Entwurf, Planung und Ausführung

Fußgängerbrücke in Anaklia, Georgien

von Peter Walser, Jochen A. Stahl

Vorgestellt wird eine ca. 500 m lange, in Holzbauweise errichtete Fußgängerbrücke am Schwarzen Meer in Georgien. Die Brücke überquert den Inguri-Fluss kurz vor seiner Mündung ins Schwarze Meer, dient der Anbindung eines Strandabschnittes an den neu zu realisierenden Hotel- und Hafenbereich und soll somit helfen, den Tourismus in dieser Region anzukurbeln. Im Masterplan für die regionale Entwicklung war eine Hängebrückenkonstruktion mit einer Hauptöffnung von 317 m und einem Überbau aus Stahl vorgesehen. Es zeigte sich, dass der ursprüngliche Entwurf das zur Verfügung stehende Budget um ein Vielfaches überstieg. In der Folge wurde angeregt, Alternativen unter Beteiligung örtlicher Baufirmen zu untersuchen. Das hier beschriebene Konzept erfüllte die Vorgaben in puncto Kostenrahmen und gliedert sich hervorragend in die Umgebung ein.

1 Projekt und Lage

Georgien gehört geographisch zu Vorderasien, wird aber von seinen Bewohnern als »Balkon Europas« bezeichnet, Gebirge und Vorgebirge bedecken 87 % des Landes. Im Norden liegt die Südabdachung des Großen Kaukasus, im Süden befinden sich die westlichen Rücken des Kleinen Kaukasus und der Rand des vulkanischen Armenischen Hochlandes. Im Osten grenzt das Land an Aserbaidschan und im Westen ans Schwarze Meer. Die beiden größten Städte sind Tiflis mit 1.258.085 und Kutaisi mit 178.350 Einwohnern. Georgien hat ca. 4,50 Mio. Einwohner.

Seit der staatlichen Unabhängigkeit im Jahr 1991 haben ca. 1 Mio. Menschen das Land verlassen, zwischen 2000 und 2005 ging die georgische Bevölkerung jährlich um ca. 1 % zurück. Vor allem Einwohner mit hohem Bildungsgrad, die Arbeitsplätze zunächst in anderen Staaten der Gemeinschaft Unabhängiger Staaten (GUS), später auch in Westeuropa und den USA finden konnten, verließen Georgien. Bürgerkriege in den autonomen Republiken Abchasien und Südossetien führten dazu, dass etwa 250.000 Menschen aus ihrer Heimat flohen oder vertrieben wurden.

Die Wirtschaftsentwicklung Georgiens, getragen vom Aufschwung im Finanz-, Immobilien-, Transport- und Bausektor, gestaltete sich bis 2008 mit hohen Wachstumsraten (2006: 9,40 %; 2007: 12,30 %) sehr dynamisch. Der Krieg zwischen Georgien und Russland 2008 sowie die globale Wirtschafts- und Finanzkrise verursachten allerdings einen wirtschaftlichen Einbruch, der dank umfangreicher Hilfszusagen der internationalen Gebergemeinschaft in Höhe von insgesamt 4,50 Mrd. $ aufgefangen werden konnte. Dennoch weist die georgische Wirtschaft auch heute noch erhebliche Defizite auf.

Die industrielle Produktion ist verhältnismäßig gering ausgeprägt und der Zustand der Landwirtschaft mangels moderner Ausstattung und Investitionen weiterhin mehr als unbefriedigend. Seit dem Rosenkrieg 2005 versucht die georgische Regierung massiv, den Tourismus im Land anzukurbeln, weshalb jener Sektor in den letzten Jahren deutlich an Bedeutung gewonnen hat: Die Zahl ausländischer Besucher ist 2011 im Vergleich zum Vorjahr um 39 % auf 2,80 Mio. gestiegen. Dieser zunehmend für die Wirtschaft Georgiens bedeutende Umstand ermöglichte auch die Realisierung der im Folgenden vorgestellten Anaklia-Brücke.

Anaklia ist ein Luftkurort am Schwarzen Meer. In den nächsten Jahren soll dort ein bislang brachliegendes Küstengebiet für die touristische Nutzung erschlossen werden. Gemäß dem Masterplan des spanischen Büros CMD Ingenieros werden dann am Südufer des Inguri, eines Grenzflusses zu Abchasien, Hotels, ein Yachthafen, Schwimmbäder und Sportplätze entstehen, während am Nordufer Strände und ein Park vorgesehen sind. Die Verbindung über den Fluss wird mit der Anaklia-Brücke realisiert.

