

Demontage der Elbebrücke bei Hämerten

M. Pfeiffer, U. Heiland, D. Liske, R. Mellüh

447

Zusammenfassung Im Rahmen des Neubaus der ICE-Verbindung Hannover–Berlin sollte im Jahr 1994 bei Hämerten eine vorhandene Brücke in maximal 4 Monaten demontiert werden, deren wesentliche Teile in der Stromöffnung aus einem im Jahre 1947 montierten Brückengerät (SKR-6, SCHAPER-KRUPP-REICHSBAHN, Dreifeldträger mit 239 m Gesamtlänge) bestanden.

Nach Abwägung unterschiedlichster Gesichtspunkte erfolgte die Entscheidung für den Einsatz eines Großkranes (Raupenkran CC 4800). Die gegebene Schnittgrößenverteilung aus dem Eigengewicht des Ausgangssystems war durch die Einleitung von Kräften in bestimmten Punkten so zu verändern, daß entsprechende Teilsysteme herausgetrennt werden konnten. Nach jedem Heraustrennen entstand ein neues Teilsystem – nachfolgend insgesamt 13 –, das unter den gleichen Prämissen wie das Ausgangssystem, weiterzubearbeiten war. Die Fachwerkkonstruktion des Brückenhauptkörpers wurde als räumliches Stabsystem modelliert. Damit konnten sowohl vorhandene unsymmetrische Lasten (vorhandener Gleiskörper einseitig) als auch Asymmetrien in den Stabstrukturen relativ genau erfaßt werden. Bei der Ausführung der Trennschnitte am Brückensystem zeigte sich, daß die errechneten Schnittkraftzustände sehr gut mit der Realität übereinstimmten.

Dismantling of a bridge over the Elbe near Hämerten

Abstract In the year 1994, an existing bridge near Hämerten had to be dismantled in 4 months for the construction of a new railway line (ICE) Hannover–Berlin. The most important parts of this bridge in the flowstream section consisted of a non-permanent bridge erected in 1947 (SKR-6, SCHAPER-KRUPP-REICHSBAHN, three-span beam with 220 m spanlength). After a careful consideration of different aspects, it was decided to use a big crane (Tracked crane Raupenkran CC4800). It was necessary to change the stress distribution resulting from the deadload of the original system at certain points in such a way that sub-systems could be created. Every newly created sub-system (altogether 13) had to be calculated using the same conditions as the original system. The truss framework for the main bridge body was modelled as a spatial system with bars. In this way, it was possible to calculate both the unsymmetrical loads (one-sided loading of railway tracks) as well as the asymmetrical bar forms considerably accurately.

During the sub-systemizing process of the bridge structure, it was established that the calculated stresses agreed extremely well with the reality.

Dr. Ing. M. Pfeiffer und Dipl.-Ing. U. Heiland
Krupp Stahlbau GmbH, Hackethalstraße 4, D-30179 Hannover

Dipl.-Ing. D. Liske (VBI) und Dipl.-Ing. R. Mellüh
Ingenieur Consult Weimar GmbH, Dichterweg 2, D-99425 Weimar

1 Einleitung

Im Rahmen des Neubaus der ICE-Verbindung Hannover–Berlin wurde im ersten Halbjahr 1994 eine zweigleisige Eisenbahnbrücke über die Elbe fertiggestellt und im Juli des Jahres übergeben. Seit August 1994 nimmt diese Brücke den gesamten Eisenbahnverkehr über die Elbe bei Hämerten auf. Auf diese Weise entstand die erforderliche Baufreiheit für die Erneuerung der vorhandenen Brücke, deren wesentliche Teile in der Stromöffnung aus einem im Jahre 1947 montierten Brückengerät (SKR-6, SCHAPER-KRUPP-REICHSBAHN) bestanden (Fig. 1).

Diese zweigleisig konstruierte Brücke trug nur ein Gleis und erlaubte infolge ihres Unterhaltungszustandes nur noch Überfahrgeschwindigkeiten von 30 km/h. Sie wird nach ihrer Demontage durch eine zweigleisige Brücke ersetzt, die nach Aufnahme des Hochgeschwindigkeitsverkehrs (1997) den Verkehr der Stammstrecke aufnehmen soll. Der Achsabstand zur Brücke für die Hochgeschwindigkeitsstrecke beträgt 20,64 m.

