bei der Vergabe von Baumaßnahmen öffentlicher Auftraggeber wird der Auftrag im Allgemeinen den Regelungen der VOB A gemäß öffentlich und ohne Beschränkung der Bieter ausgeschrieben (vgl. VOB, Teil A, § 3, Abs. 1 u. 2). Die Vergabe folgt klaren Regeln, um die Chancengleichheit zwischen den Bietern zu gewährleisten und jegliche Einflussnahme durch Einzelinteressen auszuschließen. Allein zu diesem Zweck enthält Teil A der VOB umfangreiche und detaillierte Regeln zum Vorgehen bei der Ausschreibung, bei der Prüfung und Wertung der Angebote und bei der Vergabe.
In der Praxis führen jedoch häufig genau diese Vorgaben und die Art ihrer Anwendung zu ungünstigen Ergebnissen. Bei der Wertung der Angebote fordert die VOB A zunächst die Prüfung der Eignung des Bieters, der angebotenen Leistungsinhalte und der Auskömmlichkeit der Angebotspreise. Zur Vergabeentscheidung sind die positive Beurteilung des Bieters und die Richtigkeit der angebotenen Leistungsinhalte notwendige Voraussetzungen. Das entscheidende Kriterium für die Vergabe ist jedoch, bei Erfüllung dieser Voraussetzungen, der Angebotspreis. Ein niedriger Angebotspreis ist ein sehr deutliches Kriterium, einem Bieter den Zuschlag zu geben. Hingegen ist die Prüfung des Bieters im Einzelfall schwierig und hängt im Ergebnis von seiner Bereitschaft zur Mitwirkung oder von vorhandenen Anhaltspunkten ab. Hinzu kommt, dass die mangelnde Eignung eines Bieters oder die Unauskömmlichkeit eines Angebotspreises durch die Vergabestelle im Einzelfall schwer zu belegen sind. Die Ablehnung eines Angebots aufgrund dieser Kriterien ist im Fall einer formellen Beschwerde des Bieters oft nicht durchzuhalten. Zudem kann eine Beschwerde die Vergabe aufschieben und den geplanten Projektzeitplan in Frage stellen. Deshalb beeinflussen die Erkenntnisse einer Angebotsprüfung nach anderen Kriterien als dem Angebotspreis trotz der deutlichen Forderungen der VOB A, § 25, die Vergabeentscheidung in der Praxis meist nur wenig.

Der mit der Planung (und der späteren Bauleitung) an einem Bauvorhaben eines öffentlichen Auftraggebers befasste Planer hat bei einer öffentlichen Vergabe keinen Einfluss auf das Ergebnis des Verfahrens. Die Erkenntnis, dass der Auftrag bei einem öffentlichen Bauvorhaben leichter durch einen günstigen Angebotspreis als durch die solide Kalkulation einer qualitätsvollen Ausführung zu erlangen ist, ist letztlich auch für den wirtschaftlichen und technischen Erfolg des bauleitenden Planers von Bedeutung.
Zwar kennt die VOB auch andere Vergabeformen (siehe VOB, Teil A, § 3 bis § 8), deren Regeln im Einzelfall besser geeignet sein können einen leistungsfähigen Bieter zu finden, doch ist deren Anwendung an die Erfüllung bestimmter Voraussetzungen gebunden, wie z.B. die besondere technische Schwierigkeit der Ausführung.
Bei nicht öffentlichen Aufträgen ist die Anwendung der VOB A freigestellt. Im Einzelfall kann vor allem durch die freie Wahl des Vergabeverfahrens vorteilhaft sein, von der VOB A abzuweichen. Es empfiehlt sich jedoch immer, den Bauvertrag in weitgehender Anlehnung an die VOB A zu gestalten, da die Verwendung fachüblicher Vertragsbegriffe, -formulierungen und Abläufe einen größere Rechtssicherheit gewährleistet. Vor allem die Regelungen der VOB, Teil A, § 9, sollten bei der Beschreibung der Leistung eingehalten werden, da sich die Rechtsprechung bei Streitigkeiten über den vereinbarten Leistungsumfang weitgehend an den Regelungen dieses Paragraphen orientiert. Als rechtliche Grundlage für die Ausführung und die Abnahme der Bauleistung sollten jedoch in jedem Fall die für diesen Rechtsbereich zutreffenden Teile B (Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen) und C (Allgemeine technische Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen) der VOB vertraglich vereinbart werden. Die Teile B und C der VOB geben den rechtlichen Rahmen für das Vertragsverhältnis zwischen Bauherrn und ausführendem Unternehmen. Ihre Geltung beginnt also erst mit der Vergabe des Bauvertrags bzw. mit dem Beginn der Ausführung. Eine Anbindung des Bauvertrags an die VOB, Teile B und C, gründet das Vertragsverhältnis auf breit gefächerten, klaren Regeln zum technischen und rechtlichen Hintergrund der vertraglichen Bauleistung. Auch zur Einbindung der VOB, Teile B und C, in den Bauvertrag ist es vorteilhaft, den Bauvertrag in weitgehender Anlehnung an den Teil A der VOB vorzubereiten.

Die Integration der VOB, Teile B und C, in den Bauvertrag verlangt jedoch die formale Anwendung dieser Regelungen im Ganzen. Die Vereinbarung der VOB unter Ausschluss einzelner Paragraphen oder unter Verschärfung einzelner Forderungen ist zwar in Grenzen möglich, kann jedoch bei beliebigem Vorgehen den gesamten Bauvertrag rechtlich unwirksam machen.
Diese Einschränkung zur Anwendung der VOB begründet sich aus ihrem rechtlichen Status. Die VOB muss vertraglich vereinbart werden. Geschieht dies nicht, gelten allein die Regelungen des BGB, die als rechtlicher Hintergrund für einen Bauvertrag und für die Absicherung der Interessen beider Vertragspartner gleichermaßen unzureichend sind. Die VOB steht im Bauvertrag im Sinne der so genannten Allgemeinen Geschäftsbedingungen (»Kleingedrucktes«). Die VOB ergänzt also die Bestimmungen des BGB durch detaillierte rechtliche und technische Regelungen, die insbesondere auf die Vergabe von Bauleistungen abgestimmt sind,.Die Grenzen der Ausgestaltung der Allgemeinen Geschäftsbedingungen eines Vertrags definiert das Gesetz zur Regelung des Rechts der Allgemeinen Geschäftsbedingungen (AGBG). Dieses Gesetz dient ausschließlich dem Schutz des Vertragsnehmers und sagt aus, welche Regelungen als Allgemeine Geschäftsbedingungen zulässig sind. Das AGBG gilt damit auch für die Inhalte der VOB. Deshalb wurde bei der Erarbeitung der VOB streng auf die Verträglichkeit mit dem AGBG geachtet. Die Grundsätze des AGBG können jedoch bereits durch vermeintlich leichte Veränderungen der VOB-Regelungen grob verletzt werden.und im Fall einer rechtlichen Prüfung die Unwirksamkeit des gesamten Bauvertrags begründen.

Hinweise zur Umsetzung

Je nach gestalterischer oder konstruktiver Schwierigkeit kann die Herstellung von Beton- und Stahlbetonbauteilen technisch sehr anspruchsvoll sein. Der Erfolg ist bei jeder Betonbaumaßnahme abhängig von der Fachkenntnis des Planers und von den fachlichen und personellen Kapazitäten des Ausführenden. Der Planer sollte sich auch im eigenen Interesse möglichst vor der Vergabe Übersicht über die Leistungsfähigkeit der einzelnen Bieter verschaffen. Dies ist vor allem bei Baumaßnahmen nicht öffentlicher Auftraggeber sinnvoll, bei denen der Planer die Vergabeentscheidung des Bauherrn stärker mitsteuert.
Deshalb ist es in vielen Fällen günstig, die Anzahl der Bieter bereits bei der Einleitung des Ausschreibungs- und Vergabeverfahrens sinnvoll zu begrenzen:

- Der eigene Aufwand zur Bearbeitung der Angebote ist leichter steuerbar.
- Die Auswahl eines Bieterkreises nach den Erfahrungen von Planer und Bauherr kann das erwartete Qualitätsniveau positiv beeinflussen.
- Die Anzahl der »Verlierer« des Verfahrens wird ebenfalls beschränkt und die Auftragschancen des einzelnen Bieters sind relativ hoch.

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 0 pt + Tabstopp nach: 28,35 pt + Einzug bei: 28,35 pt, Tabstopps: 28,65 pt, Links + Nicht an 28,35 pt

Den Regelungen der VOB A folgend bedeutet dies, dass die Bauaufgabe entweder »beschränkt« oder, wenn die Merkmale der geforderten Leistung dies begründen, »nach Teilnehmerwettbewerb“ ausgeschrieben bzw. vergeben wird.
Die Durchführung einer beschränkten Ausschreibung oder eines Teilnehmerwettbewerbs erfordert die Zustimmung des Auftraggebers. Nachfolgend sind die beiden Verfahren kurz erläutert.

Bei einer beschränkten Ausschreibung (vgl. VOB, Teil A, § 3, Abs. 3 (1)) erhält eine begrenzten Anzahl ausgewählter Bieter die Ausschreibungsunterlagen mit der Aufforderung, ein Angebot abzugeben. Die Anwendung dieses Verfahrens setzt voraus, dass der Planer oder der Bauherr eine ausreichende Anzahl entsprechend leistungsfähiger potenzieller Bieter kennen und in der Lage sind, eine sinnvolle Auswahl zu treffen. Im Allgemeinen ist es günstig, mindestens drei, in jedem Falle aber weniger als zehn potenzielle Bieter für das Verfahren zuzulassen. Zudem sollte bei der Auswahl der Kandidaten ein regionaler Radius eingehalten werden. Dieser sollte dem wirtschaftlichen Umfang der Maßnahme entsprechen und so gewählt sein, dass jeder Bieter den Projektstandort mit verhältnismäßigem Reiseaufwand besichtigen kann. Ist die geplante Bauaufgabe besonders umfangreich oder birgt sie durch die örtlichen Verhältnisse besondere Schwierigkeiten, sollte eine Ortsbesichtigung durch den Bieter zwingend gefordert werden. Auch bei einer beschränkten Ausschreibung ist das letzte Entscheidungskriterium zur Vergabe an einen Bieter die Preiswürdigkeit des jeweiligen Angebots, also der nach Prüfung und Vergleich der angebotenen Leistungsinhalte »günstigste« Preis.

Die Durchführung eines so genannten Teilnahmewettbewerbs (vgl. VOB, Teil A, § 3, Abs. 3 (2)) ist nur bei Bauaufgaben besonderer Schwierigkeit und Größe begründet oder wenn nach Einschätzung des Planers zur Erfüllung der Leistungen eine

besondere Qualifikation des Bieters erforderlich ist, deren Vorhandensein nach üblichen Kriterien nicht sicher beurteilt werden kann. Bei einem Teilnahmewettbewerb qualifiziert sich ein Bieter zunächst nicht über die Preiswürdigkeit des Angebots, sondern durch Erfüllung anderer, durch den Planer oder den Bauherrn vorgegebener Kriterien. Meist dienen Teilnahmewettbewerbe dazu festzustellen, ob sich die Teilnehmer für Bauaufgaben besonderer Größe oder Schwierigkeit eignen und ausreichend leistungsfähig sind. Der Teilnahmewettbewerb ist also ein Verfahren zur Präqualifikation geeigneter Bieter.
Unabhängig vom Vergabeverfahren empfiehlt es sich vor allem bei Bauaufgaben besonderer Schwierigkeit oder hoher Qualitätsanforderungen (z.B. Sichtbeton), die Ausschreibungsunterlagen in einem Übergabegespräch auszuhändigen. Übergabegespräche sind geeignet, sich einen Eindruck von der Fachkompetenz des einzelnen Bieters zu verschaffen und auf ausgewählte Anforderungen an die Ausführung vertieft einzugehen. Es empfiehlt sich, die erläuterten Details und vertraglichen Forderungen schriftlich zu dokumentieren. Zur Prüfung der Eignung einen Bieters sollten in jedem Fall weitere Kriterien herangezogen werden, die über die alleinige Preiswürdigkeit des Angebots hinausgehen. Hierbei kann man auch von der Referenzliste des jeweiligen Bieters abweichen, da diese nicht immer eine hinreichend aussagefähige Auswahl der ausgeführten Objekte enthalten muss.

