

Bautechnik

Zeitschrift für den
gesamten Ingenieurbau



78. Jahrgang
Oktober 2001
Heft 10
ISSN 0932-8351

150 Jahre
1852-2002

Fortschritte im Ingenieurbau – 150 Jahre Ernst & Sohn

Verbundtragfähigkeit geklebter CFK-Lamellen

Durchbrüche in Brettschichtholzträgern

Neuartige Stahl-Glas-Konstruktion

Erfassung der Vorspannung
mit nichtlinearer FEM

Das EXPO-Dach in Hannover

Die „Kapelle der Versöhnung“
ein Experiment mit Lehm

Joseph Paxton (1801-1865)
und der Kristallpalast in London

Die Holzachterbahn „Colossos“ in Soltau

Zur Geschichte

Die Ursprünge der modernen Achterbahn sind zurückzuführen auf das Rußland des 15. und 16. Jh. Vor allem um die Städte St. Petersburg und Moskau wurden in der zumeist flachen Landschaft künstliche, mehr als 20 m hohe Berge aus Holzgebälk errichtet, von denen man im Winter auf vereisten Bahnen herunterrutschen konnte. Um auch einen sommerlichen Betrieb zu ermöglichen, wurden im Jahre 1784 an mittlerweile gebräuchlichen Schlitten Steinräder angebracht, die in einer Rille zu Tal liefen. Die Beliebtheit dieser Rutschbahnen führte zu einer Verbreitung in ganz Europa. 1884 entstand am Strand von Coney Island in Brooklyn, New York, die erste hölzerne Rutschbahn Amerikas, bei der schon zehnsitzige Wagen auf einen 183 m langen Weg geschickt wurden.

Ebenfalls in Amerika wurden Ende des 19. Jh. erste Anlagen entwickelt („Roller Toboggans“), die aufgrund ihrer achtförmigen Streckenführung den Namen Achterbahn verdient hatten und für Schausteller in Serie produziert wurden. In dieser Zeit vollzog sich eine rasante Entwicklung der beliebten Bahnen. Rechenprogramme oder mathematische Herangehensweisen zur Ermittlung von dynamischen Kräften steckten allerdings in den Kinderschuhen, so daß immer noch viel Gefühl und große Erfahrung dazu gehörten, den optimalen Schienenverlauf festzulegen. Seit den 50er Jahren des 20. Jh. ist allerdings ein technischer Entwicklungsschub weltweit zu beobachten, dem nur noch die zumutbare Belastung des menschlichen Körpers Grenzen setzt.

1953 entstand in dem unter Holzarmut leidenden Italien die erste Achterbahn in vollständiger Stahlbauweise. Eine transportierbare Bahn dieser Art („Wild Cat“) konstruierte 1964 bereits der junge *Werner Stengel* – der Planer von Colossos im Heide-Park ist seitdem ein weltweit gefragter Star der Branche. Leider verschwanden sehr schnell sämtliche Holzachterbahnen von den europäischen Festplätzen, da sich die Auf- und Abbaueiten sowie die Transportkosten durch die Stahl-Varianten extrem verkürzten. Bei stationären Anlagen erwachte allerdings, ausgehend von Amerika in den 70er Jahren des 20. Jh., eine Renaissance moderner hölzerner Achterbahnen, die trotz spektakulärer Stahl-Loopingbauten bis heute anhält.

Die Popularität dieser Holzgiganten ist nicht zuletzt begründet in der Schönheit der Konstruktion-

nen. Als grafisch prägnante Kulisse wird die opulente Menge der Streben und Abstützungen gerne in Werbespots und Spielfilmen eingesetzt. Seit Anfang des 20. Jh. wurden weltweit bislang etwa 4000 Holzachterbahnen gebaut; derzeit entstehen etwa 20 neue Bahnen im Jahr. Colossos im Heidepark Soltau ist jetzt die größte Achterbahn der Welt. An ihrer steilsten Stelle hat sie eine Neigung von 61°; wenn er aus 60 m Höhe hier herunterfährt, fühlt sich der Fahrgast fast schwerelos und empfindet die Abfahrt als freien Fall. In den engen Passagen andererseits wirken Kräfte bis zum Vierfachen des eigenen Körpergewichts auf die Passagiere.