1 *Übersicht*
© CMD Ingenieros

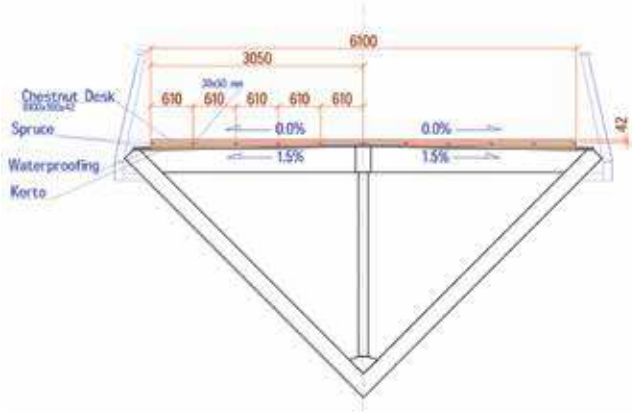
2 *Alternativer Überbau: Hängebrücke »mit« Belastungstest © Leonhardt, Andrä und Partner AG*

2 Entwurf

Der erste, ebenfalls von CMD stammende Entwurf für die Flussquerung sah eine kühne und in Stahl konzipierte Hängebrücke mit einer Gesamtlänge von ca. 552 m vor. Die Spannweite wäre hierbei im mittleren Bereich mit ca. 317 m am größten gewesen und hätte in Richtung der Widerlager jeweils ca. 117,50 m aufgewiesen. Dieses Konzept hat jedoch das geplante und vorhandene Budget um ein Vielfaches überschritten, weshalb man sich auf die Suche nach alternativen Lösungen begab.

Das örtliche Unternehmen Caucasus Road Project (CRP) wollte die Grundidee einer Hängebrücke mit großer Spannweite beibehalten, brachte aber zunächst als Alternative zum Stahl- einen Holzüberbau ins Spiel, der mit örtlichen Arbeitskräften und Ausrüstung hergestellt und montiert werden sollte. Wegen des leichteren Überbaues versprach man sich auch Einsparungen beim Kabelstahl. Aufgrund seiner internationalen Erfahrung mit seilverspannten Brücken wurde als Tragwerkplaner für diese erste Alternative das Büro Leonhardt, Andrä und Partner (LAP) vorgesehen. Sehr bald zeigte sich jedoch, dass auch ein solcher Vorschlag zu teuer war und kostengünstigere Entwürfe gesucht werden mussten.
Der Fluss Inguri weist eine maximale Wassertiefe von ca. 4 m auf und wird lediglich von kleineren Motorbooten befahren. Somit war schnell klar, dass Schifffahrtsöffnungen von ca. 40 m mit einer freien Durchfahrtshöhe von ca. 5 m vollkommen ausreichend sind. Aus dem Grund wurde von LAP eine Alternative mit verkleidetem Holzfachwerk und einem Durchlaufträger mit einer maximalen Spannweite von 60 m vorgeschlagen. Der Bauherr beharrte hingegen auf der Idee einer seilverspannten Brücke, woraus dann der letztlich realisierte Entwurf mit einer kleinen Schrägseilbrücke resultierte: Das Bauwerk ist als zweifaches Mehrfeldsystem konzipiert, unterbrochen durch eine gelenkige Ausführung über dem Trennpfeiler in Achse 5 und damit ungefähr in Brückenmitte, und besteht im Detail aus zwei gevouteten Widerlagerbereichen mit je 36 m Spannweite, sechs »Regelbereichen« mit jeweils 48 m Länge und dem Schrägseilbereich mit den größten Spannweiten von 60 m und 84 m. Die Gesamtlänge beträgt 504 m, es handelt sich somit um eine der längsten Holzbrücken der Welt.
Nach positiver Resonanz durch den Staatspräsidenten wurde in Georgien jedoch früh erkannt, dass die im eigenen Land nur dürftig vorliegenden Kenntnisse im Ingenieurholzbau nicht ausreichen würden, um ein solch herausforderndes Projekt umzusetzen. Des Weiteren wurde auch ein Brettschichtholz-(BSH-)Hersteller für die Realisierung benötigt, da eine entsprechende Fertigung weder in Georgien noch den umgebenden Nachbarländern existierte. In der Vorplanungsphase wurde daher schon eine Kooperation gesucht und Hess Timber später auch in die Detailplanung einbezogen. Die Detailnachweise bei der Holzbaubemessung wurden durch das Büro Fast + Epp erstellt, das als Nachunternehmer für Hess Timber arbeitete. Aus dieser Kooperation entwickelte sich ein montagefreundliches und kostenmäßig tragbares Konzept für den Überbauquerschnitt.