Die beschränkte Ausschreibung und die Präqualifikation des Bieters sind mögliche Maßnahmen, um die Vergabe der Betonarbeiten an möglichst leistungsfähige und qualitätsbewusste Bieter zu lenken. Die Mitwirkung des Bauherrn bei der Vergabe ist jedoch häufig vor allem wirtschaftlich motiviert. Das Bewusstsein, dass einer qualitätsvollen Ausführung eine angemessene Vergütung entgegenstehen muss, ist während den Vergabeverhandlungen bisweilen schwer aufrechtzuerhalten. Der vertraglich nicht betroffene Planer kann auch angesichts sich verringernder Qualitätsspielräume auf die Verhandlungen zwischen Bauherrn und Ausführendem meist wenig Einfluss nehmen. Deshalb sollte der Bauvertrag bereits im Ursprung eine angemessene Preis-Leistungs-Gestaltung enthalten, um die vertragliche Fairness auch nach den Vergabeverhandlungen möglichst zu gewährleisten. Dies ist für den Planer vor allem dann wichtig, wenn er auch die Projektbauleitung durchführen soll.

Qualität und Baustellensteuerung □

An die Planung, Ausschreibung und Vergabe einer Bauleistung schließt sich als Folgeleistung meist die Projektbauleitung entsprechend der Leistungsphase 8 der HOAI *((prüfen!))* an. Bei der Leitung der Baustelle ergibt sich die Zusammenarbeit mit dem Ausführenden meist nach den persönlichen und den betrieblichen Arbeitsweisen der beteiligten Personen und nach den anstehenden und laufenden Arbeiten und Prozessen. Die Koordination und Kommunikation, Leitung und Steuerung der baulichen Abläufe sind nur selten und meist nur im Ansatz vertraglich vorstrukturiert.. Die Gestaltung des Bauvertrags bietet dem Planer jedoch einen Reihe von Möglichkeiten, die Leitung der Baustelle und die entstehende Qualität durch vertragliche Forderungen und Routinen zu steuern und abzusichern, ohne den Verantwortungsbereich des Ausführenden im Sinne der Ziel-Weg-Trennung zu verletzen. Dies kann die Leitung der Baustelle erheblich ordnen und erleichtern. Die Baustellensteuerung und die Absicherung der Ausführungsqualität hängen eng zusammen, die Mittel und Maßnahmen zum Erreichen dieser Ziele sind weitgehend die gleichen.. Bereits bei der Preisbildung muss bekannt sein, wie sich die diesbezüglichen vertraglichen Forderungen auf das baubetriebliche Vorgehen des Ausführenden auswirken, Aufwand und Kosten müssen abschätzbar sein. Dies kann z.B. bedeuten, dass der Ausführende seinen Personaleinsatz nicht nach den den eigenen betrieblichen Gepflogenheiten und mit Blick auf ein möglichst günstiges Angebot, sondern nach den Vorgaben und Forderungen der Ausschreibung, also des Planers, kalkulieren muss.

Ausführungsqualität

Die Ausführungsqualität ist unmittelbar von den handelnden Personen abhängig, also vom technischen Personal des ausführenden Unternehmens. Hierzu gehören in der Regel der Bauleiter, das Aufsichtspersonal und die gewerblichen Arbeitnehmer in den Kolonnen. Entscheidend für das Arbeitsergebnis sind vor allem die Qualifikation und Erfahrung, die Anzahl des Personals sowie seine Verfügbarkeit und Disposition. Ein weiterer maßgebender Faktor ist das persönliche Engagement der verantwortlichen Aufsichtskräfte. Hierzu gibt es neben praktischen Erfahrungen auf der Baustelle auch abgesicherte Erkenntnisse:
Bundesanstalt für Straßenbau (BASt) stellte in den 90er-Jahren eine allgemein nachlassende Ausführungsqualität an den Neubauten ihrer Ingenieurbauwerke fest.

Dies veranlasste das Institut, an den laufenden Ingenieurbauprojekten eine Untersuchung über die Ausführungsqualität von Stahl- von Spannbetonbauwerken durchzuführen. Die Erkenntnisse wurden 1999 in einem Qualitätsbericht veröffentlicht. Die Ergebnisse und Einschätzungen des BASt-Berichts entsprechen auch den Erfahrungen an Hochbauprojekten und sind uneingeschränkt aktuell. Aus der Untersuchung sind vor allem die folgenden Erkenntnisse von Interesse:

- Der Bericht stellt fest, dass die Weitervergabe von Teilleistungen an Nachunternehmer im Allgemeinen zu einem deutlichen Qualitätsverlust führt. Neben den üblichen Schwierigkeiten bei der Bewältigung der entstehenden Schnittstellen und Verantwortungsübergänge werden weitere Gründe genannt. Zum einen zieht der Hauptunternehmer nach der Weitergabe der Qualitätsverantwortung seine Aufsichtspräsenz auf der Baustelle weitgehend zurück. Auf der anderen Seite erfolgt die Abwicklung der Nachunternehmerleistung oft parallel zu einer Vielzahl anderer Gewerke, was beim Nachunternehmer ein Gefühl verminderter Bedeutung und Beachtung der eigenen Leistung erzeugen kann. Hinzu kommen eine oft unklare Verteilung der Qualitätsverantwortung und ein starker Preisdruck. Im Effekt dieser Umstände kann die Motivation des Nachunternehmers zu qualitätsbewusstem Handeln schnell erlöschen.
- Die Untersuchung resümiert, dass die Qualität der handwerklichen Arbeiten vor allem von der Aufsichtsführung abhängt. Der persönliche Einsatz des einzelnen Kolonnenmitglieds wird wesentlich bestimmt durch den Kolonnenführer (Polier). Ist dieser qualifiziert, erfahren und engagiert, sind meist auch die Mitarbeiter der Kolonne entsprechend motiviert.
- Der Bericht belegt, dass die Arbeitsqualität ausländischer Mitarbeiter nicht notwendigerweise geringer ist als die deutscher Arbeitskräfte. Es zeigte sich, dass ungeachtet der Herkunft der Arbeitskräfte immer dann eine gute Leistung erzielt wird, wenn eine entsprechend qualifizierte Aufsicht die Kolonne führte.

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 18 pt + Tabstopp nach: 36 pt + Einzug bei: 36 pt

Die Erkenntnisse des Berichts lassen sich bei der Vertragsgestaltung direkt umsetzen:

1. Die Weitergabe von Teilleistungen an Nachunternehmer sollte vertraglich ausgeschlossen oder zustimmungspflichtig beschränkt werden.

Formatiert: Einzug: Links: 0 pt, Hängend: 21,3 pt, Nummerierte Liste + Ebene: 1 + Nummerierungsformatvorlage: 1, 2, 3, ... + Beginnen bei: 1 + Ausrichtung: Links + Ausgerichtet an: 18 pt + Tabstopp nach: 36 pt + Einzug bei: 36 pt, Tabstopps: Nicht an 36 pt

2. Die Qualifikation der Aufsichtskräfte und der technischen Bauleitung sowie ihre Anwesenheit und Fluktuation während der Betonarbeiten sollte geregelt sein, da dies entscheidende Faktoren für die entstehende Qualität und für die Möglichkeit praktischer Einflussnahme durch die Bauleitung des Planers sind.

Baustellensteuerung

Voraussetzung für eine organisierte und geordnete Steuerung der Baustelle aus der Sicht des bauleitenden Planers ist eine geregelte Kommunikation mit der Ausführung. Hierzu sollte ein möglichst einfaches und klares Netzwerk von Informations-, Anmelde- und Freigaberoutinen für einzelne Leistungsschritte (Einschalen/Bewehren/Betonieren/Ausschalen/Nachbehandlung) an einzelnen Bauteilen oder Bauabschnitten eingeführt werden.

Die baubetriebliche Abfolge der Arbeits- und Leistungsschritte auf der Baustelle bestimmt der Ausführende nach seinen baubetrieblichen Erfordernissen. Daher kann die Projektleitung des Planers nur dann ausreichend über die aktuellen und die geplanten Abläufe informiert sein, wenn sie durch den Ausführenden frühzeitig und umfassend informiert wird. Um dies stets im gewünschten Umfang zu gewährleisten, sollte dem Ausführenden eine vertragliche Informationsroutine auferlegt werden. Die Intensität des Informationsflusses kann den jeweiligen Gegebenheiten angepasst sein.

Damit der Planer möglichst frühzeitig über die Vorbereitung wichtiger Arbeitsschritte informiert wird, sollte er eine ausreichende, aber praxisgerechte Frist zwischen der Information und dem geplanten Beginn der jeweiligen Aktivität vorgeben. Darüber hinaus ist es vorteilhaft, die Fortsetzung der Arbeiten an qualitätskritischen Übergängen zwischen zwei Arbeitsgängen an eine formelle Freigabe der Weiterbearbeitung oder an die Abnahme des Ist-Zustands zu binden. Der bauleitende Planer kann im Einzelfall entscheiden, ob er vor seiner Zustimmung zur Fortsetzung der Arbeiten den Ist-Zustand prüfen möchte oder nicht. Die Möglichkeit der Prüfung fördert beim ausführenden Personal das Qualitätsbewusstsein für die eigene Leistung.

Vertragliche Informationsroutinen aus Anmeldung und Freigabe sollten jedoch sinnvoll und praxisgerecht auf qualitätsrelevante Arbeiten zur Herstellung von Betonbauteilen zu beschränkt und möglichst unkompliziert gestaltet sein. Dabei

sollte die Kommunikation entscheidender Sachverhalte generell in Schriftform erfolgen.
Da sich die für die Informations- und Freigaberoutinen des Bauablaufs gewählten Kommunikationswege auch dafür eignen, die Disposition des technischen Personals des Ausführenden anhand von Aufsichts- und Anwesenheitsplänen zu prüfen, verbinden sich hier die Ziele der Qualitätssicherung und der Baustellensteuerung.

Zusammenfassung der Maßnahmen

Die möglichen Maßnahmen zur Steuerung der Baustelle und zur Absicherung der Ausführungsqualität lassen sich über die folgenden Forderungen vertraglich absichern:

Formatiert: Einzug: Links: 0 pt, Hängend: 14,2 pt, Nummerierte Liste + Ebene: 1 + Nummerierungsformatvorlage: 1, 2, 3, ... + Beginnen bei: 1 + Ausrichtung: Links + Ausgerichtet an: 0 pt + Tabstopp nach: 18 pt + Einzug bei: 18 pt, Tabstopps: 14,2 pt, Listentabulator

1. Beschränkung der Vergabe von Teilleistungen an Nachunternehmer
2. Qualifikation und Personalstärke der technischen Bauleitung
3. Qualifikation, Erfahrung und Anzahl der Aufsichtskräfte in jeder Kolonne
4. Anzahl und Personalstärke der Schalungs-, der Bewehrungs- und der Betonierkolonnen
5. Anwesenheit mindestens eines Vertreters der technischen Bauleitung jeweils bei Beginn und Ende (maßgeblicher) Schalungs- und Bewehrungsarbeiten
6. Anwesenheit wenigstens eines technischen Vertreters der Bauleitung mindestens 1 Stunde vor Beginn bis zum Ende (maßgeblicher) Betonierarbeiten
7. Anwesenheit der Kolonnenaufsicht bei allen Arbeiten an Schalung, Bewehrung und Betonierarbeiten inklusive Vor- und Nacharbeiten
8. Festlegung der Kommunikationswege und der Ansprechpartner in der Bauleitung des Bauunternehmens und innerhalb des Aufsichtspersonals sowie einer Informationsroutine über die Arbeitsplanung, den Einsatz- und die Anwesenheit der technischen Bauleitung, der Aufsichtskräfte und der Kolonnen

Diese Maßnahmen erscheinen als vertragliche Forderungen bei üblichen Bauleitungsaufgaben des Planers bei Betonarbeiten im Hochbau anspruchsvoll. In

der Praxis ist es jedoch nur selten sinnvoll, alle der genannten Maßnahmen vertraglich festzusetzen. In ausgewählter, jeweils angepasster Kombination eignen sie sich auch zur Steuerung kleinerer Hochbauprojekte. Insbesondere die Forderungen zur Anwesenheit des Aufsichtspersonals sollten aber immer in Betracht gezogen werden, da an vielen Hochbaustellen meist keine Vollzeitbauleitung und bei intensivem Nachunternehmereinsatz auch keine Vollzeitaufsicht der vertraglich hauptverantwortlichen Bauunternehmung anwesend ist.

