

Doppelwaagebalkenbrücke – Vorschlag für einen innovativen Klappbrückentyp

Herrn Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. *Joachim Scheer* zur Vollendung des 80. und Herrn Dipl.-Ing. *Wilhelm Zellner* zur Vollendung des 75. Lebensjahres gewidmet

Waagebalkenbrücken wurden bisher immer als Einfeldträger ausgeführt, wobei sich die Überspannung wegen der gelenkigen Lagerung des Waagebalkens nur an der Abtragung der ständigen Last beteiligt. Wird dagegen die Verdrehung durch ein zweites Lager blockiert, wirkt die Überspannung auch an der Abtragung der Verkehrslasten mit. Dies ermöglicht es, Waagebalkenbrücken mit zwei Klappen auszuführen und damit den Stützweitenbereich zu verdoppeln.

Double balance beam bridge – Proposal of a new type of bascule bridge. *So far, balance beam bridges have been build as single span bridge. Due to the articulation of the balance beam, this system takes the permanent loads only. If, instead, the rotation of the balance beam is blocked by a second bearing, the staying system participates also in taking the live loads. This allows to build balance beam bridges with two flaps and thereby double their span range.*

1 Einleitung

Einer der großen Gewinner der Globalisierung ist das gesamte Transportwesen, insbesondere der Seetransport. Bei Kosten für einen Transport von Fernost nach Europa von etwa

– 2 \$ für einen DVD-Player
– 30 \$ für ein Fernsehgerät
lohnt der weiteste Weg. Dies hat zu einem explosionsartigen Anstieg des Containerverkehrs geführt [1], z. B. allein zwischen 2004 und 2005 in Shanghai um 24 %, in Shenzhen um

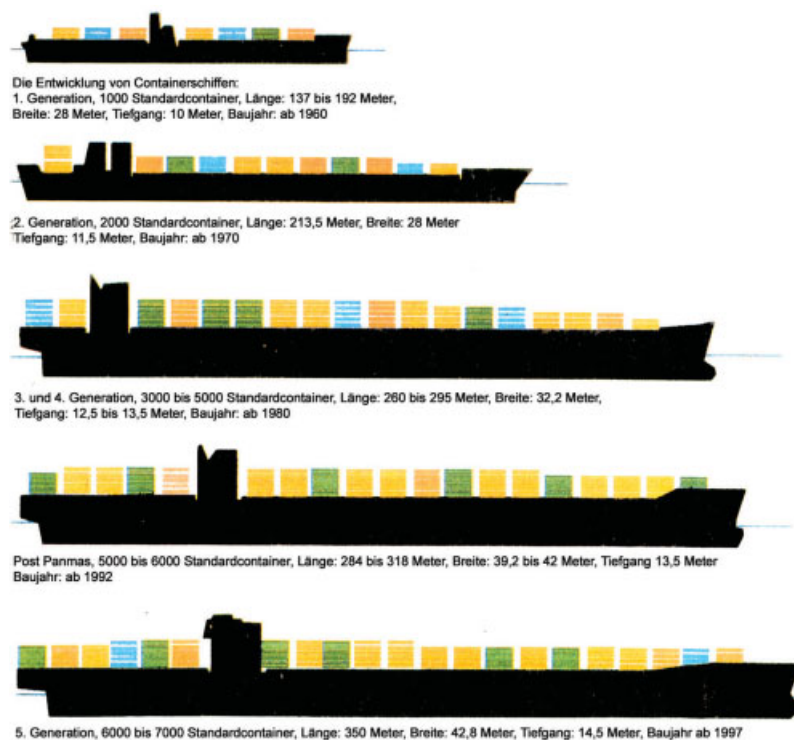


Bild 1. Entwicklung von Containerschiffen
Fig. 1. Development of Container Ships

19 %, in Dubai um 17 % und in Hamburg um 16 %.

Dementsprechend ist die Zahl und Größe der Containerschiffe sprunghaft gestiegen (Bild 1). Dies macht eine permanente Anpassung der gesamten Hafeninfrastruktur erforderlich, insbesondere müssen die Brücken den größeren Schiffshöhen angepasst werden.