3 *Visualisierung des endgültigen Entwurfs © Leonhardt, Andrä und Partner AG*

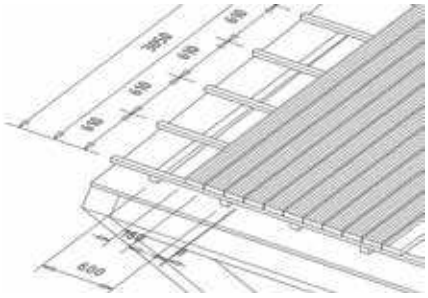


4 *Ansicht*
© Leonhardt, Andrä und Partner AG

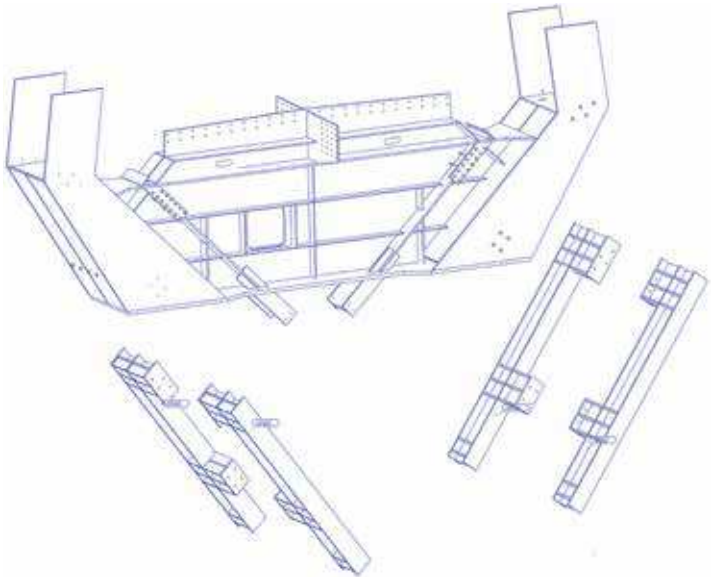
»Hess Limitless-Montagestoß« möglich, welcher die Herstellung von theoretisch unendlich langen Leimholzträgern durch Verleimung vor Ort erlaubt. Dieser Stoß erlaubte also die Herstellung der bis zu 48 m langen Gurte ohne die sonst üblichen Probleme der Verschieblichkeit und Verformung, wie man sie von mechanischen Verbindungsmitteln her kennt. Hinzu kommt, dass durch den Einsatz des Montagestoßes systematisch ein Brettschichtholz mit der hohen Festigkeitsklasse GL 35c zum Einsatz kommt. Insgesamt wurden 141 Stöße für die Herstellung vor Ort geplant.

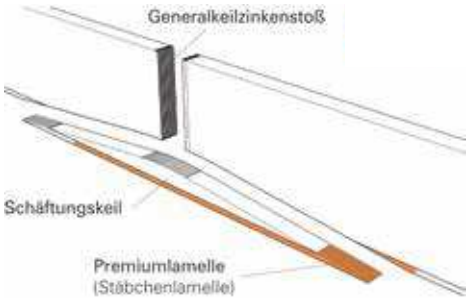
Der letztendlich entwickelte Querschnitt des Überbaues umfasst ein räumliches Fachwerksystem aus zwei seitlich um 45° geneigten Fachwerkträgern und einer horizontalen Scheibenkonstruktion aus Querriegeln und Holzwerkstoff-Platten am Obergurt. Die horizontale Scheibe wurde aus kesseldruckimprägnierten Kerto-Q-Platten ausgebildet, die gleichzeitig als Folienträger für die oberseitige Abdichtung der Wolfin-M-Bahn (glasfaserverstärktes PVC) dienen. Die Verbindung der BSH-Bauteile erfolgte über gewöhnliche Schlitzblech-Verbindungen mit Stabdübeln, für den Anschluss von Riegeln und Kleinbauteilen wurden handelsübliche Blechformteile und Lösungen mit geneigt eingedrehten Vollgewindeschrauben gewählt. Die Kerto-Q-Platten wurden mit Nägeln in die Obergurte und Riegel bauseitig mittels Nagelautomaten befestigt. Ursprünglich sollte die gesamte Fachwerkkonstruktion mit einer Verschalung aus in Georgien kostengünstig zu beziehender Edelkastanie verkleidet werden. Da die Fachwerkkonstruktion den Bauherren und dem Kunden jedoch während der Montage so gut gefiel, entschied man sich am Ende, nach langen Debatten über die generelle Notwendigkeit einer Verkleidung, die BSH-Konstruktionselemente mit transparenten Polycarbonatplatten zu verkleiden, um die Tragstruktur sichtbar belassen zu können und dennoch den erforderlichen Witterungsschutz zu gewährleisten. Wegen des relativ niedrigen Salzgehaltes im Schwarzen Meer war es ausreichend, die im Überbauquerschnitt liegenden und durch die Verkleidung geschützten Stahlteile des Holzbaus lediglich mit einer Feuerverzinkung mit einer Dicke von 85 µ zu versehen.

