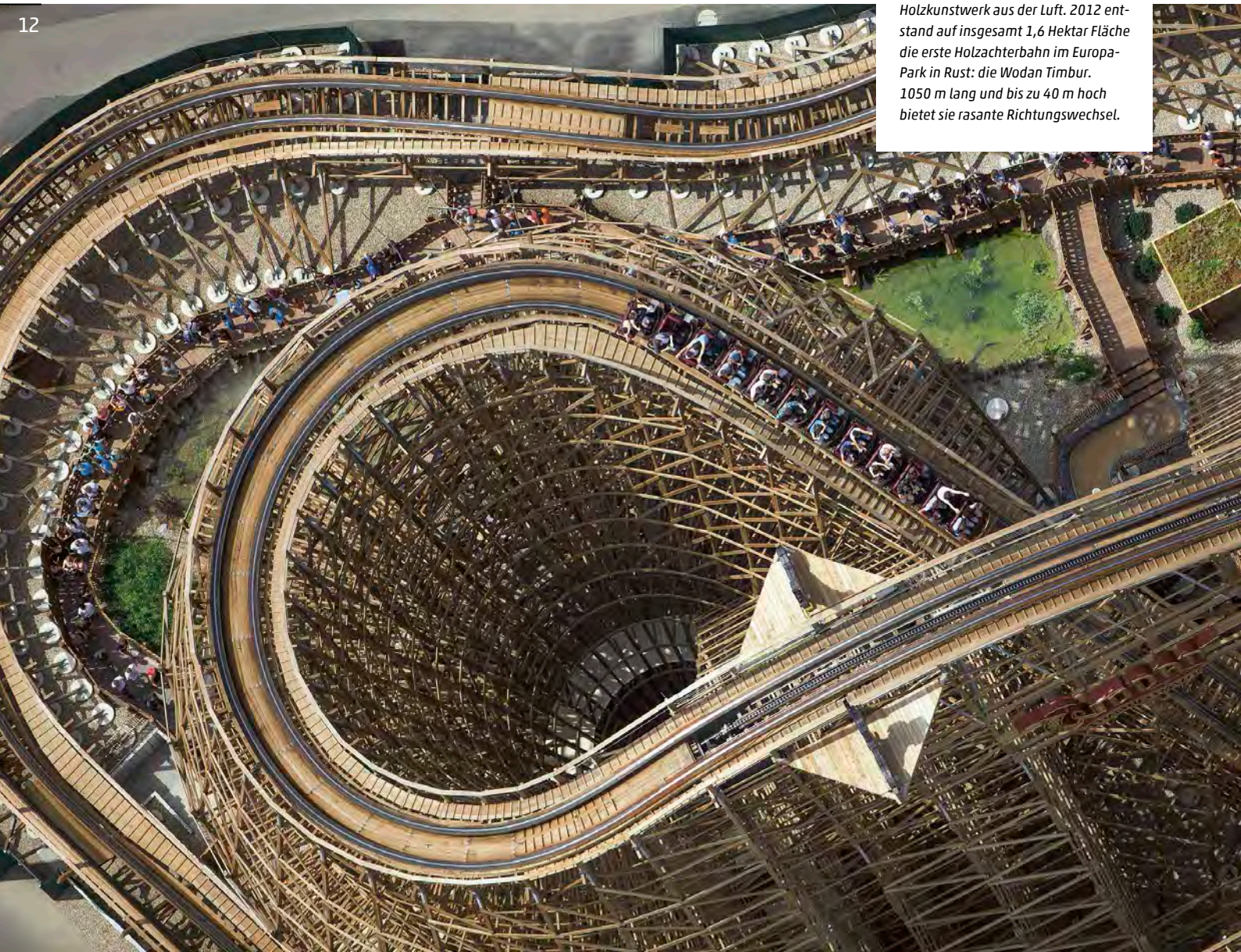


Achterbahnen: exakt berechneter Nervenkitzel

# Shake, rattle and roll!

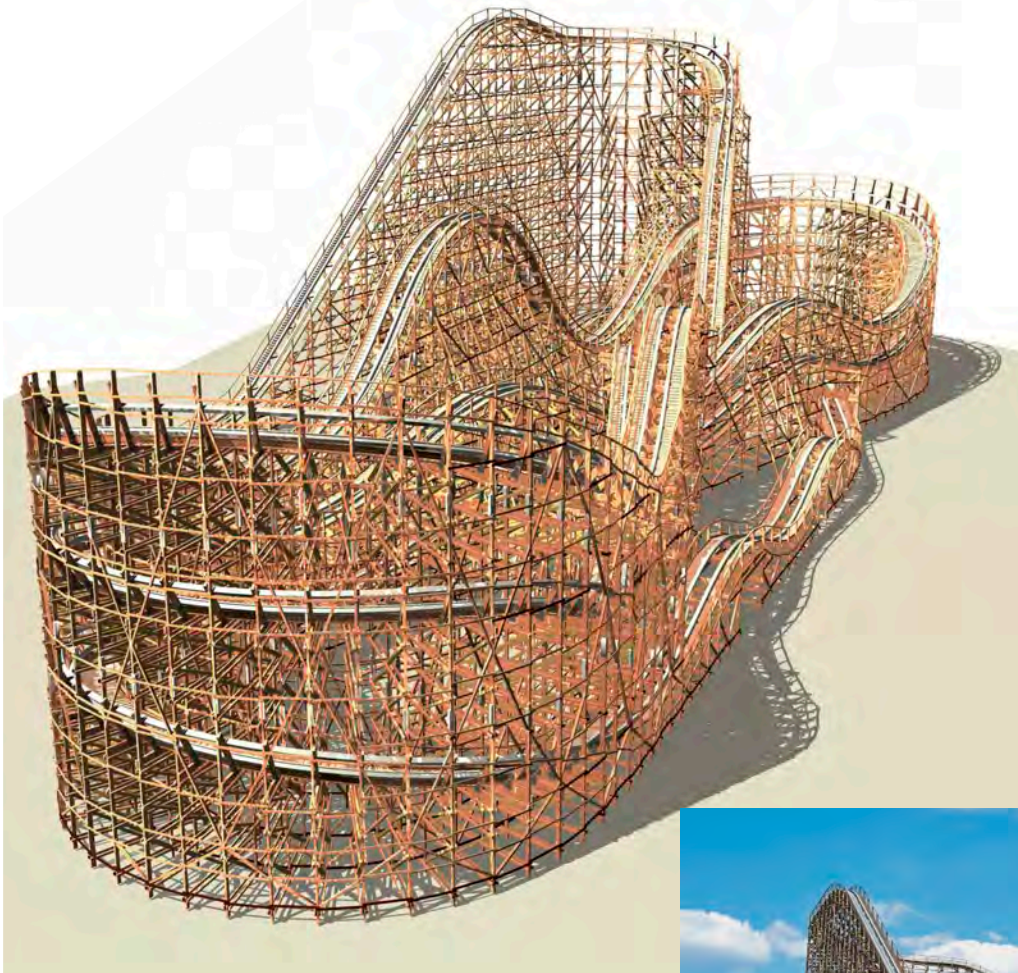
Achterbahnen aus Holz liegen im Trend und zählen zu den Attraktionen vieler Vergnügungsparks dieser Welt. Sie werden jedes Jahr schneller, höher, steiler und damit immer aufregender. Wie sie holzbautechnisch realisiert werden können, welches Holz und welche Verbindungen sie möglich machen, zeigen ältere und neue Konstruktionen solcher Bahnen. | [Susanne Jacob-Freitag](#)

12



*Holzkunstwerk aus der Luft. 2012 entstand auf insgesamt 1,6 Hektar Fläche die erste Holzachterbahn im Europa-Park in Rust: die Wodan Timber. 1050 m lang und bis zu 40 m hoch bietet sie rasante Richtungswechsel.*





← 1 Die Holzachterbahn Balder im schwedischen Göteborg wurde 2015 zur besten Holzachterbahn gekürt.



↑ 2 Colossos ist mit bis zu 60 m die höchste und mit 120 km/h auch die schnellste Holzachterbahn in Europa. Ihre Konstruktion ist prototypisch für viele Nachfolgebahnen, wobei Details optimiert wurden, wenn neue Techniken Verbesserungsmöglichkeiten boten.



← 3 Seitliche Abstreben stützen die Fachwerke von Colossos auf unterschiedlicher Höhe ab. Fachwerke und Abstreben erhielten jeweils Einzelfundamente. Fußanker und Grundplatte nehmen die Stützenquerschnitte auf.

