



**100 Jahre Beton- und Bautechnik**  
 Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik



# Vom Beton-Eisen zum Spannbeton

Eine Entwicklungsgeschichte unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse Österreichs



100 Jahre Beton- und Bautechnik

# Vom **Beton-Eisen** zum Spannbeton

*Eine Entwicklungsgeschichte unter besonderer Berücksichtigung  
der Verhältnisse Österreichs*

Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik

## Impressum

**Herausgeber und Verleger:**

Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Wien 2007

**Redaktion:** A. Pauser

**Layout:** Karin Hartl-Tschopp

**Umschlaggestaltung und Druck:**

Grafisches Zentrum an der TU Wien, 1040 Wien

ISBN 978-3-9502387-0-9

**Vom Beton-Eisen zum Spannbeton**

Eine Entwicklungsgeschichte unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse Österreichs  
243 Seiten, Leinenbindung

**Vertrieb:** Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Karlsgasse 5, A-1040 Wien  
Tel.: +43 1 504 15 95; Fax: +43 1 504 15 95-99  
E-Mail: [office@ovbb.at](mailto:office@ovbb.at)  
URLs: [www.ovbb.at](http://www.ovbb.at)

## B5 Der Hochbau in der zweiten Jahrhunderthälfte

### 5.1 Einleitung

In diesem Beitrag werden – aus der Sicht eines Planenden und Ausführenden – Entwicklungen und Tendenzen im Bereich des Betonbaus ab etwa 1950 dargestellt, die man nach allgemeinem Sprachgebrauch unter dem Sammelbegriff "Hochbau" subsummiert. Die Bandbreite ist außerordentlich groß und reicht vom Einfamilienhaus über mehrgeschossige Wohn-, Büro-, Hotel- und Garagenbauten in Standardbauweisen sowie Industrie- und Infrastrukturochbauten bis zu spektakulären Sonderkonstruktionen, die hinsichtlich Höhe, Spannweite, Tragstruktur oder Formgebung besonderes Interesse erwecken.

Da alle angesprochenen Bauwerkskategorien über ihre Gründungselemente unmittelbaren Kontakt zum Baugrund haben und in diesen oft erheblich einbinden, sind bei "Hochbauten" auch Aufgabenstellungen zu bewältigen, die gemeinhin dem "Tiefbau" zugerechnet werden. Vor allem bei Objekten in innerstädtischen Bereichen können die Bauvolumina unter Geländeneiveau Größenordnungen erreichen, die den Baumassen über Gelände um nichts nachstehen, sie u.U. sogar übertreffen.

Mehr als in anderen Bereichen des Bauwesens sind im Hochbau Eigenschaften des Betons von Bedeutung, die weit über die Festigkeitsanforderungen hinausgehen. Formbarkeit zur Umsetzung funktionaler Erfordernisse oder ästhetischer Vorstellungen, Oberflächenstruktur, Wärmeleitung und Wärmekapazität, Akustik und Schalldämmung, Brandwiderstand, Dichtigkeit gegenüber Flüssigkeiten u. dgl. sind wesentliche Charakteristika und damit auch Gestaltungsparameter. Eine "interdisziplinär" ausgerichtete ganzheitliche Zugangsweise, die alle Eigenschaften des Betons berücksichtigt und nützt, ist heutzutage Voraussetzung für einen gelungenen "Hochbau".

### 5.2 Generelle Entwicklung seit 1950

Nach vorwiegend empirisch erzielten Fortschritten vor dem 2. Weltkrieg hat nach etwa 1950 eine systematisierte Technologieentwicklung im Bauwesen eingesetzt. Deren Beginn fällt in die Zeit des intensiven Wieder-

aufbaus nach den Kriegszerstörungen und sie findet ihre Fortsetzung in den Herausforderungen neuer zivilisatorischer und wirtschaftlicher Entwicklungen.

Die Zeit nach Ende des zweiten Weltkrieges brachte der österreichischen Bauwirtschaft eine Fülle von Aufgaben, wie sie in ihrer Konzentration bis dahin noch nie aufgetreten waren. Zum einen galt es, innerhalb so kurzer Zeit wie möglich den durch die Kriegseinwirkungen entstandenen krassen Fehlbestand an Wohnraum zu beheben und den desolaten Stand vieler Wohnungen zu verbessern. Zum anderen war die Infrastruktur des Landes durch die Auswirkungen der Kriegsjahre in einen beklagenswerten Zustand gekommen. Es fehlte an intakten Straßen, Brücken, Energieversorgungsanlagen ebenso wie an Schul- und Amtsgebäuden sowie Industriebauten. Diesem Zustand abzuhelpen, war schwierig, denn es mangelte nicht nur an den finanziellen Mitteln, sondern auch an Baustoffen und Baugeräten aller Art. Die Erzeugung von Baustoffen kam erst langsam in Gang – behindert durch Mangel an Energie, Produktionsanlagen, Transportmitteln und auch an Arbeitskräften.

Am schnellsten erholte sich der Ziegelbau, für den der Rohstoff gleichsam "vor der Haustür" war und bei dem sich die notwendigen Fertigungsanlagen am raschesten in Stand setzen ließen. Aber auch der Betonbau musste wieder seine volle Funktionsfähigkeit erhalten. Voraussetzung dafür waren die Wiederaufnahme der Zementherzeugung und die Verfügbarkeit von Bewehrungsstahl. Die notwendigen Schalungen wurden weitgehend aus Holz zimmermannsmäßig hergestellt, wofür in Österreich ausreichend Baustoff zur Verfügung stand.

Nach der möglichst raschen Sicherstellung der Grundversorgung mit den benötigten Baustoffen begann im Betonbau eine vielfältige Entwicklung, die sich sowohl auf Einzelbereiche des Bauens als auch auf die integrierende Anwendung der Entwicklungsergebnisse bezog. Träger der Entwicklung war zu Beginn in erster Linie die Bauwirtschaft mit ihren zahlreichen Betrieben, in deren Technischen Abteilungen und auf deren Baustellen sehr viel "Ingenieurs"-Kompetenz konzentriert war. In der Folge hat eine Diversifizierung der Leistungserbringung stattgefunden, die sich auch in "Forschung und Entwicklung" sowie in der Gestaltung von deren Umfeld niederschlugen hat.

Erbrachten die Bauunternehmen anfangs den Großteil der für die Errichtung des Rohbaus erforderlichen Leistungen selbst, begann danach eine Auslagerung einzelner Aufgabenbereiche an Spezialfirmen, die als Tochterfirmen oder unabhängige Drittfirmen organisiert waren. Die Fokussierung der Aktivitäten dieser Spezialfirmen auf eindeutig definierte und eng begrenzte Aufgaben schuf ein hohes Entwicklungspotenzial im Hinblick auf technische Lösungen und Wirtschaftlichkeit. Einige dieser österreichischen Firmen haben Entwicklungen erfahren, die ihnen über die heimatischen Grenzen hinaus Weltgeltung verschafften.

Weitere wesentliche Entwicklungsträger waren Institute von bauspezifischen Interessenverbänden, Ziviltechniker und Technische Universitäten, aber auch Vertreter der Auftraggeberseite, die Innovationsakzente gesetzt oder ermöglicht haben.

### 5.3 Entwicklungsbereiche

#### 5.3.1 Vorbemerkungen

Vereinfacht ausgedrückt sind die vier grundlegenden Schritte im Betonbau "Planen" – "Rüsten/Schalen" – "Bewehren" – "Betonieren" von Anbeginn unverändert geblieben. Sie wurden im Laufe der Zeit mit den fortschreitenden Entwicklungen unterteilt, verzweigt und erweitert. Die handwerkliche Zugangsweise konnte in Teilbereichen durch eine industriell organisierte Herstellung ersetzt werden.

Folgende Motive können als Triebfedern für die Entwicklungen definiert werden:

- *Technische Aspekte* – Neue Gestaltungsmöglichkeiten, erweiterte Machbarkeit, Lösung neuer Aufgabenstellungen (Tragstruktur, Spannweite, Schlankheit, Formgebung)

- *wirtschaftliche Aspekte* – Kostenoptimierung, Bauzeitreduktion, Aufteilung und Systematisierung komplexer Arbeitsabläufe, Implementierung industrieller Vorgangsweisen
- *Qualitätsaspekte* – Zuverlässigkeit bei Planung, Errichtung und Bestand der Bauwerke.

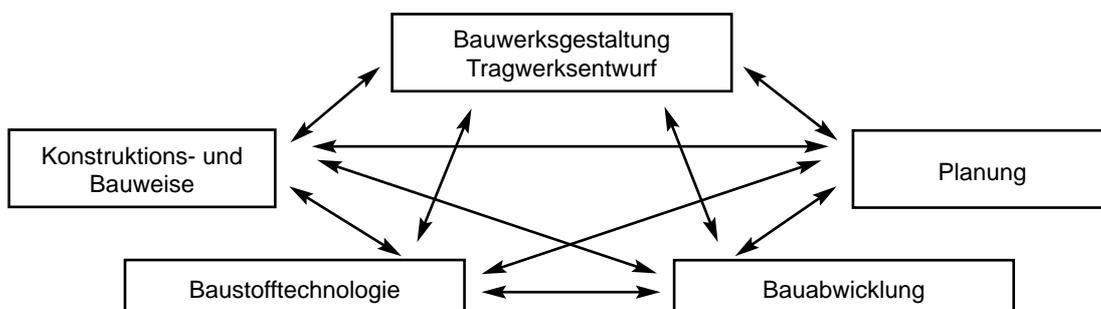
Diese Motive können auf fünf Entwicklungsbereiche projiziert werden, die untereinander in zum Teil intensiver Wechselbeziehung stehen, sich gegenseitig befruchten aber auch begrenzen.

Die folgenden Darstellungen geben wesentliche Aspekte wider, ohne den Anspruch auf Systematik und Vollständigkeit zu erheben.

#### 5.3.2 Bauwerksgestaltung und Tragwerksentwurf

Bei der Gestaltung von Hochbauten hat der Tragwerksentwurf heute zahlreichen Anforderungen und Randbedingungen zu genügen:

- Große Spannweiten, freie Formgebung bei architektonischen Entwürfen und hohe Lastintensitäten bei den Nutzungen stellen Herausforderungen an Konstruktion, Berechnung und Bauerrichtung sowie Wirtschaftlichkeit dar
- die Maximierung der Nettogeschosßflächen und eine hohe Nutzungsflexibilität sowie Variabilität sind wesentliche Forderungen der Bauherren
- die Tragstruktur muss kompatibel mit dem Ausbau und der Fassade sein
- die zunehmende Bedeutung der Gebäudetechnik und die hohen Anforderungen des Anlagenbaus sind entscheidend für die Gestaltung von Tragelementen
- aufgrund hoher Baustofffestigkeiten werden aus dem Blickwinkel der Tragsicherheit sehr schlanke Bauteile möglich, die zu großen Verformungen und zu Schwingungsanfälligkeit neigen können. Den Aspekten der



Tragsicherheit, der Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit muss auch unter den neuen Gegebenheiten – sinnvoll aufeinander abgestimmt – entsprochen werden

- der Art und der Anordnung der Gebäudeaussteifung kommt im Hinblick auf das wachsende Bewusstsein über das mögliche Auftreten von Erdbeben erhöhte Bedeutung zu
- kurze Bauzeiten erfordern eine weitgehende Gleichzeitigkeit von Rohbau, Ausbau, Fassadenmontage und Installation.

Der Betonbau konnte Bauaufgaben übernehmen, die in der Vergangenheit anderen Baustoffen, vornehmlich dem Stahlbau, vorbehalten waren (z.B. Hochhäuser, Behälter, Kamine). Im Zusammenhang mit Bestandsobjekten haben spezielle Aufgaben wie Sanierung, Umbau und Verstärkung große Bedeutung erlangt.

### 5.3.3 Konstruktions- und Bauweise

#### 5.3.3.1 Ortbetonbauweise

Nach dem Ende des zweiten Weltkriegs waren Baustellen autarke Einheiten mit eigener Zimmerei für Schalung und Rüstung, eigener "Eisenbiegerei", eigener Betonherzeugung, eigener Werkstätte und mit Gerät, das vom firmeneigenen Werkplatz gemietet war. Der Input von außen beschränkte sich auf Pläne, das Bau- und Bauhilfsmaterial. Das Produkt "Rohbau" wurde weitgehend im eigenen Wirkungsbereich geschaffen. Die Konstruktionen waren aus heutiger Sicht Material sparend und arbeitsintensiv konzipiert (**Abb. 5.1**).

Auf jeder Ortbetonbaustelle kommen der **Rüstung** und der **Schalung** zentrale Bedeutung zu, denn durch sie werden Lage und Form der Betonstruktur bestimmt. Aus dem bauwirtschaftlichen Blickwinkel nehmen sie wegen des Zeitanspruchs und der Kostenintensität bei Auf-, Um-



**Abb. 5.1** Steyr Daimler Puch AG, Werk Graz, Neubau einer Shedhalle, 1950. Foto Simonis

und Abbau sowie der Vorhaltung eine wesentliche Stellung bei finanziellen und terminlichen Betrachtungen ein. In Österreich wurde die Entwicklung von der handwerksmäßig errichteten Schalung zur industriellen Schalungsprodukten von den Holz verarbeitenden Unternehmen vorangetrieben. Im Zuge der Entwicklung arbeitssparender Schalungsgeräte fanden zunehmend auch Stahl und Aluminium sowie Kunststoffe Eingang in den Schalungsbau.

Durch die zunehmende Ausstattung der Baustellen mit leistungsfähigen Hebezeugen wurde für die Herstellung von Wänden der Einsatz von **Großflächenschalungen** möglich. Diese konnten nach einem Schalungseinsatz unzerlegt zum nächsten Betonierabschnitt umgesetzt werden. Für die Herstellung von Decken wurden liegende Großflächenelemente verwendet, die auf Deckentischen aufgebaut waren. Diese konnten unzerlegt horizontal verfahren und danach mit Kranhilfe auf die nächst höhere Geschoßebene gehoben werden (**Abb. 5.2 a,b**). Laufende Produktverbesserungen führten zu technischen und wirtschaftlichen Optimierungen und bezogen die Aspekte der Arbeitssicherheit mit ein.



**Abb. 5.2** (a) Großflächenwandschalung beim Umsetzen, (b) Schaltisch beim Verfahren. Foto Doka

Immer leistungsfähigere Geräte zur Betoneinbringung bewirkten durch hohe Schüttgeschwindigkeiten große **Frischbetondrücke**, womit sich neue Anforderungen an die eingesetzten Schalungen ergaben. Gleichzeitig wurden gemeinsam mit einer entsprechenden Schalungstechnik neue Möglichkeiten zur Beschleunigung des Bauablaufs geschaffen.

Eine weitere Steigerung der auftretenden Betonierdrücke war mit der Entwicklung und dem Einsatz von **selbstverdichtendem Beton (SCC)** verbunden. Dieser macht auf Grund seiner Konsistenz auch die Herstellung ausgefallener Formen aus Ortbeton möglich und kommt dabei völ-

lig ohne Rüttlereinsatz aus. Die verwendeten Schalungen nehmen auf die neue Betontechnologie und Verarbeitungstechnik Rücksicht. "Hydrostatische" Verteilungen des Frischbetondrucks und die Notwendigkeit einer weitgehenden Dichtheit sind hohe Anforderungen. Die neuen Schalungssysteme ermöglichen auch das Füllen der Schalungen von unten, damit die Entlüftung des eingefüllten Betons nach oben von selbst erfolgen kann.

Spektakulär waren die Entwicklungen von Schalungen für hohe Bauwerke. Es war nahe liegend, die Vorteile der großflächigen Wandschalung – unzerlegtes Umsetzen kompletter Einheiten zum jeweils nächsten Bauabschnitt – nicht nur beim Bauen zu ebener Erde sondern auch der Höhe nach einzusetzen. Es entstanden die **Kletter- und Gleitbauverfahren**. Während bei Kletterschalungen die komplette Schalungseinheit abschnittsweise höher gesetzt wird, erfolgt bei Gleitschalungen mit fortschreitender Beton- und Bewehrungseinbringung ein kontinuierliches langsames Hochfahren der Schalung.

Die Kletterschalungen finden ihr Pendant beim klassischen Freivorbau im Brückenbau, bei dem Schalwagen und Schalungen abschnittsweise mehr oder weniger horizontal vorgefahren und in die neue Betonierposition gebracht werden, wobei sie sich am unmittelbar davor hergestellten Abschnitt abstützen.

Kletter- und Gleitbauverfahren waren anfangs auf geometrisch einfache Tragwerke mit konstanten Querschnittsgestaltungen beschränkt. Bald konnten jedoch auch kompliziertere Formen mit sich kontinuierlich verändernden Querschnitten realisiert werden (**Abb. 5.3**).

Beide Methoden haben mittlerweile eine Entwicklung erfahren, die es ermöglicht, sie in nahezu allen Bereichen des Hochbaus einzusetzen und dabei beliebige Bauwerksformen zu realisieren (**Abb. 5.4**).



**Abb. 5.3** (a) Zuckersilo Tulln, Herstellung in Gleitbauweise 1978, (b) Kühlturm Voitsberg, Errichtung in Kletterbauweise 1983. Fotos Jeschofnik, Gerlach



**Abb. 5.4** Wohnparkanlage Alt-Erlaa, Wien 1977, Errichtung unter Einsatz des Gleitbauverfahrens

In der Schalungstechnik haben österreichische Firmen Weltgeltung erlangt, was spektakuläre Beispiele belegen. Die großen Erdgasvorkommen im sibirischen Eismeer werden mit Hilfe von *Off-Shore*-Plattformen gefördert. Die Basis und die Schäfte der beiden Plattformen wurden im Trockendock im Gleitverfahren hergestellt, anschließend auf das offene Meer geschleppt und versenkt (**Abb. 5.5**).