Die vorhandene Brückenkonstruktion wies folgende Parameter auf:

Geometrie, System

Länge: 811 m, bestehend aus 4 Bereichen:

- Bereich 1: Vorland Ost 3 Einfeldträger (3×40,53 m), parallelgurtige Fachwerkträger mit untenliegender Fahrbahn
- Bereich 2: SKR-Gerät-3-Feldträger (66,0 m – 107,0 m – 66,0 m), parallelgurtiger K-Fachwerkträger
- Bereich 3: Vorland West 3 Einfeldträger (3×45 m), parallelgurtige Fachwerkträger mit untenliegender Fahrbahn
- Bereich 4: Vorland West 9 Einfeldträger (9×34,20 m), parallelgurtige Fachwerkträger mit obenliegender Fahrbahn

Gewichte

Stahlkonstruktion: ca. 4200 t

Oberbau: ca. 600 t

Für die Übergabe der neu zu bauenden Stammstreckenbrücke wurde durch den AG, die Planungsgesellschaft Schnellbahnbau Hannover–Berlin mbH, das Jahr 1996 vorgegeben. Es mußte davon ausgegangen werden, daß infolge der Elbhochwasser spätestens mit dem Jahreswechsel 94–95 das gesamte Vorland überschwemmt werden könnte.

Aus diesem Grund stand für die Demontage, einschließlich Zerlegung und Abtransport der zerlegten Komponenten, planmäßig nur die Zeit von Anfang September 1994 bis Dezember 1994 zur Verfügung.

2 Gegenüberstellung von Demontagekonzepten

In vorbereitenden Variantenvergleichen wurden zwei grundsätzlich unterschiedliche Vorgehensweisen untersucht.

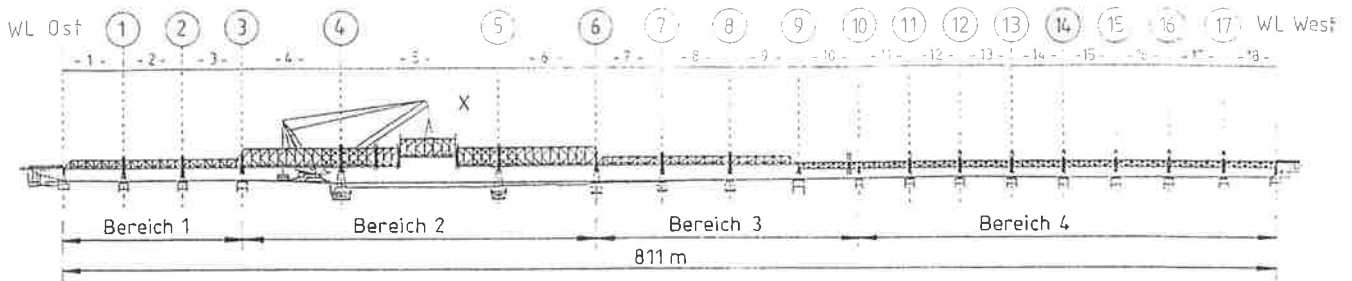


Fig. 1. Ansicht des Bauwerkes mit Raupenkrane CC 4800 am Ostufer. - View of structure with caterpillar crane CC 4800 on East bank

- Variante 1: **Demontage des Bereiches 2 (Stromöffnung, SKR-Gerät) mittels Schwimmkran;**
 Demontage der Vorlandbrücken mit Mobilkran.
- Variante 2: **Komplette Demontage der Brücke mit einem Großkran;**
 Demontage der Strombrücke vom Ufer aus.

Die Schwimmkranlösung wies folgende Problempunkte bzw. Nachteile auf:

1. Durch die wechselnden Standorte des Schwimmkrans in der schiffbaren Stromöffnung wäre die Schifffahrt erheblich beeinträchtigt worden.
2. Das vorhandene Elbprofil in der Nebenöffnung (Feld 6) hätte für den Schwimmkraneinsatz vertieft und anschließend wiederhergestellt werden müssen.
3. Der Schwimmkran wäre auf relativ hohe Wasserstände angewiesen gewesen, die frühestens ab November erwartet werden konnten. Die Disposition des Schwimmkranes wäre wegen der unsicheren Wasserstandsprognose sehr problematisch geworden. Eine Verzögerung beim Erreichen höherer Wasserstände hätte automatisch zu einer Verschiebung aller Termine für den anschließenden Neubau der 2. Brücke geführt.
4. Die veranschlagten Kosten des Schwimmkran-Konzeptes lagen wesentlich höher als für das Konzept mit einem Großkran.