Da in Häfen im Allgemeinen die Anrampungslänge für feste Brücken in großer Höhe fehlt, werden hier häufig bewegliche Brücken ausgeführt, und die Umgestaltung der Häfen für die geänderten Anforderungen hat weltweit zu einer Renaissance dieser Brücken geführt. So wurden unter anderem seit 1999 in Spanien drei bewegliche Brücken gebaut, und in Norwegen sind zur Zeit mehrere Brücken ausgeschrieben [2].

2 Kritische Betrachtung beweglicher Brücken

2.1 Hubbrücken

Hubbrücken eignen sich für relativ große Öffnungen (Bild 2) [3]. Die Durchfahrtshöhe wird aber durch die Höhe der Hubtürme bestimmt – selbst wenn diese erhöht werden können [4], die auch bei geschlossener wie geöffneter Brücke die Umgebung prägen. Die Seile, die Überbau und Gegengewicht miteinander koppeln, sind relativ starkem Verschleiß ausgesetzt.

2.2 Drehbrücken

Drehbrücken eignen sich für sehr große Stützweiten und beschränken die Durchfahrtsöffnung nicht. Bekanntestes Beispiel aus letzter Zeit ist die Brücke über den Suezkanal bei El Ferdan mit einer freien Durchfahrtsöffnung von ca. 300 m (Bild 3) [5].

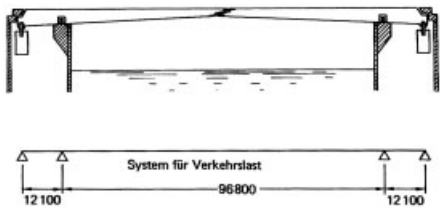


Bild 4. Klappbrücke mit angehängtem Gegengewicht: Brücke über die Bucht von Cadiz [6]

Fig. 4. Bascule bridge with hang on counterweight: bridge across the bay of Cadiz [6]

4 Vergleich der Schnittkräfte von Doppelklappbrücke und Doppelwaagebalkenklappbrücke

4.1 Voraussetzungen

Es wird von folgenden Annahmen ausgegangen

- Brückenbreite 12 m
- ständige Last inkl. Belag und Ausrüstung 5 kN/m²

- Verkehrslast unter Berücksichtigung des SLW als Ersatzlast: 5 kN/m²

Es wird nur der Lastfall Verkehr in der ganzen Öffnung betrachtet.

Die freie Durchfahrtsöffnung beträgt 80 m.

4.2 Doppelwaagebalkenbrücke

Das statische System der Klappe ist

- für ständige Lasten ein Einfeldträger mit Kragarm und Stützweiten von 22–22 m
- für Verkehrslasten ein Durchlaufträger mit Stützweiten von 22–44–22 m, wobei die Zwischenauflager elastisch sind

Die Zugstange ist unter 1:3 geneigt und der Abstand des Gegengewichts von der Drehachse 80 % von dem der Zugstange.

Das Trägheitsmoment des Waagebalkens und des Pylons ist 5-mal so groß wie das des Überbaus.

Die maßgebenden Biegemomente und Lagerkräfte sind in Bild 9 und Tabelle 1 zusammengestellt.

4.3 Doppelklappbrücke

Das statische System ist

- für ständige Lasten ein Einfeldträger mit Kragarm und Stützweiten von 11–45 m
- für Verkehrslasten ein Durchlaufträger mit Stützweiten 11–90–11 m

Das Trägheitsmoment am Drehlager ist 5-mal so groß wie das in Brückenmitte.

Die maßgebenden Biegemomente und Lagerkräfte sind in Bild 10 und Tabelle 2 zusammengestellt.

4.4 Vergleich und Bewertung

Der Vergleich der Doppelwaagebalkenbrücke (DWB) mit der Doppelklappbrücke (DKB), Bilder 9c und 10c, zeigt:

