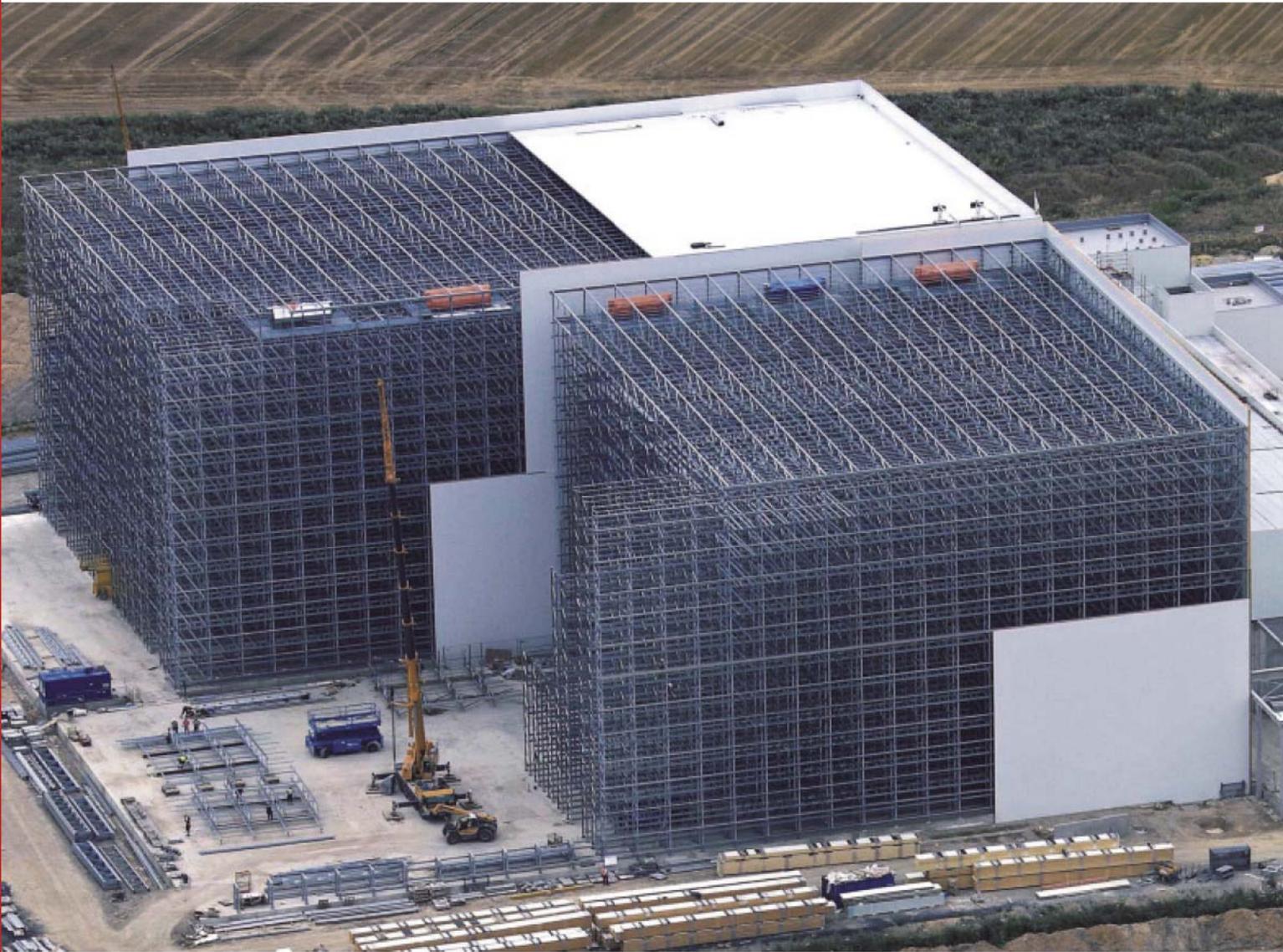


Bauingenieur

Die richtungweisende Zeitschrift im Bauingenieurwesen



P. Guirguis

Fundamentplatten aus Stahlfaserbeton/Kombinationsbewehrung für Hochregalläger in Silobauweise