Installation in den Bauvertrag

Die Maßnahmen und Forderungen zur Qualitätssicherung und zur Baustellensteuerung sind Ausführungsbedingen, die nicht über das Leistungsverzeichnis Eingang in den Bauvertrag finden können. Häufig werden Ausführungsbedingungen in den so genannten Vorbemerkungen zu einer Ausschreibung oder zu einem Bauvertrag aufgeführt. Die Vorbemerkungen dienen jedoch vor allem zur Erläuterung der Inhalte von Ausschreibung oder Bauvertrag, sie sind nicht geeignet zur Formulierung vertraglicher Forderungen, da die rechtliche Wirksamkeit vertraglicher Regelungen in den Vorbemerkungen unklar ist.
Deshalb müssen weitere Vertragsteile eingeführt werden. Hierzu ist es günstig, bestehende Muster des VOB-Vertrags aufzugreifen.
Die VOB, Teil B, regelt in § 1, Absatz 2, die Geltungshierarchie unter den möglichen Vertragsteilen eines VOB-Vertrags für den Fall, dass verschiedene Vertragsteile widersprüchliche Formulierungen enthalten. Hierzu werden die sechs möglichen Teile eines VOB-Vertrags im Absatz 2 dieses Paragrafen nach ihrer rechtlichen Wirksamkeit aufgelistet. Diese sind:

a) Die Leistungsbeschreibung

b) Die besonderen Vertragsbedingungen

c) Etwaige zusätzliche Vertragsbedingungen

d) Etwaige zusätzliche technische Vertragsbedingungen

e) Die allgemeinen technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen

f) Die allgemeinen Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistung

Formatiert: Einzug: Links: 0 pt, Hängend: 21,25 pt, Nummerierte Liste + Ebene: 1 + Nummerierungsformatvorlage: a, b, c, ... + Beginnen bei: 1 + Ausrichtung: Links + Ausgerichtet an: 18 pt + Tabstopp nach: 36 pt + Einzug bei: 36 pt, Tabstopps: Nicht an 36 pt

Die Leistungsbeschreibung (Leistungsverzeichnis, LV) ist bei einem Leistungsbauvertrag immer zu erstellen. Sie ist der maßgebliche Teil des Bauvertrags und die originäre Kalkulations- und Abrechnungsgrundlage. Die unter e) aufgeführten *Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV)* enthalten die Normen der VOB C (Siehe Kapitel VOB …). Die anderen Vertragsteile gibt es in Bauverträgen für Betonarbeiten nur selten.
Der Aufbau eines Bauvertrags in Anlehnung an die Vertragsstruktur der VOB eignet sich gut zur übersichtlichen Gestaltung vertraglicher Regelungen, unabhängig davon, ob die VOB gelten soll oder nicht. Die Forderungen zur Baustellensteuerung, so auch die bereits angesprochenen Beschränkungen der Personalqualifikation und -struktur, können z. B. in den unter b) aufgeführten *Besonderen Vertragsbedingungen* eingeführt werden.
Die Einführung dieser Regelungen in einem gesonderten Vertragsteil gibt ihnen Gewicht und sorgt für Beachtung. Da derartige vertragliche Forderungen noch selten sind, blieben sie in den Vorbemerkungen oder in anderen begleitenden Texten möglicherweise in ihrer Wirksamkeit für die Kalkulation der Angebotssumme unerkannt.
Die Einführung Besonderer Vertragsbedingungen zur Unterstützung der Bauleitungsaufgaben des Planers und zur Absicherung der Ausführungsqualität zeigt auch über die unmittelbaren Steuerungseffekte hinaus positive Wirkung. Sie signalisieren den Bietern bereits in der Ausschreibungsphase deutlich, dass die Vorbereitung und die spätere Leitung der Projektarbeiten mit besonderer Sorgfalt und einem hohen Qualitätsbewusstsein geführt werden. Dies sorgt oft dafür, dass Bieter minderer Leistungsfähigkeit von vornherein von der Abgabe eines Angebots Abstand nehmen. Darüber hinaus ist der Bauvertrag auf diese Weise mit einer Reihe vergüteter Organisationsleistungen zur Unterstützung der Qualität ausgestattet, die von der Projektbauleitung des Planers nach Erfordernis für das Gelingen der Bauaufgabe eingesetzt werden können.

Vertragliche Modelle zur Qualitätsüberwachung und Baustellensteuerung können bei den Bietern in der Angebotsphase Verunsicherung auslösen. Die zunächst scharf wirkenden Forderungen relativieren sich jedoch, wenn erkannt wird, dass die entstehenden Aufwende vergütet werden. Im Bauablauf sind sie auch für den Ausführenden hilfreich, da sie die Mehrfachdisposition des technischen Personals weitgehend unterbinden und damit entlastend wirken.

Die Steuerung der Abwicklung von Betonarbeiten mit den genannten Regelungen ist bei geeigneter Auswahl und Dosierung der Mittel meist sehr erfolgreich. Sie verlangt vom Anwender jedoch eine offene und verantwortliche Haltung gegenüber den Belangen des Ausführenden. Die Akzeptanz dieser Maßnahmen durch den Ausführenden führt in der täglichen Baustellenpraxis über die Erkenntnis, dass es sich um fair gelebte Vereinbarungen handelt, die letztlich den Erfolg aller Beteiligten unterstützen.

Die Bauzeit

Ein großer Teil vermeidbarer Schwierigkeiten bei der Abwicklung von Betonbauprojekten im Hochbau ergibt sich aus den Zwängen einer oft bereits durch den Planer zu kurz angesetzten Bauzeit. Im Laufe der Planungs- und der Vergabesituation verstärkt sich meist die Tendenz, die Bauzeit weiter zu verkürzen. Der natürlichen Absicht des Bauherrn, sein Bauwerk möglichst rasch nutzen zu können, steht die Bereitschaft der Bieter zur Seite, zur Auftragserlangung bei der Zusicherung des Fertigstellungstermins an die Grenzen des Machbaren zu gehen. Der bauleitende Planer wird eine kurze Fertigstellungsfrist in dieser Phase des Projekts vielleicht mit Besorgnis betrachten. Er sieht die Verantwortung für die fristgerechte Fertigstellung der Betonarbeiten jedoch vor allem beim Ausführenden und unterschätzt häufig seine Mitverantwortung und die im Rahmen seines Bauleitungsauftrags entstehenden Probleme einer knapp bemessenen Bauzeit.
Die Erfahrung zeigt, dass Betonarbeiten, die unter dem Druck eines schwer erfüllbaren Fertigstellungstermins abgewickelt werden, meist unter mangelhafter Organisation und in einer belasteten Atmosphäre zwischen den Beteiligten verlaufen und nahezu immer in minderer Ausführungsqualität entstehen. Eine ausreichend bemessene Bauzeit ist also die Grundlage für die erfolgreiche Abwicklung von Betonarbeiten.
Erfahrungen und Richtwerte zur Abschätzung der für die Ausführung von Betonarbeiten erforderlichen Bauzeit sind in den meisten Planungsbüros vorhanden. Architekten, die sich im Wesentlichen auf gestalterische Aspekte konzentrieren, übergeben die technische Planung der Betonarbeiten im Allgemeinen dem Tragwerksplaner, der meist auch die erforderliche Bauzeit abschätzt. Diese Grobschätzung sollte aber vor der endgültigen Weitergabe an den Bauherrn einer genauen internen Prüfung unterzogen werden. Hierbei sollte die endgültige

Einschätzung der erforderlichen Bauzeit im Einvernehmen mit allen auf Seiten der Planung Beteiligten erfolgen. Zu diesen gehören der hauptverantwortliche Architekt, der Tragwerksplaner und alle Personen, die Bauleitungsaufgaben übernehmen sollen. Bei Abschätzung der Bauzeit von Betonarbeiten sollten folgende Faktoren besonders berücksichtigt werden:

- Sind Leistungsabschnitte in ihrer baubetrieblichen Umsetzung unbekannt oder unklar, so sind die zugehörigen Ausführungszeiten mit einem Zuschlag zu versehen oder erst nach der Klärung mit einer externen Fachberatung abzuschätzen.
- Fällt die Ausführung planmäßig zum großen Teil in Wintermonate oder geht sie über eine ganze Kaltsaison, so sollten die Erstellungszeiten für die betroffenen Bauabschnitte mit einem Zuschlag von etwa 15 bis 30 % versehen werden. Niedrigere Zuschläge können für kompakte und massigere Bauteile wie Fundamente o. ä. oder für Baustellen in grundsätzlich wärmeren Landesteilen gelte. An Bauteilen mit kleinteiliger oder stark fragmentierter Geometrie (Wände, Deckenplatten und Stützen geringer Dicke, Konsolen) oder an Baustellen in kälteren Lagen sollten höhere Zuschläge, im Zweifelsfall auch oberhalb des angegebenen Bereichs angesetzt werden.
- Betonbauteile mit besonderer Schwierigkeit sind mit entsprechend längeren Bauzeiten zu bemessen.
- An Betonbauteilen mit Sichtbetonflächen der Sichtbetonklasse SB 2 gemäß dem »Merkblatt Sichtbeton« und höherwertig sind die Bauzeiten in jedem Fall mit einem Zuschlag von mindestens 20 % zu berechnen, bei Forderung der Sichtbetonklasse 4 oder bei besonderen Flächenmerkmalen kann eine Verdoppelung der üblichen Herstellzeiten erforderlich werden. Hierbei ist zusätzlich zu beachten, dass die Ausführung von glatten Sichtbetonflächen der Klassen SB 3 und SB 4 möglichst nicht bei Außentemperaturen unter 10 °C erfolgen sollte, da bei diesen Temperaturverhältnissen auch bei sorgfältiger Ausführung meist ein deutlicher Qualitätsabfall zu verzeichnen ist. Dies gilt auch für Sichtbetonflächen an Untersichten von Decken.

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 18 pt + Tabstopp nach: 36 pt + Einzug bei: 36 pt

Sichtbeton

Unter Sichtbeton versteht man Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen. Die möglichen Ausprägungen von Ansichtsflächen aus Beton sind der Variabilität der Betonbauweise entsprechend vielfältig. Betonoberflächen lassen sich durch Schalhaut strukturieren, manuell nachbearbeiten oder auf andere Weise gestalten. Die gesamte Bandbreite gestalterischer Möglichkeiten zu erläutern ist kaum sinnvoll, da die jeweils bevorzugten Oberflächenmerkmale von architektonischen Trends abhängen und sich im Laufe der Zeit ändern.

Anders als bei den großen Nutzbauwerken des Tief- oder Wasserbaus, in denen sichtbare Betonflächen bauartbedingt entstehen und meist kein anspruchsvolles Gestaltungskonzept verfolgt wird, sind Sichtbetonflächen im repräsentativen Hochbau häufig ein zentrales architektonisches Ausdruckselement.
Die jeweils bevorzugten Flächentexturen haben sich über die Zeiten immer wieder verändert. Vor allem die im Ursprung rein baubetrieblich motivierte Entwicklung der Schalungs- und Schalhauttechnik der Entwicklung des Sichtbetons entscheidende Impulse gegeben. Das Aufkommen der beschichteten Sperrholzplatten in den Jahren nach 1960 zur wirtschaftlichen Bewältigung großflächiger Schalaufgaben mit vielfachen Schalhauteinsätzen begründete letztlich den seit etwa 1980 bis heute währenden Trend zu glatten und möglichst makellosen Ansichtsflächen aus Beton. Die Herstellung von Sichtbetonflächen mit einer glatten, nicht saugenden Schalhaut ist jedoch bis heute die »hohe Schule« des Betonbaus und in Aufwand und Ergebnis technisch noch immer schwer einschätzbar. Sie birgt eine Reihe charakteristischer Probleme, die auch durch einen hohen Herstellungsaufwand nicht völlig auszuschließen sind. Dennoch hat die Realisierung von Sichtbeton an repräsentativen Bauwerken wie Museen, Theatern, Verwaltungs- und Regierungsbauwerken etc. der Bauweise Sichtbeton große Akzeptanz verschafft, sodass zunehmend auch Kirchen, Schulen sowie privatwirtschaftliche Nutz- und Verwaltungsbauten zunehmend mit Sichtbetonflächen gestaltet und ausgeführt werden.

Aufgrund des erkannten Bedarfs haben die beratenden Gemeinschaftsorganisationen der Materialhersteller, der ausführenden Bauunternehmen und der Bausachverständigen zur Bauweise Sichtbeton umfangreiches Informationsmaterial veröffentlicht, das anfangs allerdings

weitgehend unabgestimmt war und den Mangel an normativen Bauregeln nicht kompensieren konnte. Ein von allen Beteiligten akzeptierter Stand der Technik war lange Zeit nicht erkennbar. Erst mit der Erarbeitung der ersten Fassung des »Merkblatts Sichtbeton« im Jahre 1977 durch den Deutschen Beton Verein in Kooperation mit der Bauberatung Zement und externen Fachleuten entstand ein Kompendium von Definitionen und Bau- und Beurteilungsregeln, das durch seine breite fachliche Akzeptanz rasch den Charakter einer anerkannten Regel der Technik erhielt. Mit fortschreitendem Erkenntnisstand und angesichts veränderter Rechts- und Sachlagen empfahl sich zwischenzeitlich eine Überarbeitung des Merkblatts, die eine grundlegende Neustrukturierung der Inhalte mit sich brachte. Bei der Neubearbeitung sollte neben deutlicheren Regelungen zur Beurteilung der vertraglichen Leistung Sichtbeton vor allem eine stärkere Unterstützung der Planung erreicht werden. Die im August 2004 veröffentlichte Neufassung des Merkblatts markiert den aktuellen Kenntnisstand zu Planung, Ausführung und Beurteilung von Ansichtsflächen aus Beton im fachlichen Konsens der beratenden Organisationen.

