

47 m prestressed concrete girder from ELO Beton Prestressed concrete wins over laminated beams (gluelam)

47 m Spannbetonträger der ELO Beton Spannbeton setzt sich gegen Leimholzbinder durch

Address/Anschrift

www.krenzer-paletten.de
www.elo-beton.de
www.voss-architektur.de
www.statiko-online.de

When, in the evening of 28 June 2006, the first 47 m long pre-stressed concrete girders left the Rhön Industriepark at Eichenzell (Germany) for Poppenhausen-Sieblös, the many people involved in the project saw a long-looked-for wish come true. The girders are part of an open warehouse providing 10,000 m² of storage space for the Aloysius Krenzer KG pallet producing plant. This leading pallet producer has been expanding its business for decades and is continually adding new buildings and facilities to the plant.

The current construction project was initiated in 2005 when pre-caster ELO Beton, in association with StatiKo Bauingenieur-Gesellschaft mbH from Eichenzell, accepted a contract for a low-restraint precast construction to accommodate timber drying chambers.

In autumn 2005, the Voss architectural firm in Fulda-Zell was commissioned to design a hall dimensioned 92 m x 113 m, with specifications for a minimum of supports and a clearance height of 7.0 m. Shear panels were therefore ruled out because these would have limited maneuverability. In view of the size and significance of the project, comparative studies were conducted on a number of variants regarding structural systems, material and roof drainage. Interior drainage systems and depressions within the building were to be avoided. On this point, the client commissioned the engineering firm StatiKo Bauingenieur Gesellschaft mbH to deal with the structural design issues.

Support and beam design

Both the supports and the beams were specified from the outset as precast elements. The roof drainage speci-

Als am 28. Juni 2006 gegen Abend die ersten ca. 47 m langen Spannbetonträger den Industriepark Rhön bei Eichenzell nach Poppenhausen-Sieblös verließen, geht für viele Beteiligten ein lang ersehnter Wunsch in Erfüllung. Die Träger sind Teil einer offenen Halle mit 10.000 m² Lagerfläche für das Palettenwerk Aloysius Krenzer KG. Das Unternehmen, führend in der Herstellung von Paletten, expandiert seit Jahrzehnten und dehnt dabei seinen Anlagen- und Gebäudebestand immer wieder aus.

So konnte das Fertigteilwerk ELO Beton in Zusammenarbeit mit der StatiKo Bauingenieur-Gesellschaft mbH aus Eichenzell schon im Jahr 2005 durch eine zwangungsarme Fertigteilkonstruktion für Holztrochekammern den dortigen Neubau in Auftrag nehmen.

Das Architekturbüro Voss mit Sitz in Fulda-Zell wurde im Herbst 2005 beauftragt, eine Halle mit den Abmessungen 92 m x 113 m zu planen, die möglichst wenige Stützen und gleichzeitig Durchfahrthöhen von 7,0 m aufweisen sollte. Somit waren auch keine Wandscheiben erwünscht, welche die Beweglichkeit eingeschränkt hätten. Wegen der Größe und der Bedeutung des Projektes wurde ein Variantenstudium bezüglich statischer Systeme, Material und Dachentwässerung vorgenommen. Innenentwässerungen und Tiefpunkte innerhalb der Halle sollten vermieden werden. An dieser Stelle wurde zur Klärung der statisch konstruktiven Belange vom Bauherrn das Ingenieurbüro StatiKo Bauingenieur Gesellschaft mbH eingeschaltet.

Konstruktion Fangträger und Stützen

Stützen und Fangträger waren von Beginn der Planung an als Stahlbetonfertigteile vorgesehen. Durch die Vorgaben zur Dachentwässerung ergab sich ein so genanntes Pfettendach mit dem Hochpunkt in der Mitte des Daches und zwei Traufseiten. Die Fangträger sollten durch schlaff bewehrte Stahlbetonträger realisiert werden, die auf jeweils zwei Stützen aufgelagert wurden. Die Wahl des statischen Systems als Einfeldträger mit zwei Kragarmen konnte eine sinnvolle Ausnutzung des Querschnittes erwirken, wobei die Anvoutung der Fangträgerkragarme mehr aus architektonischen Gründen vorgenommen wurde. Am Ende der Vorplanung ergaben sich neun Fangträger mit einem Gewicht von knapp 70 t je Träger und einer Länge von 34 m. Die Abmessungen der 18 Stahlbetonstützen gingen aus konstruktiven Überlegungen und einer Robustheit gegen einen Anprall von Fahrzeugen hervor.

