

Siloneubau in Ulm Getreidesilo im »Hochhauslook«

■ ■ ■ von Dieter Lippold

Bei der Planung des im Jahr 2004 errichteten neuen Getreidesilos für die Schapfenmühle in Ulm-Jungingen waren vielfältige Randbedingungen zu beachten. Um allen Erfordernissen gerecht zu werden, mussten die grundsätzlichen Festlegungen schon in einem frühen Stadium unter allen an der Planung und am Bau Beteiligten sorgfältig abgestimmt werden.

Randbedingungen

Eine zentrale Rolle kam der Festlegung der Bauwerksgeometrie mit Anordnung und Abmessung der einzelnen Zellen und Betriebsräume, der Wahl der Wanddicken und der Gesamthöhe des Bauwerks zu. Bei der weiterführenden Planung wurden dann in gleicher Weise die Details festgelegt, so dass diese Bauaufgabe, deren komplexe Abhängigkeiten nicht auf den ersten Blick zu erkennen sind, reibungslos durchgeführt werden konnte.

Maßgebliche Randbedingungen, die die Planung wesentlich beeinflussten, waren:

- das begrenzte Baufeld, auf dem für große Lagermengen ein entsprechend großes Bauvolumen realisiert werden sollte;
- das Silo selbst war für die Lagerung verschiedener Getreidesorten nach den neuesten betrieblichen Anforderungen auszulegen, so dass Behandlung und Weiterverarbeitung des Getreides ohne große Transportwege erfolgen können;
- wirtschaftliche Bauweise bei möglichst kurzer Bauzeit;
- bautechnische Explosionsschutzmaßnahmen;
- robustes und dauerhaftes Tragwerk;
- Auslegung des Bauwerks für die Nutzung von Solarenergie und als Antennenträger;
- enge Abstimmung zwischen Bauherr, Stadt und Planern wegen der städtebaulich exponierten Lage des Neubaus.



■ Siloneubau Schapfenmühle Ulm
© Seidel: Architekten

■ Gesamtsituation
© Picture Alliance



Großes Bauvolumen auf begrenztem Baufeld

Ein Silobauwerk dient grundsätzlich der Lagerung von Schüttgütern auf begrenztem Raum, wobei die Höhe der Silozellen üblicherweise deutlich größer ist als die Querschnittsabmessungen.

Durch das begrenzte Baufeld – die Silo-grundfläche misst 16,65 m × 10,13 m – wurde dieses Prinzip im Falle der Schapfenmühle auf die Spitze getrieben, bei ca. 3 m × 3 m Grundrissabmessung haben insgesamt 9 der 27 Silozellen eine Höhe von 90 m. Hierdurch entstanden z. B. für die Sensoren zur Temperaturmessung und für die Füllstandsmessung ganz neue Bedingungen, die die Weiterentwicklung der zum Zeitpunkt der Planung lieferbaren technischen Ausrüstung erforderten. Insgesamt ergab sich für das Gesamtbauwerk eine maximale Höhe von 115 m, was sehr hohe Vertikallasten auf engstem Raum nach sich zieht: Das Gesamtgewicht der Konstruktion samt Getreidefüllung der Zellen entspricht einem massiven Betonklotz gleicher Grundrissabmessungen und ca. 50 m Höhe. Da selbst für einen Fundamentüberstand kaum

Platz vorhanden war, wurden deshalb trotz des felsartigen Baugrundes 27 Großbohrpfähle mit 1,20 m Durchmesser und ca. 19 m Länge zur Gründung verwendet, die direkt unter den tragenden Wänden und Stützen angeordnet sind.

Lager- und Verarbeitungsanforderungen

Zur Lagerung der verschiedensten Getreidesorten und der hieraus gewonnenen Produkte ist eine Vielzahl verschiedener Zellen mit unterschiedlichen Abmessungen notwendig. Für die Anordnung dieser Zellen im Gebäude waren daher neben den Grundfunktionen wie Beschicken und Entleeren der Zellen auch Behandlung und Verarbeitung in verschiedenen Betriebsräumen, die unter, über oder zwischen den Zellen anzuordnen waren, zu berücksichtigen – aufgrund des begrenzten Raumes eine Herausforderung für die Planer der maschinellen Ausrüstung. Gleichzeitig musste die gewählte Zellenanordnung auch die wirtschaftliche Abtragung der hohen Vertikallasten ermöglichen. Durch die quadratische bzw. rechteckige Grundform der Zellen war es möglich, tragende Wandscheiben und

»kastenförmige« Querschnitte auszubilden. Über diese werden die Lasten der im oberen Siloteil liegenden Zellen auf die über die ganze Höhe durchlaufenden Zellen- und Betriebsraumwände abgetragen, gleichzeitig wird die horizontale Aussteifung gewährleistet.