Die Gradiente des Überbaus folgt einem Radius von 5.000 m, das Raster des Fachwerkes beträgt 3 m. Um Sondertransporte aus Deutschland zu vermeiden, wurde die Länge der einzelnen Leimträger auf ca. 13 m begrenzt, die dann erst vor Ort zu 48 m langen Brückensegmenten zusammengefügt wurden. Das war durch den im Jahr 2010 patentierten

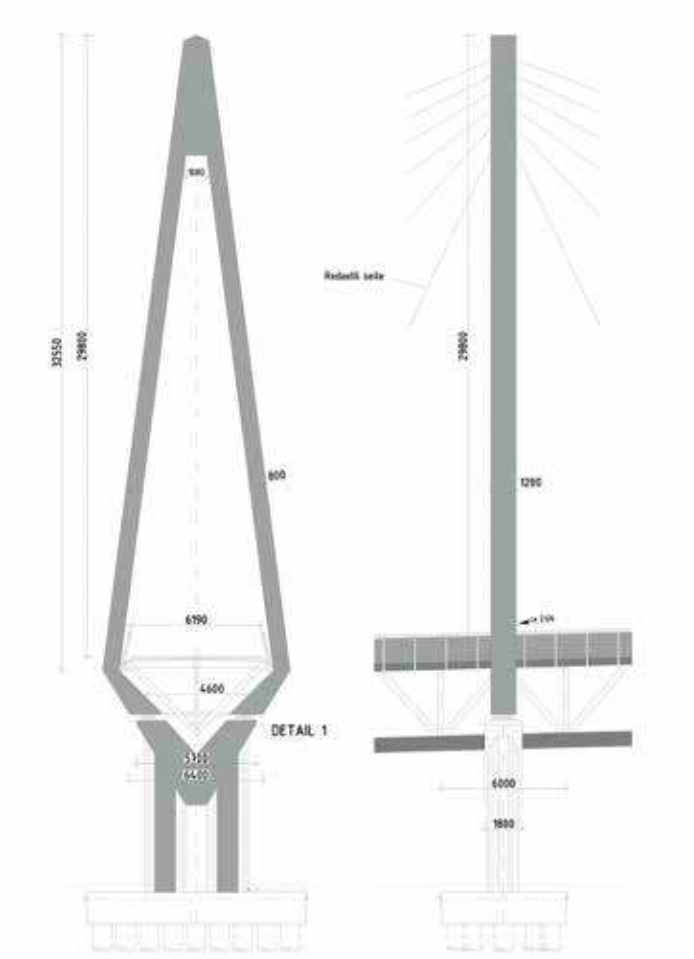


5 6 *Überbau: Querschnitt und Anschluß zum Pylon*
© Hess Timber GmbH & Co. KG





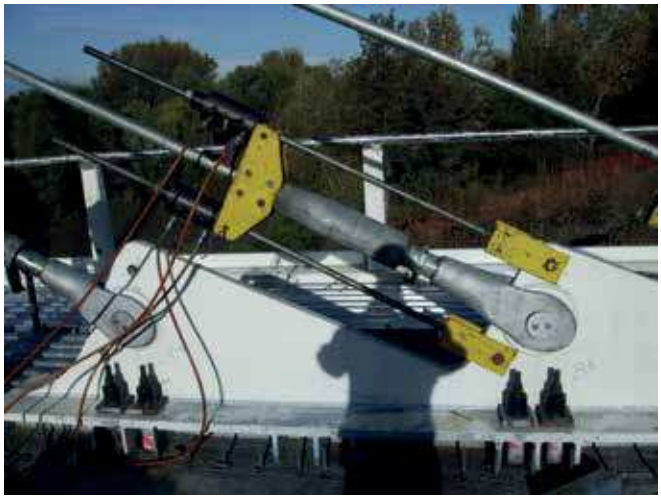
7 *Patentierter Montagestoß*
© Hess Timber GmbH & Co. KG



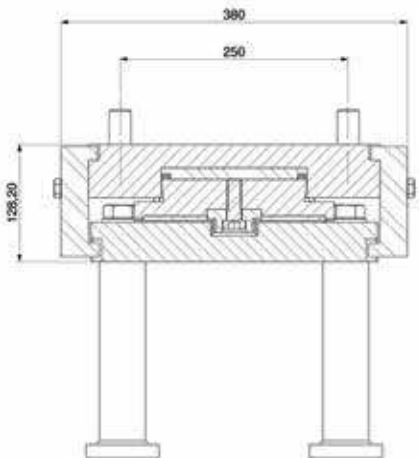
8 *Pylon in Querschnitt und Ansicht*
© Leonhardt, Andrä und Partner AG

werk kurzschließt. Die vertikalen Kräfte aus den Seilen werden durch ein Zugstabsystem übertragen, mit dessen Hilfe der Untergurt des Überbaues an die Schrägseile angehängt ist. Zur Aufnahme der Lasten aus den Brückenlagern wurden an den Pfeilern und an den Widerlagern zudem W-förmige Stahlrahmen angeordnet, an welche der hölzerne Überbau mittels Schlitzblechen und Stabdübeln befestigt ist.
Der Pylon in Diamantform befindet sich in Achse 3. Seine Beine bestehen aus Stahlhohlkästen mit äußeren Abmessungen von 800 mm x 1.200 mm, welche innen durch Blechsteifen ausgesteift und als luftdichter Kasten konzipiert sind. Die Verbindung zum Holzüberbau erfolgt auch hier mittels Schlitzblech-Stabdübel-Lösungen. Erst als der Pylon bereits durchgeplant und in der Fertigung war, kam wegen eines zukünftigen Flugplatzes die Forderung auf, ihn zu erhöhen und mit einer Befeuerung für Sichtfluganforderungen auszustatten.
Die vollverschlossenen Seile des Systems Redaelli werden in einer zentralen Ebene geführt, wobei das Vorspannen mittels zweier kleiner Pressen und Gewindestangen vom Überbau aus erfolgte. Die Drähte sind Galfan-verzinkt (95 % Zink, 5 % Aluminium) mit einer Mindestmasse von 200g/m², weisen in den Zwischenräumen ein Verfüllmaterial auf und haben außen eine werkseitige Beschichtung aus Wachs mit Aluminium (Tensacoat).