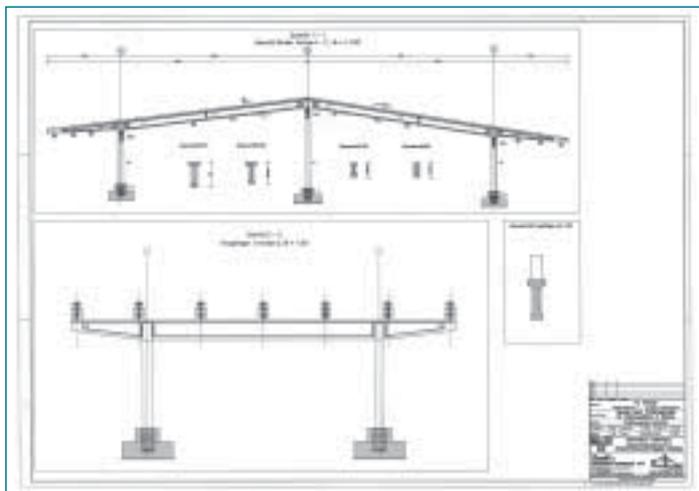


Fig. 1 Section.
Abb. 1 Schnitt.

fications suggested a purlin roof with a centrally positioned apex and two eave sides. The purlins were to be designed as reinforced concrete girders each resting on two columns. The structural system chosen was a single-span beam with two cantilever arms to permit optimum use to be made of the cross section, with the vaulted design of the cantilever arms also owing much to architectural appearance principles. The outcome of the preliminary design phase produced nine beams with a weight of almost 70 tones each and a length of 34 m. The dimensions of the 18 reinforced concrete columns were based on structural considerations and the requirements for resistance to vehicle impact.

42 laminated beams or 42 prestressed concrete girders?

Since the roof apex provided a natural hinge for the roof girders resting on the beams, the most suitable structural stability system was one involving a single span support with a cantilever arm. The ratio of cantilever arm length to single span length was determined on the basis of an optimized preliminary design for a laminated beam.

The cross section of the laminated beam was then adjusted to the stress resultants to create an approx. 2.10 m high fish-bellied girder. A cost study taking account of the timber rafter superstructure indicated that the roof truss spacings should be 5.50 m. The design, including bill of materials, thus seemed to have been finalized by December 2005.

Since, however, StatiKo has expert knowledge of dimensioning wide-span girders for timber and prestressed concrete structures, the question was raised as to whether a prestressed concrete girder could be designed which could compete with laminated beams without raising the total cost of the shell. These ideas emerged in connection with the new possibilities for the dimensioning of prestressed concrete elements opened up by the DIN 1045-1 standard. This new dimensioning requirement allows for free choice in the distribution of stresses on prestressing steel or untensioned reinforcement at ultimate limit state, provided that the fitness-for-use criteria of the dimensioning code are met.

A further specification from the project planner was optimum fire resistance. A number of manual iterations produced an economically maximum structural height of 1.50 m in the span area. The volume of concrete leveled out at approx. 15 m³, corresponding to a weight of approx. 37.5 t per girder.

The next step was to determine the quantities of prestressed and unstressed steel needed, which proved to be complex and time-consuming as a result of the required decompression certificates (proving that no part of the cross section showed tensile stress when exposed to "quasi-permanent loads" $E_{d,perm}$) and transport logistics issues. In contrast to a single span girder, the girder as designed was subject to a different structural stability regime when in transportation status. Any calculation error would have an effect for 42 times, and was

42 Leimholzbinder oder 42 Spannbetonträger?

Da sich nun aus dem Hochpunkt des Daches ein natürliches Gelenk für die auf den Fangträgern aufgelagerten Dachträger ergeben hatte, blieb als geeignetes statisches System nur noch der Einfeldträger mit einem Kragarm. Das Verhältnis Kragarmlänge zu Feldlänge wurde an der optimierten Vorbemessung für einen Leimholzbinder festgemacht.