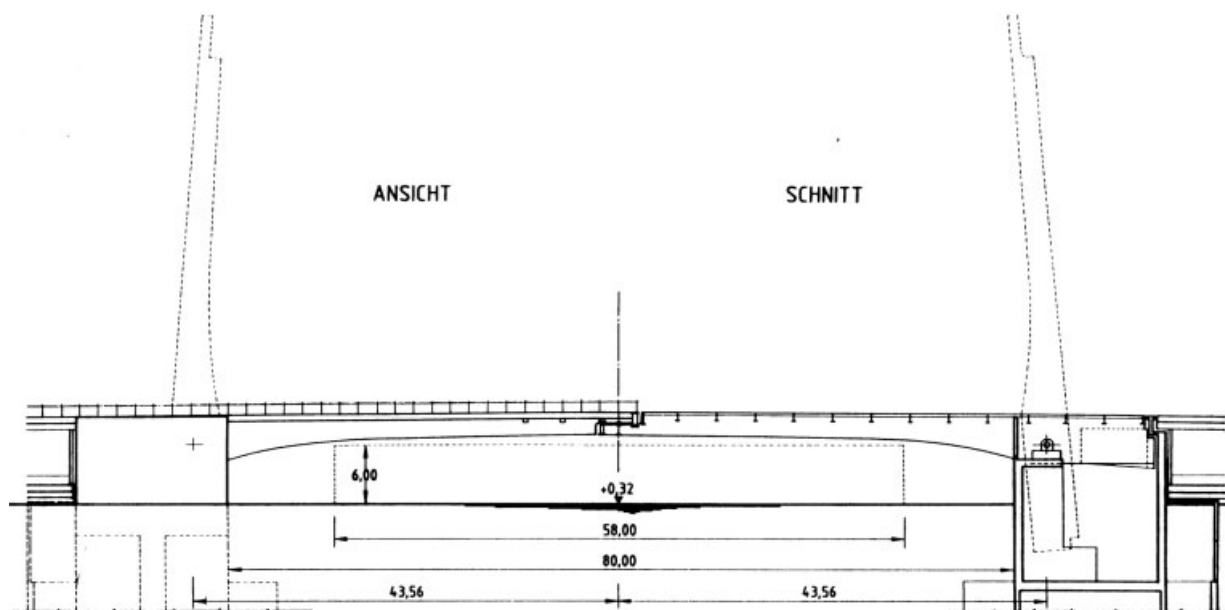


Bild 5. Klappbrücke mit in den Rückarm integriertem Gegengewicht: Galatabrücke in Istanbul [7]

Fig. 5. Bascule bridge with counterweight integrated into the rear arm: Galata bridge at Istanbul [7]



Bild 6. Zugbrücke in Kappeln/Holland
Fig. 6. Drawbridge at Kappeln/Netherlands



Bild 7. Diffené-Brücke in Mannheim [9]
Fig. 7. Diffené bridge at Mannheim [9]

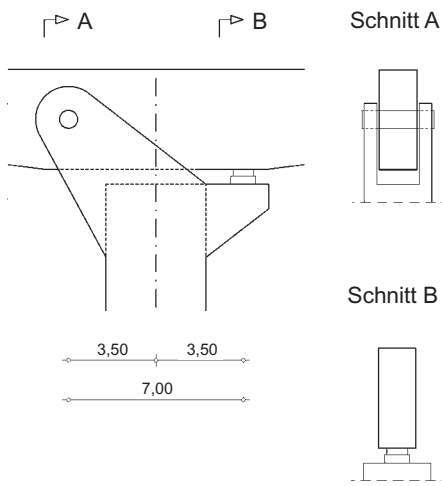


Tabelle 1. Maßgebende Schnittkräfte einer Doppelwaagebalkenbrücke
Table 1. Governing section forces of a double balance beam bridge

Schnittkraft	Lastfall		Ständige Last	Verkehr	Σ
	Ort				
Biegemomente [kNm]	Klappe	Mitte	0	13,070	13,070
	Waagebalken	Aufhängung	-13,230	-170	-13,400
		Punkt A	-42,660	-29,450	-72,110
	Pylon	Punkt B	-64,300	0	-64,300
		Oben	21,550	-38,000	-16,450
	Unten	7,750	-50,700	-42,940	
Auflagerkräfte [kN]	Zugstange	V	2,520	1,900	4,420
		H	745	560	1,305
		N	2,630	1,980	4,610
	Lagerkräfte	A	6,900	-4,200	2,700
		B	0	6,100	6,100

Bild 8. Lager am Pylonenkopf, Prinzipdarstellung
Fig. 8. Bearing at the top of the tower

1. Das maximale Moment im Überbau der DWB ist nur etwa 15 % desjenigen der DKB. Die Bauhöhe kann also entsprechend geringer sein, was

bei dem i. A. geringen Höhenunterschied zwischen Gradiente und Wasseroberfläche vorteilhaft ist.
2. An der Klappenspitze (Verriegelung) ist das Moment aus Verkehrslasten bei beiden Brückentypen praktisch gleich.