Vorstellung, Realisierung und Realität

Üblicherweise entwirft der Architekt die Flächenmerkmale eines Sichtbetonbauwerks als Teil des gestalterischen Gesamtkonzepts. Die architektonische Planung muss zunächst den folgenden Randbedingungen genügen:

- Der Gestaltungsentwurf für das geplante Bauwerk berücksichtigt die Vorstellungen und Vorgaben des Bauherrn hinsichtlich der geplanten Nutzung und eventueller gestalterischer oder materialbezogener Grundvorstellungen. Hierbei sind die Auflagen des Bebauungsplans und die Situation des Bauwerks im umgebenden Bestand oder der in der Landschaft zu beachten.

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 18 pt + Tabstopp nach: 36 pt + Einzug bei: 36 pt

- Der Gestaltungsentwurf unterliegt aber in allen Details der Forderung der Ausführbarkeit, die im unmittelbaren Zusammenhang mit den geplanten Kosten und den Möglichkeiten der Bautechnik steht. Der Architekt muss also ein ausreichendes technisches Grundwissen haben um zu erkennen, ob, wie und mit welchem technischen Aufwand und Erfolg seine Gestaltung in Konstruktion und Fläche umgesetzt werden kann. Hierzu sind bei der Planung

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 18 pt + Tabstopp nach: 36 pt + Einzug bei: 36 pt

von Betonbauwerken auch Grundkenntnisse über die Materialtechnologie und über baubetriebliche Verfahren erforderlich.

Bei der Planung von Sichtbetonflächen sollte bereits beim Entwurf der Oberflächenmerkmale eine Einschätzung der Schwierigkeit ihrer Herstellung, des wirtschaftlichen Aufwands und des technischen Erfolgsrisikos erfolgen.
Die technische Beschreibung der Leistungen zur Herstellung eines konstruktiven Stahlbetonbauteils in einem Leistungsverzeichnis ist unproblematisch. Sie erfordert üblicherweise nur die Erklärung der drei Hauptparameter Bauteilgeometrie, Betoneigenschaften und Bewehrungsinhalt. Diese wenigen Beschreibungsmerkmale sind eindeutig und ausreichend und entweder normativ geregelt oder mit einfachen mathematischen oder grafischen Darstellungen (Abmessungen, Ausführungspläne) unmissverständlich zu vermitteln. Die Festlegung dieser konstruktiven Leistungsdetails zur Herstellung eines Stahlbetonbauteils geschieht meist nicht durch den gestaltenden Architekten, sondern durch den Tragwerksplaner.
Die Beschreibung der Anforderungen an das Aussehen von Sichtbetonflächen bleibt hingegen Aufgabe des Architekten und ist ungleich schwieriger. Anders als bei der Reproduktion mess- und berechenbarer technischer Größen ist hierzu eine planerische Vorstellung zu vermitteln. Die Vorstellung des Planers vom Aussehen und von der Wirkung einer Sichtbetonfläche ist aber zunächst ein kreativer Gedanke, der nicht durch Normvorgaben beschrieben und möglicherweise losgelöst von material- und herstellungstechnischen Randbedingungen entstanden ist. Der Mangel an eindeutigen und allgemeinverständlichen Merkmalen und Begriffen zur Bauweise Sichtbeton zwingt bei der Beschreibung der Leistung zur Improvisation. Aus diesem Grunde misslingtIn die vertraglich eindeutige Beschreibung der Leistung Sichtbeton der Praxis häufig und führt zu Streitigkeiten über das vertragliche Bausoll. Des Weiteren unterschätzt der Planer oft den Aufwand zur Realisierung der geplanten Sichtbetonflächen und die Ausführungsrisiken und vernachlässigt die eigene Mitwirkung. Zudem sind die vertraglichen Ausführungsbedingungen oft ungünstig gestaltet. Auch bei hohen Qualitätserwartungen richtet sich die Entscheidung zur Vergabe meist nach dem niedrigsten Angebotspreis.

Planungshilfe Merkblatt

Wie bereits deutlich gemacht wurde, können und sollen planerische Vorstellungen weder genormt noch in die Grenzen eines Regelwerks gezwängt werden. Dennoch bietet das »Merkblatt Sichtbeton« dem Planer standardisierte Vorgaben und Schlüsselbegriffe, die mit festen und sachgerechten technischen Forderungen und Kriterien zur Herstellung der geforderten Merkmale einer Ansichtsfläche hinterlegt sind. Dies ist möglich, da überwiegend keine vollkommen neuartigen oder außergewöhnlichen Flächenmerkmale geplant werden, sondern die Gestaltungsideen meist innerhalb langfristiger Gestaltungstrends variieren. Deshalb ist es sinnvoll, bekannte und häufige Planungs- und Ausführungsanforderungen begrifflich zu vereinheitlichen und mit angepassten Regelungen zu versehen.

Begriffe

Die fachliche Kommunikation zwischen Bauherren, Planern und Ausführenden erfordert eine allgemein bekannte und anerkannte Fachsprache mit Schlüsselbegriffen. Die technischen Regelwerke zur Bautechnik unterstützen dies durch Begriffsdefinitionen.

Die Sichtbetonbauweise leidet aufgrund fehlender normativer Definitionen unter missverständlichen Begriffsverwendungen und Mehrdeutigkeiten in vorvertraglichen und vertraglichen Festlegungen und schließlich im praktischen Baualltag. So ist die vorhandene Definition des Begriffs Sichtbeton in DIN 18217 wenig aussagekräftig und weitreichend interpretierbar. Dies führt zu einer nahezu beliebigen Anwendung des Begriffs in bauvertraglichen Regelungen, die das tatsächlich Gemeinte nur selten ausreichend erklären. Das Merkblatt Sichtbeton erweitert und präzisiert den Begriff Sichtbeton durch die Definition zweier Grundkategorien:

- *Sichtbeton mit geringen Anforderungen* definiert Ansichtsflächen aus Beton, die den Beurteilungskriterien sowie den Planungs- und Ausführungsbedingungen der *Sichtbetonklasse SB 1* entsprechen.
- *Sichtbeton mit normalen oder besonderen Anforderungen* definiert Ansichtsflächen aus Beton gemäß den Beurteilungskriterien sowie den Planungs- und Ausführungsbedingungen der *Sichtbetonklassen SB 2, SB 3 und SB 4.*

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 18 pt + Tabstopp nach: 36 pt + Einzug bei: 36 pt

Anders als die uneindeutige Begriffsbestimmung von DIN 18217 basieren die oben genannten Definitionen auf klaren, zum Teil messbaren technischen Kriterien, deren Nachweis im Zweifel gefordert und geführt werden kann, und die eine deutliche sachliche Abgrenzung darstellen. Vorteilhaft ist auch, dass diese Kategorisierung nicht nur zwischen zwei Qualitätsbereichen differenziert, sondern der Sichtbeton insgesamt inhaltlich definiert und somit eine untere Beurteilungsgrenze festgelegt wird: Unterhalb der Sichtbetonklasse SB 1 gibt es nach den Regelungen des Merkblatts keinen Sichtbeton.

Neu geregelt wurde auch der missverständliche Begriff der Musterfläche, da die vertragliche Motivation und Widmung einer Musterfläche aus dieser Bezeichnung nicht erkennbar ist. Meist werden alle Versuchsflächen ungeachtet ihrer vertraglichen Bedeutung als Musterflächen bezeichnet. Das Merkblatt unterscheidet deshalb zwischen Erprobungsflächen und Referenzflächen, wobei beide Flächentypen im baubetrieblichen Zusammenhang gesehen werden:

- *Erprobungsflächen* sind Flächen, an denen aus zwei unterschiedlichen Gründen Versuche vorgenommen werden:
  1. Der Ausführende kann diese Versuche betreiben um sein technischen Vorgehen zu optimieren. Wenn er hierzu vertraglich weder aufgefordert noch verpflichtet ist, bleibt der entstehende Aufwand im Allgemeinen unvergütet. Der Ausführende kann diesen Versuchsaufwand beschränken, indem er die Versuche mit Zustimmung des Bauherrn an Bauteilen durchführt, an deren Aussehen keinerlei Anforderungen gestellt sind (Kellerwände, Technikgeschosse etc.).
  2. Fordert der Bauvertrag die Herstellung von Erprobungsflächen, um die vertraglichen Anforderungen zwischen den Beteiligten abzustimmen oder das Aussehen der Flächen festzulegen, ist dies eine vertragliche Leistung und entsprechend zu vergüten. In diesem Fall sind Erprobungsflächen meist gesondert auf der Baustelle hergestellte Bauteile, die mit dem Vertragsbauwerk in keinem Nutzungszusammenhang stehen, außer dem Zweck des Versuchs keine Funktion haben und nach Abschluss der Sichtbetonarbeiten rückgebaut werden.

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 18 pt + Tabstopp nach: 36 pt + Einzug bei: 36 pt

- *Referenzflächen* sind Ansichtsflächen, die das geforderte Aussehen als verbindliche vertragliche Referenz definieren. Sie sollen aus geeigneten Erprobungsflächen ausgewählt werden. Hierbei ist die Beschaffenheit der gesamten Fläche zu betrachten. Es können eine oder mehrere Flächen zur vertraglichen Referenz erhoben werden. Referenzflächen beschreiben die vertragliche Leistung auf praktische Weise. Sie erlangen den Status einer vertraglich bindenden Leistungsbeschreibung erst, wenn beide Vertragspartner ihre Oberflächenmerkmale einvernehmlich schriftlich anerkennen und markieren fortan das geschuldete Bausoll. Sie gelten als vertragliche Referenzbauteile für die vergleichende Beurteilung bei der Abnahme der vertraglichen Sichtbetonflächen im Bauwerk.

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 18 pt + Tabstopp nach: 36 pt + Einzug bei: 36 pt

Die detaillierte Festlegung der vertraglichen Anforderungen an das Aussehen von Ansichtsflächen durch die Herstellung von Erprobungs- und die anschließende Auswahl von Referenzflächen ist ein einfaches und faires Verfahren, das bei der nachfolgenden Diskussion der vorvertraglichen und vertraglichen Beschreibung der Leistung Sichtbeton vertieft erläutert wird. Es befreit den Bauherrn und den Planer von der Aufgabe, das gewünschte Aussehen der Flächen in Ausschreibung und Bauvertrag durch improvisierte Formulierungen zu beschreiben und sich dennoch der Gefahr einer unzureichenden Leistungsbeschreibung auszusetzen. Darüber hinaus wird die Vorstellung des Planers der praktischen Machbarkeit gegenübergestellt, was den Planungsgedanken »reifen« lässt und bei der Beurteilung der ersten vertraglichen Ansichtsflächen vor Überraschungen und Enttäuschungen schützt. Um jedoch einen sinnfremden oder missbräuchlichen Umgang mit dem Mittel der Referenzfläche auszuschließen, formuliert das »Merkblatt Sichtbeton« hierzu einige Bedingungen:

- Die in den Leistungsbeschreibungen der Ausschreibung und des Bauvertrags aufgeführten Anforderungen an das Aussehen der Ansichtsflächen müssen an den ausgewählten Referenzflächen vorhanden sein und bilden die Grundlage zu ihrer Auswahl. Dies soll den Ausführenden vor der Situation schützen, dass durch besonders günstige Einflüsse Erprobungsflächen entstehen, deren Qualität weit über die vertraglich geforderte Beschaffenheit hinausgeht und die

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 18 pt + Tabstopp nach: 36 pt + Einzug bei: 36 pt

nur mit unkalkuliertem Aufwand oder gar nicht sicher reproduzierbar sind. Die Beschaffenheit solcher Flächen darf nur mit Zustimmung des Auftragnehmers zur Referenzfläche und damit zur vertraglichen Forderung erhoben werden.