Der Querschnitt des Leimholzbinders wurde nun den Schnittgrößen angepasst, sodass ein Fischbauchträger mit ca. 2,10 m Höhe entstand. Die Achsabstände der Dachbinder ergaben sich durch eine Wirtschaftlichkeitsüberprüfung der oben aufliegenden Koppelfetten aus KVH (Konstruktionsvollholz) zu 5,50 m. Somit schien die Konstruktion samt Materialien im Dezember 2005 festzustehen.

Da das Ingenieurbüro StatiKo mit Bemessungen weitgespannter Träger im Holz- und Spannbetonbau vertraut ist, kam nun die Frage im Konstruktionsbüro in Zusammenarbeit mit ELO Beton auf, ob man einen Spannbetonträger konstruieren könnte, der mit Blick auf die gesamten Rohbaukosten neutral ist und mit den Leimholzträgern konkurrieren kann. Diese Überlegungen wurden durch neue Möglichkeiten der Bemessung von Spannbetonbauteilen nach DIN 1045-1 bestärkt. Kernpunkt der neuen Bemessung ist die frei wählbare Verteilung der Beanspruchungen auf Spann- oder Schlaffstahl im Grenzzustand der Tragfähigkeit, vorausgesetzt man hält die Gebrauchstauglichkeitskriterien des Bemessungscodes ein.

Ferner war von Seiten des Objektplaners ein möglichst großer Feuerwiderstand erwünscht. Nach einigen manuell geführten Iterationen ergab sich eine wirtschaftliche maximale Konstruktionshöhe von 1,50 m im Feldbereich. Das Betonvolumen pendelte sich bei ca. 15 m³ ein, was einem Gewicht je Träger von ca. 37,5 t entsprach.

Es mussten weiterhin Spann- und Schlaffstahlbedarf ermittelt werden, was sich mit Blick auf die Dekompressionsnachweise (Nachweis, dass kein Teil des Querschnittes unter den „quasi ständigen Lasten“ $E_{d,perm}$ Zugspannungen aufweist) und die Transportzustände als aufwändig erwies. Denn z. B. im Gegensatz zum reinen Einfeldträger ergab sich beim geplanten Träger ein anderes statisches System im Transportzustand. Jeder Fehler in der Kalkulation würde sich 42 mal auswirken und war immer wieder zu bedenken. Ferner musste der komplizierte Transport auf einer optimalen Route über die Landstraßen der Rhön von Eichenzell nach Poppenhausen-Sieblös durch das Fertigteilerwerk ELO Beton sichergestellt werden.

Nachdem die Massen des Spannbetonträgers feststanden und alle zugehörigen Parameter mit eingeflossen waren, wurden Preise eingeholt und Kostenvergleiche angestellt.

Die Auswirkungen beider Varianten wurden bezüglich der Gesamtkosten bis zu den Fundamenten verfolgt. Letztendlich wurde vom Bauherrn Kostenneutralität festgestellt und er entschied sich für die Spannbetonträger.

thus a factor for intensive consideration. Another issue was that the ELO Beton precast plant had to resolve the complex logistics problem of selecting the best route along rural roads through the hilly Rhön countryside from Eichenzell to Poppenhausen-Sieblös.

Once the quantities were established for the prestressed concrete beam and all parameters considered, quotes were invited to enable cost comparisons.

Both variants were analyzed for total costs down to the foundations. Finally, the client found no cost difference between the two variants and decided in favor of the prestressed concrete girders.

The client's decision was based on the following three important considerations:

- » fire-resistant structure and non-flammable construction material (F90-A)
- » beams at least 60 cm lower than laminated beams, no fish-belly geometry
- » the use of pre-stressed concrete girders eliminates the need for additional roof stiffening because the beams are stabilized through the wide top boom

Dimensioning criteria for prestressed concrete girders

- » snow load in accordance with DIN 1055 standard: $s_o = 1.60 \text{ kN/m}^2$ at approx. 600 m above mean sea level (msl)
- » additional wind pressure load for ultimate limit state
- » open building of exposure classes XC3 and XF1
- » decompression certificates for cantilever arm, max. midspan moment and load bearing in accordance with standard DIN 1045-1
- » certificate of transportation status for transportation on a truck and trailer
- » fire-resistant design to F90-A (definition in accordance with DIN 4102 Part 4)
- » no additional stiffening (roofing bonds)
- » the pretensioning of the cantilever arm area required major sections of the exposed steel span superstructure to be stripped.