Auch bei der Nutzbarmachung "alternativer" Energieformen werden hohe Bauwerke in Betonbauweise benötigt. Bei gängigen Typen der heute errichteten Wind-



**Abb. 5.5** Off-Shore-Plattform Sakhalin, 2005, Herstellung im Trockendock in Gleitbauweise mit österreichischer Technik. Foto Gleitbau

kraftwerke befinden sich die Rotorachsen in einer Höhe von etwa 120 m, die Rotordurchmesser betragen 112 m. Die Durchmesser der in Gleitbauweise errichteten Betonschäfte verringern sich von unten nach oben von 12,0 m auf 5,4 m. Zur Sicherung sowohl des Tragvermögens als auch einer kontrollierten Steifigkeit erhalten die Schäfte eine starke Vertikalvorspannung, die im Verbund mit dem umgebenden Schafbeton wirkt. Nicht voltaische Solarkraftwerke erfordern einen Fokussierungspunkt der Sonneneinstrahlung. Beim dargestellten Solarkraftwerk in Spanien befindet sich dieser in etwa 120 m Höhe auf einem in Gleitbauweise hergestellten Schaft (**Abb. 5.6**).



**Abb. 5.6** (a) Windkraftwerk mit Spannbetonschaft 2006; (b) Zentralturm eines Solarkraftwerks in Spanien 2005; Herstellung in Gleitbauweise mit österreichischer Technik. Fotos Gleitbau

Der Rohbau des höchsten – derzeit im Bau befindlichen Gebäudes der Welt – dem *Burj Dubai* wird im **Selbstkletterverfahren** bei minimiertem Kraneinsatz mit österreichischer Technologie errichtet. Die Betonkonstruktion reicht etwa bis Kote + 600 m, die Gesamtgebäudehöhe wird 800 m überschreiten. Der Baufortschritt beträgt dank der ausgeklügelten Schalentechnik drei Tage pro Geschoß (**Abb. 5.7**).

In besonderen Fällen – wie z.B. bei sehr beengten Bauplatzverhältnissen – wird die Kraft der Hydraulikzylinder nicht nur zum Heben der Schalungseinheiten nutzbar gemacht. Selbst kletternde Plattformen können kleine autarke Baustellen darstellen, die mit allen Hilfsmitteln und Baugeräten, ja selbst kleinen Kränen ausgestattet sind. Der Hebevorgang der Plattformen erfolgt entsprechend dem Bautakt um jeweils eine Geschoßhöhe. **Abb. 5.8** zeigt die Errichtung des Hochhauses *Tour CBX* in Paris mit österreichischer Schalungs- und Hebeteknik.

Hinsichtlich der Beschaffenheit der geschalteten Flächen gibt es unterschiedlichste Anforderungen, die sich nach



**Abb. 5.7** Burj Dubai, 600 m hoher Gebäudeteil, 2007, Herstellung im Selbstkletterverfahren mit österreichischer Technik. Foto Doka



**Abb. 5.8** Hochhaus *Tour CBX* in Paris, 2004, Herstellung im Selbstkletterverfahren einschließlich Plattform mit österreichischer Technik. Foto Doka

Zweck, Exposition und Situierung des Bauteils im Bauwerk richten, auf die Erfordernisse von nachfolgenden Gewerken (z.B. Beschichtungen) Rücksicht nehmen und oft architektonisch-ästhetischen Vorstellungen Rechnung tragen müssen. Die Richtlinie "Geschalte Betonflächen – Sichtbeton" der ÖVBB beschäftigt sich detailliert mit diesen Aufgabenstellungen in Form von Definitionen und Regelungen.

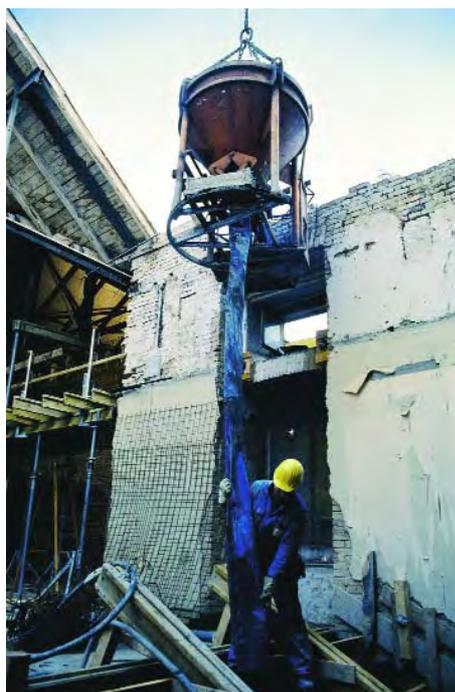
Anfänglich wurde der gesamte benötigte **Beton** aus den drei Komponenten Zement, Zuschlagstoffe und Wasser auf den Baustellen selbst mit eigenen Mischanlagen erzeugt. Die Lagerung von Zement und Zuschlagstoffen und die Mischanlage beanspruchten viel – von den oft nur begrenzt zur Verfügung stehenden – Platzressourcen. Der Mischvorgang wurde vom Baustellenpersonal im Rahmen der damals vorherrschenden Anforderungen an die Verarbeitbarkeit und die Betonfestigkeit mit relativ geringen Variationsbreiten gesteuert **Abb. 5.9**).



**Abb. 5.9** Baustellen-Mischanlage

Der Umstieg vom baustellengemischtem Beton zum Transportbeton war für Ortbeton-Baustellen ein wesentlicher Schritt. Im Hochbau werden neben großen Betonkubaturen für Bodenplatten und Decken oft kleine Mengen benötigt, wobei unterschiedlichsten Anforderungen entsprochen werden muss. Der Beton wird vom Transportbetonwerk entsprechend diesen Anforderungen nach den Angaben des Planers und den baustellenspezifischen Erfordernissen qualitätsgesichert hergestellt, geliefert und von der Baufirma übernommen und eingebaut (**Abb. 5.10**). Um bei der größer gewordenen Anzahl von Beteiligten klare Vorgaben und Verantwortungszuordnungen zu schaffen, hat die ÖVBB schon frühzeitig die Richtlinie "Beton – Herstellung, Transport, Einbau und Gütenachweis" geschaffen.

Ergänzende **Zusatzstoffe** und **Zusatzmittel** erlauben heute die Frisch- und Festbetoneigenschaften in einer großen Variationsbreite zu gestalten. In Österreich ist die Vielfalt der in Transportbetonwerken abrufbaren Beton-



**Abb. 5.10** (a) Betoneinbringung mit Krankübel; (b) Transportbetonfahrzeug bei Betonübergabe, Betoneinbau mit mobiler Betonpumpe. Foto Gerlach

sorten umfassend. Sie reicht über alle genormten Festigkeitsklassen, Konsistenzen und besonderen Eigenschaften bis zu **Hochleistungsbeton**, **selbst verdichtendem Beton** und **Faserbeton** (*Abschnitt 5.3.4, Abb. 5.42*) – aus dem Blickwinkel der 50er-Jahre des vergangenen Jahrhunderts ein Beton-Schlaraffenland für Planer und Ausführende. Das Schlaraffenland hat allerdings seinen Eintrittspreis. Aus dem robusten Baustoff Beton ist ein High-Tech-Produkt mit vielfältigen Möglichkeiten geworden, das ein Mindestwissen und Sorgsamkeit bei Konstruktion, Verarbeitung und Nachbehandlung erfordert.

Die ÖVBB hat dieser Entwicklung Rechnung getragen und sorgt im Rahmen der Österreich weit tätigen **Betonakademie** für laufende Schulungen und Weiterbildungsveranstaltungen für alle einschlägig tätigen Berufsgruppen. Weiters ist mit ÖVBB-Richtlinien ("Faserbeton"), ÖVBB-Merkblättern ("Hochleistungsbeton", "Selbstverdichtender Beton (SCC)", "Herstellung von faserbewehrten monolithischen Betonplatten") und ÖVBB-Sachstandsberichten ("Hochfester Beton") der stürmischen Entwicklung Rechnung getragen worden.

Wenn auch Masse und Gewicht von Betonbauwerken in mehrfacher Hinsicht von Vorteil sein können, gibt es auch nachteilige Effekte und damit natürlich Bestrebungen, das Eigengewicht der Betonkonstruktionen zu reduzieren, die fast so alt sind, wie der Betonbau selbst. Die Verringerung des spezifischen Gewichts durch die Verwendung von Leichtbeton konnte sich aus wirtschaftlichen und technischen Gründen nicht in größerem Umfang durchsetzen. Mit der Reduktion des spezifischen Gewichts ist eine überproportionale Abnahme der Festigkeit und des Elastizitätsmoduls verbunden, die Wärmedämmfähigkeit steigt jedoch gegenläufig an, was durchaus sinnvolle Einsatzgebiete ermöglicht (*Abschnitt B3.2.3*). Die ÖVBB hat mit der Richtlinie "Leichtbeton" dessen Entwicklung und Einsatz begleitet.

Der heute übliche Weg zur Reduktion des Eigengewichts von Betonkonstruktionen ist die Auflösung der Tragstruktur in dünnwandige Elemente und die Anordnung von Hohlräumen im Ortbeton- und Fertigteilbau (*Abschnitt B3.2.2.2* und **Abb. 3.35, Abb. 3.37, Abb. 3.38, Abschnitt 5.3.3.2, Abb. 5.16, Abb.5.18, Abschnitt 5.3.3.4, Abb. 5.30**).

Der Transport des Betons an die Einbaustelle mit dem Krankübel wurde großteils durch das **Pumpen des Betons** ersetzt – mit erhöhter Einbauleistung und Verarbeitungsqualität sowie Freiwerden von Krankapazitäten. Je nach Baustellenerfordernissen kommen mobile Autobetonpumpen (**Abb. 5.10**) oder stationäre Anlagen zum Einsatz (**Abb. 5.11**). Den Pumphöhen sind – wie Beispiele aus dem In- und Ausland zeigen – heute kaum mehr Grenzen gesetzt.

Das Pumpen des Betons hat in Verbindung mit selbst kletternden Schalungen oder Gleitbauverfahren die Herstellung der Rohbauten, auch sehr hoher Bauwerke unter weitgehender Reduktion des Kraneinsatzes ermöglicht. Beschränkungen durch lange Kranspielzeiten und Starkwind sind dadurch minimiert worden.

Bei der Verlegung der **Bewehrung** ist der Einsatz von Hebmitteln allerdings unverzichtbar. Die Entwicklung von Tragfähigkeit und Reichweite der Kräne hat es ermöglicht, Bewehrungen nicht mehr in der Schalung aus



**Abb. 5.11** Stationäre Betonpumpen beim Burj Dubai mit Förderhöhen bis 600 m, 2007. Foto Gleitbau

Einzelstäben zusammen zu bauen sondern außerhalb der Schalung zu Körben vorzufertigen und diese in die Schalung einzuheben.

Das Vorfertigen von Bewehrungskörben in den Eisenbiegereibetrieben mit anschließendem Transport auf die Baustelle hat sich im Hochbau in großem Maßstab nicht durchsetzen können. Die Diskrepanz zwischen Transportvolumen und Transportgewicht sowie die Beschränkung der Transportbreiten und -höhen hat weitgehende Entwicklungen verhindert – im Gegensatz zur Bewehrung von Tiefgründungselementen, z.B. Bohrpfählen, die einer gleich bleibenden Systematik unterliegt und eine ein-dimensionale Hauptabmessung aufweist.

Heute kommen neben den **Stabstahl- und Mattenbewehrungen** auch tragende **Faserbewehrungen** zum Einsatz. Sie haben unterschiedlichen Aufgabenstellungen zu entsprechen, als tragende Bewehrung, zur Verringerung der Rissgefährdung und zur Verbesserung des Verhaltens der Betonbauteile im Brandfall. Die Verarbeitung des faserbewehrten Betons erfordert Erfahrung, da die Fasern eine Veränderung der "Betonkonsistenz" bewirken. Das Fehlen einer Stabbewehrung erleichtert allerdings den generellen Bauablauf und den Betoneinbau selbst.

Bei einem Hotelbau mit äußerst begrenzten Bauplatzverhältnissen wurde zur Minimierung von erforderlichen Lagerflächen bereits 1997 für Wände, die nicht für die Gesamtgebäudestabilität erforderlich sind, Stahlfaserbeton eingesetzt. Die Stahlfaserzugabe erfolgte auf der Baustelle in den Fahrmischer. Einspringende Ecken und Betonierfugen wurden durch einzelne Stabstähle gesichert. Bereits werksgemischte Faserbetone stellen eine wesentliche Qualitätsverbesserung gegenüber den bau-

stellengemischten Produkten dar. Ein Hauptanwendungsgebiet des Stahlfaserbetons sind die **Bodenplatten im Industriebau**, die eine gute Abstimmung von Betonrezeptur, Erhärtungsgrad, Fugenschnitt und Nachbehandlung erfordern (**Abb. 5.12**).



**Abb. 5.12** Schneiden von Fugen einer Industrie-Bodenplatte

Der Einbau von **Vorspannbewehrungen** in die Schalung und in die vorgestrichte schlaife Bewehrung erfolgt stets händisch mit maschineller Unterstützung. Die Verlegung der Kabel für eine **Vorspannung mit nachträglichem Verbund** erfordert hingegen zwei Arbeitsschritte. Vor dem Betonieren werden die Hüllrohre verlegt und danach die Litzen eingezogen. Bei der verbundlosen Vorspannung sind die Hüllrohre und Litzen bereits werkmäßig zu Spannkabeln vorgefertigt, die mit Hilfe von Haspeln auf die Baustelle transportiert und dort verlegt werden (**Abb. 5.13**).

### 5.3.3.2 Fertigteilbauweise

Der Wunsch nach Industrialisierung, Vorfertigung, Wetterunabhängigkeit sowie Beschleunigung des Bauablaufs hat zu einer sehr weit reichenden Entwicklung der Fertigteilbauweise geführt. Vor allem im Gewerbe- und Industriebau gibt es Bauwerke, die fast ausschließlich aus Fertigteilen errichtet werden – Dach, Stützen, Wände und Fundamentteile oder auch ganze Fundamente. Die einzige große Ortbetonkubatur wird bei diesen Bauwerken bei der Bodenplatte verbaut (**Abb. 5.14**).

Jeder Einsatz von Fertigteilen setzt einen ausreichenden **Planungsvorlauf** voraus – mit Angabe aller Konsolen,

Aussparungen, Durchbrüche, Schweißgründe und Anschlusselemente. Oft wird der Wiederholungsfaktor für identische Ausbildungen von Teilen im Fertigteilbau überschätzt. Auch bei großen Bauvorhaben, beispielsweise mit hunderten Stützen beträgt der Wiederholungsfaktor für idente Stützen oft lediglich 2.

Eine rationelle **Füge- und Verbindungstechnik** ist Voraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz von Fertigteilen. Im Fertigteilbau werden daher einfache statische Systeme gewählt. Die eingespannte Stütze und der Träger auf zwei Stützen sind die bevorzugten Bauteile. Die im Ortbetonbau häufige hochgradige statische Unbestimmtheit der Tragwerke mit den damit verbundenen Sicherheitsreserven ist im Fertigteilbau nicht erzielbar. Die Verwendung von Fertigteilen erfordert gewissenhaft durchkonstruierte Detailausbildungen in Verbindung mit einem konsequent durchgehaltenen statischen Gesamtgebäudekonzept.



**Abb. 5.13** Verlegen von Kabeln einer verbundlosen Vorspannung mit Hilfe einer Haspel.  
Foto Vorspanntechnik



**Abb. 5.14** Hallenbauwerk – Stützen, Wände und Decken ausschließlich aus Fertigteilen. Foto Oberndorfer

Die Absicht, Vorteile der Ortbeton- und der Fertigteilbauweise zu verbinden, hat zur Entwicklung der "**Halbfertigteilbauweise**" geführt. Fertigteile werden versetzt und durch Ortbeton ergänzt, wodurch "monolithische" Verbundelemente entstehen. Der Entfall der Schalung und weitgehend auch der Rüstung hat zu einer weiten Verbreitung der "**Elementdecke**" und der "**Hohlwand**" geführt. Beide werden sowohl bei Einfamilienhäusern als auch bei Großbauvorhaben eingesetzt (**Abb. 5.15**). In den *Abschnitten B3.2.2.2* und *B3.2.3* zeigen **Abb. 3.36** und **Abb. 3.41** systematisch Ausbildung und Anwendung der "Halbfertigteilbauweise".



**Abb. 5.15** "Hohlwände" in Kombination mit einer Flächenschalung

**Abb. 5.16** zeigt ein Beispiel, wie die Darlegungen in den *Abschnitten B3.2.2.1* und *B5.3.3.4* zur Gewichtsreduktion von Betondecken bei der "Halbfertigteilbauweise" umgesetzt werden können.