3. Das Gegengewicht der DWB (3165 kN) ist wegen des günstigeren Hebelverhältnisses nur etwa halb so groß wie bei der DKB (7140 kN).
4. Die Belastung des Drehgelenks ist bei der DWB (6900 kN) nur 40 % derjenigen der DKB (17450 kN).

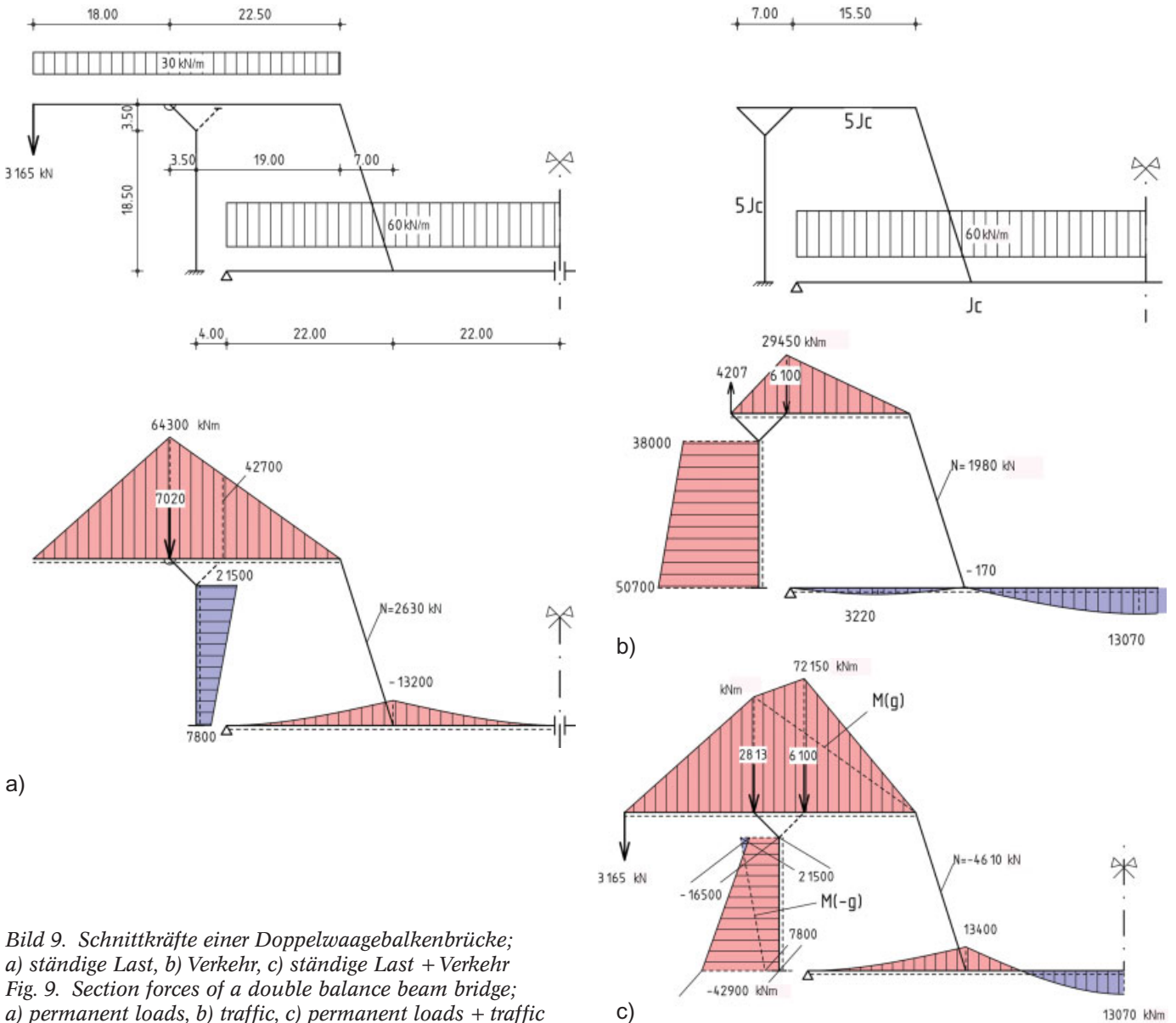


Bild 9. Schnittkräfte einer Doppelwaagebalkenbrücke;
a) ständige Last, b) Verkehr, c) ständige Last + Verkehr
Fig. 9. Section forces of a double balance beam bridge;
a) permanent loads, b) traffic, c) permanent loads + traffic