Weiterhin werden durch die Scheibenwirkung der Wände die Vertikallasten auch bei unterschiedlichem Füllstand der einzelnen Zellen so gleichmäßig wie möglich auf die Gründung verteilt. Auch die Aussparungen und Öffnungen in den Wänden der Betriebsräume, die die Abtragung der hohen Vertikallasten erschweren, lassen sich am besten mit einem monolithischen scheiben- bzw. kastenartigen Querschnitt bewältigen. Dieser eignet sich gleichzeitig auch zur günstigen Aufnahme der Horizontaldrücke aus dem Schüttgut auf die Zellenwände.

Wirtschaftliche

Bauweise und kurze Bauzeit

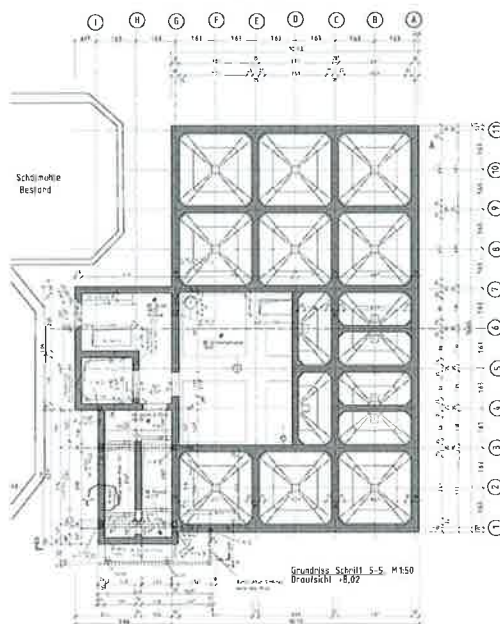
Der Bau von Stahlbetonsilos lässt sich im Normalfall am schnellsten und wirtschaftlichsten mit Gleitbeton durchführen, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt werden. Hierzu gehört ein möglichst konstanter Querschnitt. Werden doch Gleitunterbrechungen zum Umbau der Gleitschalung erforderlich, so sind diese sorgfältig zu planen und vorzubereiten und mit dem Gleitbauunternehmen abzustimmen. Es ist z. B. abzuklären, ob zum Einbau von Fertig- oder Ausrüstungsteilen genügend Platz vorhanden ist oder ob Teile der Gleitschalung vorübergehend abgebaut werden müssen. Die Vertikalbewehrung muss an der Arbeitsfuge so abgestuft werden, dass sie die folgenden Arbeiten möglichst wenig behindert, gleichzeitig aber statisch-konstruktive Anforderungen wie ausreichende Übergreifungslängen oder Stoßversatz erfüllt werden.

Beim Bau des neuen Silos für die Schapfenmühle war eine Gleitunterbrechung in 45,50 m Höhe festgelegt worden. Während dieser Unterbrechung wurden die Fertigteile für die Decken der Betriebsgeschosse eingebaut sowie die Gleitschalung für die im oberen Teil liegenden Zellen ergänzt.

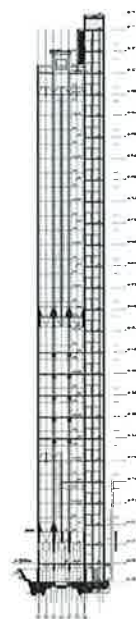
Eine weitere wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche »Gleitreise« ist die Optimierung der Querschnittsform. Zu dünne Wandquerschnitte führen zu ungünstigen Bewehrungskonzentrationen und erschweren den kontinuierlichen Bewehrungseinbau. Gleichzeitig besteht die Gefahr, dass der Beton an der Gleitschalung haften bleibt und mitgezogen wird. Die hierdurch verursachten Horizontalrisse



3 Beginn Gleitbeton
© Peter und Lochner



4 Grundriss
© Peter und Lochner



5 Vertikalschnitt
© Seidel: Architekten

und Störungen des Betongefüges können den Korrosionsschutz der Bewehrung beeinträchtigen und so die Dauerhaftigkeit des Bauwerks gefährden.