Dabei gaben folgende drei Gründe den Ausschlag:

- » feuerbeständige Bauweise und nichtbrennbarer Baustoff (F90-A)
- » mindestens 60 cm niedrigere Träger gegenüber Leimholz, keine Fischbauchgeometrie
- » zusätzliche Dachaussteifungen können durch den Einsatz der Spannbetonträger entfallen, da diese über den breiten Obergurt stabilisiert werden

Bemessungskriterien der Spannbetonträger

- » Schneelast nach DIN 1055: $s_o = 1,60 \text{ kN/m}^2$ bei ca. 600 m. ü. NN
- » zusätzliche Winddruckbelastung für Grenzzustand der Tragsicherheit
- » offene Halle mit Expositionsclassen XC3, XF1
- » Dekompressionsnachweise für Kragarm, max. Feldmoment und Einleitungsbereich gem. DIN 1045-1
- » Transportzustandsnachweise für Fahrt auf dem Satelaufleger und dem Nachläufer
- » feuerbeständige Bauweise F90-A (Bezeichnung nach DIN 4102 Teil 4)
- » keine zusätzlichen Kippaussteifungen (Dachverbände)
- » wegen der Vorspannung im Kragarmbereich waren große Strecken an Abisolierungen des oben liegenden Spannstahles im Feldbereich erforderlich.

Die Anzahl der Spannritzen wurde exakt auf den tatsächlichen Bedarf zur Einhaltung des Dekompressionskriteriums ausgelegt. Die gesamte Vorspannung erfolgte im sofortigen Verbund. Aus Plausibilitäts- und Kontrollgründen wurde wegen des relativ langen Kragarmes alle maßgebenden Nachweise in der statischen Berechnung zusätzlich manuell geführt.

Zusammenfassung

Die statische Berechnung und die Konstruktion wurden wie schon beschrieben vom Büro Statiko Bauingenieur-Gesellschaft mbH in Eichenzell durchgeführt, während die technischen Möglichkeiten der Produktion und der Montage in den Verantwortungsbereich des Fertigteilwerkes ELO Beton fielen. Zusammen mit dem Bauherrn war es letztendlich möglich,



Fig. 2 47 m on their way through the Rhön hills.

Abb. 2 47 m auf der Fahrt durch die Rhön.



Fig. 3 Precision logistics at work in Poppenhausen.

Abb. 3 Haarscharf geht es in Poppenhausen zu.

The number of tensioning strands was exactly kept to the minimum required to meet the decompression criterion. Full tensioning was realized with immediate bord. For plausibility and control reasons and because of the relatively long cantilever arm, all relevant evidential readings on structural stability were also recorded manually.

Summary

As described above, the structural calculations and the design work were carried out by StatiKo Bauingenieur-Gesellschaft mbH in Eichenzell, while precaster ELO Beton dealt with all the technical aspects of producing and erecting the parts. This project, implemented in cooperation with the client made it possible to demonstrate the economical merits of using these innovative wide-span girders.

The following factors make this prestressed girder cost-competitive:

- » high concrete strength of C 50/60 allows for better utilization of the construction material
- » the new girder design methods specified in DIN 1045-1 (07/2001) allow for adjustments specific to each individual project
- » optimum use of the facilities for producing prestressed concrete beams at ELO Beton (stressbed length)
- » excellent coordination in engineering matters between all construction companies concerned, the planners and the client

Text and images: Dipl.-Ing. Georg Weikart



Fig. 5 Positioning the first beams. Everything fits!

Abb. 5 Die Montage des ersten Trägers. Alles passt!

innovative weit gespannte wirtschaftliche Träger zu realisieren.

Die Konkurrenzfähigkeit des Spannbetontträgers in Sachen Baukosten wurde durch folgende Bedingungen ermöglicht:

- » hohe Festigkeiten des Betons C 50/60 ermöglichen eine bessere Ausnutzung des Baustoffes
- » neue Ingenieurverfahren der DIN 1045-1 (07/2001) zur Berechnung der Träger lassen gezielte Anpassungen an das Objekt zu.
- » beste Ausnutzung der Vorrichtung zur Fertigung der Spannbetontträger im Fertigteilwerk ELO Beton (Spannbettlänge)
- » hervorragende technische Abstimmungen der beteiligten Firmen mit Planern und Bauherren



Fig. 4 This is where the structure becomes clear.

Abb. 4 Nun erkennt man die Konstruktion.