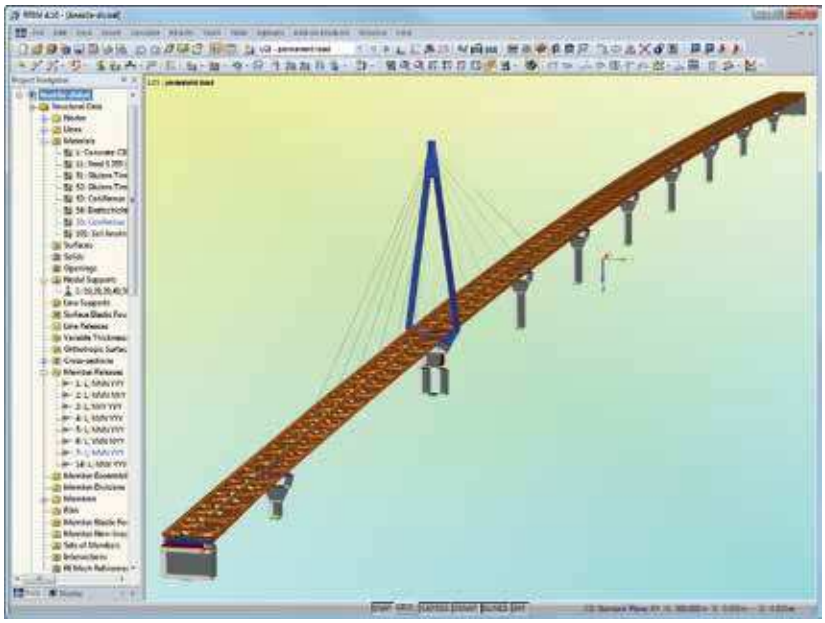
Zur Ausbildung der als Gehbahn dienenden Obergurtscheibe wurden die Kerto-Q-Platten bauseitig durch Nagelautomaten mit Nägeln in den Obergurten und Riegeln befestigt. Auf die Weise konnten zusätzliche Windverbände in der Obergurtebene vermieden werden, welche die ohnehin komplexen Anschlussgeometrien in den Knotenpunkten wesentlich erschwert hätten. Das Resultat war eine elegante und unter den gegebenen Randbedingungen einfache Lösung für das Aussteifungssystem, insbesondere da die Lohnkosten in Georgien verhältnismäßig niedrig sind und viele lokale Arbeitskräfte für die Vernagelungsarbeiten zur Verfügung standen.
Im Bereich des Pylons mussten die Schrägseile in der Mitte des Überbauquerschnittes an den Fachwerkträger angeschlossen werden. In diesem Bereich wurde daher zusätzlich ein mittlerer Obergurt eingeführt, der die horizontalen Kräfte aus den Seilen mit dem Holztrag-



9 *Prinzip des Seilvorspannens*
© Redaelli Tecna spa



10 *Zugfestes Kalottenlager*
© Alga S.p.A



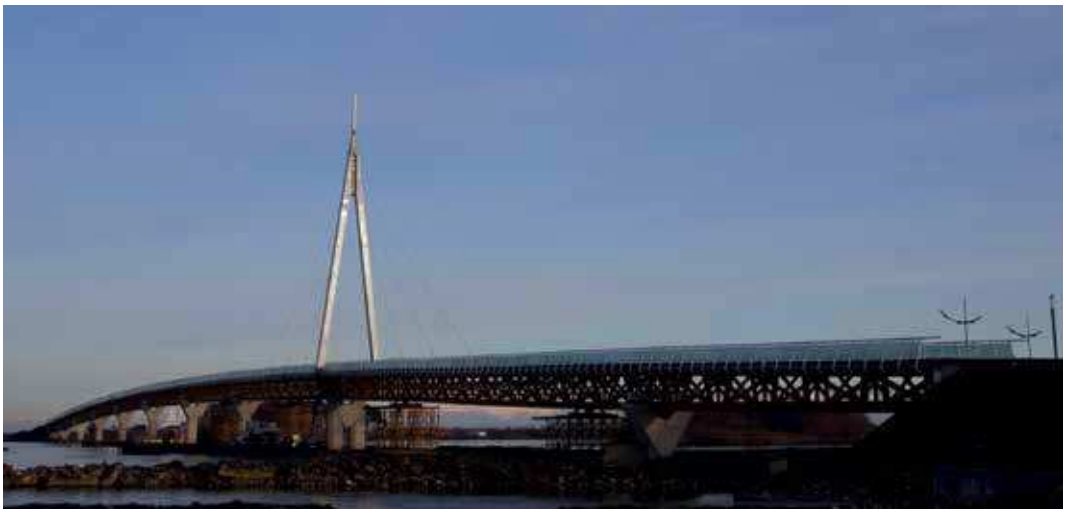
11 *Modellierung im Finite-Elemente-Programm*
© Fast + Epp GmbH

