Gerhard Mehlhorn
Manfred Curbach *Hrsg.*

Handbuch Brücken

Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten

3. Auflage

Springer Vieweg

Gerhard Mehlhorn • Manfred Curbach
Herausgeber

Handbuch Brücken

Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten

Mit Beiträgen von Francesco Aigner, Hugo Bachmann, Stephanie Breunig, Manfred Curbach, Annette Detzel, Richard J. Dietrich, Eva-Maria Eichinger-Vill, Ekkehard Fehling, Ursula Freundt, Thomas Fritsche, Gerhard Girmscheid, Christian Gläser, Karl Goj, Gunter Hauf, Karlheinz Haveresch, Dirk Hölzer, Masaaki Hoshino, Thomas Jahn, Manfred Keuser, Johann Kollegger, Ludolf Krontal, Ulrike Kuhlmann, J. S. Han Leendertz, Ulf Lichte, Michael Link, Ingbert Mangerig, Steffen Marx, Gerhard Mehlhorn, Christian Menn, Harald Michler, Guido Morgenthal, Joachim Naumann, Günter Ramberger (†), Peter Ruse (†), Silke Scheerer, Jürgen Stritzke, Matthias Weiland und Marc Wenner

3. Auflage

Springer Vieweg

Herausgeber
Gerhard Mehlhorn
Universität Kassel
Kassel, Deutschland

Manfred Curbach
TU Dresden
Dresden, Deutschland

ISBN 978-3-658-03339-2 ISBN 978-3-658-03342-2 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-658-03342-2

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Springer Vieweg
© Springer Fachmedien Wiesbaden 2007, 2010, 2014
Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Lektorat: Ralf Harms, Annette Prenzer

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer-vieweg.de

Inhaltsverzeichnis

Autorenverzeichnis XX

1 Brückenbau auf dem Weg vom Altertum zum modernen Brückenbau. Aktuelle Entwicklungen 1

1.1 Einführung 1
1.2 Brücken im Altertum 2
1.2.1 Brücken in China 2
1.2.2 Brücken in Griechenland, in den persischen Großreichen und in Mesopotamien 9
1.2.3 Römische Brückenbaukunst 14
1.3 Brücken im Mittelalter 23
1.4 Brücken von der Renaissance bis zur Gegenwart 33
1.4.1 Steinbrücken 33
1.4.2 Holzbrücken 38
1.4.3 Eisen- und Stahlbrücken .. 43
1.4.4 Bogen-, Balken- und Rahmenbrücken aus Beton 77
1.4.5 Moderne Schrägkabelbrücken 93
1.5 Brücken aus Hochleistungsbeton 99
1.6 Integrale und semintegrale Bauweise 102
1.7 Entwicklungen in der Bauweise mit verbundlosen Spanngliedern sowie der zugehörigen Systeme 111
1.7.1 Historische Entwicklung der Bauweise mit verbundlosen Spanngliedern 111
1.7.2 Erfordernis für intern verbundlose Vorspannung im Brückenbau 114
1.7.3 Typen von intern verbundlosen Spanngliedern 116
1.8 Brücken aus Textilbeton . 118
1.8.1 Der Baustoff Textilbeton . 118
1.8.2 Textilbeton im Brückenbau 120
1.8.3 TRC zur Brückenertüchtigung 124
1.8.4 Fazit und zukünftige Entwicklungen 125
1.9 Nachrechnen und Verstärken von Straßenbrücken – Erfahrungen und Folgerungen 126
1.9.1 Einleitung 126
1.9.2 Nachrechnungsverfahren . 128
1.10 Bemerkungen zur Gestaltung von Brücken . 156
1.11 Ausgewählte Brücken mit historischen Bezügen 163

2 Gestaltung von Brücken, Wettbewerbe, Brückenbaupreise 167

2.1 Vorbemerkung 167
2.2 Baukultur 170
2.3 Initiative Baukultur und Stiftung Baukultur 170
2.4 Gestaltungsmöglichkeiten für Brücken 172
2.5 Planungswettbewerbe im Brückenbau 174

2.6 Wettbewerbe und Preise . 178
2.7 Deutscher Brückenbaupreis 179
2.8 Gewinner und Nominierte für den Deutschen Brückenbaupreis 2006 bis 2014 182
2.9 Beschreibung der mit dem Deutschen Brückenbaupreis 2006 bis 2014 ausgezeichneten Bauwerke 213
2.9.1 Talbrücke Wilde Gera, Thüringen 214
2.9.2 La-Ferté-Steg Stuttgart-Zuffenhausen 218
2.9.3 Die Humboldthafenbrücke in Berlin 222
2.9.4 Dreiländerbrücke Weil am Rhein (D) – Huningue (F) 226
2.9.5 Elbebrücke Mühlberg 230
2.9.6 Seebrücke in Sassnitz 236
2.9.7 Scherkondetalbrücke bei Weimar 240
2.9.8 Blaue Welle Flöha 242
2.9.9 Gänsebachtalbrücke bei Weimar 246
2.9.10 Erbasteg in Bamberg 250