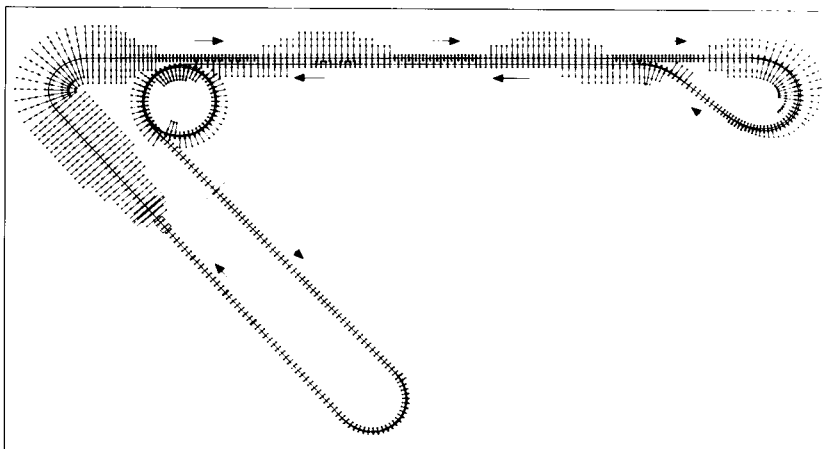
Konstruktion

Das Primärtragwerk der Achterbahn besteht aus Fachwerkträgern mit zug- und drucksteif angeschlossenen Vollholzdiagonalen. Die Fachwerkträger stehen in Bahnrichtung in Abständen zwischen 1,60 und 3,20 m. In Bereichen größerer Fliehkraft-

oder Windbeanspruchungen werden in Abständen von etwa 7,50 m Fachwerkträger auf unterschiedlicher Höhe ein- oder beidseitig abgestrebt. Die Vertikalen der Fachwerkträger sind aus bis zu 11,60 m langen Einzelstäben zusammengesetzt, die über Laschenverbindungen stumpf gestoßen werden. Im Stoß werden Druckkräfte über Kontakt, Zugkräfte über die Bolzen und Laschen übertragen.

Die Schienenschwellen, auch „ledger“ genannt, sind im Primärtragwerk integriert. Daraus resultierte die Notwendigkeit sehr strenger Toleranzvorgaben bezüglich der Höhe und der Lage des Primärtragwerks, die durchweg eingehalten werden konnten. So wurde eine maximale Höhenabweichung von nur 5 mm bei annähernd 60 m Gesamthöhe der Bahn gemessen. Fachwerkträger und Abstreibungen werden über geschweißte, feuerverzinkte Stahlschuhe auf Einzelfundamenten aufgelagert.

Das Sekundärtragwerk wird wie folgt ausgebildet: In Bahnrichtung verbinden horizontal verlegte Hölzer



die einzelnen Fachwerkträger. Ein rautenförmiges Netz aus quer über die Fachwerkträger verlaufenden Hölzern vervollständigt die Aussteifung in Bahnrichtung. Die Abstreben der Primärträger werden zur Knicklängenreduzierung über horizontale Tragglieder gegenüber den Primärträgern abgestützt. Die schräg verlaufenden Abstützungen der Primärträger werden zudem in ihrer Ebene durch horizontal und diagonal verlegte Kanthölzer zu einem Fachwerk ergänzt. Für alle hölzernen Bauteile wurden kleine Querschnitte gewählt, um Zwängungen oder Verformungen infolge Quellen und Schwinden zu minimieren.

Die Schienen bestehen aus räumlich gekrümmten und tordierten Furnierschichtholzträgern mit Querschnittsmaßen von 200 x 400 mm. Die Schienenabschnitte sind durch imprägniert und mittels CNC-Fräsen aus größeren Rohlingen herausgefräst. Die einzelnen Abschnitte werden durch scharnierartig ausgebildete Anschlüsse verbunden. Der Furnierschichtholzquerschnitt ist oberseitig mit einer etwa 10 mm dicken

Stahlblechabdeckung versehen. Die Verbindung mit den „Iedgern“ erfolgt über geschweißte, feuerverzinkte Stahlteile.

Alle Schienenabschnitte wurden mit hoher Präzision und auf Basis geometrischer Daten des Konstruktionsprogramms gefertigt. Wurden bei anderen Bahnen bislang erst nach Fertigstellung des Traggerüsts Schienenträger aus Vollholzbohlen und vor Ort erstellt und danach eine Stahlschiene montiert, konnten beim Bau von Colossos aufgrund der hohen Paßgenauigkeit Gerüst und hölzerne Schiene zugleich montiert werden. Dadurch reduzierte sich die Bauzeit deutlich. Die sehr genaue Anpassung an die sogenannte Herzlinie führt zu einer wesentlich ruhigeren Fahrt als bei anderen Holzachterbahnen. Von Vorteil erweisen sich auch die Formstabilität und Lebenserwartung der Furnierschichtholzträger, die deutlich höher als bei bislang ausgeführten Vollholzkonstruktionen liegen.