**Abb. 5.16** City-Arkaden Klagenfurt, 2004, Elementdecken mit Styroporeinlagen zur Gewichtsreduktion

Die weite Verbreitung dieser "Halbfertigteile" wurde durch sehr rationelle Herstellmethoden ermöglicht, die auf weitgehend automatisierter Fertigung beruhen. Hier sind die klassischen Konzepte der Industrialisierung im Betonbau mit computergestützter Planung und verknüpfter computergesteuerter Fertigung am weitesten umgesetzt. Die Durchgängigkeit von der Planung zur Fertigung ermöglicht es, die Fertigelemente rasch und rationell entsprechend der Gebäudegeometrie maßgenau herzustellen (**Abb. 5.17**).

Den Kombinationsmöglichkeiten von Fertigteil und Ortbeton – und damit der Variation des Grades der Vorfertigung – sind keine Grenzen gesetzt. Als Beispiel soll der



**Abb. 5.17** CIM-Fertigung; (a) Schalungsroboter; (b) Betonieren einer Elementdecke durch einen Roboter; (c) Wenden einer Hohlwandhälfte durch einen Roboter. Fotos Katzenberger und Oberndorfer

Bau eines Wohnhochhauses in Wien dienen, bei dem parallel zu den gekletterten Kernen die Ortbetonstützen in einem Arbeitsgang mit der Montage von Fertigteilen für Unterzüge und Brüstungen hergestellt wurden. Damit war verbunden, dass den bei hohen Bauwerken so wichtigen Aspekten der Arbeitssicherheit ohne großen Aufwand von selbst entsprochen werden konnte, da durch die vorlaufende Fassade das Bauwerk auch ohne zusätzliche Schutzgerüste permanent umschlossen war.

Im Fertigteilwerk bestehen besondere Anforderungen an die Betontechnologie hinsichtlich hoher Frühfestigkeiten, um den Durchsatz pro Schalung zu maximieren. Mit eigenen Mischanlagen ist es möglich, einen "maßgeschneiderten" Beton herzustellen. Mit Wärmezufuhr werden die Abhub- und auch Auslieferungszeiten drastisch reduziert.

Eine besondere Stellung nehmen die **Spannbetonhohldielen** bei der Herstellung ein. Sie werden in langen Bahnen auf beheizbaren Stahlschalungen im Spannbett nach dem Extruderverfahren hergestellt (**Abb. 5.18**). Da dieses den Einbau weder von horizontalen Quer- noch von Bügelbewehrungen ermöglicht, ist im Sinne der geforderten Tragsicherheit eine hohe Betonfestigkeit entscheidend, die auch die Verbundverankerung an den Hohl-dielenden nach der Ablängung begünstigt.



**Abb. 5.18** Betonieren einer Hohldiele im Spannbett

Diese **Spannbettvorspannung** (*Abschnitt B1.2.1*) ist für Fertigteilwerke prädestiniert. Auf 100 bis 200 m langen Fertigungsbahnen werden Hohldielen, Elementdecken,  $\pi$ -Platten u. dgl. hergestellt und nach dem Erreichen einer Betonmindestfestigkeit in die bestellten Teillängen geschnitten und abgehoben. Die Tragfähigkeit wird durch die Anordnung und Anzahl der eingelegten Spann-stahl-Litzen gesteuert.

Die Verbreitung der Fertigteilbauweise auf das heutige Ausmaß ist eng verknüpft mit der Entwicklung sowohl leistungsfähiger Hebe- und Transportgeräte als auch mit dem Ausbau der Verkehrsinfrastruktur und einem

leistungsfähigen Straßennetz. Früher war es oft sehr schwierig großformatige Fertigteile vom Werk auf die Baustelle zu transportieren. Heute sind die Grenzen sehr weit gezogen. Mehrgeschoßige Fertigteilstützen und großdimensionale Fertigteile für Hallenbauten bilden die Regel.

### 5.3.3.3 Vorspannung

Nachdem der Spannbeton im Brückenbau zu einer Standardbauweise geworden war, kam es auch im allgemeinen Hochbau zu deren Anwendung. Große Spannweiten, hohe Lastintensitäten und die Forderung nach Vermeidung oder Beschränkung von Rissen sowie Sonderaufgaben haben die Vorspannung von Betontragwerken mittlerweile im Hochbau unverzichtbar gemacht und die Entwicklung unterschiedlicher Arten der Anwendung eingeleitet. Der Hochbau hat dabei von dem heute sehr offenen Zugang zur Vorspannung profitiert. Die Vielfalt der Anwendungen reicht von den klassischen Konstruktionen mit hohen Vorspanngraden bis zum vorgespannten Stahlbeton, bei dem die Vorspannung vor allem der Begrenzung der Durchbiegung dient. Die Spannbewehrung kann mit der Betonkonstruktion im Verbund stehen oder sich ohne Verbund – in Kunststoffhüllrohren umgeben von Schutzfett – im Bauteil befinden. Damit kann die Vorspannung sehr flexibel und aufgabenbezogen eingesetzt werden.

Die **Vorspannung mit nachträglichem Verbund** (*Abschnitt B1.2.2*) war – wie im gesamten Betonbau – auch im Hochbau die erste standardmäßige Anwendung. Die hohen abzutragenden Lasten und die Forderung nach Verformungsminimierung haben bereits in den 1960er Jahren zu interessanten Anwendungen in Österreich geführt.

Das zwölfgeschossige **Philips-Haus** am Wienerberg (1963) ruht lediglich auf vier Hauptstützen, die gemeinsam mit den elf Geschoßträgern zweistielige Rahmen bilden. Die vorgespannten Geschoßträger sind je 71 m lang und kragen beidseitig 16 m über die Hauptstützen aus. In Querrichtung sind sie mit ebenfalls Last abtragenden und vorgespannten Querträgern von 14 m Länge verbunden (**Abb. 5.19, Abb. 5.20**).

Die Vorspannung mit nachträglichem Verbund hat mittlerweile zahlreiche Anwendungen im Hochbau erfahren, wenn große Spannweiten zu beherrschen und Durchbiegungen zu begrenzen waren. Die Halle der derzeit noch immer größten Papiermaschine der Welt wurde aus etwa 4000 Fertigteilen zusammen gebaut. Die größten Einzelteile sind die 30 m langen vorgespannten Hallenbinder mit einem Gewicht von 700 kN und die Hallenstützen mit Einzelgewichten von 500 kN (**Abb. 5.21**).



Abb. 5.19 Ansicht "Philips-Haus" Wien 1963. Foto Grünzweig

Die Vorspannung mit nachträglichem Verbund ist im Hochbau in den letzten beiden Jahrzehnten von der **Vorspannung ohne Verbund** (Abschnitt B1.2.3) weitgehend verdrängt worden. Gründe dafür sind die einfache Handhabbarkeit auf der Baustelle und die Möglichkeit, die gesamte Palette der Vorspannarten, von der "vollen" Vorspannung bis zum vorgespannten Stahlbeton, zu nützen.

Die vermutlich erste Anwendung der Vorspannung ohne Verbund größeren Umfangs erfolgte in Österreich bei der Hoch- und Tiefgarage der Wiener Stadtwerke (Baujahr 1983). Das zehngeschossige Gebäude erhielt sieben kreuzweise vorgespannte Decken mit Dicken von 21 bis 24 cm. Das Verhältnis von maximaler Stützweite zur Deckendicke beträgt bei den äußerst schlanken Deckenbereichen 38:1.

Das Prinzip der **"freien Spanngliedlage"** von verbundloser Vorspannung hat für Deckenkonstruktionen wegen des baustellen-organisatorisch einfachen Ablaufs und



Abb. 5.21 Papierfabrik SAPPi Gratkorn; Fertigteilhalle für die größte Papiermaschine der Welt 1998. Foto Oberndorfer

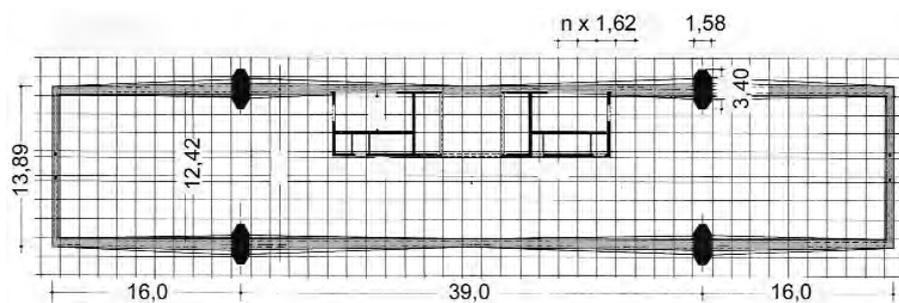
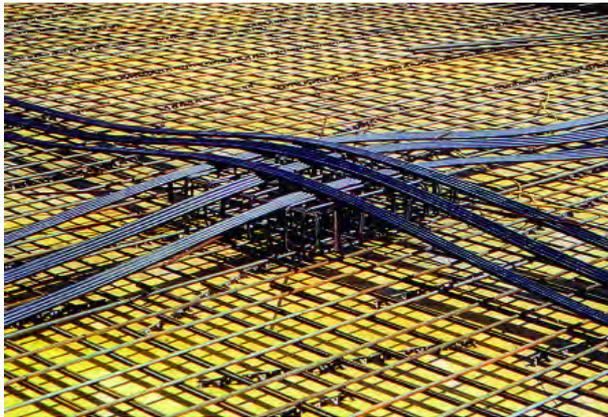


Abb. 5.20 Grundriss "Philips-Haus" Wien. Dywidag- Berichte 1965

wegen des geringen Verlegeaufwands die Akzeptanz der Vorspannung im Hochbau erhöht. Die Spannkabel werden lediglich an den Hochpunkten angehoben, womit ihre Lage dem Schnittkraftverlauf angepasst wird (**Abb. 5.22**). Die Bereiche, in denen dabei die Vorspannung unmittelbar wirksam wird, sind in *Abschnitt B3.2.2.1, Abb. 3.34* dargestellt.



**Abb. 5.22** Verbundlose Vorspannung; "Freie Spannlage" bei der Gurtstreifenvorspannung

Vorspannsysteme ohne Verbund sind sehr gut dafür geeignet, mit geringfügigen Adaptierungen im Verankerungsbereich bestehende Bauwerke zu verstärken. **Abb. 5.23** zeigt die Verstärkung der Tribünenträger des Hanappi-Stadions in Wien.

Wie im Abschnitt über die Fertigteilbauweise bereits erwähnt, kommen im Hochbau häufig im **Spannbett** hergestellte Fertigteile mit sofortigem Verbund zum Einsatz.



**Abb. 5.23** Hanappi-Stadion Wien; Verstärkung der Tribünenträger mit verbundloser Vorspannung, 2003. Foto Vorspanntechnik

Diese kombinieren im Deckenbau die Vorteile des günstigen Verformungsverhaltens mit denen der unterstellungslosen Montage.

Die Auswirkungen einer Vorspannung bezüglich Rissvermeidung oder Rissminimierung wird besonders im **Behälterbau** genützt. Die Überdrückung von zentrischen Zugspannungen und/oder Biegezugspannungen macht Betonbehälter zu dichten Bauwerken. Anfangs wurde auch bei Behältern eine **Vorspannung mit nachträglichem Verbund** eingesetzt. Die Umschlingungswinkel zwischen den Ankerstellen waren gering (**Abb. 5.24**).



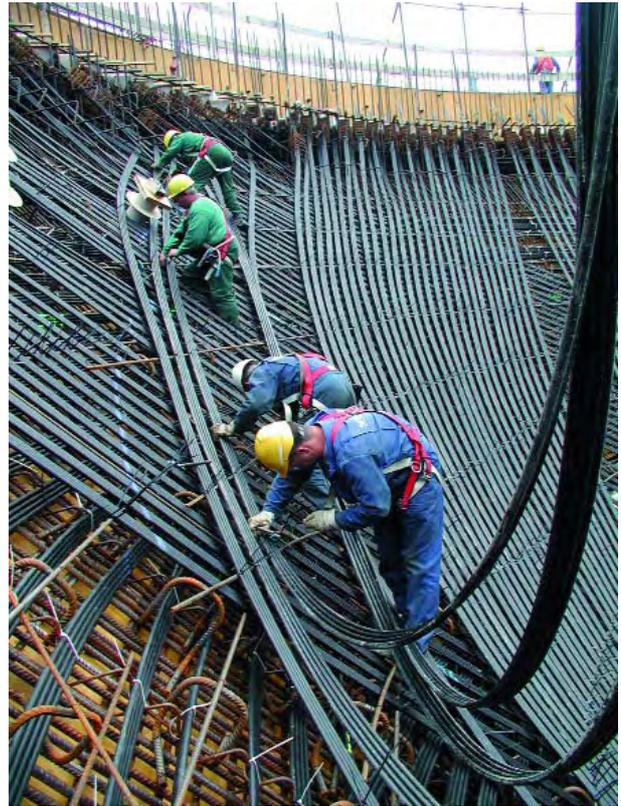
**Abb. 5.24** Kläranlage Graz, Gössendorf, Herstellung eines Faulbehälters 1971; Vorspannung mit nachträglichem Verbund. Foto Gerlach

Die **verbundlose Vorspannung** eroberte auch den Behälterbau. Durch den geringen Reibungsbeiwert beim Vorspannen ist es möglich, auch bei großen Umschlingungswinkeln hohe Vorspannkräfte mit einer geringen Anzahl von Ankerstellen in die Behälterwand einzutragen. Die Flexibilität der "Monolitzen" macht es der Spannbewehrung möglich, jeder Behälterform zu folgen und dabei alle erforderlichen Tragfunktionen, z.B. Innendruck, Trichteraufhängung, wahrzunehmen (**Abb. 5.25, Abb. 5.26**).

Mit Hilfe von verbundloser Vorspannung können auch im Behälterbau **Sanierungen und Verstärkungen** durchgeführt werden. **Abb. 5.27** zeigt eine Sanierung in der Kläranlage Knittelfeld.



**Abb. 5.25** Zentralkläranlage Wien; Beckenboden mit verbundloser Vorspannung 2002/05.  
Foto Vorspanntechnik



**Abb. 5.26** Kläranlage Großlappen, München, Verlegen der verbundlosen Vorspannkabel aus CMM-Bändern einer österreichischen Vorspannfirma 2006.  
Foto Vorspanntechnik

#### 5.3.3.4 Flachdecken

Der Betonbau bietet in herstellungstechnischer Hinsicht ideale Voraussetzungen für die Bildung flächenhafter Strukturen, sowohl in der Vertikalen in Form von Scheiben und Wänden als auch bei horizontalen Deckenkonstruktionen, deren konsequenteste Ausbildungen in Form der Flachdecken erfolgen. Viele Vorteile haben diesen Hochbaudecken ohne Unterzüge oder Stützenkopfverstärkungen ein weites Anwendungsgebiet gesichert. Geringe Gesamtdeckenstärken stehen in Verbindung mit einer ebenen Untersicht, die einen geringen Schalungsaufwand bedeutet und eine unbehinderte Leitungsführung für die Haustechnik gewährleistet. Als Flächentragwerk verfügt die Flachdecke über eine hohe Toleranz gegenüber Veränderungen der Belastungssituation. Eine im Entwurfsprozess aus dem Raster verschiebbare Stützung und die freie Disposition über die Anordnung von Zwi-

schewänden sichern eine hohe **Flexibilität** in der Raumordnung. Zur weiten Verbreitung der Flachdecken hat auch die heutzutage einfache Berechenbarkeit auch komplizierter Grundrisse und unregelmäßiger Stützungen mit Hilfe moderner FE-Programme beigetragen.



**Abb. 5.27** Kläranlage Knittelfeld; Sanierung eines Behälters mit verbundloser Vorspannung 2002, (a) Übersicht und (b) Detail Spannstelle.  
Foto Vorspanntechnik

Bei schlanken Flachdecken sind das Durchstanzen und die Durchbiegung entwurfsentscheidende Kriterien. Der Durchstanzwiderstand kann durch Stahleinbauteile als **“Durchstanzbewehrung”** nennenswert erhöht werden. Deren Wirkungsweise ist in *Abschnitt B3.2.2.1, Abb. 3.33* dargestellt. Die damit mögliche große Plattenschlankheit führt jedoch zu einer raschen Zunahme der Verformungen, die allerdings durch den Einsatz von verbundlosen Spannkabeln gemildert werden, woraus sich das Hauptanwendungsgebiet des vorgespannten Stahlbetons entwickelt hat (**Abb. 5.28**).



**Abb. 5.28** Durchstanzbewehrung und verbundlose Vorspannung bei einer Flachecke

In bauphysikalischer Hinsicht verbinden die Flachecken ein hohes Schalldämm-Maß mit einer großen thermischen Speicherkapazität. Letztere bildet im Rahmen der so genannten **Betonkernaktivierung** die Basis für die heute aktuellen Maßnahmen zu optimiertem Energieeinsatz – verbunden mit der Forderung nach maximaler Behaglichkeit bei der Raumnutzung. Die Decken in denen wasserdurchströmte Rohrregister verlegt sind, haben die Funktion von Energiespeichern. Als "thermisch aktivierte Flächen" dienen sie der Heizung und Kühlung der Räume (**Abb. 5.29**).