3 Ingenieuraufgaben im Brückenbau 255
3.0 Vorbemerkung 255
3.1 Genereller Entwurf 256
3.1.1 Vorplanung 256
3.1.2 Entwurfsfindung im offenen oder eingeladenen Realisierungswettbewerb 258
3.2 Entwurfsplanung 259
3.2.1 Vorschriften 259
3.2.2 Randbedingungen 261
3.2.3 Baubetrieb und Baustelleneinrichtung ... 263
3.2.4 Entwurfselemente, Hilfsmittel und statische Vorberechnung 263
3.2.5 Hinweise zur Bauwerksgründung 264
3.2.6 Hinweise zu den Unterbauten 265
3.2.7 Hinweise zu Lagerung und Beweglichkeit 266
3.2.8 Hinweise zu Brückenentwässerung und Abdichtung 266
3.2.9 Hinweise zu Bau- und Herstellungsverfahren ... 266
3.3 Genehmigungsplanung .. 268
3.4 Ausschreibung 268
3.4.1 Ausschreibung mit Mengenermittlung 268
3.4.2 Randbedingungen für Sonderentwürfe 270
3.4.3 Funktionale Ausschreibung 270
3.4.4 Verpflichtung zur Eindeutigkeit 270
3.5 Angebotsbearbeitung 271
3.6 Submission 272
3.7 Vergabe 272
3.8 Ausführungsplanung 272
3.9 Prüfung 273
3.10 Bauausführung, Bauüberwachung, Abrechnung 274
3.10.1 Bauausführung 274
3.10.2 Örtliche Bauüberwachung 275
3.10.3 Bauoberleitung 275
3.10.4 Bauüberwachung bei funktional ausgeschriebenen Brückenbauwerken 277
3.10.5 Abrechnung 277
3.10.6 Nachträge 278
3.11 Objektbetreuung und Dokumentation 278
3.12 Ingenieuraufgaben im Brückenbestand 279
3.12.1 Überwachen, Bewerten und Beurteilen von Brücken 279

3.12.2 Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken 281
3.12.3 Verstärkung von Brückenbauwerken 281
3.12.4 Austausch oder Verbreiterung von Tragwerksteilen oder von ganzen Tragwerken . 281
3.12.5 Abbruch von Brückenbauwerken 282

4 Entwurf 285
4.1 Entwurfsgrundlagen 285
4.2 Bauwerkspezifische, verkehrstechnische Vorgaben 286
4.3 Ortspezifische Randbedingungen 287
4.4 Funktionelle Anforderungen 287
4.4.1 Tragsicherheit 287
4.4.2 Gebrauchstauglichkeit ... 288
4.4.3 Dauerhaftigkeit 290
4.5 Kulturelle Anforderungen 292
4.5.1 Kosten 292
4.5.2 Ästhetik 295
4.6 Ziel der Entwurfsarbeit .. 299
4.7 Überlegungen beim konzeptionellen Entwurf 300
4.8 Ausgewählte Brücken 306
4.8.1 Sunnibergbrücke, Schweiz 306
4.8.2 Fußgängerbrücke Kelheim, Deutschland 308
4.8.3 Osormort Viaduct, Spanien 310
4.8.4 Sacramento river trail pedestrian bridge, USA .. 312
4.8.5 Puente de la Barqueta, Spanien 314
4.8.6 Falkensteinbrücke, Österreich 316
4.8.7 Le Pont de Brotonne, Frankreich 318
4.8.8 Donaukanalbrücke in Wien, Österreich 320
4.8.9 Mangfallbrücke, Deutschland 322
4.8.10 The Normandie Bridge, Frankreich 324
4.8.11 Rheinbrücke Bendorf, Deutschland 326
4.8.12 Schrägseilbrücke Dubrovnik, Kroatien 328

5 Querschnittsgestaltung 331
5.1 Querschnittsgestaltung in Abhängigkeit von System und Funktion 331
5.1.1 Allgemeines 331
5.1.2 Allgemeine Erläuterungen zu den Hauptquerschnittstypen .. 334
5.1.3 Querschnitte für Straßenbrücken 336
5.1.4 Querschnitte für Bahnbrücken 337
5.1.5 Querschnitte für Fußgänger- und Radwegbrücken 338
5.1.6 Sonderquerschnitte 339
5.2 Querschnittsgestaltung in Abhängigkeit vom verwendeten Werkstoff ... 339
5.2.1 Betonbrücken 339
5.2.2 Stahlbrücken 351
5.2.3 Verbundbrücken 362
5.2.4 Holzbrücken 373

6 Haupttragwerke der Überbauten 393
6.1 Plattenbrücken 393
6.2 Balkenbrücken 404
6.2.1 Beton-Balkenbrücken 404
6.2.2 Semiintegrale Brücken ... 437
6.2.3 Stählerne Balkenbrücken . 461
6.2.4 Balkenbrücken als Verbundbrücken oder Mischkonstruktionen 467