Fundamentplatten aus Stahlfaserbeton/Kombinationsbewehrung für Hochregalläger in Silobauweise

P. Guirguis

Zusammenfassung Die Bandbreite an Ausführungsvarianten von Regalsystemen ist groß. Zwischen einer in der Halle errichteten Regalanlage und einem vollautomatischen Hochregallager in Silobauweise liegen zahlreiche Mischformen. Speziell von der Silobauweise spricht man wenn ein Regal die tragende Unterkonstruktion für Dach und Fassade darstellt. Die Gebäudelasten müssen im Gegensatz zu dem System freistehender Regale bei der Bemessung der Fundamentplatte berücksichtigt werden. Neben Lasten aus Einlagerung sind Wind-, Schnee- und Erdbebenlasten zu berücksichtigen. Die Fundamentplatte trägt somit das gesamte „Tragwerk“ und hat gleichermaßen den Anforderungen eines hoch beanspruchten Industriefußbodens zu genügen. Der Einsatz von Stahlfaserbeton in der Fundamentplatte führt zu einer deutlichen Reduktion des Bewehrungsgehalts und einer Optimierung des Bauverfahrens. Die bauaufsichtlich eingeführte DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton stellt die Grundlagen zur Bemessung und Ausführung von stahlfaserbewehrten Bauteilen bereit. Am Beispiel von drei Fundamentplatten aus Kombinationsbewehrung (Stahlfaserbeton plus herkömmliche Bewehrung) für unterschiedliche Systeme der Silobauweise werden die Vorteile dieser Bauweise aufgezeigt.

1 Vorbemerkung

Übliche Industriefußböden aus Stahlfaserbeton sind Stand der Technik und stellen leistungsfähige Systemlösungen für vielfältige Ansprüche dar. Bemessungsempfehlungen sind weltweit verfügbar und dokumentieren den großen Stellenwert des Stahlfaserbetons für Industriefußböden. Aufgrund ihres niedrigen Gefährdungspotentials werden typische Industriefußböden als in statischer Hinsicht untergeordnete Bauteile angesehen. Die Bemessung fällt daher nur in Ausnahmefällen in den Bereich der einschlägigen Stahlbetonnormen. Mit der bauaufsichtlichen Einführung der DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton werden die Vorzüge des Stahlfaserbetons und des stahlfaserverstärkten Stahlbetons nun auch in Bauteilen mit hohem Gefährdungspotential (im bauaufsichtlichen Sinne tragende Bauteile) genutzt. Ein klassisches Beispiel eines tragenden und gleichermaßen hoch beanspruchten Industriefußbodens stellt die Fundamentplatte eines Hochregallagers in Silobauweise dar. Neben Lasten aus Palettenlager sind die Gebäudelasten bei der Bemessung der Fundamentplatte zu berücksichtigen. Die positive Wirkung des Stahlfaserbetons wird bei der Nachweisführung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit rechnerisch berücksichtigt.

Dipl.-Ing. Philipp Guirguis
Technischer Leiter Bauprodukte
Bekaert GmbH
Siemensstraße 24
61267 Neu Anspach
philipp.guirguis@bekaert.com