Mit nur 43 Detailpunkten (allerdings mit zahlreichen Variationen der Winkel und Stababmessungen)

konnte eine sehr weitreichende Standardisierung der Konstruktion erreicht werden.

Für die Konstruktion der Achterbahn kamen etwa 120000 Hölzer beziehungsweise 3000 m³ imprägnierte Niedersächsische Kiefer zum Einsatz. Die große anteilige Menge an Vollholz der Sortierklasse S 13 wurde aus bis zu 140 Jahre alten Stämmen eingeschnitten. Für alle Verbindungen und Anschlüsse verarbeitete man etwa 125 t Stahlteile, 80 t Bolzen und Muttern sowie 6 t Nägel.

Tragwerksplanung

Die Bemessung erfolgte durch ein spezialisiertes Ingenieurbüro für Fahrgeschäfte in Absprache mit dem TÜV Süddeutschland. Bemessungsgrundlage waren DIN 1052 „Holzbauwerke“, DIN 1074 „Holzbrücken“ sowie DIN 4112 „Fliegende Bauten, Richtlinien für Bemessung und Ausführung“.

Besonderes Augenmerk erforderte die Aussteifung der Gesamtkonstruktion, wobei hierfür die Windbeanspruchung den größten Anteil der Lasten lieferte. Da das Bemessungsprogramm die riesige Anzahl von Einzelstäben im Gesamttragwerk nicht bewältigen konnte, wurde die aussteifende Wirkung der Schienen auf das Gesamtsystem nicht berücksichtigt, sondern als Sicherheitsreserve angesehen. Die Aussteifung erfolgte im wesentlichen über das oben beschriebene Sekundärtragwerk. Die lastverteilende Wirkung der Schienen mußte hingegen – insbesondere in den Bahnschnitten mit großen Fliehkräften – durch abschnittsweise Modellieren der Bahn erfaßt werden.

Holz- und Korrosionsschutz

Zur Minimierung von Rissen wendete man ausschließlich knotenfreies Kiefernholz. Dieses wurde mit Übermaß geschnitten, auf feuchte getrocknet, gehobelt, gebunden und erst danach kesseltrocken imprägniert. Da auf der Bahn keine Schnitte oder Bohrungen ausgeführt werden mußten, wurde sich auch eine Nachbehandlung mit Spritzwasserschutz der Stahlteile durch die Aufstände der Stahlschuhe erreicht. Abschließend wurden horizontal liegende Holzflächen.

Für den Schienenträger wurde Furnierschichtholz als Material gewählt, da dieses aufgrund der Mikrorisse in den Schichten komplett durch imprägniert werden kann. Durch vorbeugenden Holzschutz und die zusätzliche Stahlblechabdeckung dieser Bauteile eine Lebensdauer von mindestens 20 Jahren erreicht werden. Schrauben,



Nägeln wurden gemäß DIN 1052-2, Tabelle 1, feuerverzinkt. Aufgrund der relativ großen erforderlichen Zinkschichtdicken mußten die Bolzen mit Untermaß hergestellt werden. Die Montage der Bolzen erfolgte mit großer Sorgfalt, um die Verzinkung insbesondere der Gewinde nicht zu beschädigen.

Brandschutz

Die Brandlast der Achterbahn ist als gering einzustufen, da keine großflächigen Bekleidungen vorhanden sind. Durch die offene Konstruktion ist zudem keine Kaminwirkung oder die Möglichkeit einer Verrauchung zu befürchten. Müßte dennoch die Bahn evakuiert werden, so erreichen die Züge die Talstation vom Hochpunkt aus innerhalb von 70 Sekunden. Sollte ein Zug im Bereich des

Anstiegs stehen bleiben, so können die Fahrgäste die Bahn durch beidseitige Fluchtwege verlassen.

Wartung und Überwachung

Der Betreiber führt täglich, wöchentlich und monatlich Überwachungen unterschiedlichen Umfangs durch, bei denen vor allem der Sitz der Bolzen kontrolliert wird. Eine durchgehende Betonplatte unter der gesamten Bahn erleichtert das Auffinden und Ersetzen herausgefallener Bolzen. Die geplante Nutzungsdauer der Gesamtkonstruktion beträgt etwa 50 Jahre.