Aus diesen Gründen erfolgte die Entscheidung für den Einsatz eines Großkranes.

3 Demontageplanung

3.1 Kraneinsatz und Montagehilfsmittel

Der für den Einsatz vorgesehene Raupenkrane CC 4800 ist innerhalb Deutschlands nur einmal verfügbar. Mit der Entscheidung für dieses Großgerät zwangen Kosten- und Termingründe, das Potential des Kranes optimal auszunutzen. Dies erforderte eine detaillierte Planung mit dem Ziel, den Kran nach kürzester Zeit wieder freizusetzen. Bei der weiteren Demontageplanung konnte von den in Fig. 2 dargestellten Parametern ausgegangen werden.

Der Raupenkrane sollte bewußt an den Leistungsgrenzen genutzt werden. Bei Ausladungen von 78 m waren Hublasten von 114 t bzw. bei 90 m Hublasten von 65 t möglich (maximales Lastmoment von 128 400 kNm bei 600 t Gegenballast). Diese zulässigen Lasten waren jedoch wesentlich kleiner als die Gewichte der vorhandenen Brückenabschnitte. Aus diesem Grund mußten einzelne ebene Fachwerkscheiben und räumliche Brückenelemente aus der Gesamtstruktur herausgetrennt werden. Die anzuschlagenden Brückenteile waren im Bereich der Fachwerkknoten aufzunehmen.

Die dafür entwickelte und eingesetzte Traverse ist in Fig. 3 zu erkennen. Sie konnte in Längs- und Querrichtung

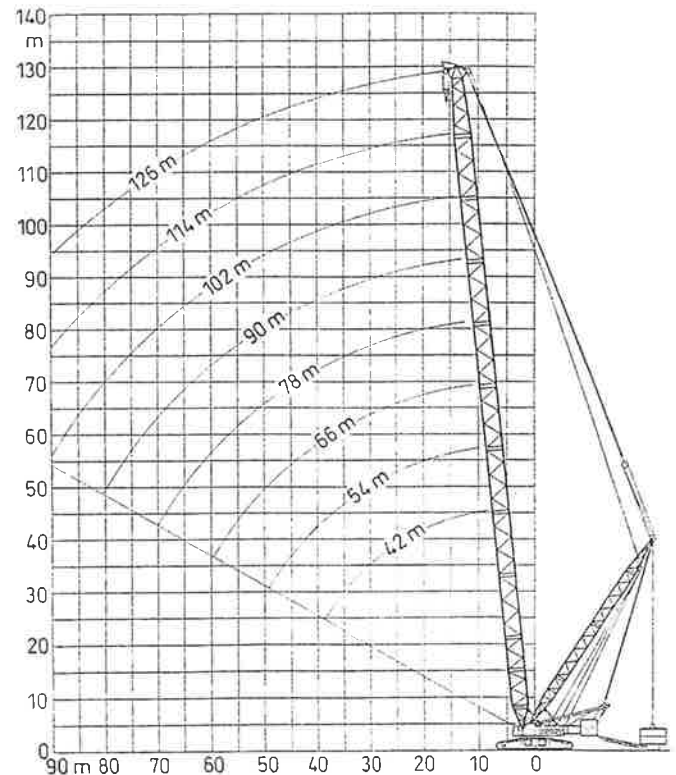


Fig. 2. Übersicht DEMAG Raupenkrane CC 4800. - DEMAG caterpillar crane CC 4800

variiert werden, um sie den acht unterschiedlichen Fachwerkgeometrien der Bereiche 1 bis 4 anzupassen.

Alle Fachwerkknoten, an denen die Traverse angeschlagen werden sollte, waren vor Beginn des Kraneinsatzes mit Einbauteilen vorzurüsten (Figs. 3 und 4). Gleichzeitig wurden an den späteren Trennstellen Vorbereitungsschnitte so geführt, daß sich die Schnittzeiten während der Demontage erheblich reduzieren ließen (Fig. 5).

3.2 Anlage von Baustraßen und Kranstandplätzen

Auf beiden Uferseiten wurden im Vorland parallel zur Brücke je 2 Baustraßen, eine für jede Raupenkette, angelegt. In den Bereichen der Baustraße, die gleichzeitig als Kranstandorte zu nutzen waren, erfolgte eine entsprechende Verstärkung des Baustraßenaufbaus.