2 Allgemeines zur Silobauweise

Ein Hochregallager in Silobauweise ist ein Lager mit Regalen bis circa 50m Höhe. Die Kapazität reicht bis zu mehreren hunderttausend Palettenstellplätzen. Meist werden diese Systeme vollelektronisch mit einem Lagerverwaltungssystem bewirtschaftet. Die Waren werden innerhalb des Lagers von Regalbediengeräten befördert. Ein Hochregallager in Silobauweise stellt ein System mit hoher Raumnutzung dar und folglich ist die Optimierung der Software an die individuellen Anforderungen für die Leistung des Lagers von hoher Bedeutung. Eingelagert wird häufig nach dem Prinzip der dynamischen Lagerhaltung (System sucht sich einen freien Platz, um die Ware einzulagern). Verbreitet ist auch die ABC-Strategie zur Erhöhung der Umschlagleistung. Hier werden die am häufigsten benötigten Artikel im A-Bereich (nahe Ein-/Auslagerplatz) gelagert. Analog wird der B-Bereich in mittlerer Entfernung für weniger oft benötigte Artikel und der C-Bereich im hinteren Lagerteil für selten benötigte Artikel verwendet. Ebenso ist es möglich eingelagerte Ware gewichtsmäßig nahezu gleich zu verteilen.

Die Silobauweise bringt verschiedene Vorteile mit sich, wie:

- Flächeneinsparung durch kompakte Bauweise
- Hohe Raumnutzung
- Flachgründung durch Lastverteilung auf viele Regalstützen
- Schnellere Nutzung der Anlage durch kürzere Montagezeiten
- Geringere Betriebskosten (z.B. Klimatisierung, Beleuchtung)

3 Anforderungen an die Fundamentplatten und Bemessungsgrundlagen

Für Fundamentplatten der Silobauweise sind neben den üblichen Tragsicherheitsanforderungen erhöhte Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit zu berücksichtigen, die oftmals bemessungsrelevant werden.

- Anforderung hinsichtlich Rotationsbeschränkung der Platte (Forderung einer quasi-steifen Platte) nach der FEM 9.851
- Fugenlose Ausführung der Fundamentplatten
- Mindestbewehrung infolge Rissbreitenbeschränkung

Die Anforderung an die Plattensteifigkeit führt oftmals zu dickeren Platten als für den Tragsicherheitsnachweis benötigt, was eine Erhöhung der erforderlichen Bewehrung für die Rissbreitenbegrenzung nach sich zieht. Dem entgegen steht die Forderung möglichst wenig obere Bewehrung wegen der Verankerungsthematik der Regalstiele vorzusehen. Insbesondere hier macht sich der Einsatz von Stahlfaserbeton auch aus baupraktischer Hinsicht bemerkbar. Unter Verwendung von Stahlfasern wird die erforderliche Betonstahlbewehrung deutlich reduziert. Als Bemessungsgrundlage von Bauteilen aus Stahlfaserbeton mit und ohne Betonstahlbewehrung dient die DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton, Ausgabe November 2011, als Ergänzung zur DIN EN 1992-1-1 in

Verbindung mit DIN 1992-1- 1/NA, DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 und DIN EN 13670 in Verbindung mit DIN 1045-3.

4 Projektbeispiele

4.1 Pepsi Verteilerzentrum KSA

In Jeddah, Saudi Arabien, wurde im Jahr 2013 ein riesiges Verteilerzentrum für den Getränkehersteller Pepsi errichtet. Das Gesamtgebäude wurde unter dem Gesichtspunkt ökologisches Bauen geplant. Die Beurteilung und Zertifizierung erfolgte nach dem LEED-System (Akkreditierung durch das Green Building Certification Institute). Die Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) ist ein System zur Klassifizierung für ökologisches Bauen. Das realisierte Hochregallager mit einer Höhe von 42,9 Meter (**Bild 1**) gehört zu einem der höchsten Regalsysteme. Durch die Einlagerung von Getränken ergeben sich entsprechend hohe Vertikallasten. Gleichermäßen führt die Betrachtung „Erdbeben mit Teilbelastung“ und „maximaler Wind bei leerstehenden Regalen“ zu sehr hohen abhebenden Lasten. Die Gebäudeaussteifung in Längs- und Querrichtung erfolgt durch Verteilung über das gesamte Regalsystem. Es ergibt