Unnötig dicke Wände wirken sich ungünstig auf die Rissbreitenbegrenzung aus. Gleichzeitig erfordert der Einbau großer Betonmengen viel Zeit und verringert die Gleitgeschwindigkeit genauso wie erschwerte Bewehrungseinbau bei Bewehrungskonzentrationen wegen zu dünner Wände oder der Verwendung ungeeigneter Stabformen.

Geeignete Stabformen, wie z. B. gerade Stäbe, ergeben sich bei Rechteckzellen, wenn möglichst viele Wände ohne Versatz in einer Linie durchlaufen. Eckwinkel mit langen Schenkeln sind ebenso zu vermeiden wie geschlossene Bügel und am besten durch haarnadelförmige Stabformen zu ersetzen. Unter den erschwerten Einsatzbedingungen des Arbeitens rund um die Uhr und bei jedem Wetter sind möglichst wenig Stabformen zu verwenden, um die Verwechslungsgefahr zu verringern. Es sollten deshalb keine

Formen mit geringfügig unterschiedlicher Stablänge gleichzeitig verwendet werden, Bewehrungsstäbe mit ähnlichen Durchmessern sollten sich in Form bzw. Länge deutlich unterscheiden.

Selbstverständlich gelten diese Grundsätze vor allem bei Stäben, die zu gleicher Zeit auf gleicher Höhe eingebaut werden. Abstufungen über die Höhe sind jederzeit möglich, erfordern aber eine gute Arbeitsvorbereitung und sorgfältige Lagerhaltung. Nicht zuletzt ist die Wahl einer geeigneten Betonrezeptur durch den Unternehmer wichtige Bedingung für eine erfolgreiche Arbeit.

Beim zweiten Gleitabschnitt für das Getreidesilo der Schapfenmühle galten die genannten Bedingungen in besonderem Maße, da aufgrund der Höhe die Zeit für die Kranspiele maßgebend war und deshalb minimiert werden musste. Mit 30 cm Dicke für die Umfassungswände und 25 cm Dicke für die Innenwände ergab sich ein ausgewogener Querschnitt, der bei Einbau von im Mittel ca. 0,6 t Betonstahl und 5,7 m³ Beton je

ARCHITEKTUR UND TECHNIK

Stunde eine Gleitgeschwindigkeit bis zu 4 m/d bei gleichzeitig vorbildlicher Gleitbetonqualität ermöglichte.

Explosionsschutz und Tragwerk

Bei der Lagerung von Getreide lässt sich die Gefahr von Staubexplosionen durch geeignete betriebliche Maßnahmen zwar deutlich reduzieren, aber nicht gänzlich ausschließen.

Da ohne weitere Maßnahmen die möglichen Explosionsdrücke die Schüttgutedrücke weit übersteigen können, sind Öffnungen zur Druckentlastung vorzusehen, um ein wirtschaftliches Bauwerk zu erhalten. So wurden z. B. die Decken der Silozellen als leichte Stahlkonstruktion ausgebildet, die im Fall einer Staubexplosion in einer Zelle klappenförmig aufgehen und so die notwendige Entlastung ermöglichen. Gefährdete Betriebsräume erhielten aus dem gleichen Grund Verschlussklappen mit definierten Ansprechdrücken. Dadurch wird im Falle einer Verpuffung oder Explosion die Druckentlastung über Entlastungsklappen in der Fassade nach außen ermöglicht.