➤ Eine der ältesten noch fahrtauglichen Holzachterbahnen ist die Rutschebanen im Freizeitpark Tivoli Gardens in Kopenhagen, Dänemark. Seit 100 Jahren ist sie in Betrieb und fährt bis zu 50 km/h schnell bei einer Abfahrt von gerade mal 13 m. Doch in den vergangenen hundert Jahren haben sich die Eigenschaften von Holzachterbahnen erheblich verändert. Immer höher und schneller wurden die kunstvollen Ingenieurbauwerke.

Zu den höchsten Bahnen aus Holz zählt beispielsweise die rund 1500 m lange „Colossos“ im Heidepark Soltau in der Lüneburger Heide. 3000 m<sup>3</sup> Holz stecken in dem bis zu 60 m hohen Koloss und 3000 Zeichnungen fertigten die Tragwerksplaner an, bevor es an den Bau ging. Dabei standen jeder Holzquerschnitt, jedes Profil, jeder Bolzen und Nagel fest. Ein planerisches und logistisches Wunderwerk, über das man seit 2001 mit bis zu 120 km/h hinweg brettern kann.

Bei solchen Geschwindigkeiten wirken hohe Kräfte auf die Bahn, sodass die Konstruktionen teilweise sehr aufwändig sind. Die verschiedenen Achterbahnbauer gehen damit unterschiedlich um. Das US-amerikanische Unternehmen Great Coasters International (GCI) aus Pennsylvania beispielsweise setzt auf Tradition und baut auf alt-hergebrachte Weise, ohne vorgefertigte Stecksysteme,





ropas gewählt – knapp hinter Skandinaviens längster und höchster Holzachterbahn namens „Balder“, ebenfalls von Cordes. Sie steht im Liseberg Park in Göteborg, Schweden.

### Colossos: Ein 120.000-Teile-Tragwerk

Das Primärtragwerk von Colossos setzt sich aus Fachwerken aus Holzstützen (Hauptquerschnitte: 6/14 cm, 8/14 cm, 10/14 cm, bzw. 10/20 cm) mit Diagonalverbänden sowie schrägen Abstreberungen als Abstützung gegen Seitenwind und Fliehkräfte zusammen. Die Abstreberungen stützen alle 7,5 m das innere Fachwerk ab und wirken als Zug- und Druckstäbe, da sie nur Normkraft beansprucht sind.

Das Sekundärtragwerk wird von genagelten Längsaussteifungen aus Latten (6/10 cm, 4,5/10 cm, 8/10 cm) und diagonalen Auskreuzungen (10/14 cm) für die Knicksicherheit der Stützen gebildet. Die Diagonalen nehmen die Kräfte aus der horizontalen Beanspruchung, den Windlasten sowie aus dem Fahrbetrieb auf und leiten diese in die Einzelfundamente ab.

Für das Holztragwerk der etwa 1500 m langen Achterbahn wählte man festigkeitssortiertes Kiefernholz (S10, S13), wodurch die Ausnutzung der Stammware bei nur 25 bis 30 % lag. Für Querschnitte mit S13-Qualität hat man bis zu 140 Jahre alte Bäume verwendet. Das Holz wurde kerngetrennt, mit Übermaß geschnitten, auf Tränkfeuchte getrocknet, gehobelt und gefast, dann abgebunden und imprägniert. Das Ziel war, vollmaßige Querschnitte zu erhalten. Das gesamte Tragwerk besteht aus über 120.000 Einzelbauteilen, die exakt zusammenpassen mussten.

### Fundament mit gestapelten Stützen

Jede Stütze erhielt ein Einzelfundament aus Stahlbeton, um die dynamischen Beanspruchungen besser kontrollieren zu können. Jedes Fundament wurde daher auch gemäß seiner spezifischen Beanspruchung statisch nachgewiesen und ausgeführt. Aus Stahlformteilen zusammengeschweißte Fußanker mit Grundplatte nehmen die Holzquerschnitte der Stützen über zwei Passbolzen auf.