Je größer die Spannweite einer Flachdecke ist, umso höher ist die angestrebte Nutzungsflexibilität eines Gebäudes. Zunehmende Stützenabstände erfordern jedoch zur Einhaltung zulässiger Deckenverformungen und zur Durchstanzsicherung größere Konstruktionsstärken, womit sich der Anteil des Deckeneigengewichts an der gesamten Deckenlast ungünstig verändert. **Abb. 5.30** zeigt ein System von kugelförmigen luftgefüllten Aussparungskörpern aus Kunststoff zur Reduktion des Eigengewichts der Deckenkonstruktion. In der Anwendung ist eine hohe Flexibilität gegeben, sodass hoch beanspruchte Deckenteile, wie die Durchstanzbereiche, örtlich in



**Abb. 5.29** TownTown-Komplexe in Wien 2006; Rohrregister zur "Betonkernaktivierung" in einer Stahlbetondecke. Foto Strabag



**Abb. 5.30** Travel Europe, Stans 2005, auskragende Flachdecke mit Aussparungskörpern und verbundlos vorgespanntem Plattenstreifen. Foto Cobiax

Vollquerschnitten hergestellt, jedoch die schnittkraft- und verformungsaktiven Deckenteile mit reduziertem Eigengewicht ausgeführt werden können. Im vorliegenden Beispiel wurde zur Verformungsminderung einer weit auskragenden Platte über Eck eine verbundlose Vorspannung vorgesehen, in deren Bereich ein Träger – natürlich ohne Hohlkörper – auszubilden war.

Durch die Einlage der Hohlkörper werden an der Decke selbst Einsparungen an Gewicht und Baustoffmengen erzielt – was nicht zwangsweise mit einer Reduktion der Kosten verbunden sein muss. Die weiter führenden Bauteile, wie Stützen und Fundamente, erhalten jedenfalls geringere Auflasten und die Beanspruchung im Erdbebenfall fällt durch die Massenreduktion geringer aus als bei Volldecken.

### 5.3.3.5 Gründung

Alle umfassenden Bauwerksteile unter Gelände – Wände und Fundierung – sind durch eine ständige Wechselbeziehung zwischen Bauwerk und Boden gekennzeichnet. Die Art der Gründung hat direkten Einfluss auf die Standfestigkeit und das Setzungsverhalten eines Bauwerks und damit auch auf alle aufgehenden Bauwerksteile. Auf Grund der vielfältigen Entwicklungen der letzten Jahrzehnte kann heute aus vielen Möglichkeiten eine dem Bodenaufbau, der Tiefenlage und Belastbarkeit der tragfähigen Bodenschichten, den Grundwasserverhältnissen und den Nachbarbebauungen angepasste Fundierungsart gewählt werden – **Flachgründungen** mit oder ohne Bodenverfestigung unter der Gründungsebene, **Tiefgründungen** beispielsweise mit unterschiedlichsten Pfahlarten oder Schlitzwänden. Der Bedeutung der Tiefgründungselemente auch für den Hochbau hat die ÖVBB beispielsweise durch die Herausgabe der Richtlinie "Bohrpfähle" Rechnung getragen.

Unbewehrte aber auch bewehrte Einzel- und Streifenfundamente sind gängige Flachfundierungselemente über den Grundwasserhorizonten. Flächenhafte Gründungsplatten haben an Bedeutung gewonnen, da sie gleichzeitig die Funktionen von Boden- und Gründungsplatten übernehmen, bei Gründungen unmittelbar an Grundgrenzen Vorteile bieten und bei Wasserzutritt – als Teile "Weißer Wannen" (*Abschnitt 5.3.3.7*) – Dichtungsaufgaben übernehmen können. Als hoch belastete "verkehrte" Flachdecken weisen sie deren Tragverhalten unter Bedachtnahme auf die Bodensteifigkeit auf.

Moderne Tiefgründungselemente sind nicht nur bei Neubauten sondern auch bei der Integration von Bestandsbauten in neue Projekte mit großer Tiefenlage sehr hilfreich. Beim Bau einer Tiefgarage in Graz wurden die Gebäude des denkmalgeschützten Admonter Hofes mit Großbohrpfählen unterfangen (**Abb. 5.31**).

Ist mit der Tiefe eine deutliche Zunahme der Bodensteifigkeit zu erwarten, haben sich kombinierte **Pfahl-Plattengründungen** als wirtschaftlich erwiesen. Pfähle überbrücken die weniger steifen Schichten und leiten die Lasten in größere Tiefen ab. Durch die gleichzeitige unmittelbare Aktivierung des vertikalen Bodenwiderstandes sowohl in der Aufstandsebene des Bauwerks als auch in tiefer liegenden Bodenschichten sind die Tragfähigkeit der Gründung und das Setzungsverhalten in Grenzen optimierbar.

### 5.3.3.6 Baugruben

Die technischen Entwicklungen ermöglichen heute auch bei beengten Platzverhältnissen tiefe Baugruben. Diese können vor allem in innerstädtischen Bereichen sowohl technisch als auch wirtschaftlich von zentraler Bedeutung



**Abb. 5.31** Tiefgarage Kastner & Öhler Graz 2003; Unterfangung des denkmalgeschützten Admonter Hofes

für ein Bauvorhaben sein. In ihrer Peripherie stellen sie in erster Linie die Anbindung an das Bauwerksumfeld während der Bauphase her und berühren damit häufig Bauwerke und damit Rechte Dritter. Baugruben und deren Umschließung werden oft als Teilprojekte von übergeordneten Gesamtprojekten angesehen, in die sie integriert werden müssen. Die Bauwerkserfordernisse sind mit den örtlichen Gegebenheiten in Einklang zu bringen – z. B. Grundrissform, Anzahl und Nutzung der Geschoße unter Geländeneiveau, Art der Gebäudeabdichtung, Bodenverhältnisse, Nachbarbebauung, Grundwasserstand, Wasserhaltung.

Die **Baugrubenverbauten** werden oft in engem Zusammenhang mit der Bauwerksgründung konzipiert und können in der Form von Bohrpfahl- oder Schlitzwänden in die Untergeschoße des Bauwerks einbezogen werden. **Abb. 5.32** zeigt die Baugrube des **Leopoldmuseums** im Museumsquartier Wien. Die Baugrubenumschließung mit Schlitzwänden wird mit einer Vorsatzschale in das endgültige Bauwerk integriert.

Aufgabe jedes Baugrubenverbauten ist die Aufnahme des seitlichen Erd- und Wasserdrucks. Bei größeren Bau-



Abb. 5.32 Museumsquartier Wien 1998; Baugrube des Leopoldmuseums

grubentiefen sind Tragfähigkeit und Steifigkeit der Verbauelemente zu gering, um die Baugrube ohne Unterstützungen der seitlichen Wandverbauten abteufen zu können. Für die Abstützung nach außen stehen heute zahlreiche **Ankersysteme** mit großer Variationsbreite bei innerer und äußerer Tragfähigkeit zur Verfügung. In **Abb. 5.33** ist der Baugrubenverbau der Tiefgarage *Kastner & Öhler* Graz aus Bohrpfählen beim Setzen einer Ankerlage wiedergegeben.

Baugrubeninterne Abstützungen erfordern keine Inanspruchnahme der Bauwerks Umgebung, behindern jedoch die Bauwerksherstellung in der Baugrube. Eine besondere Stellung nimmt die **Deckelbauweise** ein, die ursprünglich für den nicht bergmännischen – eindimensionalen – Tunnelbau entwickelt wurde und für tiefe flächenförmige



Abb. 5.33 Tiefgarage Kastner & Öhler Graz; Baugrubenverbau mit Bohrpfählen, Setzen einer Ankerlage 2003

Baugruben bei Hochbauten erweitert und angepasst werden konnte. Nach der Herstellung der Umschließungselemente wird auf diesen vor weiteren Aushubarbeiten eine Decke, der "Deckel", hergestellt. Unter diesem erfolgt ein sukzessives Bauen von oben nach unten. Im so genannten "Vorbau" werden auf der jeweiligen Aushubsohle die "Vorbau"-Decken errichtet. In ihrem Schutz erfolgt unter ihnen der weitere Bodenaushub bis zur nächsten "Vorbau"-Decke. Die "Vorbau"-Decken übernehmen die Funktion der Baugrubenaussteifung, sobald unter ihnen der weitere Baugrubenaushub erfolgt. Die flächenhaften Decken erfordern zwischen den Baugrubenrändern Auflagerungen, die wie die Baugrubenumschließung bereits vorweg herzustellen sind. Der aufwändige Transport von Aushubmaterial, Schalung, Rüstung und Baustoffen erfolgt vertikal über Deckenöffnungen, horizontal durch Quertransport unter den "Vorbau"-Decken. Mit dem nur reduziert möglichen Geräteeinsatz und den langen Transportwegen unter den Decken ist diese Bauweise einerseits sehr arbeitsintensiv – für Nachbarbebauungen andererseits sehr schonend, da keine großen Horizontalverformungen der Baugrubenverbauten auftreten. **Abb. 5.34** zeigt den Erdaushub durch eine Transportöffnung des Deckels und die Herstellung einer "Vorbau"-Decke beim *Grand Hotel & Palais Corso* Wien.

Nach Herstellung der Bodenplatte erfolgt die Rohbaukomplettierung der Untergeschoße im Zuge des "Rückbaus" von unten nach oben. Bei Hochbauvorhaben ermöglicht die Deckelbauweise ein gleichzeitiges Bauen nach oben und unten. Der Deckel steht dabei nicht nur als Schutzebene sondern auch als wertvolle Lagerfläche zur Verfügung.

Mit den Methoden der **Hochdruckbodenvermörtelung** (HDBV) wurde es möglich, durch tragfähige HDBV-Säulen die Gründungsebene bestehender Fundamente tiefer zu legen. Damit konnten bei tiefen Baugruben flach fundierte Nachbargebäude unterfangen und gleichzeitig die Baugrubenwände ohne Platzverlust für den Neubau – mit oder ohne Ankerungen – gesichert werden. **Abb. 5.35** zeigt die Unterfangung der flach fundierten Gebäude des Admonter Hofs beim Bau der Tiefgarage *Kastner & Öhler* in Graz bei gleichzeitiger Baugrubensicherung.

### 5.3.3.7 Wasserundurchlässige Bauwerke

Die tiefe Einbindung von Hochbauten in den Boden und damit in anstehendes Grundwasser und die zum Teil hochwertige Nutzung der entstehenden Räume unter Geländeneiveau hat die Abdichtungsproblematik aktualisiert. Die klassischen Hautabdichtungen aus bituminösen Materialien oder Kunststoffdichtungsbahnen – wegen der ursprünglich ausschließlichen Verwendung bituminöser Stoffe zusammengefasst unter dem Begriff "**Schwarze**

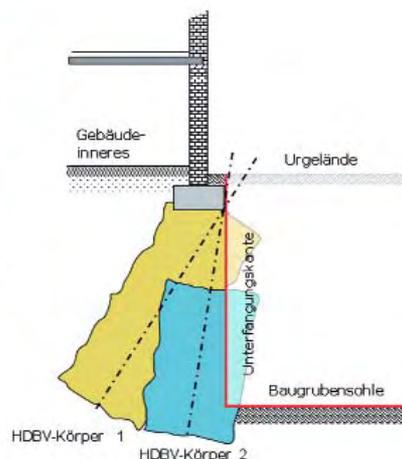


**Abb. 5.34** Grand Hotel & Palais Corso Wien, Deckelbauweise 1993; (a) Herstellung einer "Vorbau"-Decke; (b) Zu- und Abtransport durch eine Deckelöffnung; (c) Erdaushub unter einer "Vorbau"-Decke

**Wannen** – wurden vielfach ersetzt durch eine Bauweise, bei der die Hautabdichtung entfällt und der Beton sowohl tragende als auch dichtende Funktionen gemeinsam übernimmt. Da dabei lediglich die schalreine Betonoberfläche in der Abdichtungsebene sichtbar ist, werden solche Bauwerke als **"Weiße Wannen"** bezeichnet. Die Vorteile dieser Bauweise liegen in der Vereinfachung des Bauablaufs durch den Entfall von Arbeitsschritten, der weitgehenden Unabhängigkeit von der Witterung, der unmittelbaren Lokalisierung von Leckstellen und den zielsicheren Sanierungsmöglichkeiten. **Abb. 5.36** zeigt die Herstellung der Bodenplatte des Museums Moderner Kunst im Museumsquartier Wien.

Die Richtlinie "Wasserundurchlässige Bauwerke – Weiße Wannen" der ÖVBB hat sich als richtungsweisendes Regelwerk etabliert, da in diesem, parallel zu umfassen-

den technischen Vorgaben, quantifizierende Elemente in Form von Klassifizierungen enthalten sind. Aus den der Nutzung entsprechenden Anforderungen ("Anforderungsklassen") und aus dem herrschenden Wasserdruck ("Wasserdruckklasse") werden eindeutig definierte "Konstruktionsklassen" und "Fugenbandklassen" abgeleitet. Die Bauweise der "Weißen Wannen" baut auf vier Grundvoraussetzungen auf, die gemeinsam erfüllt, eine zielsichere Herstellung ermöglichen. Die Bauwerksgestaltung muss konstruktive Erfordernisse wie beispielsweise Mindestbauteildicken, Vermeidung von Höhenstößen, konsequente Fugenführungen u.dgl. erfüllen. Bei Berechnung und Bemessung ist, neben der Sicherstellung der ausreichenden Tragsicherheit unter Berücksichtigung einer erforderlichen Rissweitenbegrenzung, das entsprechende Bewehrungskonzept festzulegen.



**Abb. 5.35**  
 (a) Tiefgarage Kastner & Öhler Graz, Unterfangung eines flach fundierten Gebäudes bei gleichzeitiger Baugrubensicherung 2003;  
 (b) Prinzipskizze einer HDBV-Unterfangung mit Baugrubensicherung



**Abb. 5.36** Museumsquartier Wien; Herstellung der Bodenplatte des Museums Moderner Kunst als Teil einer "Weißen Wanne" 1998



**Abb. 5.37** Tiefgarage Kastner & Öhler Graz; Aufbringen von Bentonit-Paneeelen für eine "Braune Wanne" vor dem Betonieren 2003

Spezifische Betonkonzepte sorgen für eine geringe Entwicklung von Hydratationswärme. Bei der Baudurchführung sind qualitätssichernde Maßnahmen vor, während und nach der Betoneinbringung erforderlich, die von der Untergrundvorbereitung bis zur Betonnachbehandlung reichen. Begleitende Details – beispielsweise die Ausbildungen von Fugen oder Schalungsankern – sind von ausschlaggebender Bedeutung.

Bei sehr hochwertigen Nutzungen in tiefen Grundwasserzonen erhalten die baugrubenumfassenden Stützelemente aus Bohrpfahl- oder Schlitzwänden eine innenseitige "Vorsatzschale", um den Wasserzutritt zu verhindern. **Abb. 5.32** zeigt die Herstellung einer "Vorsatzschale" nach den Prinzipien der "Weißen Wannen" in alternierender Herstellungsfolge. Wegen des Entfalls von kurz schließenden Schalungsankern ist der Schalungsdruck mit Hilfe von Dreiecksböcken aufzunehmen und in die Bodenplatte einzuleiten.

Bei geringeren Anforderungsklassen, wie sie beispielsweise bei Außenwänden von Tiefgaragen zutreffen, kann bei ausreichend dichtem Baugrubenverbau auf die Anordnung einer Vorsatzschale verzichtet werden, was die nutzbaren Geschoßflächen vergrößert und die Baukosten verringert. Derartige Ausbildungen sind auf **Abb. 5.34** und **Abb. 5.51** dargestellt. Die einschlägigen Regelungen enthält die ÖVBB-Richtlinie "Dichte Schlitzwände".

In Ergänzung zur Bauweise der "Weißen Wannen", aber auch als eigenständige Abdichtungsmethode kommt *Bentonit* – in Paneele eingebettet – zur Anwendung. *Bentonit* ist wegen seiner großen Quellfähigkeit in der Lage, wasserführende Trennrisse abzudichten. Wegen der anfänglich braunen Farbe der Kartonpaneele hat sich für diese Art der Abdichtung der Begriff "**Braune Wanne**" eingebürgert. **Abb. 5.37** zeigt beim Bau der Tiefgarage

*Kastner & Öhler* in Graz das Aufbringen von *Bentonit*-Paneelen auf die HDBV-Wand vor dem Betonieren.

Das Hauptanwendungsgebiet wasserundurchlässiger Betonbauwerke lag anfänglich im Behälterbau. Dementsprechend werden auch heute bei Planung und Bau von Behältern aus Stahlbeton oft die Prinzipien der "Weißen Wannen" angewandt, wobei unterstützend eine, in der Regel verbundlose Vorspannung aufgebracht wird. Sind chemische Angriffe durch die Behälterfüllung zu erwarten, haben die Betontechnologie und die Konstruktionsweise darauf Rücksicht zu nehmen. Beispielsweise wurden bei der *Hauptkläranlage Wien* die Beckenwände abschnittsweise "auf Lücke" auf einer vorgespannten Bodenplatte errichtet (**Abb. 5.38**).



**Abb. 5.38** Hauptkläranlage Wien; Abschnittsweise Herstellung der Beckenwände nach den Prinzipien einer "Weißen Wanne" auf einer vorgespannten Bodenplatte 2002/05. Foto Vorspanntechnik

### 5.3.3.8 "Accessoires" des Betonbaus

Der Betonbau erfordert im Hochbau als Ergänzung zu den übergeordneten Funktionen der Betonkonstruktionen – Tragen und Raumbildung – zahlreiche Detaillösungen für den lokalen Anschluss bei Krafteintragungen und die Überbrückung und Abdichtung von Fugen. Mussten früher immer wieder Einzellösungen entwickelt werden, hat die einschlägig tätige Industrie in den letzten Jahrzehnten zahlreiche Lösungen gefunden, mit denen fast allen Erfordernissen mit Standardprodukten entsprochen werden kann.