- Erprobungsflächen im Bauwerk, deren Betrachtungsabstände und Lichtverhältnisse über den Beurteilungszeitraum nicht konstant zu halten sind (Innenwände in engen oder fensterlosen Räumen, Kellerwände) oder solche, die sich nicht auf dem Baustellengelände oder in unmittelbarer Nähe dazu befinden, sind als vertragliche Referenzflächen ungeeignet.
- Flächen an bestehenden Bauwerken eignen sich gut zur Verdeutlichung der planerischen Vorstellung im Zuge der Ausschreibung (Fotos, Ortsbesichtigungen). Solche Flächen dürfen jedoch nicht als vertragliche Referenzflächen vereinbart werden, da
  - eine unzulässige Auswahl aus der Gesamtqualität des bestehenden Bauwerks vorgenommen wird,
  - Baustoffe und Verfahren der Herstellung im Allgemeinen nicht bekannt sind und der Ausführende sie nicht nachvollziehen kann und
  - die Einflüsse der eingetretenen Alterung der Flächen sich in unbekannter Weise auf deren Aussehen auswirken und bei der Neuerstellung von Betonbauteilen nicht berücksichtigt werden können.

Formatiert: Einzug: Links: 35,7 pt, Hängend: 17,85 pt, Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 18 pt + Tabstopp nach: 36 pt + Einzug bei: 36 pt

Das Merkblatt Sichtbeton empfiehlt im Zusammenhang mit den in Tabelle 1 des Merkblatts aufgeführten und erklärten *Sichtbetonklassen* die vertragliche Berücksichtigung von Erprobungsflächen bereits bei der Herstellung von Ansichtsflächenflächen der *Sichtbetonklassen SB 2* und *SB 3*. Bei Forderung der *Sichtbetonklasse SB 4* werden Erprobungsflächen im vertraglichen Leistungsumfang durch das Merkblatt vorgeschrieben.

Die Sichtbetonklassen

Die neuartige Struktur des Merkblatts Sichtbeton wird vor allem durch die Einführung so genannter Sichtbetonklassen (siehe Merkblatt Sichtbeton, Tabelle 1) charakterisiert.
Ähnlich wie die Expositionsklassen der neuen Betonnormen enthalten die Sichtbetonklassen umfangreiche Informationen zur Planung und Ausführung der

Oberflächenmerkmale der jeweiligen Klasse. Anders als bei den Expositionsklassen kann man jedoch nicht davon ausgehen, dass die jeweilige Oberflächenqualität durch die Beachtung der aufgeführten Regelungen notwendigerweise erreicht wird. Durch die Ausführungsbedingungen der jeweiligen Sichtbetonklasse sind lediglich die Voraussetzungen erfüllt, die nach dem aktuellen Erkenntnisstand zum Erreichen der geforderten Qualität notwendig sind. Dies ist aber ohne entsprechende Arbeitssorgfalt oder Vorversuche nicht immer ausreichend.

Durch die Wahl und die Vorgabe einer Sichtbetonklasse wird keine klar eingegrenzte Qualitätsvorgabe aufgestellt und abgearbeitet, sondern es werden Ausführungsbedingungen und so genannte Einzelkriterien zur Ergebnisbeurteilung formuliert. Die tatsächlich entstehende Fläche aber lebt vor allem vom Gesamteindruck, der sich durch die örtlichen Material- und Ausführungseinflüsse ergibt und mit den vertraglichen Vorgaben zu vergleichen ist. Es gilt also der Gesamteindruck immer vor den Einzelkriterien, da der Architekt seine Vorstellung und Erwartung nur mit dem Gesamteindruck einer Sichtbetonfläche vergleichen kann. Ist eine Ansichtsfläche hinsichtlich ihres Gesamteindrucks abnahmefähig im Sinne des Vertrags, erfolgt keine Betrachtung einzelner Kriterien.

Sichtbetonklassen und Bauteilbeispiele

Das Merkblatt Sichtbeton formuliert in Tabelle 1 die vier Sichtbetonklassen SB 1 bis SB 4. In der Tabelle sind jeder Sichtbetonklasse Bauteilbeispiele, Beurteilungskriterien (Einzelkriterien) und Ausführungshinweise zugeordnet. Die Einzelkriterien sind über Abkürzungen klassifiziert, die die Tabellen 2 und 4 des Merkblatts näher erläuterten. Weitere Regelungen zur Planung, Ausführung und Beurteilung von Ansichtsflächen sind im Text und in weitergehenden Tabellen enthalten.

Die Klassifizierung beginnt mit der Sichtbetonklasse SB 1. Diese formuliert die niedrigste Qualitätsstufe und wird mit »Betonflächen mit geringen gestalterischen Anforderungen« und den Bauteilbeispielen »Kellerwände oder Bereiche mit vorwiegend gewerblicher Nutzung« erklärt. Diese Flächenbeispiele charakterisieren Bauwerksbereiche im Hochbau, die üblicherweise im Mindeststandard und ohne gestalterische Absicht geplant und ausgeführt werden. Die Sichtbetonklasse SB 1

dient dazu, die Leistung Sichtbeton qualitativ nach unten abzusichern: unterhalb der Sichtbetonklasse SB 1 ist Sichtbeton nicht definiert. Diese Definition hat klare Auswirkungen auf undeutliche vertragliche Formulierungen. So bedeutet diese Regelung unter anderen, dass mit der nicht weiter präzisierten vertraglichen Forderung »Sichtbeton« lediglich die Mindestleistung, also die Sichtbetonklasse SB 1, auszuführen ist.

Die Sichtbetonklasse SB 2 bezeichnet »Betonflächen mit normalen gestalterischen Anforderungen« und wird charakterisiert über die Bauteile »Treppenhausräume und Stützwände«. Diese Bauteilbeispiele bezeichnen Bereiche, in denen sich Publikum bewegt. An diese Flächen ist somit zumindest die Forderung einer gewissen Unauffälligkeit und Gleichmäßigkeit zu stellen. Auch die Sichtbetonklasse SB 2 bezeichnet damit eine Mindestqualität ohne ausgeprägte Gestaltungsabsicht.

Die Sichtbetonklasse SB 3 beinhaltet Regelungen zu »Betonflächen mit hohen gestalterischen Anforderungen, z.B. Fassaden im Hochbau«. Mit dieser Klassifizierung sind Bauteilflächen gemeint, die mit einer Gestaltungsabsicht geplant wurden, die in der Ergebniserwartung jedoch nicht an der oberen Grenze des Machbaren rangiert. Der größte Teil der derzeit mit der Forderung »Sichtbeton« belegten Betonflächen kann dieser Klasse zugeordnet werden.

Die Sichtbetonklasse SB 4 bezeichnet »Betonflächen mit besonders hoher gestalterischer Bedeutung«. Bauteilbeispiele sind »repräsentative Bauteile im Hochbau«. Die Klasse SB 4 entspricht damit im Grundsatz der Intention der Klasse SB 3, die jedoch mit einer besonders anspruchsvollen Gestaltungsaufgabe und einer hohen Erwartung der Übereinstimmung des Ergebnisses mit der gestalterischen Vorstellung einhergeht. SB 4 bezeichnet Bauaufgaben, die höchsten Aufwand in Planung und Ausführung erfordern.

Die Sichtbetonklassen SB 3 und SB 4 beschreiben und regeln Ansichtsflächen, bei denen die Realisierung des vertraglich geforderten Aussehens im Vordergrund steht und die planerische Vorstellung möglichst genau erfüllt werden soll. Der konstruktive Charakter der Betonbauteile ist gegenüber der gestalterischen Wirkung der

Ansichtsflächen nachrangig. Dieses Prinzip gilt für beide Klassen, ist aber für die Klasse SB 4 strenger anzusetzen als für die Klasse SB 3.

Einzelkriterien

Den Sichtbetonklassen sind in Tabelle 1 Einzelkriterien zugeordnet, die durch Kurzbezeichnungen benannt sind. Die Abkürzungen werden durch Ziffern ergänzt, welche die graduelle Abstufung der zugrundeliegenden Beschränkungen bezeichnen. Die jeweils geltenden Beschränkungen sind, mit Ausnahme der Porigkeit, in Tabelle 2 des Merkblatts für jedes Kriterium detailliert erklärt. Die Beschränkungen zur Porigkeit sind in Tabelle 4 dargestellt. Folgende Einzelkriterien werden formuliert:

- Die Textur der Betonoberfläche und ihre Ausbildung an Elementstößen sind durch die Kurzbezeichnungen T1 bis T3 klassifiziert. Beurteilt werden die Geschlossenheit der Betonoberfläche sowie Fehlstellen durch ausgelaufenen Zementleim, Flächenversätze und Grate an Elementstößen.
- Die Porigkeit wird klassifiziert durch die Kurzbezeichnungen P1 bis P4. Sie ist jeweils beschränkt durch einen zulässigen Maximalwert der gesamten Porenfläche auf einer Prüffläche mit den Abmessungen von 500 x 500 mm (0,25 m^2) und erfasst Porendurchmesser von 2 bis 15 mm. Die Ermittlung der Gesamtporenfläche durch manuelle Aufnahme mit anschließender rechnerischer Ermittlung ist mühselig, nur eingeschränkt genau und sehr aufwändig. Zur Bestimmung der Porigkeit werden jedoch in Kürze EDV-gestützte fotometrische Verfahren verfügbar sein, die mit vertretbarem Aufwand ausreichend genaue Ergebnisse liefern. Da die auftretenden Porigkeiten bei der Verwendung saugender Schalhäute naturgemäß geringer ausfallen als bei nicht saugenden Schalhäuten, sind den Sichtbetonklassen SB 2, SB 3 und SB 4 in Tabelle 1 je nach Schalhauttyp (s = saugend/ns = nicht saugend) unterschiedliche Porigkeitsanforderungen zugeordnet.
- Die Farbtongleichmäßigkeit ist bestimmt durch die Kurzbezeichnungen FT1 bis FT3. Die graduelle Abstufung der einzelnen Kurzbezeichnungen ist in Tabelle 2 verbal erklärt, da Farbtonabstufungen nicht arithmetisch klassifizierbar sind. Regelkriterien sind Farbtonabweichungen jeder Art und Ursache. Da saugende Schalhautsysteme auch hinsichtlich der

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 18 pt + Tabstopp nach: 36 pt + Einzug bei: 36 pt

Farbtongleichmäßigkeit deutlich im Allgemeinen die besseren Ergebnisse zeigen, wird in Tabelle 1 für die Sichtbetonklasse SB 4 bei Verwendung einer nicht saugenden Schalhaut die Anforderung FT2, bei Verwendung einer saugenden Schalhaut hingegen die Anforderung FT3 erhoben.

- Die Ebenheit einer Sichtbetonfläche hängt hauptsächlich von der Steifigkeit der Schalung ab. Wenn sich Schalung bei steigendem Schalungsdruck durch den eingebauten Beton verformt, wird diese Verformung auf die Betonfläche übertragen und kann zu erkennbaren Ebenheitsabweichungen führen. Die Ebenheitsanforderungen sind klassifiziert durch die Kurzbezeichnungen E1 bis E3. In Tabelle 2 werden für jede Ebenheitsanforderung abgestufte Beschränkungen gemäß DIN 18202, Toleranzen im Hochbau, Tabelle 3, formuliert.
- Anforderungen an die Ausbildung und das Aussehen der Betonoberfläche im Bereich von Arbeits- und Schalhautfugen werden durch die Kurzbezeichnungen AF1 bis AF4 beschrieben. Ähnlich wie bei den Schalelementstößen werden auch hier die Flächenversätze und die Fehlstellen aufgrund von ausgelaufenem Zementleim beschränkt.

(fotos von versch. kriterien in unterschiedl. qualität □)

Die Einzelkriterien und Ausführungsregeln der Sichtbetonklasse SB 4 sind trotz der hohen Anforderungen bewusst flexibel ausgelegt. Die Sichtbetonklasse SB 4 ist damit eine »offene Klasse« und erlaubt auch die Formulierung außergewöhnlicher Oberflächenbeschaffenheiten. Wenn außergewöhnliche Flächenmerkmale gefordert sind signalisiert bereits die formelle Einordnung Flächen in die Sichtbetonklasse SB 4, dass das geforderte Aussehen der Flächen von hoher architektonischer Bedeutung ist. Die Beschreibung der Leistung ist bei der Planung außergewöhnlicher Oberflächenqualitäten den Merkmalen entsprechend zu ergänzen oder auf andere Art zu führen. Einzelkriterien, die mit der geforderten Oberflächenqualität unverträglich sind, muss der Planer in diesem Falle vertraglich ausschließen oder weiter einschränken. Dabei ist darauf zu achten, dass keine sinnlosen oder unausführbaren Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit entstehen. Die Erläuterungen der Einzelkriterien zur Sichtbetonklasse SB 4 enthalten zum Teil bereits den Hinweis zur gesonderten detaillierten Beschreibung einzelner Anforderungen durch den Planer.