Neben den zuvor diskutierten Bedingungen für eine möglichst günstige Querschnittsgestaltung zur Lastabtragung und zur Herstellung mittels Gleitbeton, die u. a. auch ein robustes und dauerhaftes Bauwerk gewährleisten sollen, ergab sich aus der Gefahr eventueller Staubexplosionen eine weitere Bedingung: Aufgrund der direkt anschließenden Nachbargebäude und der insgesamt dichten Bebauung des Grundstücks sowie der großen Gebäudehöhe wären im Schadensfall herabstürzende Trümmer eine große Gefahr für Menschen und Nachbarbauwerke. Ein Einsturz oder Teileinsturz könnte katastrophale Folgen haben. Deshalb wurden die Umfassungswände ($t = 30 \text{ cm}$) gezielt dicker als die Innenwände ($t = 25 \text{ cm}$) gewählt, da die Schädigung einer Innenwand weniger gefährlich ist als Schäden in der Außenhülle. Diese wurde entsprechend robuster geplant und ausgeführt.

Städtebauliche Anforderungen

Durch die städtebaulich exponierte Lage an einem der topografisch höchstgelegenen Punkte Ulms ergaben sich gegenüber üblichen Industriebauten erhöhte Anforderungen an die Gestaltung des Baukörpers. In enger Abstimmung zwischen Bauherrn, Architekten und der Stadt Ulm führte dies zur Verwendung vorgehängter Fassadenelemente, die mit ihrem Raster von $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ dem Bauwerk eher das Aussehen eines anspruchsvoll gestalteten Hochhauses geben denn eines Indus-



6 *Bewehrungsarbeiten im Gleitbau*
© Peter und Lochner

7 *Vorbildliche Gleitbetonqualität trotz komplexer Geometrie*
© Peter und Lochner

8 *Fassadenausschnitt*
© Seidel: Architekten



triebaus. Schon manch Ortsunkundiger geriet beim Anblick des Silos ins Grübeln über den Verwendungszweck dieses Gebäudes. Der teilweise Einsatz von Paneelen mit Solarzellen in der Fassade erlaubt außerdem eine vorteilhafte Zusatznutzung der großen Wandfläche. Aber auch hier war eine sorgfältige Abstimmung zwischen Nutzung und Gestaltung nötig: Hinter den Paneelen liegen Montage- und andere Öffnungen, die in Größe und Anordnung mit dem Fassadenraster abzustimmen waren und gleichzeitig die Forderungen aus Lastabtragung und Herstellung erfüllen müssen.

Die zusätzliche Nutzung des Getreidesilos als Antennentragwerk erforderte Detailabstimmungen im Dachbereich, ist aber für das Gesamtgebäude problemlos. So sind die zusätzlichen Windlasten auf die Antennen z. B. nahezu vernachlässigbar, das sehr steife und massive Tragwerk wirkt sich gleichzeitig günstig auf die Antennen aus, da die Verformungen deutlich geringer sind als die eines nur für diesen Zweck gebauten schlanken Antennenträgers.

Fazit

Aufgrund der frühzeitigen intensiven Bemühungen der beteiligten Planer sowie des Bauherrn und der ausführenden Baufirma, alle Anforderungen an das Bauwerk möglichst gut »unter einen Hut« zu bringen, war ein reibungsloser Bauablauf möglich. Auch die Nutzung des Gebäudes verlief von Anfang an ohne »Kinderkrankheiten«. So entstand in partnerschaftlicher Zusammenarbeit ein qualitativ hochwertiges und zugleich beeindruckendes Bauwerk, das sich von der Masse der sonstigen Industriebauwerke deutlich abhebt.

Autor:
Dipl.-Ing. Dieter Lippold,
Geschäftsführer,
Peter und Lochner
Beratende Ingenieure für
Bauwesen GmbH, Stuttgart

Bauherr
Firma Carl Künkele GmbH & Co. KG, Ulm

Architektur und Bauleitung
Seidel: Architekten, Ulm

Tragwerk
Peter und Lochner
Beratende Ingenieure für Bauwesen GmbH,
Stuttgart

HLS-Planung
Merkle Ingenieurgesellschaft
Planungsbüro für technische Gebäudeausrüstung,
Heidenheim

ELT-Planung
Elektro Scherer, Dellmensingen

Vermessung
Stadt Ulm

Geologie
Ingenieurbüro Dr. Ulrich, Günzburg

Prüfingenieur
Prof. Dr.-Ing. Falkner GmbH, Stuttgart

Explosionsschutz
Prof. Dr. Radandt
FSA, Brühl