Für die örtliche Einleitung von Kräften stehen grundsätzlich zwei Montagearten zur Verfügung. Die erforderlichen Teile müssen entweder vor dem Betonieren in die Schalung eingelegt oder nachträglich angebracht werden. Beispielhaft angeführt seien das Heben, An- oder Verbinden von Fertigteilen, die unmittelbare Einleitung von Kräften in Ortbetonkonstruktionen – mit oder ohne thermische oder akustische Trennung – und die Durchstanzbewehrung bei Flachdecken. Im Gegensatz zu früheren Lösungen wird heute in ganz besonderem Maße auf den Korrosionsschutz und das Brandverhalten bei

Verbindungselementen geachtet, die im Bauwerk dauerhafte Funktionen zu erfüllen haben. (Abb. 5.39).

Über die Standardelemente hinausgehend können vor allem im Industriebau Sonderkonstruktionen zur Aufnahme besonders hoher Lasten und/oder zur Erfüllung besonders hoher Anforderungen an die Lagegenauigkeit erforderlich sein. Abb. 5.40 zeigt einen "maßgeschneiderten" hoch belasteten Stahleinbauteil in einem Dampfturbinenfundament.

Der heute großen Bedeutung und daher weiten Verbreitung der Stahleinbauteile im Betonbau hat die ÖVBB mit der Richtlinie "Konstruktive Stahleinbauteile in Beton und Stahlbeton" sowohl für die Einlege- als auch für die Bohr- und Montage Rechnung getragen.

Fugen stellen in Ortbetonkonstruktionen immer konstruktiv unangenehme Diskontinuitäten dar. Wenn sie als Dehn-, Arbeits- oder Schwindfugen auch unvermeidbar sein können, versucht man ihre Anzahl bzw. Länge zu minimieren und ihre Ausbildung so ausführungsfreundlich wie möglich zu gestalten. Heute wird eine Vielzahl von Lösungen angeboten – für offene Fugen, kraftschlüssige Fugen und Fugen in Verbindung mit Isolierungen gegen



Abb. 5.39  
Vielfältige "Accessoires"  
des Betonbaus

drückendes Wasser. Letztere finden auch Anwendung, wenn nicht das Eindringen von Wasser sondern das Austreten von Flüssigkeiten aus Behältern und Becken verhindert werden soll. In der ÖVBB-Richtlinie "Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weiße Wanne" sind Fugenbandklassen in Abhängigkeit von der Beanspruchung spezifiziert. Für den Fall lecker Fugen sind zu deren Abdichtung Systeme auf unterschiedlichster Basis entwickelt worden.



Abb. 5.40 Maßgeschneiderter Stahleinbauteil in einem Dampfturbinenfundament. Foto Uzunoglu

Im Gegensatz zum Ortbetonbau sind Fugen im Fertigteilbau immanenter Teil des Gesamtkonzepts und daher in den Planungs- und Ausführungsphasen stets "mitzudenken".

Abb. 5.41 zeigt die Kreuzung von Fertigteilträgern auf einer Fertigteilstütze.



Abb. 5.41 ADEG-Markt Spittal/Drau, Kreuzung von Fertigteilträgern auf einer Fertigteilstütze 2004

### 5.3.3.9 Umgang mit bestehender Bausubstanz

Umbauten und Verstärkungen, neue Nutzungen bei kurzen Nutzungszyklen und Revitalisierungen alter Bauwerke – aber auch aufgetretene Schäden – fordern in zunehmendem Umfang die Beschäftigung mit bestehender Bausubstanz und mit der dieser zu Grunde liegenden Tragstruktur. Voraussetzung für den erfolgreichen Umgang mit Bestandsbauten ist das Wissen um Bauweisen in der mehr oder weniger weit zurückliegenden Vergangenheit und um die früher verwendeten Baustoffe. Projektspezifische Recherchen und örtliche Untersuchungen sind in jedem Einzelfall erforderlich. Die Suche nach und das Studium von Bestandsplänen, die systematische Erkundung und Dokumentation von Bauweise, Umbauten in der Vergangenheit, Festigkeiten der verwendeten Baustoffe, Erhaltungszustand und ggf. Schädigungsgrad sind oft aufwändige Vorarbeiten vor der Projektarbeit. Zur Erkundung der Baustoffe und der Art der Ausführung stehen heute sehr effektive Methoden zur Verfügung, die mit Eingriffen in das Bauwerk verbunden sind oder – was bei ausreichender Aussagekraft vorzuziehen ist – zerstörungsfrei arbeiten.

In jedem Fall ist die Verträglichkeit der neu ergriffenen Maßnahmen mit der alten Struktur sicher zu stellen – in statischer, bauphysikalischer, funktionaler und ästhetischer Hinsicht. An technischen Ausführungsmöglichkeiten steht heute eine große Vielfalt zur Verfügung. Betonsorten und Mörtel auf Zement- oder Kunststoffbasis mit unterschiedlichster Konsistenz und Applizierungsmethode, Kleber, Kohlefaser- oder Stahlelemente, hocheffiziente Bohr-, Schneide- und Abtragmethoden usw. Aus all diesen kann projektbezogen die optimale Kombination und Vorgangsweise gewählt werden.

In zwei Richtlinien hat sich die ÖVBB dieser Aufgabenstellungen angenommen. In "Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton" und "Nachträgliche Verstärkung von Betonbauwerken" ist der jeweils aktuelle Stand der Technik dokumentiert, systematisiert und in Regeln gegossen.

### 5.3.4 Baustofftechnologie

Unter den drei Hauptkomponenten von Betonkonstruktionen – Beton, Schweißstahl, Spannstahl – hat im Betrachtungszeitraum dieses Beitrags der **Beton** die vielfältigste Entwicklung erfahren. Die intensive Beschäftigung mit ihm ist erforderlich, da Beton – wie wir ihn im Hochbau einsetzen – nicht als fertiges Bauelement zur Verfügung steht sondern erst als "Frischbeton" beim Einbringen in die Schalung auf der Baustelle oder im Fertigteilwerk seine Form erhält und nachfolgend die ihm abverlangten

Eigenschaften als "Festbeton" gewinnt. Er wird in jedem Fall qualitativ und zeitlich für das jeweilige Bauvorhaben maßgeschneidert hergestellt. Das Betonieren gehört zu den wenigen nicht reversiblen Vorgängen auf einer Baustelle. Man kann vor der Betoneinbringung fehlerhafte Schalungen umbauen oder eine falsch eingebaute Bewehrung neu verlegen. Ist der Beton in die Schalung eingebracht, ist der Bauteil – auch in der umgangssprachlichen Bedeutung – "betoniert". Der Prozess der Betonherstellung und Verarbeitung ist komplex und erfordert die Gewissenhaftigkeit vieler Beteiligten. Der ÖVBB leistet durch die Herausgabe von einschlägigen Richtlinien und die Einrichtung der "Betonakademie" wertvolle Hilfe bei Aus- und Weiterbildung der Bauausführenden.

Der Beton hat sich vom 3-Komponenten- zum 5-Komponenten-Baustoff (Wasser, Zement, Zuschlagstoffe, **Zusatzstoffe, Zusatzmittel**) entwickelt und damit eine hohe Anpassbarkeit der Frisch- und Festbetoneigenschaften an verschiedenste Anforderungen (z.B. Fertigteilherstellung, Bauen mit Gleitschalungen, Weiße Wannen) gewonnen. Die qualitätsgesicherte Betonherstellung in zentralen Transportbetonwerken hat bei Hochbauten den baustellengemischten Beton fast zur Gänze ersetzt. Die Erweiterung der Palette der zur Verfügung stehenden Betonsorten durch den Hochleistungsbeton und den selbst verdichtenden Beton bietet für den Hochbau wichtige Aspekte.

**Schlaff- und Spannstähle** sind als industriell hergestellte "Fertigprodukte" anzusehen, die vorgegeben sind nach Festigkeit und Ausbildung. Die Festigkeiten wurden in den vergangenen Jahrzehnten nennenswert erhöht – beim Schlaffstahl verbunden mit besonderem Augenmerk auf die Verbundwirkung, beim Spannstahl in Hinblick auf eine Reduktion der Schwind- und Kriechverluste in den Spanngliedern. **Fasern** kommen heute auf manchen Anwendungsgebieten als "Bewehrung" und zur Verbesserung der Eigenschaften von Betonbauteilen zur Anwendung. Die am häufigsten verwendeten Faserarten sind Stahlfasern, Kunststofffasern (**Abb. 5.42**) aber auch Glasfasern mit unterschiedlichen Zielsetzungen. Die Fasern werden eingesetzt zur Erhöhung der Tragfähigkeit von Beton-



**Abb. 5.42** "Bewehrung von Faserbeton", (a) Stahlfasern; (b) Kunststofffasern

bauteilen, zur Reduzierung der Rissanfälligkeit und zur Verbesserung des Bauteilverhaltens im Brandfall. Es können mehrere Faserarten gleichzeitig als "Fasercocktail" beigegeben werden.

### 5.3.5 Planung

Die **Berechnungsmethoden** und **Darstellungstechniken** haben sich in den letzten Jahrzehnten grundlegend verändert. Rechenschieber und händische Zeichnungen sind durch die IT-Produkte für Berechnung und Plan-darstellung auf Basis hoch leistungsfähiger Hard- und Software ersetzt worden. Früher war es die Aufgabe des Statikers, komplizierte Strukturen den begrenzten Berechnungsmöglichkeiten entsprechend zu zerteilen, aber dabei mit seinen Modellen das Tragverhalten im Ganzen nicht aus den Augen zu verlieren. Die intensive, oft zeit-aufwändige Beschäftigung mit den Tragstrukturen führte zur Entwicklung von umfassendem Verständnis der Zusammenhänge des Tragverhaltens. War ein Planungsbüro in der Lage, Spannbetonkonstruktionen und Flächentragwerke zu entwerfen und Aufgabenstellungen der Baudynamik zu beherrschen, wurde es dem "Adelsstand" der Branche zugezählt. Hier soll mit der vorgespannten Platte des in der Folge beschriebenen Wiener "Chemiehochhauses" exemplarisch auf die Zeit vor dem Computer hingewiesen werden. Zur Absicherung der Ergebnisse der stark vereinfachenden Berechnungsmodelle sind modellstatische Methoden im Labor für die Festlegung der Vorspannung zur Anwendung gekommen (**Abschnitt 5.4, Abb. 5.45**).

Heute stehen für alle Aufgaben der Statik und Baudynamik benutzerfreundliche Programme zur Verfügung. Den Berechnungen werden meist räumliche Gesamtstrukturen zu Grunde gelegt, die mit Finiten Elementen oder den Methoden der Stabstatik als "wirklichkeitsnahe" Modelle in ihrer Gesamtheit erfasst und einschließlich der Interaktion Bauwerk – Boden berechnet und bemessen werden können. Hoch belastete, komplexe oder in der Formgebung ungewöhnliche Tragwerke des heutigen Hochbaus haben bei der Berechnung für den Statiker an Schrecken verloren. Die weite Verbreitung beispielsweise der Flachdecke wurde sicherlich durch die heute einfache Berechenbarkeit auch sehr unregelmäßiger Grundrissausbildungen gefördert. Sind die Berechnungen auch einfach, fordern sie den Statiker bei Überprüfung und Interpretation der Berechnungsergebnisse bzw. deren Plausibilität. Die Berechnungssoftware bietet zudem ergänzende Module an von der Erfassung nicht linearen Baustoff- und Tragwerksverhaltens bis zur Erdbebenanalyse nach dem Zeitschrittverfahren. Ein umfassendes europäisches Normenwerk, das einerseits die Be-

lastungsseite und andererseits die Bauteilwiderstände festlegt, bildet dazu den Rahmen.

Bei der Planerstellung haben Bleistift und Tusche heute ausgedient. Die aus der damaligen Zeit stammende ÖVBB-Richtlinie "Bewehrungszeichnungen" kann allerdings auch heute noch wertvolle Dienste leisten, da sie allgemein gültige Darstellungsweisen beschreibt. Die Plan-darstellungen erfolgen heute ausschließlich mit Hilfe von CAD-Systemen mit den – derzeit oft noch nicht voll genutzten – Möglichkeiten hoher Datendurchgängigkeit zwischen den einzelnen Planungsbereichen (Architektur, Polierplanung, Schalungs- und Bewehrungspläne, Haustechnik, Elektrotechnik, Anlagenplanung usw.). Die Entlastung des Technikers bei der Planerstellung gegenüber den früheren Planungsmethoden durch EDV-Unterstützung ist sicherlich geringer als beim Statiker.

Beim Planversand – also bei Weitergabe und Austausch der baurelevanten Informationen zwischen Planern, Auftraggebern und Ausführenden – hat die Informationstechnologie die Welt nicht nur zum Dorf sondern zu einem einzigen Projektraum schrumpfen lassen. Der Datenaustausch mit dem Bauherrn in Tokio, dem Anlagenbauer in Finnland, dem Innenarchitekten in London, dem Sublieferanten in Shanghai oder der Baustelle in Dubaj läuft in gleichen Zeitdimensionen ab wie zum Nachbararbeitsplatz. Bei den hohen Planungs- und Planänderungsgeschwindigkeiten und der Vielzahl von Beteiligten darf vermutet werden, dass mit den früher im Kouvert mit Briefmarke physisch und gemächlich versandten Planpausen eine größere Planungsqualität transportiert worden sein könnte als heute digital mit Lichtgeschwindigkeit.

Eine Überführung der digital vorliegenden Informationsinhalte von Plänen in die Bauwerkerrichtung ist auf der Baustelle nicht – vielleicht auch noch nicht – möglich. Wo ortsfeste industrielle Fertigungen von Teilbereichen stattfinden, sind elektronische Informationsübergaben bereits realisiert. Sie haben bei der Produktion von Wand- und Deckenfertigteilen den höchsten Umsetzungsgrad erreicht (*Abschnitt 5.3.3.2, Abb. 5.17*).

War im Betonbau anfänglich die Planung der Ingenieurbüros und Baufirmen auf den statisch-konstruktiven Bereich beschränkt, wurden von vielen Büros im Laufe der Zeit zusätzliche Aufgaben übernommen bis hin zur **Generalplanung** gesamter Hochbauvorhaben. Die Planung der Planung, sowie deren inhaltliche und terminliche Steuerung sind zu hochaktuellen Aufgabenbereichen bei komplexen Hochbauten geworden. "Virtuelle Projekt-räume" bilden die Kommunikationsplattform der Einzelplaner mit allen Aktualisierungsmöglichkeiten und -verpflichtungen. Weitere Aufgabenerweiterungen für die Ingenieurbüros erfolgten u. a. durch die Mitwirkung bei der Bauvergabe, Projektsteuerung und örtlicher Bauaufsicht.

### 5.3.6 Baudurchführung

Im Betrachtungszeitraum dieses Beitrags hat sich die Baudurchführung in zweifacher Hinsicht grundlegend verändert. Anfangs waren die Bauunternehmen ausschließlich mit der **Errichtung des Rohbaus** betraut und erbrachten den Großteil der erforderlichen Leistungen mit eigenem Personal und Gerät selbst – von den Erdarbeiten über den Rüstungs- und Schalungsbau, das Schneiden, Biegen und Verlegen der Bewehrung bis zur Herstellung und zum Einbau des Betons. In der Folge begann die Auslagerung einzelner Aufgabenbereiche an Spezialfirmen, die als Tochterfirmen oder unabhängige Drittfirmen organisiert waren und die heute fast das gesamte Spektrum der abzuwickelnden Arbeiten abdecken. Nicht die Leistungserbringung selbst ist heute die Hauptaufgabe der Baufirmen sondern die Beauftragung, Koordination und Überwachung vieler Teilleistungsträger für die Errichtung des Rohbaus.

Die ursprüngliche Vorgangsweise – Errichtung des Rohbaus durch eine Baufirma, Ausbau und Komplettierung durch getrennt beauftragte Gewerbebetriebe – erforderte eine umfangreiche Koordination auf Seite des Bauherrn. Zur Reduktion dieser Aufgabe, die im Hochbau in vielen Fällen nicht der eigentlichen Kompetenz des Bauherrn entsprach, setzten Entwicklungen ein, bei denen Koordinationsaufgaben der Auftragnehmerseite übertragen wurden. Baufirmen übernahmen – als **Generalunternehmer** – die Errichtung von Bauwerken mit allen Gewerken bis zur schlüsselfertigen Herstellung und Übergabe. Beispielsweise waren bei dem in der Folge beschriebenen Revitalisierungsbauvorhaben *Grand Hotel & Palais Corso* am Wiener Ring auf Seite der Planer und Konsulenten 32 Büros beteiligt, auf Seite der Bauausführung 121 Unternehmungen, von denen manche weitere Firmen im Sub-Verhältnis eingebunden hatten. **Abb. 5.43** zeigt beispielhaft das "Endprodukt" einer Leistungserbringung von Baufirmen im Rahmen einer Generalunternehmer-Abwicklung. Noch weiter führende Modelle binden den Planungsprozess oder sogar die Entwicklung des Bauvorhabens und den Gebäude- oder Anlagenbetrieb in ein Vertragswerk ein.

Durch die steigenden Ansprüche und die damit einhergehenden Entwicklungen auf den Gebieten des Gebäudeausbaus, der Gebäudetechnik, der Fassadenkonstruktionen und der Bauwerksnutzung ist der kostenmäßige Anteil des Rohbaus bei üblichen Hochbauten rückläufig. Die Bedeutung der Tragkonstruktion für das Bauwerk erfährt dadurch allerdings keineswegs eine Minderung. Das statische Konzept und die Bauweise sind – neben der Tragsicherheit – nach wie vor die mit entscheidenden Kriterien für die Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit und Variabilität eines Bauwerks.