Um die gewünschten Steigungen und Gefällestrrecken zu erzeugen, wurden unterschiedlich hohe Fachwerke hergestellt, deren Stützen aus übereinandergestellten, stumpf gestoßenen Einzelstützen (max. Holzlänge = 11,60 m) bestehen. (Der höchste Punkt liegt bei ca. 60 m.) Die Stöße wurden – wie beim klassischen Stoß eines Fachwerkbinders – durch zwei seitlich angebrachte Holzlaschen (ca. 1 m lang) sowie vier Bolzen hergestellt. Die Stützen nehmen Wind, Eigenlast und dynamische Beanspruchungen auf. Durch die Wechselbeanspruchung sind sie auf Zug und Druck gleichermaßen beansprucht, wobei Zugbeanspruchungen über die Bolzenverbindungen aufgenommen werden, Druckbeanspruchungen über Kontaktpressung.

Die seitlichen Fachwerkabstreberungen sind untereinander ebenfalls durch unterschiedlich geneigte Diagonalen abgestrebt (Sekundärtragwerk). Die Neigung der einzelnen Diagonalen ist abhängig vom Kraftfluss.

14



4 Auf den sogenannten „Ledgern“ wurden die Schienenkörper über spezielle Stahlschuhe montiert. Die Schienenverwindungen sind auf der 1500 m langen Strecke überall unterschiedlich ...

5 ... , daher wurden die Schienen abschnittsweise als Einzelteile vorgefertigt. Ein scharnierähnlich ausgeführtes Stahlschlussteil dient der Verbindung der Schienenabschnitte.

sondern mit handwerklichem Geschick direkt auf der Baustelle. Mehr als 20 Holzachterbahnen hat GCI bereits errichtet. Darunter die Wodan Timbur im Europa-Park in Rust. Gebaut wurde sie 2012 und zählt zu den fünf höchsten Holzachterbahnen Europas.

Doch bleiben wir bei „Colossos“, der schnellsten und höchsten Bahn in Europa und der zweithöchsten der Welt, die das Holzbau-Unternehmen Cordes aus dem norddeutschen Rotenburg/Wümme im Hightech-Verfahren geplant und errichtet hat und auf dessen Basis bis heute zahlreiche Nachfolger konstruiert wurden – in jeweils optimierter Form, versteht sich. Anders als bei GCI wurden alle Teile von Colossos über CNC-Abbund im Werk vorgefertigt und vor Ort passgenau zusammengebaut.

Colossos wurde 2015 von der Zeitschrift Kirmes & Park Revue außerdem zur zweitbesten Holzachterbahn Eu-



### Berechnungsgrundlagen

Für die statischen Berechnungen wurden die zum Zeitpunkt der Planung gültige Holzbau-Norm DIN 1052, die Brückenbau-Norm DIN 1074 sowie die DIN 4112 für „Fliegende Bauten“ herangezogen. Maßgeblich beteiligt hinsichtlich der Betriebssicherheit der Achterbahn war auch der TÜV Süddeutschland.

### Fertigung verwundener und gekrümmter Querschnitte

Am schwierigsten gestaltete sich die Herstellung der Schienenkörper und deren Stahlblechabdeckungen als Laufflächen für die Fahrzeugräder. Denn jede einzelne Schiene weist in den Kurvenbereichen – ähnlich einer Schraubenlinie – eine unterschiedliche Krümmung und Verwindung auf. Für die etwa 20 cm x 30 cm messenden Schienenquerschnitte wurde Kerto Furnierschichtholz (FSH) gewählt, da es hochtragfähig, beliebig verkleb- und fräsbearbeitbar sowie durchimprägniert und damit äußerst witterungsbeständig ist. Die Schienenkörper wurden abschnittsweise im Werk vorgefertigt, nummeriert und in Positionspläne eingetragen.

Die gleiche Schwierigkeit stellte sich bei der Herstellung der Stahlblechabdeckung ein, die sich genau an die Oberseite der Schienenkörper anschmiegen musste. Durch Biegen, Walzen, Strecken und Stauchen konnten auch die Abdeckungen für jeden Abschnitt exakt angefertigt werden.