Für die Demontage des Feldes 6 mit einem Stückgewicht von ca. 350 t bei einer Ausladung von ca. 45 m wäre der Einsatz eines zweiten Kranes notwendig gewesen. Statt dessen wurde der Uferkranplatz durch eine Vorschüttung in die Elbe so erweitert, daß die Ausladung für den Raupenkrane auf 36,4 m verkürzt werden konnte. Damit war das Ausheben des Feldes allein durch den Raupenkrane möglich (Figs. 6 und 7).

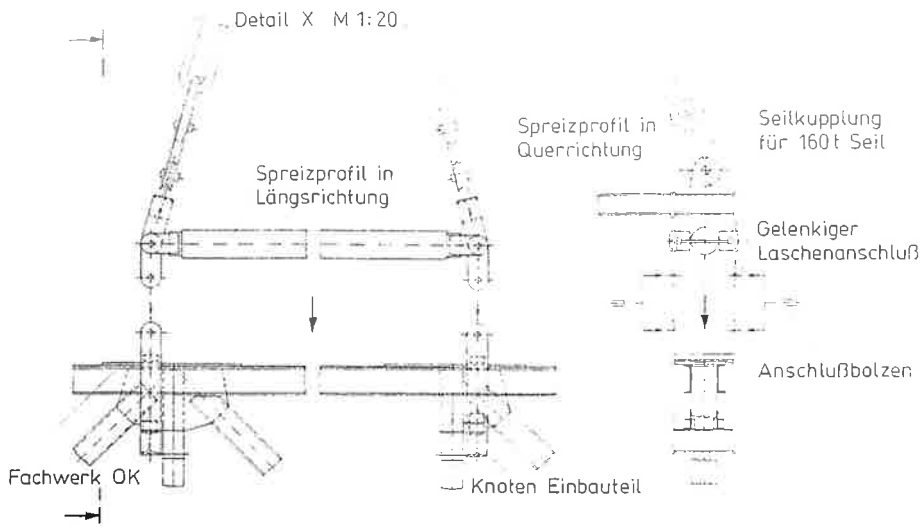


Fig. 3. Traversenkonstruktion. – Construction of spreader

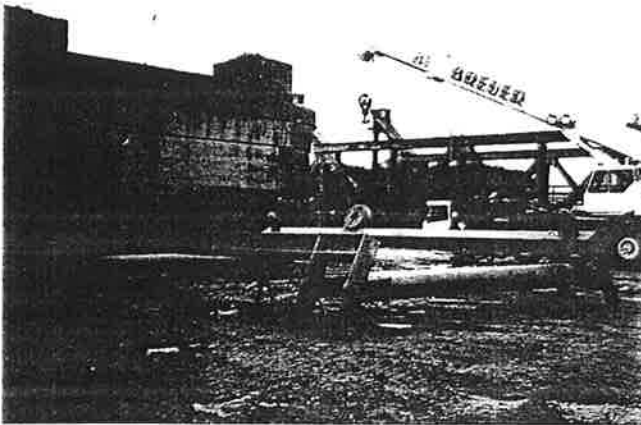


Fig. 4. Vormontierte räumliche Traverse. – Pre-assembled spatial spreader

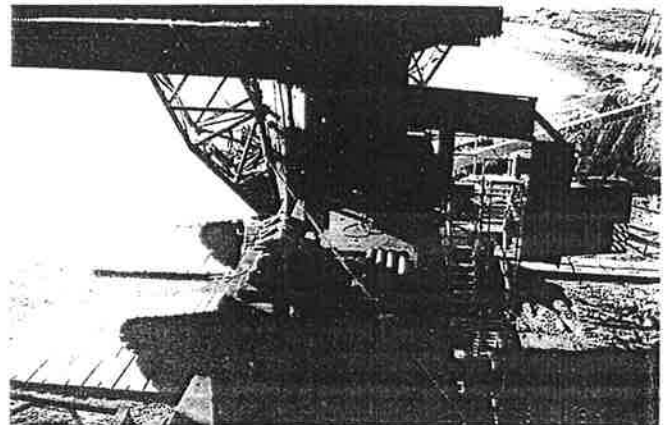


Fig. 6. Verschüttung für den Kranstandplatz am Westufer. – Gravel spread underneath crane on West bank