**Abb. 5.43** "Endprodukt" einer GU- Abwicklung durch eine Baufirma; Lobby Grand Hotel & Palais Corso Wien 1993

Im Industriebau sowie bei Sonderkonstruktionen hat der Anteil des Betonbaus an den Gesamterrichtungskosten eine überaus große Bandbreite. Beispielsweise kann bei Kraftwerken die 10 % Grenze unterschritten werden und im reinen Behälterbau eine Annäherung an die 90 % Marke erfolgen.

Die Vorgangsweise, vor der Ausschreibung von Bauleistungen detaillierte Leistungsverzeichnisse zu verfassen und diese, mit Mengen belegt, als Anbotsgrundlagen zur Verfügung zu stellen, wurde im Hochbau zum Teil durch Funktionalausschreibungen ersetzt. Lediglich Beschreibungen, Pläne, Skizzen und ggf. Gutachten werden dabei den Anbietenden übergeben. Diese müssen für die Preisbildung die aus ihrer Sicht erforderlichen Leistungen selbst definieren und bewerten. Kongruente Sichtweisen von Ausschreibenden und Anbietenden sind dabei der Idealfall. Beim nachfolgend beschriebenen Museumsquartier Wien beispielsweise bestand die Ausschreibung aus 29 Ordnern voll Beschreibungen und Vertragsklauseln und mehr als 1000 Plänen und Skizzen.

Fällt heute im Hochbau eine Investitionsentscheidung, soll sofort mit dem Bau begonnen werden. Die alte Kultur, zuerst zu planen und danach zu bauen ist – auch in anglikanischen Bereichen – selten geworden. Planen und Bauen finden gleichzeitig statt, mit allen Erschwernissen des baubegleitenden Planens oder auch des planungsbegleiteten Bauens. Planvorlauf, Termindruck, Herstellungstakte, Ausschallfristen, der Widerspruch zwischen Termindruck und Erfordernissen der Technologie des Betonbaus, Nachfolgegewerke usw. werden zu zentralen Themen. Rohbau und Ausbau überschneiden sich in der Planungs- und Ausführungsabfolge, viele Firmen sind beteiligt und zu koordinieren. Projektsteuerung, baubegleitende Kontrolle, örtliche Bauaufsicht usw. sind zu

neuen Berufsfeldern geworden, das Treffen von Entscheidungen und die Zuordnung von Verantwortung können Gefahr laufen, ihre Übereinstimmung zu verlieren.

Die Fähigkeit, sich in der überaus komplex gewordenen Bauwelt mit Projektentwicklung, Planung, Vertragsgestaltung, Finanzierung und Umsetzung erfolgreich zu bewegen, hat österreichische Baufirmen und auch Ingenieurbüros in die Lage versetzt, international mit hoher Kompetenz tätig zu sein und damit österreichisches Bau-"Know-how" unter Einbindung örtlicher Partner in großem Umfang zu exportieren.

### 5.3.7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Erfüllung der hohen Ansprüche, die heute an ein Bauwerk gestellt werden, bedingen – in Anlehnung und Erweiterung der in der ÖVBB-Richtlinie "Weiße Wannen" aufgestellten Forderungen – die Beachtung von vier Grundvoraussetzungen. Der **Konstruktionsentwurf**, die **Berechnung** und **Detailplanung**, die **Baustofftechnologie** und die **Bauausführung** müssen einzeln und auf einander abgestimmt dem gegenwärtigen Wissensstand entsprechen. Die Fortschritte, die den Betonbau vom Standard der Nachkriegszeit auf das heutige Niveau gebracht haben, basieren auf der Summe der in den vorangegangenen Abschnitten geschilderten, aber auch von darüber hinaus gehenden Entwicklungen. Gemeinsam haben sie die Gestaltung und die Errichtung der Betontragwerke des modernen Hochbaus ermöglicht und geprägt. Träger der Entwicklungen waren Bauingenieure und Maschinenbauer, zu denen sich Vertreter der Chemie und der Informationstechnologie gesellt haben.

## 5.4 Bemerkenswerte und charakteristische Bauten seit 1950

### Wiener Verkehrsbetriebe, Großgarage Engerthstraße 1950

Das Wiederaufleben des öffentlichen Verkehrs in Wien nach dem zweiten Weltkrieg erforderte für zahlreiche Fahrzeuge Garagen- und Werkstattplätze. In der Engerthstraße wurde eine Großgarage mit angeschlossenem Werkstattbereich mit einer Gesamtfläche von knapp 10.000 m<sup>2</sup> errichtet. Sowohl die Abstellhalle als auch die Revisionshalle haben rahmen- und schalenförmige Tragstrukturen. Der größere Teil der Anlage, die Abstellhalle, ist zweischiffig mit je 38 m Spannweite ausgebildet, der Revisionsstrakt wird von Tonnengewölben 16 m weit überspannt. Die Bau- und Konstruktionsweise ist kennzeich-

nend für die damalige Zeit: reine Ortbetonbauweise, handwerkliche Fertigung, geringer Maschineneinsatz, hoher Arbeitsaufwand, Material sparende Stahlbeton-Konstruktionen. Die Berechnung erfolgte nach den klassischen Methoden der Statik mit Hilfe des Rechenschiebers noch vor Erfindung von Taschenrechner und Computer. Die Bewehrung wurde bei den Flächentragwerken entlang der ermittelten Zugtrajektorien geführt (**Abb. 5.44**).

### Chemiehochhaus Wien 1966

Im Jahre 1966 wurde die Erneuerung des Institutstraktes der Fakultät für Technische Chemie an der TU Wien in Angriff genommen. Der erste Bauabschnitt umfasste 60.500 m<sup>3</sup> umbauten Raum einschließlich eines elfstöckigen Hochhaustrakts, bei dem in mehreren Bereichen Spannbetonkonstruktionen eingesetzt wurden.



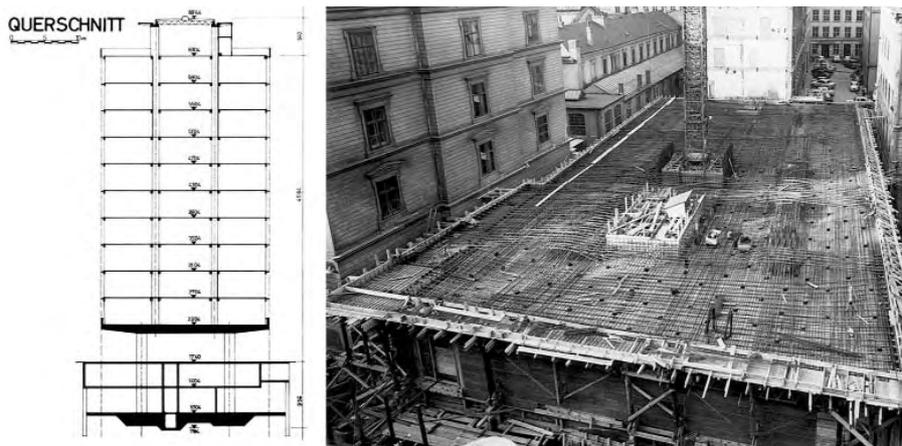
**Abb. 5.44** Wiener Verkehrsbetriebe, Engerthgasse 1950, (a) Baustellentransport, (b) Schalung des Tonnengewölbes, (c) Bewehrung, (d) Betonieren ohne Konterschaltung, (e) Glätten des Betons, (f) Innenansicht. Foto Simonis

Der Hochhaustrakt wird von lediglich 5 Stützenpaaren in der Art getragen, dass das Erdgeschoß frei zugänglich bleibt. Der Stützenraster beträgt 11,0 m x 12,8 m. Auf den Stützen liegt über dem Erdgeschoß eine 1,3 m dicke Spannbetonplatte aus Beton B 500, die sämtliche Lasten der Oberschoße aufzunehmen hat und 6,1 m weit über die Stützen auskragt. Sie ist sehr hohen Biege-, Querkraft- und Durchstanzbeanspruchungen ausgesetzt, da nicht nur die Fassadenstützen sondern auch die Innenstützen der Oberschoße gegenüber den Erdgeschoßstützen versetzt sind. Die Erfassung der Beträge und Verteilung der Schnittgrößen gestaltete sich vor der Entwicklung der heutigen elektronischen Statik-Werkzeuge äußerst schwierig. Zur Festlegung des Verlaufs der Spannbewehrung und zur weiter führenden Bemessung erfolgte damals – wie bereits in *Abschnitt 5.3.5* erwähnt – parallel zum rechnerischen Zugang eine Ermittlung der Schnittgrößen mit Hilfe spannungstechnischer Untersuchungen an Kunststoffmodellen im Maßstab 1 : 100 (**Abb. 5.45**).

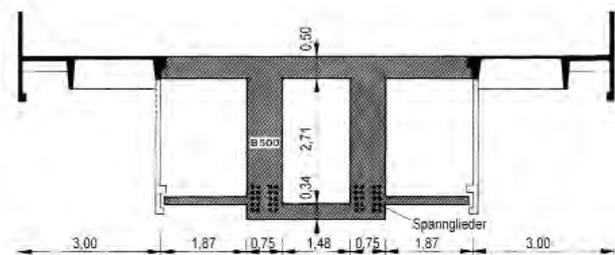
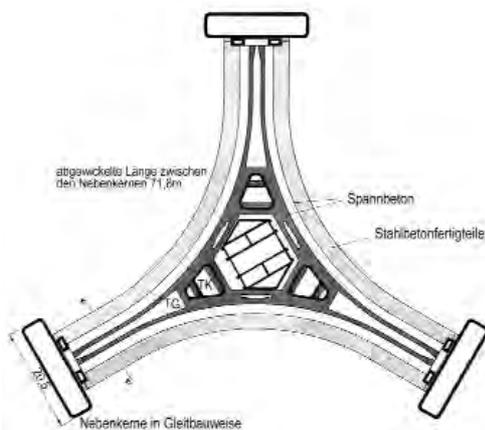
Weitere Spannbetondecken wurden als Trägerkonstruktion über dem großen Hörsaal und über der Bibliothek errichtet, das eine Mal mit parallel verlaufenden, das andere Mal mit diagonal gekreuzten 22 m weit gespannten Balken. Die Obergeschoße sind als Stahlbetonskelette ausgebildet. Deren Riegel werden von Massivdecken unter Verwendung vorgefertigter Unterzüge gebildet.

### UNO-City Wien, 1972

Die auch als Internationales Amtssitz- und Konferenzzentrum Wien bezeichnete Anlage besteht aus Konferenzgebäuden und sternförmigen Bürotürmen für internationale Organisationen. Die Türme weisen ein bemerkenswertes Tragsystem auf, das aus wenigen Megastützen besteht, die nur in einigen Horizonten durch vorgespannte Traggeschosse verbunden sind. Auf diesen ruhen bis zu 13 Bürogeschoße (**Abb.5.46**).



**Abb. 5.45**  
Chemiehochhaus Wien 1966,  
(a) Gebäudequerschnitt;  
(b) Herstellung der vorgespannten  
Decke über Erdgeschoß.  
Foto Gerlach



**Abb. 5.46** UNO-City Wien 1972;  
(a) Grundriss eines sternförmigen Büroturms;  
(b) Querschnitt eines Traggeschoßes

Die Traggesschoße sind mit den Stiegentürmen in waagrechtlicher Richtung quer zur Traggesschoßachse unverschieblich verbunden. In Richtung der Traggesschoßachse bestehen zug- und druckfeste Verbindungen, nur in der Dachebene und bei den hohen Türmen in einer zweiten Ebene. Diese Verbindungen sind entsprechend dem Schwind- und Kriechverhalten des tragenden Systems nachstellbar. Wegen der unterschiedlichen Belastungen der Gründungskörper (Gründung auf Schlitzwänden bis 23 m Tiefe) sind ungleiche Setzungen zwischen den Fundamenten der Rahmenstiele und dem gemeinsamen Fundament der Tragkerne nicht auszuschließen. Die Rahmenstiele werden daher so mit dem Fundament verbunden, dass ein späteres Absenken und Heben dieser Stiele während der Benützung des Gebäudes möglich ist. Die Baudurchführung gliedert sich in mehrere charakteristische Schritte.

1. Herstellung der Stiegentürme, Rahmenstiele, Tragkerne und des Zentralkerns in Gleitbauweise

2. Mit etwas verschobenem Betonierbeginn Herstellung der Traggesschoße auf der Fundamentplatte
3. Vorspannung der Traggesschoße nur so weit, dass sie das folgende Anheben ertragen
4. Anheben der Traggesschoße; nach dem Ankoppeln der Spannglieder, Ausbetonieren der Zwischenräume zwischen Traggesschoßen und Stützen, sodann Spannen so vieler angekoppelter Spannglieder, wie in diesem Belastungszustand möglich ist. Damit ist überall eine biegesteife Verbindung zwischen den Traggesschoßen und den Stützen geschaffen
5. Herstellung des Skeletts der Bürogesschoße in Ortbeton und Aufbringen einer weiteren Vorspannung in den Traggesschoßen entsprechend der zunehmenden Auflast
6. Versetzen der Deckenfertigteile, die durch Spannglieder mit dem Ortbetonskelett verbunden werden.

**Abb. 5.47** zeigt einige charakteristische Bauphasen bei der Errichtung der *UNO-City Wien*.



**Abb. 5.47** UNO-City Wien, 1972, linke Spalte:  
 (a) Hochheben eines Traggesschoßes, im Hintergrund Herstellung des Skeletts für Bürogesschoße,  
 (b) Übersicht mit unterschiedlichen Herstellungsphasen; rechte Spalte:  
 (c) Hochgleiten eines Traggesschoßes am Zentralkern. Fotos Gerlach

### 5.4.4 Tech Gate Vienna – Hängehauskonstruktion, 2001

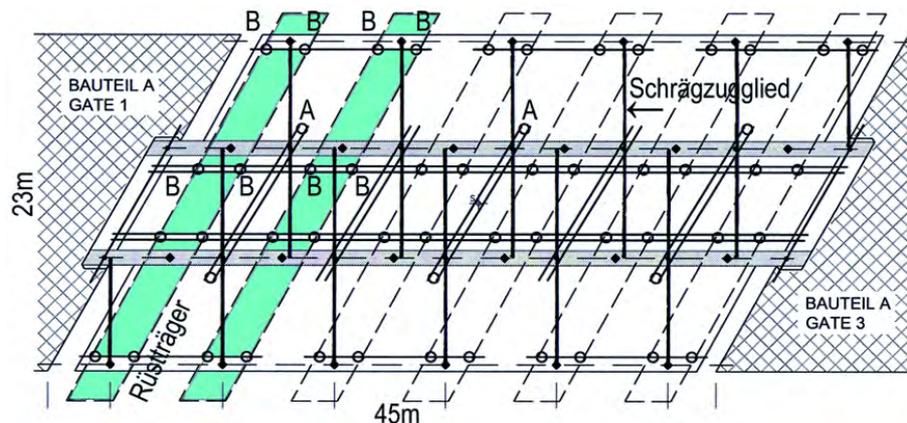
Das ganz in der Nähe der *UNO-City* gelegene Technologiezentrum stellt hinsichtlich des Tragwerksentwurfs das Gegenstück zu den *UNO-City* Bürotürmen dar, bei denen mehrere Geschosse auf brückenartigen Traggeschoßen aufgeständert sind. Beim Gebäude Tech Gate Vienna hängen mehrere Geschosse an einem oben angeordneten Brückentragwerk.

Das Bauwerk ist auf der "Platte" in Wien so situiert, dass der Mittelteil in Form eines "Brückengebäudes" die Donaucitystraße und einen Kollektor überspannt und gemeinsam mit den beiden benachbarten Gate-Teilen das Eingangstor in die Donaucity bildet. Da die Donaucitystraße den Bebauungsraster unter ungefähr 60° schneidet, ist das Brückengebäude mit einer Breite von 23 m

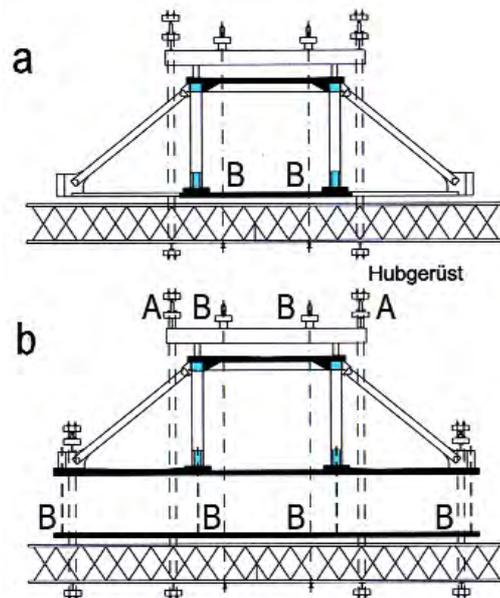
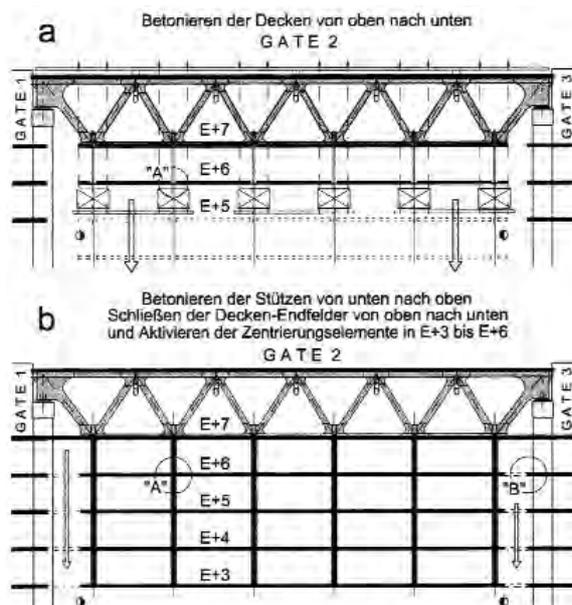
und einer lichten Weite von ungefähr 46 m durch eine – die Konstruktion besonders erschwerende – schiefe Lagerung gekennzeichnet (**Abb. 5.48**).