Ähnlich komplex war die Fertigung der zum Primärtragwerk zählenden Ledger (engl. Fachbegriff bei Achterbahnen; entspricht den Eisenbahnschwellen), d. h. der Auflagerbalken (S 13) für die Schienen. Auch hier handelte es sich um eine Einzelteilfertigung, da jede Schwelle im Bereich der Schienenauflagerung unterschiedlich angeschragt werden musste, um eine ganzflächige Auflagerung sicher-

zustellen. Die Schienen liegen lose auf den Schwellen auf und werden durch Stahlschuhe, ähnlich einem Sparrenpfettenanker, aus feuerverzinktem Stahl ( $t = 12 \text{ mm}$ ) an die Schwellen angeschlossen. In den geraden Bereichen erfolgt der Anschluss Schwelle/Schiene über zwei Bolzen je Stahlschuh, in den geneigten Bereichen müssen für die Aufnahme der dort auftretenden Horizontal- und Vertikalkräfte fünf Bolzen eingebracht werden. Der Schwellenabstand liegt zwischen 1,60 m und 3,20 m, je nach Streckenabschnitt. Die Schienenabschnitte werden über scharnierartig ausgeführte Stahlschlussteile miteinander verbunden.

→ 6 Beeindruckende Dimensionen dicht aufeinander folgender Steigungs- und Gefällestrecken bei Colossos.

↓ 7 „El Toro“ in Six Flags, USA, wurde bei einer Umfrage der Zeitschrift Kirmes & Park Revue zur beliebtesten Hochachterbahn der Welt gekürt.







8 Bei „Mammut“ in Tripsdrill haben die Planer erstmals eine modifizierte Schiene eingesetzt.

### Zur Geschichte von Achterbahnen

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, über 21 m hohe Berge aus Holzgebälk errichtet, von denen man im Winter auf vereisten Bahnen hinunter rutschen konnte. Um auch einen sommerlichen Betrieb zu ermöglichen, wurden im Jahr 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 ...

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 Colosso 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 Abbauzeiten sowie die Transportkosten durch die Stahl-Varianten extrem verkürzten. Bei stationären Anlagen erwachte allerdings ausgehend von Amerika in den 1970er Jahren eine Renaissance moderner hölzerner Achterbahnen, die trotz spektakulärer Stahl-Loopingbauten bis heute anhält.

Quelle: Informationsdienst Holz

Aufmacherfoto:  
Europa-Park  
Foto 1 bis 8:  
Ing.-Holzbau Cordes

### Verbindungsmitel

Aufgrund der unterschiedlichen Belastungsvarianten kamen 40 verschiedene Verbindungsmittel zum Einsatz, obwohl man aus Wirtschaftlichkeitsgründen darauf achtete, möglichst wenig verschiedene Verbindungsmittel zu verwenden. Eingebaut wurden zudem rund 55.550 Gekadübel. Die Wahl fiel aus Gründen der sehr großen zu übertragenden Kräfte auf die hochtragfähigen und damit verformungsarmen Sonderdübel. Sie wurden überwiegend zweiseitig eingepresst.

Für ein Bauwerk wie eine Achterbahn, das dauerhaft der Witterung ausgesetzt ist, war es zwingend erforderlich, die Korrosionsschutzvorgaben zu erfüllen. Alle Verbindungsmittel mussten daher feuerverzinkt und dadurch als Sonderanfertigung produziert werden. Hierbei ergab sich die Schwierigkeit, dass die Bolzen aufgrund der geforderten Zinkauflage untermaßig herzustellen waren, um nach der Verzinkung die gewünschte Größe zu erhalten. Darüber hinaus galt es darauf zu achten, dass die Gewinde der Bolzen ebenfalls sorgfältig verzinkt waren und dies bei der Montage auch blieben.

### Maßtoleranzen, Verschiebung und Aussteifung

Die Maßtoleranzen wurden äußerst eng gewählt, damit z. B. auch die präzise gefrästen Schienen und Schwellen in den unterschiedlichen Höhen passgenau montiert werden konnten und keine ungewollten Zwängungen auftraten. So ergibt sich u. a. am höchsten Punkt von etwa 60 m eine Höhenabweichung von nur 5 mm.

Die theoretische horizontale Verschiebung quer zur Fahrbahn, z. B. durch Seitenwind, hat man mit etwa 10 cm errechnet. Dabei wurden sämtliche Hölzer und Handläufe, auf die der Wind einwirkt, berücksichtigt. Die hohe aussteifende Wirkung der gebogenen Schiene wurde jedoch rechnerisch nicht in Ansatz gebracht, sodass die tatsächli-

che horizontale Verschiebung geringer anzunehmen ist als die errechnete. Die Schienen bilden in den Kurvenbereichen die Form eines Lassos und haben dadurch eine große aussteifende Wirkung in Längsrichtung (gekrümmtes Zugband).