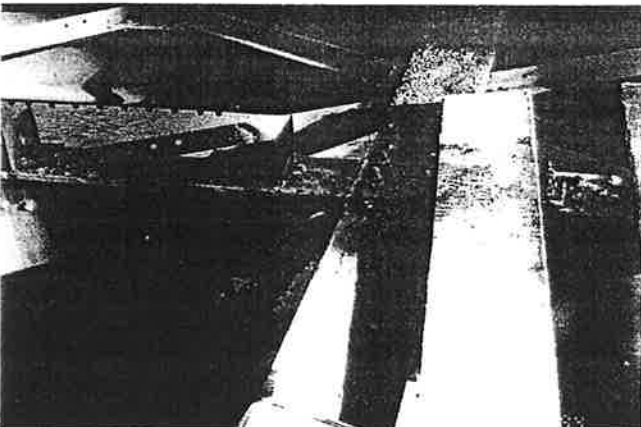


Fig. 5. Vorbereitung der Trennschnitte. – Preparation of cuts for separation

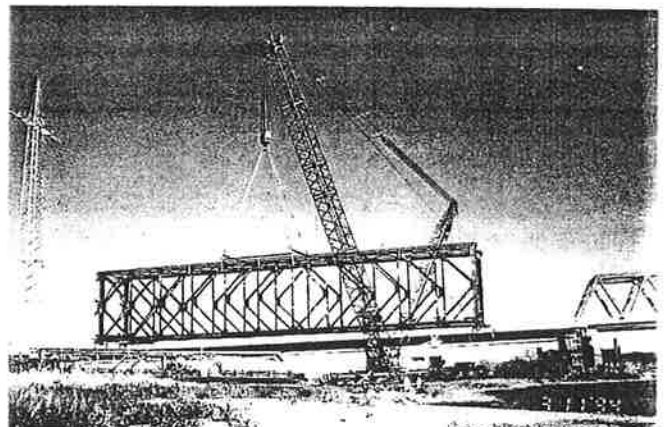


Fig. 7. Demontage Feld 6. – Dismantling of panel 6

3.3 Statische Untersuchungen

3.3.1 Voraussetzungen

Für die betrachtete Brücke lagen statische Unterlagen einer Brückennachrechnung aus dem Jahre 1955 vor. Da die darin enthaltenen Aussagen für die Demontage nicht anwendbar waren, mußte eine völlig neue statische Berechnung erstellt werden.

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Schnittgrößen wurde, wie schon ausgeführt, mit der Zielstellung eines optimalen Kraneinsatzes konzipiert. Die Stabilität der zu de-

montierenden Teilsysteme und des jeweils verbleibenden Restsystems bildete dabei die Randbedingung. Dies betraf insbesondere die Felder 4 bis 6 des SKR-Überbaus, der als Dreifeldträger ausgebildet war.

Die gegebene Schnittgrößenverteilung aus dem Eigengewicht des Ausgangssystems war durch die Einleitung von Kräften in bestimmten Punkten so zu verändern, daß entsprechende Teilsysteme herausgetrennt werden konnten.

Damit ergaben sich zwei Bearbeitungsziele bzw. -ergebnisse:

- Festlegung der Größe der Demontageelemente
- Ermittlung von Lastgrößen und Lastorten am System zur Erzielung gewünschter Schnittkraftzustände

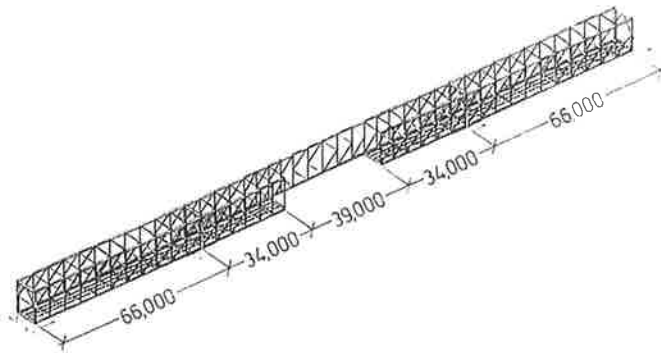


Fig. 8. Brückensystem mit herausgetrenntem Teilsystem. – Structure of bridge with dislocated part

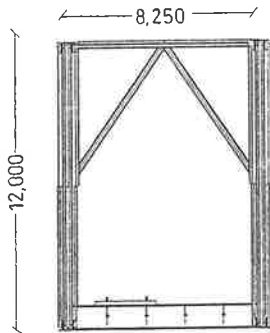


Fig. 9. Brückenportal mit einseitigem Gleis. – Bridge frame with railway track on one side

Nach jedem Heraustrennen entstand ein neues Teilsystem, das unter den gleichen Prämissen wie das Ausgangssystem weiterzubearbeiten war (Fig. 8). Insgesamt wurden 13 Teilsysteme untersucht.