Bild 1. Hochregallagersystem für Pepsi KSA, Regalhöhe = 42,90m

sich eine relativ gleichmäßige Lastverteilung auf der Platte. Im Vergleich zur Ursprungsberechnung konnte die Plattenstärke und der Bewehrungsgehalt deutlich reduziert werden. Insbesondere der Zeitvorteil gegenüber der Ursprungslösung kam dem Bauherrn sehr entgegen. Für die LEED Zertifizierung ergaben sich klare Vorteile mit der Alternativlösung. Über das Nebenangebot der Kombinationsbewehrung konnte sich das Unternehmen RCR Industrial flooring den Auftrag für die Ausführung der Fundamentplatte sichern. Die Ausführung der Platte erfolgte Anfang September 2015. Aufgrund der Betonierleistung und der klimatischen Bedingungen wurden Fugenfelder von 50m x 30m mit entsprechenden Schwerlastfugenprofilen vorgesehen. **Bild 2** zeigt die entspannte Bewehrungsführung in der Platte und **Bild 3** die fertige Oberfläche eines Plattenfelds.



Bild 2. Entspannte Bewehrungsführung der Fundamentplatte



Bild 3. Fertige Oberfläche der Fundamentplatte eines Plattenfelds

Projektdaten

Kunde	SIBCO Pepsi – KSA
Tragwerksplanung	Hyder Elkhereiji
Projektleitung	UK Engineering Services
Generalunternehmung	Arabian Contracting Company – ACC
Subunternehmung	RCR Industrial flooring
Gebäudeabmessung	102m x 72m
Plattenstärke	700mm, C30/37
Stahlfasertyp	Dramix® 4D 65/60BG, Dosierung: 30 kg/m ³
Betonstahlbewehrung	ca. 20 kg/m ³

4.2 Volkswagen Bratislava

Das Werk Bratislava mit einer Fläche von circa 1.780.000 Quadratmetern fertigt als einziger Betrieb der Welt die Fahrzeuge von fünf verschiedenen Automarken und exportiert diese weltweit. Das Unternehmen VW Slovakia a.s. entschloss sich 2014 ihre Lagerung in Devínska Nová Ves zu erweitern. In dem nachfolgend beschriebenen Hochregallager in Silobauweise (**Bild 4**) werden zukünftig Autokarosserien gelagert. Die Lager und Fördersysteme wurden von der Firma ROFA Lehmer Förderanlagen GmbH konzipiert und ge-

liefert. Eine Besonderheit dieses Regalsystems liegt in den Abständen der Regalstützen. In Längsrichtung der Halle haben Sie einen Abstand von 5.950mm und in Querrichtung von 2.200mm und 4.600mm. Damit ergeben sich für ein 28 Meter hohes Regalsystem relativ hohe Einzelbelastungen aus den Regalstützen. Die Regalstützen wurden auf bauseits eingelassenen Ankerkästen (**Bild 5**) befestigt.

In der Ursprungsberechnung wurde eine Plattenstärke von 65cm mit einem Bewehrungsanteil von circa 130 kg/m³ ermittelt; zudem waren zwei Arbeitsfugen in Querrichtung der Platte geplant. Die Plattenstärke resultiert maßgeblich aus der Verformungsbetrachtung und dem Verankerungsdetail. Die Alternativlösung ergab bei 65cm Plattenstärke eine Grundbewehrung von 30kg/m³ Dramix® 5D 65/60BG plus eine Mattenbewehrung (d=8mm/100mm/100mm) oben und unten. Lokale Zulagebewehrung wurde lediglich unten in den Eckbereichen der Platte erforderlich (**Bild 6**) und auf die Arbeitsfugen konnte verzichtet werden. Die Hochhängebewehrung an den Ankerkästen wurde unverändert beibehalten. Die Betonstahlbewehrung konnte auf circa 40 kg/m³ reduziert werden. Neben wirtschaftlichen Vorteilen wurde eine deutliche Zeitersparnis generiert und eine fugenlose Ausführbarkeit der Platte sichergestellt. Die Ausführung der Platte erfolgte Anfang März 2014. Der Betoneinbau wurde mit zwei Betonpumpen bei einer Betonliefermenge von circa 100 m³/h sichergestellt und erfolgte in zwei Lagen „Nass in Nass“. Besondere Beachtung wurde der Qualitätssicherung geschenkt. Zwecks Überprüfung der maßgebenden Frischbetoneigenschaften auf der Baustelle wurden Fasergehaltsbestimmungen vorgenommen. Die durchgeführten Prüfungen erfolgten in einem strengeren Raster als in der DAfStb-Richtlinie vorgesehen.