Baudaten

max. Höhe: 60 m
Streckenlänge: 1500 m
max. Längsgefälle: 61°
max. Quergefälle: 67°

max. Fahrgeschwindigkeit: 120 km/h
Fahrzeit: 145 s
max. Kapazität: 1500 Personen/h
Baukosten: 45 Mio. DM
Bauzeit: 7 Monate

Bauherr:

Heide-Park-Soltau GmbH, Soltau

Entwurf und Tragwerksplanung:

Dipl.-Ing. Werner Stengel,
Ing.-Büro Stengel, München

Ausführung der Holzkonstruktion:

Ing.-Holzbau Cordes,
Rotenburg/Wümme;
Fa. Heinrich Harling, Bergen;
Merk Holzbau, Aichach

Dipl.-Ing. Arnim Seidel,
Dipl.-Ing. Tobias Wiegand,
Arbeitsgemeinschaft Holz e.V.,
Düsseldorf

Termine

Tagungen

Passivhaus Hessen 2001

Ort und Termin:
Wetzlar,
2. bis 4. November 2001

Auskünfte und Anmeldung:
erneuerbare energien
Kommunikations- und
Informationsservice GmbH,
Unter den Linden 15,
72762 Reutlingen
Tel.: 07121/30160
Fax: 07121/3016100
E-mail: redaktion@energie-server.de
www.energie-server.de

Deutsche Gesellschaft für Materialkunde

Themen, Orte und Termine
(Auswahl):
Faserverbundwerkstoffe –
Fertigung, Prüfung, Anwendung
Stuttgart, 6. und 7. November 2001

Faserverbundwerkstoffe –
Laminatberechnung
Stuttgart, 7. und 8. November 2001

Metallische Verbundwerkstoffe
Geesthacht,
13. bis 15. November 2001

Recherchieren in Patent-
und Markendatenbanken
Karlsruhe,
20. bis 22. November 2001

Hochtemperaturkorrosion
München, 26. bis 28. November 2001

Werkstoffprüfung 2001 –
Schadensanalyse und
Schadensvermeidung
Bad Nauheim,
6. und 7. Dezember 2001

Auskünfte und Anmeldung:
Deutsche Gesellschaft
für Materialkunde e.V.,
Hamburger Allee 26,
60486 Frankfurt/Main
Tel.: 069/7917743
Fax: 069/7917733
E-mail: werkstoffpruefung@dgm.de

Innovative Fassaden – ästhetisch, ökonomisch, ökologisch, integral betrachtet

Ort und Termin:
Baden-Baden,
7. und 8. November 2001

Auskünfte und Anmeldung:
Verein Deutscher Ingenieure,
VDI-Gesellschaft Bautechnik,
Postfach 101139, 40002 Düsseldorf
Tel.: 0211/6214531
Fax: 0211/6214151

Schlagmann Profi-Gesprächskreise

Orte und Termine:
Deggendorf, 7. November 2001
München-Ottobrunn,
8. November 2001
Neumarkt i. d. Opf.,
13. November 2001
Ingolstadt, 14. November 2001

Auskünfte und Anmeldung:
Schlagmann Baustoffwerke
GmbH & Co. KG,
Lanhofen, 84367 Tann
Tel.: 08572/170
Fax: 08572/17159

Strom statt Marmor – Gebäudeintegrierte Photovoltaik

Ort und Termin:
Herne-Sodingen, 8. November 2001

Auskünfte und Anmeldung:
Haus der Technik e.V.,
Frau Schrudde,
Hollestraße 1, 45127 Essen
Tel.: 0201/1803247
Fax: 0201/1803346
E-mail: h.schrudde@hdt-essen.de
www.hdt-essen.de

Seminarreihe Recht

Ort: München
Themen und Termine:
Schuldrechtsmodernisierungsgesetz,
8. November 2001

Schutz vor Insolvenz am Bau,
15. November 2001

Auskünfte und Anmeldung:
bau-IT AG, Landshuter Allee 10,
80637 München
Tel.: 089/1202170
Fax: 089/12021729
E-mail: seminar@bau-it.com
www.bau-it.com

Braunschweiger Bauseminar 2001 Bauen im Wandel der Zeit

Ort und Termin:
Braunschweig,
8. und 9. November 2001

Auskünfte und Anmeldung:
Technische Universität
Braunschweig,
Zentralstelle für Weiterbildung,