3.3.2

Berechnungsgrundlagen

Die Fachwerkkonstruktion des Brückenhauptkörpers wurde als räumliches Stabsystem modelliert. Damit konnten sowohl die unsymmetrischen Lasten als auch Unsymmetrien in den Stabstrukturen des Ausgangssystems und der Teilsysteme relativ genau und unproblematisch erfaßt werden.

So befand sich u.a. im vorhandenen Brückenquerschnitt noch ein Gleis (außermittig), das eine ungleichmäßige Beanspruchung der Fachwerkwände hervorrief (Fig. 9). Weiterhin war, aufgrund der Systemstruktur, die Verteilung des Eigengewichts in Brückenlängsrichtung ungleichmäßig.

Die normalerweise aufwendige Systemerstellung und Bearbeitung erfolgte mit dem „Entwurfssystem Stahlbau“ (entwickelt an der HAB Weimar, Lehrstuhl Stahlbau), das auf der Basis von AutoCAD arbeitet.

Damit ergaben sich folgende Vorteile:

- einfache Systemerstellung und Gestaltung von zusammengesetzten Profilen
- praktikables Handling eines großen räumlichen Systems aufgrund der Leistungsfähigkeit des Grafiksystems
- Möglichkeit der grafischen Kontrolle aller notwendigen Größen (System, Lasten, Lager, Profillagen usw.)
- Möglichkeit des grafischen Heraustrennens von Teilsystemen aus dem Gesamtsystem und problemlose Weiterbearbeitung
- übersichtliche Darstellung der Schnittgrößenverläufe an einem großen Stabsystem

Die Schnittkraftermittlung erfolgte nach Datenübergabe über eine Datenbank mit dem System SSt-micro (Produkt der INIT GmbH Bochum), das auch bei großen Stabsystemen annehmbare Rechenzeiten aufweist und insbesondere

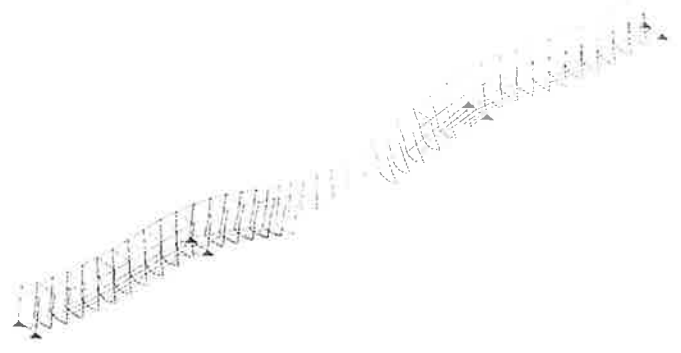


Fig. 10. Verformungsbild eines Zwischensystems (400fache Überhöhung). – Scene of deflection of a sub-system (400 times magnified)

bei Berechnungen nach Theorie II. Ordnung seine Zuverlässigkeit bewiesen hat (Fig. 10).

Die Systembelastung setzte sich aus dem Eigengewicht und einer zusätzlichen Last von 1 kN/m^2 zusammen (nach DS 804, Absatz 57). Das Eigengewicht wurde aus den Profilabmessungen unter Berücksichtigung der Kleinteile automatisch ermittelt.

Aufgrund der technischen Gegebenheiten und der Kranparameter (große Auslegerhöhe, geringe Hubgeschwindigkeiten u.ä.) wurde kein Massenkraftfaktor angesetzt.

3.3.3

Berechnungsablauf und praktisches Vorgehen

Die Berechnung erfolgte so, daß an ausgesuchten, praktisch günstigen Punkten, Lasten in das Brückensystem eingeleitet wurden. Über Gleichgewichtsberechnungen konnten die Lasten so festgelegt werden, daß an gewünschten Stellen der FW-Gurte Längskraftnullpunkte (\rightarrow Momentennullpunkte im FW-Träger) auftraten. Nach dem Trennen der Gurte an diesen Stellen (ideell in der Berechnung) führte eine Veränderung der eingeleiteten Kräfte dazu, daß in den anliegenden Diagonalen die Längskraft verschwand (Querkraftnullpunkt im System). Damit konnten die Diagonalen getrennt und nach einem entsprechenden Vorgehen an der zweiten Schnittstelle das entsprechende Brückensegment entfernt werden.