Projektdaten

Kunde	Volkswagen Slovakia a.s.
Tragwerksplanung	BF Partners, Slovakia
Generalunternehmung	STRABAG/ZIPP BRATISLAVA spol. s r. o.
Gebäudeabmessung	60m x 23m fugenlos
Regalhöhe	ca. 28m
Plattenstärke	650mm, C30/37
Stahlfasertyp	Dramix® 5D 65/60BG, Dosierung: 30 kg/m ³
Betonstahlbewehrung	ca. 40 kg/m ³

4.3 MKW GmbH in Österreich

Das Unternehmen MKW GmbH vereint und kombiniert Know-how aus unterschiedlichsten Material- und Verfahrenstechniken unter einem Dach. Im Werk in Haag am Hausruck steht das Vertriebs- und Kompetenzzentrum für Pulverbeschichtung, Holzdekor-Beschichtung und Aluverarbeitung mit einer der modernsten Vertikal-Beschichtungsanlagen Österreichs. In 2013 wurde der Bau eines neuen vollautomatischen Hochregallagers zur Lagerung von selbst hergestellten pulverbeschichteten Elementen realisiert (**Bild 7**). Die Einlagerungs- und Gebäudelasten dieses circa 20 Meter hohen Regalsystems sind eher gering; ebenso ist die Abmessung dieses Projekts recht überschaubar. Die Gebäudeaussteifung erfolgt über vier Aussteifungsblöcke. Die herkömmliche Lösung sah eine Plattenstärke



Bild 4. Rendering des fertigen Hochregallagers für VW Bratislava



Bild 5. Detail: Ankerkasten in der Fundamentplatte



Bild 6. Fugenfreie Fundamentplatte: Grundbew.: 5,03cm²/m ob. und unt.

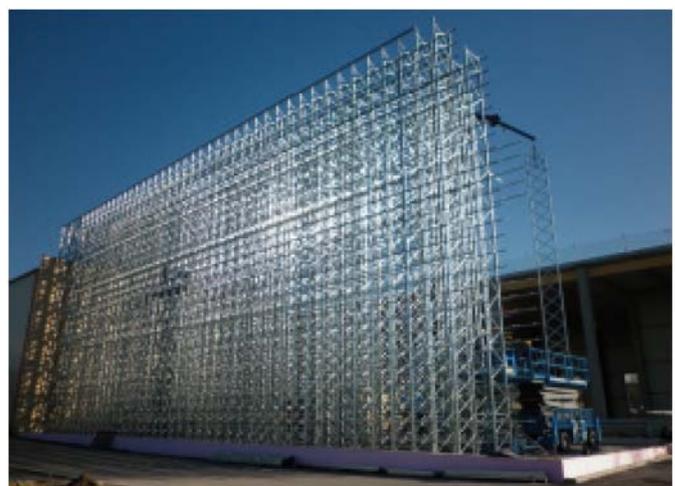


Bild 7. Regalsystem des Hochregallagers, Höhe ca. 20m

von $d=32\text{cm}$ und ca. 70 kg/m^3 Betonstahlbewehrung vor. Bei der Alternativlösung mit Stahlfaserbeton waren die erzielten Materialkostensparnisse eher zweitrangig. Vielmehr galt es Flexibilität, Vereinfachung und Zeitersparnis zu gewinnen. Es wurde eine Lösung mit reinem Stahlfaserbeton erarbeitet unter Verwendung von 30kg/m^3 Dramix® 5D 65/60BG (Stahldrahtfasern, die ein materialverfestigendes Querschnittsverhalten des Stahlfaserbetons ermöglichen). Lediglich unter den Aussteifungstürmen wurde eine untere Zulaufbewehrung erforderlich (**Bild 8**).