Schalhautklassen

(fotos versch. schalhäute und tabelle schalhautklassen)

Die Formulierung von Schalhautklassen in Tabelle 3 des Merkblatts ist ebenfalls neu. Art und Zustand der gewählten Schalhaut sind wichtige Voraussetzungen, um die geforderte Sichtbetonqualität zu erreichen. Es werden drei Schalhautklassen (SHK1 bis SHK3) eingeführt und über eine Reihe praktischer Zustandskriterien erklärt und definiert. Die eindeutige Zuordnung einer Schalhautklasse zu einer Sichtbetonklasse in Tabelle 1 soll gewährleisten, dass die gewählte Schalhaut zur Herstellung der geforderten Oberflächenqualität geeignet ist. Die Prüfung des Zustands der Schalhaut ist Pflicht des Ausführenden und vor jedem Einsatz eines Schalelements durchzuführen. Die geforderte Schalhautklasse gilt als erfüllt, wenn die gesamte Schalhautfläche eines Schalelements den in Tabelle 3 aufgeführten Zustandskriterien der jeweiligen Klasse entspricht. Es ist Aufgabe des Planers, nach der Festlegung der Sichtbetonklasse die Zustandskriterien der zugeordneten Schalhautklasse daraufhin zu überprüfen, ob die erwartete Oberflächenbeschaffenheit mit den aufgeführten Kriterien zu erreichen ist. Sofern erforderlich können die Zustandskriterien durch weitergehende bauvertragliche Forderungen angepasst werden.

Die höchste Schalhautklasse SHK 3 ist in Tabelle 1 der Sichtbetonklasse SB 4 zugeordnet. Im Sinne der Öffnung dieser Sichtbetonklasse für die Planung auch außergewöhnlicher Oberflächenbeschaffenheiten sind insbesondere die Zustandskriterien der Schalhautklasse SHK3 überwiegend in Abstimmung mit dem Planer festzulegen.

Planung und Vergabe

Obwohl die Herstellung von Ansichtsflächen aus Beton nahezu immer eine Bauaufgabe besonderer Schwierigkeit darstellt, sind unzureichend formulierte Ausschreibungen und Bauverträge oft eine zusätzliche, bisweilen gar die größere Erschwernis bei der Realisierung der Baumaßnahme. Der Erfahrung nach sind viele Baubetriebe in der Angebotsphase sehr zurückhaltend mit Rückfragen zur Abstimmung und Erläuterung unklarer vertraglicher Formulierungen. Zur Erlangung des Auftrags, nimmt der Bieter den Zuschlag oft auch dann an, wenn der Angebotspreis nach einer unklaren Leistungsbeschreibung ermittelt wurde und sich

bereits bei der Vergabe deutliche Meinungsverschiedenheiten über das vertragliche Bausoll ankündigen.
Uneindeutige und unvollständige Planungen und Vertragsinhalte entstehen meist aus Unwissenheit und dem Mangel an »nachlesbaren« Vorgaben und Hinweisen. Deshalb wurden insbesondere die planungsrelevanten Inhalte des Merkblatts Sichtbeton weitgehend neu gefasst und erweitert. Die Einführung der Sichtbetonklassen unterstützt diese Absicht und soll die Planung des gewünschten Aussehens der Flächen erleichtern. Neben einem vollständigen Überblick über die derzeit verfügbaren Schalungs- und Schalhautsysteme und der bei ihrem Einsatz zu erwartenden Oberflächenergebnisse erhält der Planer in Kapitel 5.2.2 *Gestaltungsmerkmale*, einen Überblick über die von ihm in der Leistungsbeschreibung aufzuführenden Mindestangaben. Dieses Kapitel ist eine Checkliste (abb checkliste □) zur Prüfung der Planungsunterlagen auf Kohärenz und Vollständigkeit. Es lehnt sich an die Regelungen von DIN 1045-1, Kapitel 4, an, in welchem geregelt ist, welche technischen Details und Unterlagen durch den Planer zu den Beton- und Stahlbetonbauteilen zu erarbeiten und in der Leistungsbeschreibung anzugeben sind. Das Merkblatt beschränkt sich in diesem Kapitel allerdings auf die Angabe von Planungs- und Ausführungsdetails zur Herstellung von Sichtbetonflächen.
Bei der Anwendung der Regelungen des Kapitels 5.2.2 des Merkblatts Sichtbeton ist seitens des Planers zu beachten, dass alle Planungs- und Ausführungsdetails bereits in der Ausschreibung vollständig vorhanden sein müssen und nicht erst im späteren Bauvertrag. Die Übereinstimmung der Leistungsinhalte in der Leistungsbeschreibung der Ausschreibung und der des Bauvertrags ist unbedingt zu gewährleisten, es sei denn, bei der Vergabe wird über die geänderten Details verhandelt.
Als Leistungsbeschreibung sind neben den reinen Leistungspositionen auch die vertraglichen Ausführungsbedingungen zu betrachten, soweit sie Kosten und Aufwand verursachen. Hierzu gehören vor allem die bereits erläuterten, vertraglichen Maßnahmen zur Qualitätssicherung und zur Baustellensteuerung (evtl. siehe S. xx □), die sich zur Leitung von Bauaufgaben mit Sichtbetonflächen besonders eignen. Solche Maßnahmen und Forderungen sind kostenrelevant und bereits in den Ausschreibungsunterlagen aufzuführen.

Im Hinblick auf die in der Leistungsbeschreibung oft schwer zu vermittelnde gestalterische Vorstellung vom Aussehen der Flächen sollten die Angebotsunterlagen in einem Übergabegespräch ausgegeben werden. Hierzu ist es empfehlenswert, die Reihe der zugelassenen Bieter auf eine sinnvolle Anzahl zu beschränken. Das Übergabegespräch bietet einen Reihe von Vorteilen, die der Planer vor allem dann intensiv nutzen sollte, wenn auch die spätere Objektbauleitung in seinen Händen liegt:

- Die im Gespräch mit dem Bieter mitgeteilten Detailinformationen und Erläuterungen können schriftlich dokumentiert werden und sichern die Information durch den Planer für spätere Streitfälle ab.
- Der Planer kann, sofern es hilfreich oder erforderlich erscheint, zur Verdeutlichung der erwarteten Leistung auf Flächen an bestehenden Objekten verweisen und die Bieter zu einer geführten Besichtigung verpflichten.
- Der Planer kann sich einen persönlichen Eindruck von der Leistungsfähigkeit und dem Engagement des Bieters verschaffen. Er kann Referenzangaben des Bieters prüfen und hinterfragen. Die besonderen Schwierigkeiten und Schwerpunkte der Bauaufgabe und das vom Bieter geplante Vorgehen können vorab diskutiert werden.

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 18 pt + Tabstopp nach: 36 pt + Einzug bei: 36 pt

In der Praxis ist Sichtbeton letztlich immer das Ergebnis des Versuchs, das gewünschten Aussehen von Flächen mit vertraglich verhältnismäßigen Mitteln, mit am Ort verfügbaren Materialien und unter den Einflüssen der örtlichen Bedingungen (Jahreszeit, Wetter, etc.) herzustellen. Da eine völlige Übereinstimmung der so erzielten Qualität mit der Vorstellung des Planers meist nur schwer zu erreichen ist, ist es auch für den Planer hilfreich, seine Vorstellungen zunächst im Versuch mit dem Machbaren abzugleichen und die vertragliche Oberflächenbeschaffenheit in Kenntnis der praktischen Möglichkeiten festzulegen. Im Weiteren soll dieses Vorgehen soll am Beispiel glatter Sichtbetonflächen erläutert werden. Dabei soll die Verantwortungsabgrenzung zwischen Planung und Ausführung (Ziel-Weg-Trennung) (siehe Kapitel/S. XX) stets erhalten bleiben trotz der Notwendigkeit einer intensiveren Mitwirkung des Planers an den Belangen des Baubetriebs.

Situation:

Der Architekt plant die Wandflächen in allen öffentlichen Durchgangsbereichen sowie in den Klassen- und Büroräumen eines Schulgebäudes in glattem Sichtbeton. Seine Vorstellung vom Aussehen der Sichtbetonflächen lehnt sich an Oberflächenmerkmale an, die bei einem anderen Gebäude ausgeführt wurden. Hierzu liegen ihm Fotos von fertigen Flächen vor.

Allgemeines Vorgehen:
Da die Vorstellung vom Aussehen der Sichtbetonflächen vertraglich schwer zu beschreiben ist, soll die endgültige Beschaffenheit der Oberflächen erst nach Versuchen unter den örtlichen Bedingungen der Baustelle entschieden werden. Bei der Erstellung der Ausschreibungs- und Vertragstexte sollen die Praxisversuche an Erprobungsflächen auf das gewünschte Ergebnis hin gesteuert werden.

Ausschreibung:
Obwohl in der Ausschreibung noch keine detaillierte Beschreibung der Leistung erfolgen soll, muss der Aufwand zur Ausführung der gewünschten Qualität in den Ausschreibungsunterlagen für den kalkulierenden Bieter erkennbar sein. Der Planer entscheidet sich zu folgendem Vorgehen:

1. *Vertragliche Einbindung der Regelungen des Merkblatts Sichtbeton, Ausgabe 2004. Die vertraglichen Sichtbetonflächen werden in die Sichtbetonklasse SB 3 gemäß Tabelle 1 eingestuft.*
2. *Im Leistungsverzeichnis wird die Leistungsposition CC.ccc zur Herstellung von drei Erprobungsflächen mit bauteilähnlichen Abmessungen vorgesehen (inkl. Gründung, Schutz, Vorhaltung, Rückbau und Entsorgung).*
3. *Die Ausschreibung wird in Vorbereitung der späteren Vertragsstruktur neben dem Leistungsverzeichnis um so genannte Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV) (vgl. VOB, Teil B, §1, Abs. 2) ergänzt. Die Leistungspositionen der Bauteile mit Sichtbetonanforderung (Pos. XX.xxx bis YY.yyy) erhalten im Leistungstext den Hinweis: »Für die Anforderungen an das Aussehen der Flächen gelten die Regelungen der ZTV, Abs. M.mm.«*
4. *Zur Unterstützung der Kalkulation wird ein Schalungsmusterplan angefertigt. Soll dieser bei der späteren Ausführung detailliert und für jedes Bauteil vorhanden sein, kann der Architekt die Erstellung der genauen*

Formatiert: Nummerierte Liste + Ebene: 1 + Nummerierungsformatvorlage: 1, 2, 3, ... + Beginnen bei: 1 + Ausrichtung: Links + Ausgerichtet an: 18 pt + Tabstopp nach: 36 pt + Einzug bei: 36 pt

Schalungsmusterpläne auch im Leistungsverzeichnis oder in den ZTV als vertragliche Leistung an den Ausführenden übergeben. In diesem Fall müssen in der Ausschreibung Beispieldetails der späteren Schalungsmusterpläne vorhanden sein, an denen der Bieter den jeweiligen Aufwand für beide Leistungen, das Erstellen der Schalungsmusterpläne und die Schwierigkeit des Schalungsbaus repräsentativ erkennen kann.

5. *Die Oberflächenbeschaffenheit der Sichtbetonflächen wird in den ZTV, Abs. M.mm wie folgt festgelegt:*

   »Für die Pos. XXxxx bis XXyyy gelten die nachstehenden Anforderungen an das Aussehen der sichtbaren geschalten Betonflächen:
   Für das Aussehen der Ansichtsflächen und deren Ausführung gelten die Merkmale und Regelungen der Sichtbetonklasse SB 3, gemäß Tabelle 1 des BDZ/DBV Merkblatts Sichtbeton, Ausgabe 2004. Die Ansichtsflächen sind glatt, mit nicht saugender Schalhaut und den Angaben des Schalungsmusterplanes entsprechend auszuführen. Die Auswahl der bei der Herstellung der Erprobungsflächen eingesetzten Schalhäute und Betonzusammensetzungen geschieht in Abstimmung mit dem Architekten, jeweils nach gemeinsamer Fachberatung durch den Hersteller der Schalhaut bzw. des Transportbetons. Die vertraglichen Referenzflächen zur Abnahme der Leistung werden aus den gem. Pos. CC.ccc herzustellenden Erprobungsflächen ausgewählt. Die Oberflächenmerkmale der Referenzflächen sind für Abnahme der vertraglichen Sichtbetonflächen maßgebend.«

6. *Der Ausschreibung werden so genannte Besondere Vertragsbedingungen (vgl. VOB, Teil B, §1, Abs. 2) hinzugefügt, in denen der Planer die für dieses Projekt geltenden Ausführungsbedingungen zur Qualitäts- und Baustellensteuerung formuliert.*

Formatiert: Nummerierte Liste + Ebene: 1 + Nummerierungsformatvorlage: 1, 2, 3, ... + Beginnen bei: 1 + Ausrichtung: Links + Ausgerichtet an: 18 pt + Tabstopp nach: 36 pt + Einzug bei: 36 pt

7. *Die Ausgabe der Ausschreibungsunterlagen erfolgt bei beschränkter Ausschreibung in einem Übergabegespräch. Hierbei vermittelt der Architekt dem Bieter das gewünschten Aussehen der Sichtbetonflächen anhand der Ausschreibungstexte, einiger Fotos und beliebiger anderer Hilfsmittel (ggf. mit Besichtigung bestehender Objekte). Das technische Vorgehen zur Herstellung der Erprobungsflächen und die vertraglichen Regelungen zur Qualitätssicherung und Baustellensteuerung in den Besonderen*

Vertragsbedingungen werden erläutert und diskutiert. Das Übergabegespräch wird in den wichtigen Punkten protokolliert.