Die Tragfunktion übernimmt ein über dem Hängehaus in der Objektachse verlaufender Kastenträger, der sich zum Teil außerhalb der Gebäudehülle befindet und an dem 4 Geschosse bei einer Gesamtfläche von ungefähr 5.000 m<sup>2</sup> aufgehängt sind (**Abb. 5.49**).

Abgehängte Konstruktionen stellen im Hochbau – mehr noch als im Brückenbau – eine besondere Herausforderung dar, da sehr hohe Lasten zu beherrschen sind und gleichzeitig Lastwechsel und Temperatureinflüsse auf außen liegende und gedämmte innen angeordnete Tragwerksteile Verformungen hervorrufen, die mit den Erfordernissen des Ausbaus, der Fassade und der Gebäudenutzung im Einklang stehen müssen.



**Abb. 5.48** Tech Gate Vienna 2001; "Brückentragwerk" im Grundriss. Zeichnung A.P.



**Abb. 5.49** Tech Gate Vienna; Herstellvorgang der Hängegeschoße; (a) Längsschnitt; (b) Querschnitt. Zeichnung A.P.

Das oben liegende Tragelement des *Tech Gate Vienna* ist mit einer Breite von 7,5 m und einer Höhe von 6,5 m in Verbundbauweise hergestellt, gebildet von zwei stählernen Fachwerkträgern und als Gurte wirkende Stahlbetondecken (Haustechnikgeschoß). Die untere Stahlbetondecke erhält zur Rissweitenreduktion eine Vorspannung mit Monolitzen. Die am Boden vormontierten je 1250 kN schweren Stahlträger wurden von einem 4 MN-Gittermastkran präzise in 40 m Höhe versetzt.

Die "hängenden Bürogeschoße" wurden von oben nach unten errichtet und sind mit gestaffelten Stahlzuggliedern am Verbundtragwerk abgehängt. Bei der Montage der Rohdecken musste der Abstand zwischen den einzelnen Stockwerken so variiert werden, dass sich die Etagen nach dem Aufbringen aller weiteren Lasten auf einen einheitlichen Abstand "einpendeln". So war die Höhe der oberen Geschoße zunächst geringer als die der unteren. Erst gegen Ende der Arbeiten zog das Eigengewicht der unteren Geschoße die oberen Etagen weiter nach unten, sodass nach Abschluss der wesentlichen Bauarbeiten alle Büros exakt über die geplante Raumhöhe verfügen. Nach dem Abbau der Gerüstung wurden die Hängesäulen von unten nach oben ausbetoniert und somit zu Verbundelementen, die als solche die Ausbau- und Nutzlasten zu tragen haben. Die Geschoßdecken sind als Flachdecken ausgebildet, die mit Hilfe von Durchstanzsicherungen ihre Lasten an die Hängesäulen abgeben.

**Abb. 5.50** zeigt das fertig gestellte *Tech Gate Vienna* mit der über das Hängehaus und die benachbarten konventionellen Gebäudeteile kontinuierlich durchlaufenden, durch elastische Schubkonstruktionen zentrierten Fassade.

## Milleniumstower Wien, 1999

Der *Milleniumstower Wien* war mit 50 Geschoßen und einer Gesamthöhe von 202 m zur Zeit seiner Errichtung das höchste Gebäude Österreichs und das vierthöchste Gebäude Europas. Er legte an der Schwelle in das neue Jahrtausend den Grundstein für eine neue Skyline Wiens. Der Tower ist eingebunden in eine großflächige Gesamtanlage mit Tiefgarage und Wohnbauten. Unmittelbar an der Donau gelegen taucht das Bauwerk 3 Geschoße in das Grundwasser ein. Sowohl die über 16.000 m<sup>2</sup> große Bodenplatte als auch die einlagig verankerte Schlitzwand wurden nach den Prinzipien der "Weißen Wannen" ohne Isolierung konzipiert und ausgeführt. Die Schlitzwand erhielt keine Vorsatzschale und übernimmt somit selbst die gesamte seitliche Abdichtung im Sinne der ÖVBB-Richtlinie "Dichte Schlitzwände".

Die Herstellung der Bodenplatte erfolgte nach einem ausgeklügelten System von Dehn-, Arbeits- und Schwindfugen. Im Bereich der hohen Lasten des Towers wird die generelle Plattengründung durch die Anordnung von Pfählen in eine kombinierte Pfahl-Plattengründung übergeführt, bei der höher und tiefer liegende Bodenschichten gemeinsam zur Lastabtragung aktiviert werden. Die Towerfundamentplatte mit einer Dicke von 2,20 m und einem Bewehrungsgehalt von 185 kg/m<sup>3</sup> wurde in einem Guss betoniert. Dabei mussten in 15 Stunden Betonierzeit 3.500 m<sup>3</sup> Beton mit 3 Betonpumpen eingebaut werden. Die Platte wurde als ein Betonsandwich aus einem 8 Stunden verzögerten unteren B 400-Paket, einem 6 Stunden verzögerten mittleren B 300-Paket und einem oberen B 400-Paket in 40 cm Verdichtungslagen hergestellt.



**Abb. 5.50**  
Tech Gate Vienna;  
Ansicht im fertigen Zustand.  
Foto Koschar

Da hohe schlanke Gebäude sehr empfindlich auf Setzungsdifferenzen der Gründungselemente reagieren, wurde eine Bauweise angewandt, die durch Vorwegnahme der Erstbelastungsverformungen der Pfähle deren Setzungen – und damit auch der Setzungsdifferenzen – beim Aufbringen der Bauwerkslasten drastisch reduziert. Damit konnte auf die ursprünglich vorgesehene Justier- vorrichtung zur Höhenregulierung verzichtet werden.

**Abb. 5.51** zeigt die Pfähle der Pfahl-Plattengründung mit den Schläuchen zur Aktivierung der Kapselpressen für die Vorwegnahme der Erstbelastungsverformungen.



**Abb. 5.51** Millenniumstower Wien 1999; Hochhausfundierung. Foto Kollitsch & Stanek

**Abb. 5.52** zeigt den *Milleniumstower* in einer charakteristischen Bauphase mit gleichzeitiger Herstellung von Rohbau, Ausbau und Fassade.

Die aufgehende Tragstruktur des Towers besteht aus einem zentralen Betonkern und um diesen angeordnete Stützen-Deckensysteme unter Verwendung der Verbundbauweise. Die Stützen werden aus Außenrohren  $\varnothing 406$  mm und zentrisch liegenden Vollstahlkernen gebildet, deren Zwischenraum auf der Baustelle mit selbst verdichtendem Beton (SCC) der Festigkeitsklasse B 600 verfüllt wurde (**Abb. 5.53**). Mit Schusslängen bis zu 16 m konnten die Verbundstützen über mehrere Geschoße in einem Stück versetzt werden, wodurch hohe Montagegeschwindigkeiten erreichbar waren. Die 19 cm dicken Decken wurden als *Slim Floor Decken* mit deckenbündigen Stahlverbundelementen und stahlbaumäßigen Anschlüssen an die Verbundstützen ausgebildet. Die Herstellung des Kernbereichs erfolgte mit Hilfe einer Kletterschalung, wobei der Beton bis in das oberste Niveau mit Pumpen gefördert wurde. Auf Basis gut abgestimmter und rechtzeitig geplanter Baulösungen, einer exakten Arbeitsvorbereitung, einer laufenden Qualitätssicherung und einer perfekten Logistik konnte beim Tower ein Baufortschritt von bis zu 2,5 Geschoßen pro Woche erzielt werden.



**Abb. 5.52** Millenniumstower; Herstellung Rohbau, Ausbau, Fassade



**Abb. 5.53** Millenniumstower; Anschluss Slim-Decken-Träger an Verbundstütze

## Grand Hotel & Palais Corso Wien, 1994

In der Wiener Innenstadt wurde am Kärntnerring ein Komplex von mehreren Gebäuden im Rahmen einer grundlegenden Revitalisierung einer neuen gemeinsamen Nutzung zugeführt. Geschaffen wurden ein Hotel der Luxusklasse, Büroräume und ein Geschäftszentrum mit den erforderlichen Nebenflächen wie Haustechnikgeschossen und Garagenebenen. Die wesentlichen Baulichkeiten stammen aus der "Ringstraßenära" der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Im Laufe ihrer Bestandsdauer haben alle betroffenen Gebäude zahlreiche Umbauten über sich ergehen lassen müssen. Das ehemalige Grand Hotel am Kärntnerring beispielsweise wurde 1864 als Wohnhaus fertig gestellt, danach mit zahlreichen Eingriffen zum ersten Grand Hotel Europas umgebaut und 1870 eröffnet. Weitere Nutzungen folgten beispielsweise in der Besatzungszeit nach dem 2. Weltkrieg und danach als Sitz der Internationalen Atomenergie-Behörde, die 1979 in die *UNO-City* umzog.

Die Revitalisierung teilte sich in zwei wesentliche Bauaufgaben. Im "Tiefbaubereich" waren bis zu 5 neue Untergeschoße herzustellen und im "Hochbaubereich" innerhalb der bestehen bleibenden Fassadenmauern und Gebäudekontur eine der neuen Nutzung entsprechende Tragstruktur unter Berücksichtigung der Forderungen von Denkmal- und Ensembleschutz mit zwei zusätzlichen Geschoßen zu errichten.

Wegen der kurzen Bauzeit fanden Aushub-, Abbruch- und Neubauaktivitäten fast über die gesamte Rohbauzeit im "Hochbaubereich" und im "Tiefbaubereich" gleichzeitig statt. Die simultane Errichtung der "Hochbau- und Tiefbaubereiche" wurde durch die gewählte "Deckelbauweise" ermöglicht (Abschnitt 5.3.3.6, Abb. 5.34). Der "Deckel" hatte auch bei diesem Bauvorhaben eine zentrale Bedeutung, da er neben seiner Funktion als Aussteifungshorizont und Schutzebene für den "Tiefbaubereich" auch Basis- und Lagerebene für die Errichtung der aufgehenden Bauteile war. Eine entsprechende Prinzipdarstellung enthält Abb. 5.54, das einen Querschnitt des unmittelbar an das Grand Hotel & Palais Corso grenzenden und etwa zeitgleich gebauten *Kärntnerringhofs* zeigt.

Die tiefe Baugrube innerhalb der alten Gebäudemittelwände wurde mit Schlitzwänden – diese übernahmen gleichzeitig die Funktion der "Weißen Wanne" – gesichert, die wegen der Vorsprünge der Mittelmauerfundamente im Fräsverfahren herzustellen waren.

Der Deckel wurde auf der Ebene des 2. Untergeschoßes eingezogen. Die Auflagerung des Deckels und der darunter im "Hinbau" errichteten Decken erfolgte auf den Schlitzwänden und auf Hilfsstützen aus HEB-Profilen, die

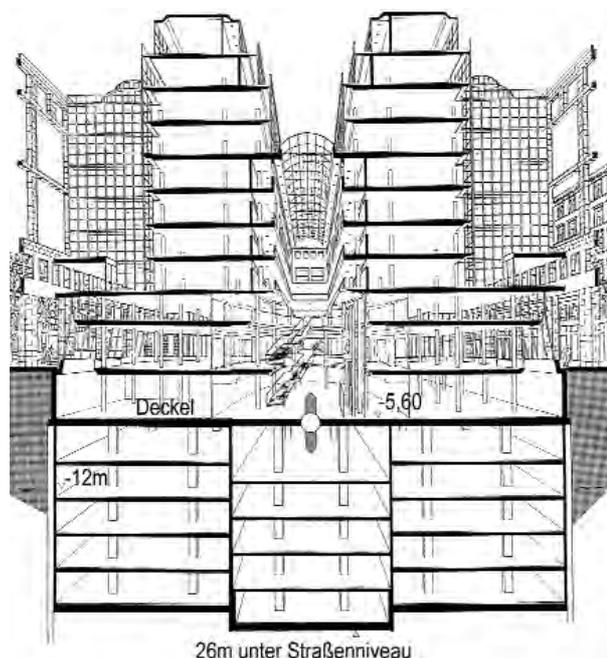


Abb. 5.54 Kärntnerringhof Wien 1993; Querschnitt des fertigen Gebäudes über und unter dem Deckel

mittels Großbohrpfählen fundiert waren und in die Stahlbetonstützen des Endzustands integriert wurden. Da das Bauwerk gleichzeitig nach oben und unten wuchs, mussten die Hilfsstützen bereits wesentliche Anteile der Hochbaugeschoße abtragen.

Wegen der Split-Level-Anordnung der Tiefgaragengeschoße konnte ein direkter Kurzschluss der Baugrubenaussteifungskräfte bei den höhenversetzten Stahlbetondecken nicht erzielt werden. Die außen kontinuierlich angreifenden Aussteifungskräfte waren in den Rasterachsen bei den Mittelstützen zusammen zu fassen, in der Höhe umzuleiten und danach wieder gleichmäßig zu verteilen. In den unteren Horizonten werden die Decken mit maximalen Normalkräften von über 1000 kN/m hoch beansprucht. Öffnungen für Transporte, Stiegenhäuser, Liftschächte, und Rampen ließen keinen ungestörten Kraftfluss zu, sodass nur mit Hilfe detaillierter Berechnungen das Tragverhalten erfasst werden konnte.

Ein den Gebäudekomplex umfassender tief liegender Kollektorgang erforderte Unterfangungs- und Stützmaßnahmen mit Hilfe von HDBV-Körpern und eine Herstellung nach Methoden des Untertagebaus.

Der neu zu errichtende "Hochbaubereich" wurde umfasst von den Bestandsmauern. Der Abbruch der innen liegenden alten Tragstruktur, der auf die neue Tragstruktur abgestimmte Einbau der innenseitig angeordneten vertikalen

und horizontalen Aussteifungen, die gleichzeitigen Bauarbeiten über und unter dem Deckel, die Anbindung der neuen Tragstruktur an die Umfassungsmauern verbunden mit dem sukzessiven Abbau der nicht mehr benötigten Aussteifungen waren eine komplexe und herausfordernde Aufgabe.

Vor dem Abbruch musste das alte Tragsystem, das während der Bestandszeit einige Umbauten erfahren hatte, erkundet und das Mauerwerk in Hinblick auf Erhaltungszustand und Festigkeit untersucht werden. Der Abbruch selbst erforderte die Begleitung durch statische Berechnungen zur Festlegung von Stützmaßnahmen, vor allem in Gewölbebereichen, soweit wegen fehlender oder mangelnder Auflast die Abtragung der Gewölbeschubkräfte nicht mehr gesichert war. Die horizontalen Aussteifungen

der Außenmauern wurden dem Abbruch folgend eingebaut. Es waren 5 Horizonte erforderlich, da die Umfassungsmauern im entkernten Zustand von der 2. Keller-sole bis zu den obersten Gesimsen eine Höhe von über 30 m aufwiesen (**Abb. 5.55**).

### Museumsquartier Wien, 2001

Das Museumsquartier Wien steht für eine heute sehr aktuelle Aufgabenstellung, da es historische und neue Bauwerke mit dem Ziel einer gemeinsamen Nutzung auf hohem Anspruchsniveau verbindet. 1716 erhielt *Fischer von Erlach* von *Kaiser Karl VI* den Auftrag, eine Hofstallanlage am Glacis im Bereich des äußeren Burgtores zu errichten. 1725 war die Hauptfront fertig gestellt, ab 1850 wurden die Hofstallungen durch die Winterreithalle



**Abb. 5.55**  
Grand Hotel & Palais Corso  
Wien 1993; Bauphase:  
Entkernung im Hochbau-  
bereich. Im Hintergrund der  
Kärntnerringhof

erweitert. Nach unterschiedlichen Nutzungen, verbunden mit baulichen Ergänzungen, wurde 1998 mit dem Bau des Museumsquartiers mit einem breiten Aufgabenspektrum begonnen: Neubauten, Umbauten, Verstärkungen, Untertunnellungen, Sanierungen, Renovierungen, alles Baumaßnahmen, die in einem engen Kontakt mit dem Bundesdenkmalamt durchzuführen waren.

Da durch die Höhe des Bestandes auch die Bauhöhe der Neubauten vorgegeben war, mussten beim hohen Platzbedarf zahlreiche Nutzungsflächen unter Geländeniveau situiert werden. Bei einzelnen Bauwerken erreichen die unterirdischen Bauvolumina die Größenordnung der Baukubaturen über Gelände. Alle Möglichkeiten des Spezialtiefbaus waren auszunützen und mit den Anforderungen einer hochwertigen Nutzung in Einklang zu bringen.