#### Schutz vor Witterungseinflüssen

Die einzelnen Querschnitte des Tragwerks wurden nach dem Abbund kesseldruckimprägniert (Gefährdungsklasse 3 = GK3), um einen Rundumwitterungsschutz zu gewährleisten. Auch aus diesem Grund hat man für die Gleise Kerto gewählt, da es vollständig durchimprägniert und damit besonders witterungsbeständig ist.

#### Quellen und Schwinden

Bei Feuchtigkeitseinwirkungen durch Regen oder Schneequellen die Holzquerschnitte etwas und werden elastischer. Aufgrund der relativ kleinen Querschnitte ist der Einfluss durch Quellen und Schwinden jedoch insgesamt vernachlässigbar.

#### 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 die Bahn dennoch evakuiert werden, so erreichen die Züge die Talstation vom Hochpunkt aus innerhalb von 70 Sekunden. Sollte ein Zug im Bereich des Anstiegs ste-

hen bleiben, können die Fahrgäste die Bahn durch beidseitige Fluchtwege verlassen.

#### Vom CAD über CNC zur Montage

Die Tragwerksplaner gaben das Primärtragwerk vollständig in Form von Systemzeichnungen vor, aus denen auch die Einzelstückzeichnungen erstellt wurden. Zur Ermittlung des Sekundärtragwerks generierte die ausführende Holzbaufirma die Konstruktion dreidimensional mit CAD, inklusive aller erforderlichen Schnitte, Bohrungen und Fräsungen. Die so konstruierten Einzelbauteile wurden dann an die CNC-Maschinen geschickt, wo sie abgebunden, gefräst und gebohrt, sowie anschließend imprägniert und nummeriert wurden.

Die Montage erfolgte ausschließlich über Hebebühnen, Kran und temporäre Gerüste. Die Geka-Dübel erhielten mit Elektropressen eine bauseitige Vorpressung und wurden anschließend per Hand oder Elektroschrauber angezogen.

Hinsichtlich der Arbeitsschutzmaßnahmen gab es eine enge Zusammenarbeit mit der Berufsgenossenschaft.

#### Wartung

Täglich kümmern sich mehrere Leute um Inspektion, Wartung und Instandhaltung der Achterbahn. Dabei werden die Bolzen immer wieder überprüft und ggf. nachgezogen. Den Boden unterhalb der Holzkonstruktion hat man samt Einzelfundamenten mit Spritzbeton versehen, der bei der täglichen Begehung auch auf herausgefallene Bolzen abgesucht wird, die dann schnell ersetzt werden können. Auf diese Weise haben die Inspektoren eine zusätzliche Kontrollmöglichkeit der Anschlüsse. Die Konstruktion ist für eine Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren vorgesehen.

#### Variationen und Weiterentwicklungen

Bei Colossos-Nachfolgerbahnen wurde folgende Punkte variiert oder weiterentwickelt:

- Bei Balder (2003) mit maximalem Gefälle von 70° haben die Planer verstärkt Doppelgewindeschrauben (SFS) eingesetzt und die Imprägnierung gemäß skandinavischer NTR-Imprägnier-Norm mit Vollzelltränkung (GK4 statt GK3) ausgeführt.
- Bei „El Toro“ (2006) in Six Flags, New Jersey, USA, der beliebtesten Holzachterbahn der Welt (maximales Gefälle: 76°), wurde die Konstruktion ausschließlich verschraubt.
- Bei „Mammut“ (2008) im Erlebnispark Tripsdrill haben die Planer die Fahrschiene modifiziert. Dabei erhielt die Kerto-Schiene lediglich eine 10 mm dicke Stahlauflage. Für diese Weiterentwicklung meldete Cordes Ende 2007 ein Patent an. ◀

9 Die neue Kerto-Schiene erhielt lediglich eine 10 mm dicke aufgeschraubte Stahlauflage.



#### SUSANNE JACOB-FREITAG

➤ Dipl.-Ing. (FH); konstruktiver Ingenieurbau Karlsruhe; von 1997 - 2007 Redakteurin einer Holzbau-Fachzeitschrift; seit 2007 freie Journalistin, schwerpunktmäßig Ingenieur-Holzbau und Architektur; Inhaberin des Redaktionsbüros manuScriptur, Karlsruhe