Projektdaten	
Kunde	MKW GmbH Österreich
Baumeisterarbeiten	STRABAG AG Direktion AV – Hochbau A-4021 Linz
Regalsystem	KASTO Maschinenbau GmbH & Co. KG – Kassetten-Lager-System
Gebäudeabmessung	40m x 23m fugenlos
Regalhöhe	ca. 20m
Plattenstärke	320mm, C30/37
Stahlfasertyp	Dramix® 5D 65/60BG, Dosierung: 30 kg/m^3
Betonstahlbewehrung	$d=12\text{mm}$, $e=150\text{mm}$ unten nur unter den Aussteifungstürmen

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Typische Industriefußböden aus Stahlfaserbeton gelten bereits seit vielen Jahren als Stand der Technik. Mit der DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton werden die Vorzüge des Stahlfaserbetons nun auch verstärkt in Fundamentplatten für Industriebauten genutzt. Mit der bauaufsichtlichen Einführung der Richtlinie ist die Absicherung auf dem Gebiet der Normierung gegeben. Der Einsatz von leistungsfähigem Stahlfaserbeton in Fundamentplatten für Hochregallager in Silobauweise ermöglicht neben wirtschaftlichen Vorteilen eine Vielzahl von baupraktischen Vorzügen wie beispielsweise Zeitersparnis, Vereinfachung der Bewehrungsarbeiten,



Bild 8. Einzige Betonstahlbewehrung unter den Aussteifungstürmen

ten, Ausführbarkeit größerer fugenfreier Flächen und geringere Aufwendungen bei der Verankerung der Regalstützen. Die positiven Ergebnisse bisher ausgeführter Projekte und die stetig ansteigenden Anfragen für Alternativlösungen mit Stahlfaserbeton zeigen den zunehmenden Stellenwert dieser Bauweise. Derzeit befinden sich weitere Projekte in Deutschland und dem europäischen Umland in Bearbeitung.

Literatur

- [1] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton, Ausgabe November 2011
- [2] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., DBV-Merkblatt Stahlfaserbeton, Version Oktober 2001
- [3] EN 14889-1, Fasern für den Beton – Teil 1, Stahlfasern – Begriffe, Festlegungen und Konformität
- [4] Model Code 2010, First complete draft, Volume 1, bulletin 55
- [5] Guirguis, P.; Schmidt, S.: Dicke Fundamentplatten in Kombinationsbewehrung, Bauingenieur 89, 2 (2014), A 33 – 38



Neue Perspektiven mit Dramix®-Stahlfaserbeton

Mit der neuen Produktgeneration von Dramix®-Stahldrahtfasern setzt Bekaert einen neuen Standard für Stahlfaserbeton. Erhöhte Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit sowie vielseitigere Gestaltungsmöglichkeiten werden durch optimal aufeinander abgestimmte Materialeigenschaften garantiert!

In unserer Dramix®-Produktpalette finden Sie die geeignete Stahldrahtfaser für jeden Anwendungsbereich, von Industrieböden, Anwendungen im Wohnungsbau über den Tunnelbau bis hin zu pfahlgestützten Böden, Fundamentplatten im Hochbau und rissbreitenbeschränkten Bauteilen.



Lassen Sie sich inspirieren!

Entdecken Sie die Vielseitigkeit und die Leistungsfähigkeit von Dramix®