Die Einleitung der benötigten Lasten erfolgte bei der Demontage, wie schon beschrieben, mittels der Traversen durch den Kran selbst.

Die Entfernung einzelner FW-Wände führte, sowohl in der Belastung als auch in der Tragwirkung, zu extrem unsymmetrischen Zwischenzuständen, die nur durch die räumliche Modellierung sinnvoll erfaßt werden konnten. Dabei traten aufgrund fehlender Windverbände Stabilitätsprobleme für die verbleibenden Druckgurte der Fachwerkwände auf. Die Berechnung erfolgte für diese Fälle nach Theorie II. Ordnung.

Für die realen Trennschnitte war eine Reihenfolge aufgrund der Schnittgrößen und der Verformungsmöglichkeiten vorzugeben. Eine wesentliche Rolle spielten dabei die möglichen Traversenanschlagpunkte und die Unsymmetrien in der Beanspruchung.

Die Darstellung des Systems (Isometrie) und der Ergebnisse erfolgte aufgrund der Systemgrößen im wesentlichen in A0-Plots, was sowohl dem Bearbeiter als auch dem Prüfenieur eine sehr gute Basis für Überlegungen und Kontrollen bot.

In die erstellten Zeichnungen konnten ohne zusätzlichen Aufwand die Lasttraversen eingezeichnet und so die Montageunterlagen erstellt werden.

Ausführung

Bei der Demontage wurde in der nachfolgend beschriebenen Reihenfolge vorgegangen:

- Aufbau des Raupenkranes am Ostufer
- Demontage der Felder 1-3 (Bereich 1, je ein Hub, Stückgewicht ca. 320 t)
- Demontage des Mittelbereiches des Feldes 5
- Demontage der Reststücke des Feldes 5
- Ausbau der Fahrbahn des Feldes 4 sowie Feld 4 (Stückgewicht ca. 360 t)
- Umsetzen des Kranes auf die Westseite
- Demontage des Feldes 18
- Ausbau der Reststücke des Feldes 5 (Ausladung ca. 82 m)
- Ausbau der Fahrbahn Feld 6
- Demontage des Bereiches 3
- Demontage des Feldes 6
- Demontage des Restes des Feldes 4

Bei der Ausführung der Trennschnitte am Brückensystem zeigte sich, daß die errechneten Schnittkraftzustände sehr

gut mit der Realität übereinstimmten. Es traten an keiner Stelle merkbare bzw. unerwünschte Systemverformungen nach den Trennschnitten auf.

Die Demontage der ca. 4800 t wiegenden Brückenkonstruktion war nach nur 21 Kranarbeitstagen abgeschlossen. Das Umsetzen des Kranes vom Ost- auf das Westufer wurde innerhalb einer Woche durchgeführt (Krangewicht: 545 t sowie 400 t Gegengewichte).

Die Feinzerlegung sowie der Abtransport der demontierten Brückenteile war in der 1. KW 95 abgeschlossen.

Die ausgeführte Brückendemontage demonstriert, daß ein gut vorbereiteter Einsatz eines Hochleistungskranes sehr effektiv sein kann. Die dazu benötigten Berechnungen können heute mit der erforderlichen Aussagefähigkeit und Genauigkeit erstellt werden. Notwendig sind dabei auch entsprechende Softwareprodukte, die rationelle und anschauliche bzw. übersichtliche Arbeitsweisen gestatten.

Tagungsberichte

Erster Europäischer Stahlbautag, EUROSTEEL '95, in Athen

Nahezu 150 Teilnehmer aus 20 europäischen Ländern und den USA haben von 18. bis 20. Mai 1995 die Arbeiten des ersten Europäischen Stahlbautages EUROSTEEL '95 in Athen verfolgt. Organisiert wurde diese Tagung von der *Hellenic Metal Structures Society* in Zusammenarbeit und finanzieller Unterstützung von der Europäischen Konvention für den Stahlbau EKS, der griechischen Ingenieurkammer, den Technischen Hochschulen des Landes und vielen anderen Sponsoren.