Mit diesen Maßnahmen wird die Leistung dem Bieter zur Abschätzung und Kalkulation der Erstellungskosten hinreichend erläutert. Zwar kennen zu diesem Zeitpunkt weder der Architekt noch der Ausführende die endgültige vertragliche Oberflächenbeschaffenheit,da diese jedoch aus den Erprobungsflächen ausgewählt wird, ist sie mit großer Sicherheit mit den kalkulierten technischen Mitteln realisierbar.

Bauvertrag:
Die in der Ausschreibung vorhandenen Leistungstexte, die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und die Besonderen Vertragsbedingungen werden mit gleich lautenden Texten in den Bauvertrag übernommen.

Bauleitung:
Unmittelbar nach der Vergabe werden gemeinsam mit den technischen Vertretern der ausführenden Firma Bratungsgespräche mit potenziellen Schalhautherstellern der geführt, und die Materialien für die Erstellung der Erprobungsflächen werden festgelegt. Ebensolche Gespräche werden mit den möglichen Transportbetonlieferanten geführt. Sofern vertraglich nicht anders geregelt, hat der Ausführende zu allen Materialien das Vorschlagsrecht.
In Vorbereitung der Ausführung wird ein »Sichtbetonteam« gebildet, zu dem mindestens je ein technisch verantwortlicher Vertreter der Planung, der Ausführung und des Transportbetonherstellers, bei Sichtbeton entsprechender Schwierigkeit auch ein Vertreter des Schalungsbaus, gehört. Das Sichtbetonteam kommt regelmäßig zusammen. Das erste Treffen dient dazu, dass Vorgehen zur Herstellung der Erprobungsflächen festzulegen. Dies erfolgt schrittweise, jeweils nach gemeinsamer Ergebnisbeurteilung und Festlegung des weiteren Vorgehens.
Parallel zu den Versuchen an den vertraglichen Erprobungsflächen können technische Verfahrensvarianten an untergeordneten vertraglichen Bauteilen ohne Sichtbetonanforderung getestet werden (Keller, Technikgeschosse etc.).
Zur Festlegung der Beschaffenheit der vertraglichen Sichtbetonflächen wählt der Architekt ein oder zwei geeignete Flächen aus den Erprobungsflächen aus und kennzeichnet sie. Die formelle Festlegung dieser Flächen als vertragliche Referenz

geschieht durch eine vertragsergänzende Vereinbarung zwischen dem Bauherrn und dem ausführenden Bauunternehmen.

Anforderungen an die Ausführung – Verantwortungsabgrenzung

Die Erläuterungen zur Ausführung von Ansichtsflächen aus Beton in Kapitel 6 des Merkblatts Sichtbeton werden durch die Anhänge A-D ergänzt und vertieft. Vor allem die Tabellen A.1 bis A.6 in Anhang A enthalten detaillierte Vorgaben zur Realisierung der vertraglich geforderten Oberflächenmerkmale. Die aktuelle Ausgabe des Merkblatts Sichtbeton unterstützt und bindet die Ausführenden gegenüber früheren Ausgaben durch weit umfangreichere und detaillierte Regelungen. Dennoch sind einzelne Beschränkungen der vorherigen Ausgabe aufgehoben bzw. zurückgenommen worden. Vor allem die Vorgaben zur Betonzusammensetzung waren durch die Entwicklung der Betontechnik in den letzten Jahren nicht mehr haltbar. Mit Blick auf die technologischen Veränderungen durch die aktuellen Fließmittel und auf Erkenntnisse der laufenden Forschung wurden fast alle Vorgaben und Forderungen zur Betonzusammensetzung und zur Konsistenz aufgehoben oder in Empfehlungen gewandelt.

Im Sinne des neuen Merkblatts Sichtbeton ist es mehr denn je Pflicht und Freiheit des Ausführenden, aus der Vielzahl der Möglichkeiten die zur erfolgreichen Herstellung der vertraglichen Sichtbetonqualität erforderliche Betonzusammensetzung zu wählen. Damit entspricht das Merkblatt auch den Regelungen der VOB C, ATV DIN 18331, Betonarbeiten, Ausgabe 1/2005, wonach es ausdrücklich die Aufgabe des Ausführenden ist, die zum Erreichen der vertraglichen Leistung erforderlichen Bauverfahren und Betonzusammensetzungen zu wählen. Seitens der Planung werden gerade Bauverträge zur Herstellung von Sichtbeton häufig mit Forderungen zur Betonzusammensetzung oder zum Einbauverfahren versehen. Diese Forderungen sind jedoch überwiegend obsolet, überbestimmt oder fachlich abwegig und behindern bei strenger Beachtung ein fachgerechtes praktisches Vorgehen des Ausführenden. Sie widersprechen auch der unter anderem durch die o.g. VOB C, ATV DIN 18331, Betonarbeiten, geregelten Abgrenzung der Verantwortung von Planung und Ausführung.

Beurteilung

Die Einführung von Sichtbetonklassen, die in Tabelle 1 des Merkblatts Sichtbeton vor allem über zugeordnete Einzelkriterien definiert sind, lenkt den Blick bei der Beurteilung der Leistung auf die Frage, ob diese Einzelkriterien erfüllt sind. Die vorrangige Beurteilung der Einzelkriterien ist jedoch nicht im Sinne des Architekten und widerspricht der Absicht des Merkblatts. Die ausschließliche und vorrangige Beurteilung nach Einzelkriterien kann dazu führen, dass Sichtbetonflächen, die aufgrund eines gelungenen Gesamteindrucks den Vorstellungen des Planers entsprechen, dennoch abzulehnen sind, wenn sie einzelne Klassenkriterien verfehlen. Die Definition des Gesamteindrucks einer Ansichtsfläche kann also nicht sinnvoll über die Summe erfüllter Einzelkriterien geführt werden. Für den Planer ist allein der Gesamteindruck einer Fläche das zentrale Beurteilungskriterium und die einzige Möglichkeit, die erstellte Leistung mit seiner Vorstellung zu vergleichen. Nur diese Beurteilung ist letztlich sinnvoll.

Entspricht der Gesamteindruck der planerischen Vorstellung, ist die Leistung anzunehmen und die Prüfung der Einzelkriterien entfällt. Erst wenn der Gesamteindruck einer Fläche die vertraglich fixierte Vorstellung des Planers verfehlt, werden die Einzelkriterien der geltenden Sichtbetonklasse zur weiteren Beurteilung herangezogen. In diesem Fall ist es Aufgabe von Planung und Ausführung, anhand der Beurteilung der Einzelkriterien eine Analyse der Abweichungen vorzunehmen, um ein erneutes Auftreten der festgestellten Abweichungen im fortlaufenden Bauprozess zu verhindern. Auch die graduelle Beurteilung von Abweichungen und deren Umsetzung in vertragliche Konsequenzen kann einfach und nachvollziehbar über die Beurteilung der Einzelkriterien geführt werden.
Zur Beurteilung des Gesamteindrucks sind der Betrachtungsabstand und das Alter der beurteilten Flächen wichtig. Das »richtige« Alter zur Beurteilung einer Sichtbetonfläche kann nicht angegeben werden, das Merkblatt enthält deshalb auch keine entsprechenden Regelungen. Bei erkannten Abweichungen wie Farbungleichheiten, Dunkel-Hell-Fleckigkeit (evtl. fotos schäden □) und ähnlichen Phänomenen bei jungem Beton sollte die Beurteilung der Fläche jedoch auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden. In diesem Fall sollte man darauf achten, dass die Fläche bei der endgültigen Beurteilung möglichst trocken ist. Einige Abweichungen treten erst nach Jahren in den Hintergrund oder verschwinden ganz. Die Veränderung von Abweichungen über einen längeren Zeitraum sicher zu

prognostizieren ist jedoch nicht möglich. Bei Poren, Ausblutungen und Abweichungen der Ebenheit ist jedoch keine Besserung zu erwarten.
Im Gegensatz zum Zeitpunkt ist der Betrachtungsabstand zur Beurteilung des Gesamteindrucks einer Ansichtsfläche im Merkblatt geregelt. Zur Beurteilung einer Sichtbetonoberfläche nimmt ein unvoreingenommener Betrachter bei üblichen Flächengrößen im Hochbau unbewusst einen Abstand von etwa 1 bis 3 Metern ein. Diese Distanz ist bei mittleren Lichtverhältnissen ein guter Kompromiss, um das Bauteil in Detail und Fläche möglichst gut zu erfassen. Der Betrachtungsabstand zur Beurteilung des Gesamteindrucks entsprechend der planerischen Vorstellung bestimmt sich jedoch nach anderen Kriterien. Aus diesem Grund differenziert das Merkblatt Sichtbeton zwischen der Betrachtung von Bauwerk und Bauteil, da der Kontext von Gesamt- und Einzelwirkung üblicherweise auch der Planungsidee zugrunde liegt. Der angemessene Betrachtungsabstand des Bauwerks ist die Distanz, aus der das Bauwerk in seinen wesentlichen Teilen zu erfasst werden kann. Er variiert also je nachdem, von welchem Standpunkt aus das Gebäude betrachtet wird.
Einzelne Bauteile sind aus dem Abstand zu beurteilen, der im Zuge der geplanten Nutzung üblicherweise von Betrachter eingenommen wird. Diese Regelung kann vor allem bei Flächen, vor denen sich ausgedehnte Publikumsbereiche befinden (Hallen, Plätze) zu unterschiedlichen Auffassungen über den richtigen Betrachtungsabstand führen. In diesem Fall sollte die Beurteilung aus mehreren unterschiedlichen Entfernungen erfolgen.

Bewehrung

Betonbauteile werden, je nach Belastung und Konstruktion des Tragwerks, mit oder ohne Bewehrungsstahl hergestellt (bewehrte /unbewehrte Bauweise). Die Anordnung einer Betonstahlbewehrung wird erforderlich, wenn Betonbauteile durch Zugkräfte beansprucht werden. Beton ist ein mineralischer, sprödelastischer Baustoff, der hohe Druckfestigkeiten erreichen kann, seine Zugfestigkeit ist jedoch mit etwa 10 % der Druckfestigkeit auch bei hochfesten Betonen vergleichsweise niedrig. Da das plötzliche, unangekündigte Bruchverhalten mineralischer Baustoffe unter einer Zugbeanspruchung zum spontanen Bauteilversagen führen würde, wird die

Zugfestigkeit des Betons bei der Tragwerksbemessung aus Sicherheitsgründen vernachlässigt, also zu Null gesetzt. Wenn in einem Betonbauteil Zugkräfte auftreten können, werden diese durch eingebaute Bewehrungsstähle übernommen. Bei der Tragwerksbemessung errechnet der Tragwerksplaner die Hautparameter der erforderlichen Bewehrung:

- Den erforderlichen Gesamtstahlquerschnitt zur Aufnahme der erwarteten Zugkräfte
- Die Aufteilung dieses Gesamtstahldurchmesser auf sinnvolle und technisch günstige Stabdurchmesser und Stababstände
- Die genaue Einbaulage der Bewehrungsstähle im Bauteil. Dies ist von besonderer Bedeutung, da die Bewehrung möglichst genau in den Bauteilzonen vorhanden sein muss, in denen die größten Zugkräfte auftreten

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 30,75 pt + Tabstopp nach: 48,75 pt + Einzug bei: 48,75 pt

In DIN 1045, Teil1, Bemessung und Konstruktion, sind die Bemessungsverfahren geregelt. Ebenso das der Bemessung zu Grunde liegende Sicherheitssystem, das für beide Baustoffe, den Beton und den Bewehrungsstahl, eine Reihe von Sicherheiten in die Nachweise des Tragwerks einfließen lässt. Hierdurch werden spätere Nutzungseinschränkungen, Bauschäden oder gar das Versagen eines Bauteils aufgrund eines zu gering bemessenen Bauteilwiderstandes wirksam ausgeschlossen.
In der gleichen Norm sind allgemeine Bewehrungsregeln für Stahlbetonbauteile enthalten, die bei der Herstellung und beim Einbau der Bewehrung immer zu beachten sind. Hierzu gehören unter Anderem:

- Der Mindestdurchmesser der Biegerolle. Betonstähle müssen häufig gebogen werden. Dies geschieht maschinell indem der Stahlstab am Biegepunkt gegen eine Rolle gebogen wird. Ein ausreichender Rollendurchmesser sorgt dafür, dass der Bewehrungsstab am Biegepunkt nicht knickt und keinen inneren Brüche, Risse oder Versprödungen erleidet.
- Die so genannten Übergreifungslängen an Stabstößen. In der Zugzone eines Betonbauteils sollen die Bewehrungsstäbe zur Gewährleistung des sicheren Kraftschlusses möglichst nicht gestoßen werden. Wenn ein Stoss dennoch

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 21 pt + Tabstopp nach: 39 pt + Einzug bei: 39 pt

erforderlich wird, müssen die beiden Stäbe mit einer in DIN 1045, Teil1, festgelegten Übergreifungslänge überlappen, damit die Kräfte sicher vom einen auf den anderen Stab übertragen werden können.