Die Pfeiler und Widerlager sind übliche Stahlbetonkonstruktionen und auf Bohrpfählen (d = 900 mm) mit Längen bis zu 25 m gelagert. Das Risiko einer Auskolkung wurde als relativ gering angesehen, weshalb lediglich 2 m Kolk in Ansatz gebracht wurden. Die Bemessung der Stahlbetonunterbauten oblag dem örtlichen Büro Transproject.
Die Lagerspreizung beträgt 4,25 m an den Pfeilern und Widerlagern sowie 4,60 m am Pylon. In jeder Achse ist ein querfestes Lager angeordnet. In den Achsen 3 (Pylon) und 8 sind die beiden Überbauten längsfest gelagert. Wegen des geringen Gewichtes des Überbaus und der großen zu berücksichtigenden Windgeschwindigkeiten in Kombination mit dem dreieckigen Überbau sind abhebende Kräfte durch die Lager aufzunehmen. Der Lieferant Alga hat hierfür Kalottenlager mit C-förmiger Klammer gegen Abheben geliefert.
Die Bemessung des Bauwerkes erfolgte nach Eurocode, wobei die örtlichen Gegebenheiten wie Windgeschwindigkeiten und Erdbebenspektrum vom Bauherrn vorgegeben wurden. Die Bemessungswindgeschwindigkeit bei einer Wiederkehrperiode von 50 Jahren für die 3-s-Böe liegt bei 41 m/s, für das Erdbebenspektrum war bei einer Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren eine Fußpunkterregung von 1,20 m/s² anzusetzen.
Das gesamte Brückentragwerk wurde in einem Finite-Elemente-(FEM-)Programm abgebildet. Dabei erforderte die realitätsnahe Modellierung der Steifigkeit der Kerto-Q-Scheiben eine besondere Beachtung, um die Zwangsmomente in den drei Obergurten infolge Verträglichkeitsbiegung aufgrund des durchlaufenden Fachwerkgurtes möglichst gering zu halten. Für die globale Schnittgrößenermittlung setzte das Büro LAP das Programmpaket Sofistik ein, die Bemessung der W-Rahmen, des Pylons und der Seile wurde manuell durchgeführt. Zur Überprüfung der globalen Schnittgrößen und zur weiteren Verfeinerung im Hinblick auf die Holzbaubemessung setzte das Büro Fast + Epp das Programmsystem von Dlubal ein. Die Bemessung der Anschlüsse erfolgte darüber hinaus mit den entsprechenden Modulen des Softwarepakets BauStatik von mbAEC sowie manuell.

3 Bauausführung

Das Baufeld führt über die Mündung des Flusses Inguri ins Schwarze Meer, der hier lediglich moderate Fließgeschwindigkeiten aufweist. Zunächst wurde von beiden Enden her ein temporärer Damm geschüttet und durch eine Schotterabdeckung einigermaßen vor Erosion geschützt. Im Bereich des späteren Hauptfeldes wurde zudem eine Öffnung von ca. 40 m belassen, um den Abfluss des Flusses zu gewährleisten. Die gewählte Breite der Dammkrone erlaubte das Montieren des Überbaus und den Transport weiterer Segmente seitlich davon mittels Tiefladern.

12 *Herstellen von Pfeilern und Pylon*
© Hess Timber GmbH & Co. KG



13 *Überbau auf Hilfsstützen*
© Hess Timber GmbH & Co. KG

Zunächst wurden die 900-mm-Bohrpfähle von der Dammkrone aus hergestellt, die Tragfähigkeit des Dammes war für das schwere Bohrgerät ausreichend. Danach wurden die Pfeiler und Widerlager konventionell mit durch Kran zu versetzender Schalung realisiert, wobei die Arbeiten durch den Hauptunternehmer CRP mit lokalem Personal durchgeführt wurden.
Die Stahlbauteile für die W-Rahmen über den Pfeilern und der Pylon wurden in der Ukraine aus S 355 gefertigt, im Werk grundbeschichtet und mittels Tiefladern zur Baustelle gebracht. Während die W-Rahmen komplett angeliefert wurden, musste der Pylon vor Ort zusammengeschweißt werden. Dazu wurden zwischen den Pylonbeinen temporäre Spreizen verwendet. Das Einheben der Pylonschüsse erfolgte mittels Mobilkran von der Dammkrone aus. Die Lager und die Seile wurden per Tieflader aus Italien angeliefert und durch entsprechendes Fachpersonal der Lieferanten installiert.