Die Themen der 70 Fachvorträge erstreckten sich auf alle für Forschung und Praxis interessante Gebiete des Stahlbaus; Verhalten von Bauteilen, Nachweise für Rahmen, Verbindungen, Entwurf und Nachweise für Hochbauten, Brücken, andere Ingenieurbauwerke und Erdbebensicherung von Tragwerken. Jeder Themenkreis wurde mit einem einführenden Vortrag eröffnet, bei dem der aktuelle Stand in bezug auf Forschung, Entwicklung und Normung dargestellt wurde. Insbesondere wurden Entwürfe der Eurocodes, zu denen alle europäische nationale Normen in der Zukunft harmonisiert werden sollen, besprochen.

In mehreren Vorträgen wurden analytische und experimentelle Untersuchungen für den Nachweis verschiedener stabförmiger und flächiger Bauteile vorgestellt, bei denen Effekte in Erweiterung der in den Vorschriften vorgesehenen Angaben studiert werden; Nachtraglastberechnungen von Bauteilen mit abfallender Charakteristik nach Erreichen der Traglast, Einfluß der Schubverformungen beim Biegedrillknicknachweis, Verbundträger mit Öffnungen oder Teilverbund, interaktives Beulknicken von Kaltprofilen, konzentrierte Lasten auf Träger usw., verschiedene analytische Methoden zu verschärfter elastoplastischer Berechnung von Rahmentragwerken mit starren und verformbaren Knoten sowohl für den Hochbau als auch für andere Anwendungsgebiete des Stahlbaus, z.B. Offshore, wurden präsentiert.

Nachgiebige Verbindungen wurden ausführlich besprochen. Es wurden die Ergebnisse eines EU-unterstützten Projektes vorgestellt, das die Anwendung des Anhang J von Eurocode 3, der den Nachweis solcher Verbindungen regelt, nutzerfreundlicher darstellen soll. Ferner wurden Vorschläge

zur Erweiterung der Anwendbarkeit dieses Anhangs auf Stützenverankerungen, für die bisher keine Angaben gemacht werden, unterbreitet. Besondere Aufmerksamkeit fand eine amerikanische Entwicklung über Rahmenverbindungen, bei der die Riegel halbautomatisch zu den Stützen mit Hilfe zwei spezieller, bis zum Festsitzen, ineinander gleitender Verbindungsstücke, angeschlossen werden. Dadurch können gefährliche Montagearbeiten in großer Höhe auf ein Minimum reduziert werden.

Ein großer Teil der Sitzungen war dem Brückenbau gewidmet. Es wurden viele interessante Brückenbauprojekte in bezug auf Entwurf, Ausführung und Nachweis sowie neueste experimentelle und theoretische Forschungsarbeiten für spezielle Brückenteile vorgestellt. Eine davon war die Untersuchung der Betriebsfestigkeit orthotroper Fahrbahnplatten, die mit Unterstützung der Europäischen Kohle- und Stahlvereinigung an mehreren Hochschulen durchgeführt wurde. Die Ergebnisse werden in Teil 2 von Eurocode 3, der den Brückenbau regeln soll, einfließen. In einem anderen Vortrag wurden Ergebnisse zyklischer Versuche an Probestücken präsentiert. Die Auswertung hat gezeigt, daß die im Eurocode 3 vorgesehene Miner-Regel der linearen Schadensakkumulation beim Betriebsfestigkeitsnachweis, sowohl bei Offshore Konstruktionen als auch beim Brückenbau zu unkonservativen Ergebnissen führt. Ferner wurden Angaben zum Nachweis sonstiger Stahlbautragwerke sowie Silos, Türme, Offshore Konstruktionen, Kabel in tiefem Wasser in einigen Vorträgen gemacht.

Der letzte Themenkreis betraf den Entwurf von Stahlbauten in Erdbebengebieten. Die Aktualität des Themas wurde durch die schweren Erdbeben, die zur Zeit der Tagung Nordgriechenland trafen, unterstrichen. In diesem Zusammenhang wurde über zyklische, pseudo-dynamische experimentelle Untersuchungen an Bauteilen, sowie Verbundknoten, und an einem dreistöckigen Stahlrahmen berichtet, analytische Verfahren zur Bestimmung der lokalen Duktilität vorgestellt und neue, verbesserte Entwurfskriterien für Rahmentragwerke angegeben, da es sich nach Untersuchungen ergab, daß das Verhalten der nach den amerikanischen