Tabelle 2. Maßgebende Schnittkräfte einer Doppelklappbrücke
Table 2. Governing section forces of a double bascule bridge

Schnittkraft	Lastfall		Ständige Last	Verkehr	Σ
	Ort				
Biegemomente [kNm]	Verriegelung		0	13,900	13,900
	Drehachse		-60,750	-46,850	107,600
Auflagerkräfte [kN]	A		0	-4,250	-4,250
	B		10,500	6,950	17,450

5. Die Bemessungsmomente von Waagebalken (72100 kNm) und Pylon 43000 kNm) der DWB liegen bei ca. 70 % bzw. 40 % des Momentes an der Drehachse der DKB (107600 kNm).

6. Die auf die Gründungen wirkenden Verkehrslastmomente von DWB (42940 kNm) und DKB (46850 kNm) sind praktisch gleich.

Der Vergleich der Doppelwaagebalkenbrücke mit einer einfeldrigen

Waagebalkenbrücke (EWB) – die dem Zustand Eigengewicht der DKB entspricht –, Bild 10c, zeigt

1. Die maßgebenden Momente des Überbaus sind praktisch gleich.

2. Für die Bemessung des Drehlagers sind die ständigen Lasten (6900 kN) maßgebend. Der Verkehr mindert diese Last ab (-4200 kN), ohne aber zu einem Vorzeichenwechsel zu führen, was im Hinblick auf die Dau-

erhaftigkeit (Ausschlagen!) wichtig ist.

3. Die Kraft der Zugstange ist ca. 75 % größer.

4. Das maßgebende Moment im Waagebalken erhöht sich von 64300 kNm (EWB) auf 72100 kNm (DWB), also um ca. 12 %.

5. Das maßgebende Pylonenmoment an der Einspannung wächst etwa auf das Doppelte. Dies ist aber bei den relativ großen Abmessungen des Pylons unproblematisch.

5 Zusammenfassung

Es wurde eine Doppelwaagebalkenbrücke als innovatives Klappbrückensystem vorgestellt. Durch die Blockade des Drehgelenks mit Hilfe eines zweiten, nur auf Druck arbeitenden Lagers, kann bei diesem System die Überspannung auch zur Abtragung der Verkehrslasten herangezogen werden.

Gegenüber einer Doppelklappbrücke vermeidet diese Brücke die – besonders im Wasser oder Grundwasser – sehr aufwendigen Klappbrückenpfeiler und erlaubt eine deutlich geringere Höhe des Überbaus. Da die Länge des Rückarms nicht mit der Eintauchtiefe des Pfeilers harmonisiert werden muss, sind das Gegengewicht und die Belastung des Drehlagers nur etwa halb so groß wie bei einer Klappbrücke.

Gegenüber der üblichen Waagebalkenbrücke mit drehbarem Waagebalken kann die Durchfahrtsöffnung verdoppelt werden. Die Beanspruchung von Überbau mit Waagebalken bleibt praktisch gleich; die von Zugstange und Pylon werden etwa verdoppelt, dies ist aber unproblematisch.

Literatur

- [1] BMVBS et al.: Zukunft Elbe, eine Initiative für Norddeutschland.
- [2] Erster DBO-Auftrag für ein Brückenbauwerk in Norwegen. Stahlbau 76 (2007), H. 3, S. 207–208.
- [3] Ruster, R. et al: Die Kattwyk Hubbrücke in Hamburg, eine vollständig geschweißte Fachwerkbrücke. Stahlbau 43 (1974), S. 257–267.
- [4] Sass, H.: Reiherstieg-Klappbrücke und Rethe-Hubbrücke im Hamburger Hafen im Wechsel dieses Jahrhunderts. Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft 42 (1987/88), S. 8–16.