- Die so genannten Verankerungslängen. Damit ein Bewehrungsstab die übertragenen Zugkräfte aufnehmen kann muss er mit beiden Stabenden ausreichend im Beton verankert sein. Bei der konstruktiven Anordnung der Bewehrung sollen die Stabenden möglichst in wenig belasteten Bauteilbereichen im Beton verankert sein.
- Die Betondeckung, also die Dicke der Betonschicht zwischen der äußeren Bewehrungslage und der Bauteiloberfläche. Die Bemessung und Einhaltung der Betondeckung ist für die konstruktive Sicherheit und für die Dauerhaftigkeit eines Stahlbetonbauteils von besonderer Bedeutung. Sie darf nicht zu dick bemessen werden, da sie eine unbewehrte Bauteilzone ist, in welcher Zugkräfte unmittelbar zu Rissen oder Abplatzungen führen. Andererseits ist eine ausreichend dicke Betondeckung für die sichere Verankerung der äußeren Bewehrungsstäbe und für deren Korrosionschutz erforderlich.

Das Verbundsystem Stahlbeton funktioniert dauerhaft, da Beton und Stahl sehr ähnliche Wärmedehnungskoeffizienten haben, sich im üblichen Temperaturbereich also etwa gleich verformen, und weil Beton und Stahl miteinander chemisch beständig sind, also einander keine schädigende Korrosion verursachen. Das Betongefüge reagiert im frischen und im festen Zustand durch den enthaltenen Kalk (CaOH) chemisch stark basisch. Dieses basische Milieu passiviert den Stahl und schützt ihn gegen Korrosion. Aus diesem Grund können auch stark angerostete Bewehrungsstähle relativ bedenkenlos in den Beton eingebaut werden, da auch bereits vorhandener Rost durch die Basizität des Betons passiviert wird.
Obwohl der Korrosionsschutz des Stahls durch den Beton sehr wirksam und dauerhaft ist, gibt es dennoch technische Grenzen. So bewirkt der natürliche Kohlendioxidgehalt der Luft (CO_2) zusammen mit der vorhandenen Feuchtigkeit über längere Zeit eine Neutralisierung der basischen Anteile im Beton. Diese Reaktion wird Karbonatisierung genannt und beginnt unmittelbar nach dem Entschalen an der Oberfläche jedes Betonbauteils. Die so genannte Karbinatisierungsfront, also die Grenze zwischen dem bereits neutralisierten und dem noch basischen Betongefüge,

schreitet im Laufe der Zeit ins innere des Betonbauteils voran. Dieser Vorgang beginnt an der Oberfläche und verlangsamt sich im Inneren des Betongefüges zunehmend. Wenn die Karbonatisierung den Bewehrungsstahl erreicht, kann dieser rosten. Durch die mit der Rostbildung verbundene Volumenvergrößerung wird die Betondeckung abgesprengt und es kommt zu charakteristischen Korrosionsschäden. In welcher Zeit die Karbonatisierung bis zu Bewehrung vordringt, ist abhängig von der Dichtheit und der Dicke der Betondeckung und von den Umgebungsbedingungen. Besonders gefährdet sind Außenbauteile, da die wechselnden Feuchtigkeitsbedingungen eine rasche Karbonatisierung und Korrosion der depassivierten Bewehrung bewirken. Bauteile in Innenbereichen zeigen hingegen meist auch dann keine Korrosionsschäden, wenn die Karbonatisierung den Stahl erreicht hat, da die geringe Luftfeuchtigkeit in Innenräumen die Stahlkorrosion verhindert.

Der Beton wird durch die Karbonatisierung nicht geschädigt. Die Umsetzung des enthaltenen freien Kalks mit dem Kohlendioxid der Luft bewirkt im Beton lediglich einen leichten Festigkeitszuwachs.

Im System der Expositionsklassen (vgl. Kap. XX) ist die Karbonatisierung in den Expositionsklassen XC1 bis XC4 berücksichtigt. Die Bemessung und sorgfältige Ausführung eines Stahlbetonbauteils nach den Normkriterien der zutreffenden Expositionsklasse bewirkt einen Schutz gegen Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung von mindestens 50 Jahren.

Der zweite mögliche Angriffsfall ist die durch Chloride verursachte Korrosion. Chloride sind in Tausalzen in großer Konzentration vorhanden. Sie können jedoch auch aus chemischen Prozessen oder aus natürlichen Wässern (Meerwasser, Solebäder) stammen. Der chemische Reaktionsdruck („Affinität“) zwischen Eisen und Chlorid ist sehr groß Die Chloridkorrosion kann weit aggressiver und für das Bauteil weit schädigender sein, als die Karbonatisierung. Chloride können auch dann Korrosion an der Bewehrung verursachen, wenn der umgebende Beton nicht karbonatisiert ist.. Wenn die weiteren Korrosionsbedingungen (Feuchtigkeit, Sauerstoff) gegeben sind, kann es rasch zu einer starken Schädigung der Bewehrung kommen. Ein Chloridangriff kann bei entsprechend aggressiven Umgebungsbedingungen nur durch eine ausreichend dichte und dicke Betondeckung verhindert werden. An Bauteilen, an denen Risse in chloridbelasteten Bereichen nicht ausgeschlossen werden können, muss meist eine schützende Beschichtung

ausgeführt werden. Im Expositionsklassensystem sind Chloridangriffe durch die Expositionsklassen XD1 bis XD3 (Tausalze, Solebäder) und XS1 bis XS3 (Meerwasser) berücksichtigt.

Die Bemessung der Bewehrung von Stahlbetonbauteile geschieht durch einen Tragwerksplaner und ist im Hochbau üblicherweise Teil der Eingabeunterlagenunterlagen zur Baugenehmigung. Die genaue Art und Menge der in ein Bauteil einzubringenden Bewehrung sowie die genaue Einbaulage der einzelnen Stäbe und Matten ist aus den Ausführungsplänen zu ersehen. In diesen Plänen sind auch die Betondeckung, die bei der Ausführung des Bauteils geltenden Expositionsklassen und die Druckfestigkeitsklasse des Betons aufgeführt. Die Ausführungspläne werden entweder durch den Tragwerksplaner oder durch das ausführende Bauunternehmen anhand der Vorgaben aus der Bemessung angefertigt.

Bewehrungsarbeiten sind typische Nachunternehmerleistungen, die durch den Unternehmer fast immer an einen Biege- und Verlegebetrieb vergeben werden. Es ist nicht sinnvoll, die Weitervergabe von Bewehrungsarbeiten im Sinne der Qualitätssicherung (vgl. Kap. Qualität und Baustellensteuerung) bauvertraglich zu unterbinden, da nur wenige Bauunternehmen die Herstellung der Bewehrung noch im eigenen Betrieb ausführen können. Die Bewehrung wird meist fertig abgelängt, ggf. vorgebogen und zu Bauteilpositionen zusammengestellt auf die Baustelle geliefert und dort von Verlegekolonnen verlegt.

Für die Bauleitung des Planers gibt es während und nach Ende der Bewehrungsarbeiten je nach Bauaufgabe einige Prüfungspflichten, die nach Möglichkeit durch den beteiligten Tragwerksplaner wahrgenommen werden sollten:

- Es ist zu prüfen ob die Bewehrung in Art, Menge und Einbaulage den Ausführungsplänen gemäß eingebaut wurde.
- Insbesondere die Einhaltung der vorgeschriebenen Betondeckung sollte besonders sorgfältig geprüft werden. Die erforderliche Betondeckung ist von den geltenden Expositionsklassen, also von den Umgebungsbedingungen, ab und kann an verschiedenen Bauteiloberflächen unterschiedlich sein. Die Betondeckung gilt als eingehalten, wenn das in den Ausführungsplänen angegebene Nennmaß c_{nom} an kein Bewehrungsstab unterschritten wurde.

Formatiert: Aufgezählt + Ebene: 1 + Ausgerichtet an: 18 pt + Tabstopp nach: 36 pt + Einzug bei: 36 pt

- Obwohl die Bewehrung auch rostig eingebaut werden kann, darf der Korrosionsabtrag nicht zu Querschnittsminderungen führen. Dies ist vor allen an Bewehrung zu prüfen, die länger als üblich gelagert wurde.
- Bei der Herstellung von Sichtbetonflächen ist zu prüfen, ob im Bereich der Ansichtsflächen geeignete Anstandhalter verwendet wurden. Im Allgemeinen werden an Sichtbetonflächen Abstandhaltern aus zementgebundenem Material verwendet. Des Weiteren ist zu beachten, dass die beim Befestigen der Bewehrungsstäbe entstehenden Drahtabfälle vor dem Betonieren aus der Schalung entfernt werden müssen.
- Bei Bewehren von Decken, deren Untersichten Sichtbetonflächen sind, ist die Verschmutzung der Schalung durch abrieselnden Oberflächenrost beim Verlegen der Bewehrung nicht zu verhindern. Die feinen Rostpartikel fallen auf die Schalhaut und haften dort meist am Trennmittel (Schalöl), sind also auch durch Pressluft oder Wasser nicht wieder völlig zu entfernen. Der Beton schiebt diese Rostpartikel beim Einbau vor sich her und konzentriert die Verschmutzungen in bestimmten Bereichen. Dies führt zu fleckigen, braunen Verfärbungen an den Deckenuntersichten, die auch durch eine spätere Reinigung meist nicht mehr entfernt werden können. Derartige Verschmutzungen sind nur durch den Einsatz verzinkter Bewehrung sicher zu vermeiden (vgl. Merkblatt Sichtbeton, Kap. 5.2.2). Beim Bewehren einer Betondecke arbeitet das verlegende Personal unmittelbar auf der Schalhautoberfläche. Dies führt häufig zu Verletzungen und Verschmutzungen der Schalhaut durch Werkzeug und unsaubere Arbeitsschuhe. Diese Störungen auf der Schalhaut sind später an den Untersichten erkennbar und können die Qualität der Flächen erheblich beeinträchtigen. Bei hohen Oberflächenanforderungen ist deshalb beim Betreten der Schalung das Wechseln des Schuhwerks oder das Anlegen von Filzüberziehern vorzusehen und zu überwachen. Auf die restlose Entfernung von Verlegedrahtresten oder anderen Materialabfällen aus der Schalung ist bei der Herstellung von Deckenuntersichten in Sichtbetonqualität besonders zu achten.
- Beim Einbau der Bewehrung stellt sich oft heraus, dass die Einbauräume in der Schalung zur Einhaltung der planmäßig vorgesehenen Stababstände zu klein sind. Auf den Ausführungszeichnungen zur Bewehrung ist dies nur mit viel Erfahrung erkennbar. Im Einzelfall können die Bewehrungsstäbe in stark

belasteten Bauteilbereichen so dicht zueinander liegen, dass ein sachgemäßer Einbau des Betons nicht mehr möglich ist. In manchen Fällen reicht eine Verringerung des Größtkorns der Gesteinskörnung im Beton, um den Einbau zu ermöglichen. Neben der Gesteinskörnung müssen jedoch auch die Vibratoren zur Verdichtung des Betons (sog. Innenrüttler) durch die Bewehrung geführt werden. Oft ist dies gerade in dicht bewehrten Bereichen nicht möglich, obwohl gerade an diesen Stellen eine intensive Verdichtung zur fehlstellenfreien Umhüllung der Bewehrung mit Beton notwendig ist. Nach den Regelungen von DIN 1045, Teil1, Kap. 12.2., Abs. (1) u. (2), ist es Aufgabe des Planers, bei der Anordnung der Bewehrung sicherzustellen, das ein sachgemäßer Betoneinbau möglich ist. Jede Änderung der Bewehrungsführung muss in jedem Falle in Abstimmung mit dem Tragwerksplaner erfolgen.