Die Leimholzträger und die verzinkten Schlitzbleche wurden wegen der geforderten Genauigkeit in Deutschland produziert und unter Plane per Sattelauflieger die ca. 3.750 km auf dem Landweg nach Georgien transportiert: Die Route führte über Deutschland, Österreich, Slowenien, Kroatien, Serbien, Bulgarien und die Türkei nach Georgien. Wegen des enormen Termindruckes und um eine hohe Qualität zu gewährleisten, entschloss man sich bei Hess Timber, eine komplette Zimmerer-Werkstattausstattung für Vormontage und notwendige vorbereitende Arbeiten nach Georgien zu exportieren. Die vor Ort zur Verfügung stehenden Werkzeuge und Hilfsmittel hätten diese Arbeiten andernfalls unnötig erschwert, die Montage erfolgte also durch deutsche Zimmerer und georgische Hilfskräfte. Die vor Ort zusammengeleimten Gurte wurden mit den anderen Fachwerkkomponenten und den ebenfalls in Deutschland produzierten Stahlteilen weitestgehend am Boden bzw. auf dem aufgeschütteten Damm vormontiert. Die Brückenabdichtung sowie alle weiteren Arbeiten wurden dann auf der auf den Pfeilern montierten Rohkonstruktion vorgenommen. Alle elf

14 *Vormontage des Überbaus*
© Hess Timber GmbH & Co. KG

15 16 17 18 *Bauzustand: Fachwerk, Anschluss von W-Rahmen und Pylon sowie Segmentstoß*
© Hess Timber GmbH & Co. KG

vorzufertigenden Brückensegmente hatten eine Länge von ca. 43–48 m und ließen sich gerade noch mit den lokal vorhandenen Kränen einheben. An den Segmentenden sind Kopfplatten angeordnet, um einerseits Montagetoleranzen leichter ausgleichen zu können und um andererseits die Fügung der Segmente mittels zweier Stahlteile zu realisieren. Die zweiteiligen Diagonalen am Segmentstoß wurden nachträglich in die Schlitzblechverbindung eingebaut. Die Verkleidung der Gehbahn mit Paneelen aus Edelkastanie, die Montage des Glasgeländers sowie die Installation der Polycarbonatplatten wurden hingegen durch den Hauptunternehmer CRP selbst durchgeführt.

19 *Fußgängerbrücke in Anaklia nach Fertigstellung*
© Caucasus Road Projekt

20 *Gehbahn »mit« Pylon*
© Caucasus Road Projekt

Während der Errichtung hatten die Beteiligten immer wieder mit Sturmfluten und den damit einhergehenden Dammüberschwemmungen sowie orkanartigen Stürmen zu kämpfen. Der Rückbau des Dammes wurde durch den Fluss selbst bewerkstelligt. Die Einweihung der Brücke erfolgte schließlich am 1. Januar 2012 durch den georgischen Präsidenten Saakaschwili.

Autoren:
Dipl.-Ing. Peter Walser
Leonhardt, Andrä und Partner
Beratende Ingenieure VBI AG,
Stuttgart
Dipl.-Ing. Jochen A. Stahl P. Eng.
Fast + Epp GmbH,
Darmstadt

Bauherr
Staat Georgien

Masterplan
CMD Ingenieros, Valencia, Spanien

Entwurf, Lastannahmen, Detailplanung Stahlbau
Leonhardt, Andrä und Partner, Beratende Ingenieure
VBI AG, Stuttgart

Detailplanung Gründung, Pfeiler und Widerlager
Transproject, Tiflis, Georgien

Detailplanung Holzbau
Fast + Epp GmbH, Darmstadt

Werkstattzeichnungen Holz- und Stahlbau
Hess Timber GmbH & Co. KG, Kleinheubach

Generalunternehmer
Caucasus Road Project, Tiflis, Georgien

Gründung, Stahlbetonbau, Stahlbau
Caucasus Road Project, Tiflis, Georgien

Holzbau
Hess Timber GmbH & Co. KG, Kleinheubach

Seile
Redaelli Tecna spa, Cologno Monzese, Italien

Lager
Alga S.p.A., Mailand, Italien

Federal-Mogul DEVA entwickelt Lösungen zur Lagerung von Hängebrückenseilen mit Gleitlagern aus deva.bm und deva.metal. Die hohe Leistungsfähigkeit der selbstschmierenden Verbundgleitwerkstoffe, die auch unter Extrembedingungen ihre grundlegenden Funktionen behalten, ermöglicht ein sicheres Abfangen der Brückenseile sowie der Bewegungen durch Wind und Vibration. Gleitlagertechnologie von Federal-Mogul DEVA – bewährt in zahlreichen Brückenbauwerken weltweit.

FEDERAL MOGUL

Driving the future through leading technology.
www.federalmogul.com

DEVA

Federal-Mogul DEVA GmbH · Schulstraße 20 · 35260 Stadtallendorf / Germany · Telefon +49 6428 701-0 · Fax +49 6428 701-108 · info@deva.de