Als zentrales Gebäude erhielt die ehemalige Winterreithalle eine neue Nutzung in Form von zwei über einander liegenden Veranstaltungshallen bei gleichzeitiger Flankierung durch die beiden größten Neubauten, das *Museum Moderner Kunst* und das *Leopoldmuseum* (Abb. 5.56).

Unter dem Fußbodenniveau der ehemaligen Winterreithalle waren die Räume für die Haustechnik, die Garderoben, die Klimagruppen, ein Orchestergraben und die kleinere Veranstaltungshalle unterzubringen. Diese Einbauten reichen bis an die Bestandsaußenwände heran, deren Fundierungsunterkanten nur zwischen 1,7 m und 3,0 m unter Geländeniveau reichen. Es musste eine massive Unterfangung mit verankerten HDBV-Körpern ausgeführt werden, die die Fundierungsebene um ca. 14 m tiefer legt und gleichzeitig als Baugrubenverbau den Erd- und Wasserdruck aufzunehmen hat. Wegen des hohen Grundwasserstandes und des damit verbundenen Auftriebs musste unterhalb der 1,0 m dicken Bodenplatte ein 2,0 m dicker Ballast aus Magerbeton angeordnet und mit der Bodenplatte verbunden werden. Alle die Einbauten umfassenden Betonkonstruktionen wurden nach den Prinzipien der "Weißen Wannen" errichtet. Für die Wände kamen einseitige Schalungen mit Abstützböcken zur

Anwendung. Mit diesen großflächigen Schalungselementen konnte gegen die geebnete HDBV-Wand betoniert werden. Der Entfall der Durchankerung und die Möglichkeit des "Betonierens auf Lücke" kam den Erfordernissen der "Weißen Wanne" sehr entgegen (Abb. 5.57).



Abb. 5.57 Museumsquartier Wien; Umbau der Winterreithalle zur Veranstaltungshalle, Bau des neuen Untergeschoßes nach den Prinzipien der "Weißen Wanne"

Die an den Stirnseiten angeordneten Bürger- und Kaiserlogen mussten erhalten bleiben und waren vor der Errichtung der neuen Untergeschoßebenen mit Mikropfählen zu unterfangen ebenso wie Umfassungsbauwerke des Innenhofs (Abb. 5.58).

Der Neubau des *Museums Moderner Kunst MMK* bindet mit 17,6 m am tiefsten in den Boden ein. Die Baugrube wurde mit einer in mehreren Ebenen abgestützten Schlitzwand gesichert, die zum Teil unmittelbar neben alten und neuen Bestandbauten abzuteufen war. Der minimale Abstand zur Röhre der U-Bahn-Linie 3 betrug lediglich 1,20 m.

Um ein freies Baufeld zu erzielen, erfolgte die Abstützung der Schlitzwände generell durch bis zu 30 m lange Ankerlagen. Deren Anordnung musste auf den Bestand Rück-

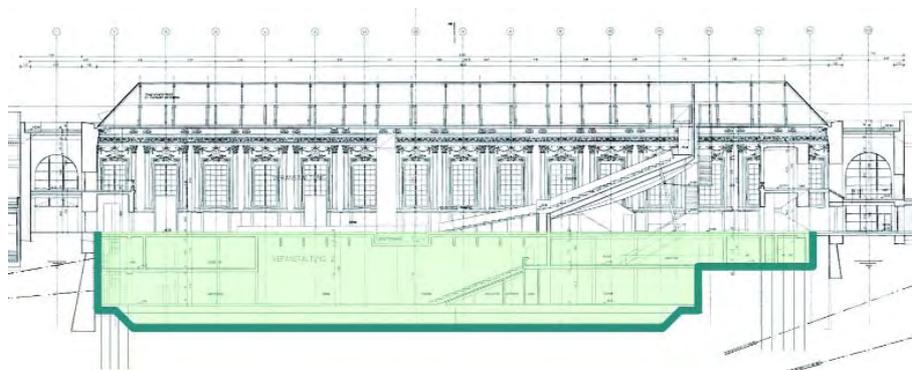


Abb. 5.56 Museumsquartier Wien 1998; Umbau der Winterreithalle zur Veranstaltungshalle mit neuem Untergeschoß; Längsschnitt

sicht nehmen, z.B. auf Unterfangungspfähle im Zuge des Baus der U-Bahnstation Volkstheater oder der Loge in der Winterreithalle. Im unmittelbaren U-Bahnbereich war es nicht möglich, Ankerlagen zu setzen, sodass dort auf eine "Teildeckel"-Lösung ausgewichen werden musste.

Trotz einer hochwertigen Nutzung der Tiefgeschoße durch Gemäldedepots und Werkstätten und des hohen Wasserdrucks mit bis zu 13 m Einbindung in das Grundwasser wurde auch beim MMK ausschließlich die Bauweise der "Weißen Wannen" unter Verzicht auf jegliche Isolierung angewandt. Eine Lösung mit Innenschale und eine konsequente Ausbildung der Fugenbandführungen war dafür Voraussetzung. Die Kombination von verankerter Schlitzwand und Deckelbauweise stellte bei der Herstellung der Innenschale eine besondere Anforderung dar.

Die großen Lasten und Stützweiten in den Innenbereichen des MMK erforderten aus Verformungsgründen vorge-spannte Konstruktionen (**Abb. 5.59**).



**Abb. 5.58** Museumsquartier Wien; Unterfangungen von Bestandsbauten mit Kleinbohrpfählen;  
(a) Seitentrakt im Zuge des U-Bahn-Baus;  
(b) Bürgerloge in der Winterreithalle



**Abb. 5.59** Museumsquartier Wien; Museum moderner Kunst; weit gespannte Decke mit Spannbetonträgern

Zubringung und Abtransport von Exponaten in die Untergeschoße des *Museums Moderner Kunst* und des *Leopoldmuseums* machten die Unterquerung der historischen Bauten des Ovaltrakts beim Geländesprung zum Spittelberg notwendig. Bei hoher Grundwasserlage mussten Abteufung und Untertunnelung mit massiven Stützmaßnahmen vorgenommen werden, wobei Beanspruchung und Rissgefährdung der alten Gebäude möglichst gering zu halten waren.

### Mehrzwecksaal des Internats der Grazer Schulschwester, 1977

Im Hof des Internats der Grazer Schulschwester wurde Mitte der 1970er-Jahre mit dem Mehrzweck- und Internatsspeisesaal ein Gebäude errichtet, das als "amorphe Architektur" zwischen Skulptur und Bauwerk anzusiedeln ist. Formgebung und Bauweise haben mit herkömmlichen Gebäuden keine Gemeinsamkeiten. Freigestaltete Rippen und Schalen bilden die Tragstruktur. Nach der Montage der Rippen- und Flächenbewehrung für den gesamten Hallenbau wurden an dieser mit Hilfe von Abstandhaltern engmaschige Gitter befestigt. In einem Arbeitsgang konnte darauf eine etwa 8 cm dicke Spritzbetonschale aufgebracht werden, die sich in den Rippenbereichen verstärkt, um die Lüftungskanäle aufnehmen zu können. Die Gesamtfläche der Spritzbetonfläche beträgt etwa 1.200 m<sup>2</sup> (**Abb. 5.60**).



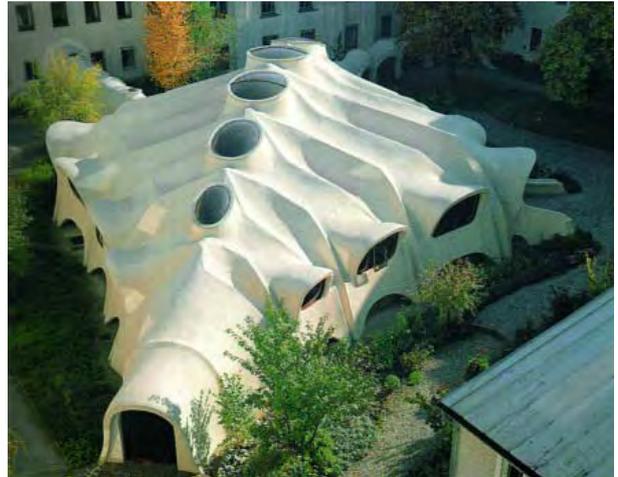
**Abb. 5.60a** Mehrzwecksaal des Internats der Grazer Schulschwester in der Bauphase 1977; Bewehrungsgerippe; Foto Domenig

Die im Untertage- und Tiefbau weit verbreitete Spritzbetontechnik (ÖVBB-Richtlinie "Spritzbeton") für eine Hallen-Tragkonstruktion im Hochbau anzuwenden, war ein ungewöhnlicher Entschluss mit einem ungewöhnlichen Ergebnis (**Abb. 5.61**).

Der Mehrzwecksaal ist eine solitäre Erscheinung geblieben. Er hat allerdings bereits vor Jahrzehnten aufgezeigt,



**Abb. 5.60b** Mehrzwecksaal des Internats der Grazer Schulschwestern in der Bauphase 1977; Spritzbetonschale. Foto Domenig

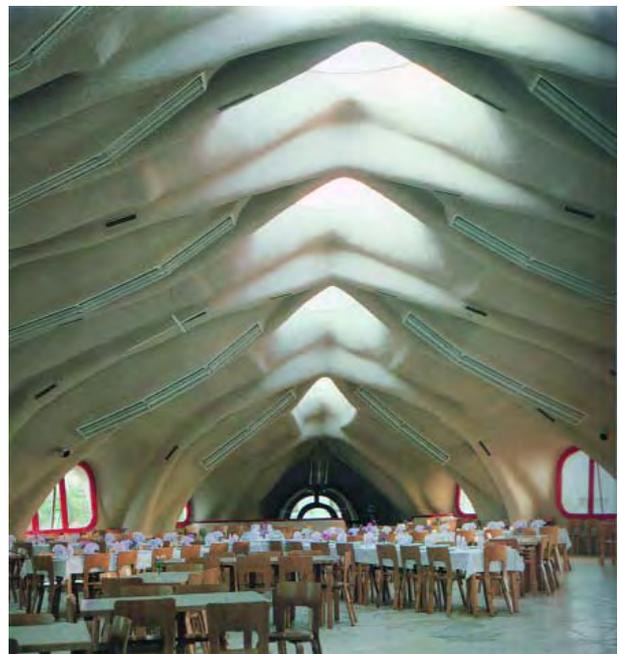


welche Möglichkeiten der Betonbau gestalterisch und herstellungstechnisch abseits der üblichen Gepflogenheiten bietet. Entwurf und Herstellung des Mehrzwecksaals waren unmittelbar intuitiv und handwerklich geprägt. Heute können Computer die freie Formensprache aufgreifen und deren Realisierung begleiten.

### **Gebäude für Musik und Musiktheater der Universität für Musik und Darstellende Kunst in Graz, 2007**

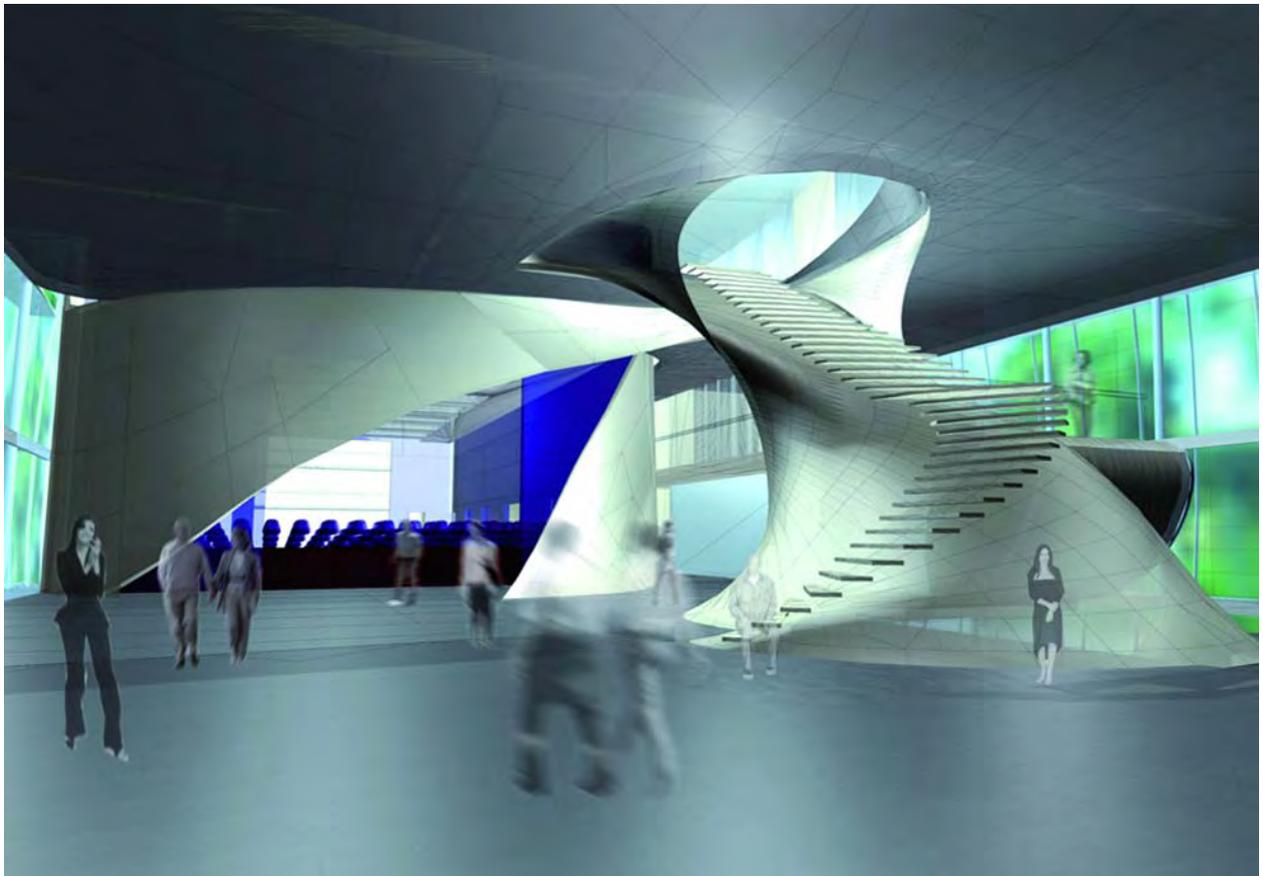
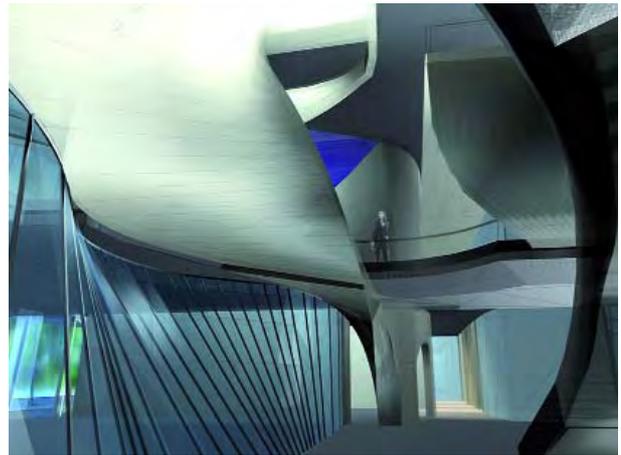
Die Gebäude der Universität für Musik und Darstellende Kunst in Graz werden derzeit um einen Neubau für die Ausbildung in Musik und Musiktheater (MUMUTH) erweitert. Für dieses Projekt wurde ein Gebäude mit einem repräsentativen Hallenbereich entworfen, der von frei gestalteten Flächen dominiert wird. Diese wurden am Computer generiert und in mehreren Schritten mit aufwändigen EDV-Programmen bis zur Realisierung begleitet. Die von diesen Flächen begrenzten Bauteile haben sowohl gestalterische als auch tragende Funktionen zu erfüllen.

Die über dem Erdgeschoß schwebende Struktur mit dem dominierenden Treppentwist im 1. Obergeschoß musste aus Gewichtsgründen als Verbundkonstruktion konzipiert, berechnet und hergestellt werden. Mit Dübeln bestückte Rohre folgen den vorgegebenen Formen. Gemeinsam mit den anbetonierten "Betonchwarten" und deren Sichtbetonflächen sind sie gleichzeitig Tragwerk und Skulptur. Die Schalungsformen waren fabrikmäßig CNC-gefertigt und auf der Baustelle an der Oberfläche nachbehandelt. Die oberflächenparallele Bewehrung wurde in Abstimmung mit dem Schalvorgang verlegt und hat sowohl tragende als auch rissverteilende Funktionen. Für die



**Abb. 5.61** Mehrzwecksaal des Internats der Grazer Schulschwestern nach Fertigstellung, 1977, (a) Gebäudedraufsicht, (b) Innenansicht. Fotos Schuster

gekrümmten Bauteile fand selbst verdichtender Beton Verwendung, der zur besseren Entlüftung von unten in die Schalungen eingepumpt werden musste. Die hohen Drücke des Frischbetons erforderten schalungstechnische Sonderkonstruktionen, die Schalungskörper, Schalungstragstruktur und Ankerungen zu einer funktionellen Gesamtlösung zusammenführten (**Abb. 5.62**).



**Abb. 5.62** MUMUTH Graz 2007; (a) Erdgeschoß. Visualisierung UNStudio; (b) 1. OG. mit "Twist". Visualisierung UNStudio; (c) Verbundtragwerk "Twist". Foto Convex