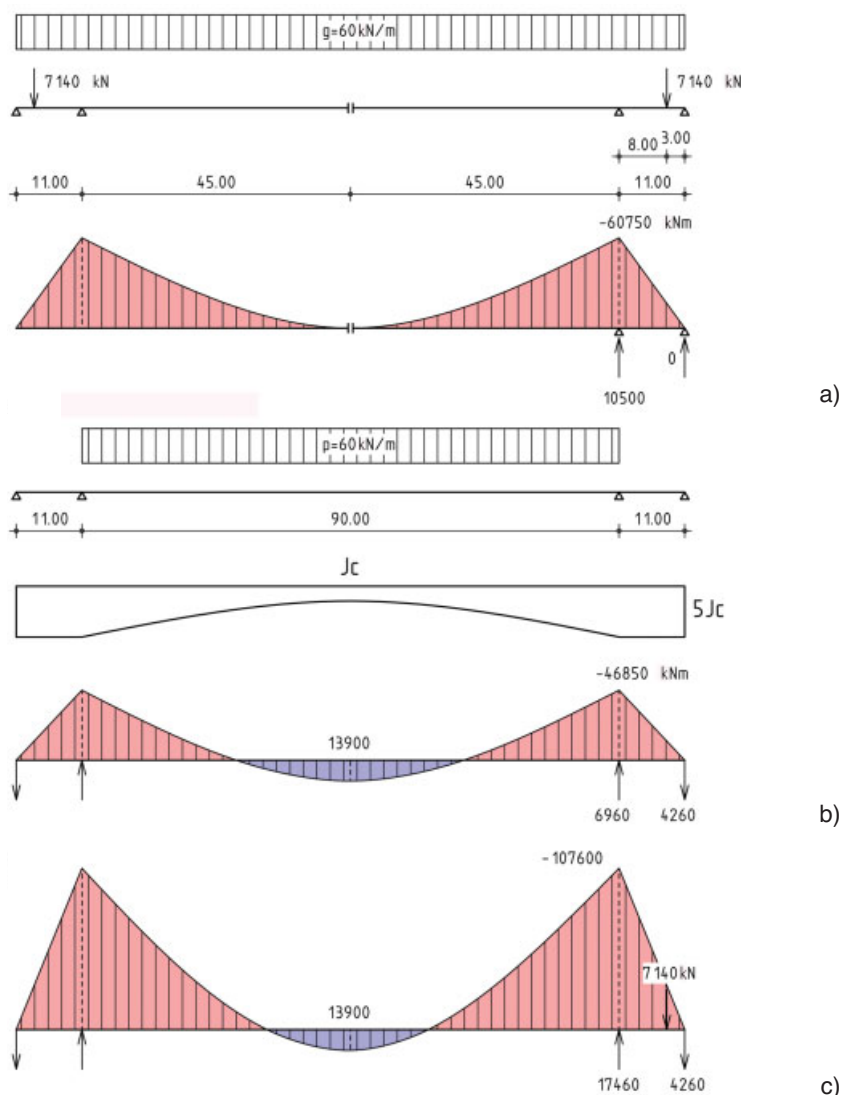


Bild 10. Biegemomente einer Doppelklappbrücke;
a) ständige Lasten, b) Verkehr, c) ständige Last + Verkehr
Fig. 10. Bending moments of a double bascule bridge;
a) permanent loads, b) traffic, c) permanent loads + traffic

- [5] *Schlecht, B., Krüger, H., Heß, J.*: Drehbrücke über den Suez-Kanal bei El Ferdan. *Stahlbau* 68 (1999), S. 329–346.
- [6] *Freundenberg, G.*: Die größte Doppelklappenbrücke der Welt über die Bucht von Cadiz/Spanien. *Acier, Stahl, Steel* 36 (1971), S. 463–472.
- [7] *Saul, R.* et al.: Die neue Galata-Brücke in Istanbul. *Bauingenieur* 67 (1992), S. 433–444 und 68 (1993), S. 43–51.
- [8] *Kindmann, R., Sass, H.*: Neubau der Reiherstiegklappbrücke in Hamburg. *Bauingenieur* 60 (1985), S. 469–476.
- [9] *Freundenberg, G.*: Zwei neue Waagebalken-Klappbrücken in Mannheim. *Stahlbau* 58 (1989), S. 35–43.
- [10] *Andrä, W.*: Der heutige Entwicklungsstand des Gummitopflagers und seine Weiterentwicklung zum Hublager. *Bautechnik* (1984) H. 7, S. 222–230.

Autoren dieses Beitrages:

Dipl.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Reiner Saul, Berater
Dipl.-Ing. Karl Humpf, Prokurist
Leonhardt, Andrä und Partner GmbH
Lenzhalde 16, 70192 Stuttgart