6.3 Rahmenbrücken 478
6.3.1 Rahmenbrücken aus Beton 478
6.3.2 Rahmenbrücken aus Stahl 487
6.3.3 Rahmenbrücken als Verbund- und Mischkonstruktionen 488
6.4 Vorspannung mit verbundlosen internen Spanngliedern 491
6.4.1 Einwirkung auf intern verbundlose Spannglieder 491
6.4.2 Anforderungen an intern verbundlose Spannglieder 493
6.4.3 Bemessung von Spannbetonbrücken mit intern verbundlosen Spanngliedern 499
6.4.4 Konstruktive Details 501
6.4.5 Wirtschaftlichkeit 506
6.4.6 Pilotprojekte 506
6.4.7 Resümee und Ausblick ... 514
6.5 Bogen- und Stabbogenbrücken 515
6.5.1 Steinbrücken 515
6.5.2 Betonbogenbrücken 529
6.5.3 Stahlbrücken 539
6.5.4 Verbund- und Mischkonstruktionen 548
6.6 Schrägkabelbrücken 564
6.6.1 Konstruktionsgrundsätze . 564
6.6.2 Konstruktionselemente ... 568
6.6.3 Lagerbedingungen 575
6.6.4 Aerodynamisches Verhalten 576
6.6.5 Konstruktive Gestaltung der Konstruktions-elemente 579
6.6.6 Ergänzungen zu Verbund- und Mischkonstruktionen 598
6.7 Hängebrücken 605
6.8 Spannbandbrücken 611
6.8.1 Einleitung 611
6.8.2 Tragwirkung 612
6.8.3 Bauverfahren 614
6.8.4 Beanspruchungen 614
6.8.5 Wirtschaftlichkeit 616
6.8.6 Ausblick 617

7 Lagerung und Lager von Brücken 619
7.1 Überblick 619
7.2 Aufgaben und Beurteilung der Lagerung 621
7.3 Wahl der Lagerung und Anordnung der Lager 626
7.4 Ermittlung der Kräfte und Bewegungen 632
7.4.1 Allgemeines 632
7.4.2 Kräfte und Bewegungen für statische Nachweise .. 634
7.4.3 Bewegungen zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit der Lager 635
7.4.4 Planungsgrundlagen 635
7.5 Messungen von Kräften und Bewegungen an Lagern 636
7.5.1 Überblick 636
7.5.2 Messungen unter gezielten Fahrzeugüberfahrten 637
7.5.3 Berechnungen aufaddierter Gleitwege von Innendichtungen 638
7.6 Lager 640
7.6.1 Allgemeines 640
7.6.2 Verformungslager 640
7.6.3 Rollenlager und Kipplager 648
7.6.4 Topflager 650
7.6.5 Kalottenlager 651
7.6.6 Festhaltekonstruktionen und Führungslager 652
7.6.7 Gleitteile 653
7.6.8 Sonderlager 654
7.7 Lagerwiderstände 654
7.8 Nutzungsdauer von Lagern 655
7.9 Einbau und Austausch der Lager 656

7.9.1 Einbau der Lager 656
7.9.2 Austausch von Lagern ... 656
7.10 Inspektion und Instandhaltung der Lager und Lagerungen 657

8 Unterbauten 661
8.1 Überblick 661
8.2 Widerlager 661
8.2.1 Definition, Aufgaben und Konstruktionsprinzip 661
8.2.2 Anordnung von Widerlagerwand und Flügeln – Widerlagerarten 663
8.2.3 Konstruktion der Bauteile 666
8.2.4 Entwurf von Widerlagern 670
8.3 Stützen und Pfeiler 673
8.3.1 Definition, Aufgaben und Konstruktionsprinzip 673
8.3.2 Anordnung und Querschnittsgestaltung von Pfeilern 674
8.3.3 Anordnung und Querschnittsgestaltung von Stützen 676
8.3.4 Pfeiler- oder Stützenkopf . 677
8.3.5 Herstellung 679
8.3.6 Pylone 679
8.4 Gründungen 680
8.4.1 Aufgaben und Überblick . 680
8.4.2 Flachgründungen 680
8.4.3 Pfahlgründungen 683
8.4.4 Auswahlkriterien und Entwurf der Gründung .. 685

9 Berechnung 687
9.1 Einwirkungen auf Brücken 687
9.1.1 Allgemeines 687
9.1.2 Grundlagen 691
9.1.3 Einwirkungen aus dem Bauwerk 692
9.1.4 Einwirkungen aus der Bauwerksnutzung 694
9.1.5 Einwirkungen aus der Bauwerksumgebung 702
9.1.6 Bauzustände 702
9.2 Systeme, Tragverhalten, Schnittgrößen 703
9.2.1 Grundlagen 703
9.2.2 Überbauten 707
9.2.3 Unterbauten 720
9.2.4 Gesamtsysteme 725
9.3 Berechnung von Stahlbrücken 727
9.3.1 Grundlagen 727
9.3.2 Ausgewählte Probleme ... 730
9.4 Ausgewählte Nachweise bei einer Verbundbrücke . 757
9.4.1 Allgemeines 757
9.4.2 Steifigkeit der Fahrbahnplatte 757
9.4.3 Verbundtragwirkung 759
9.4.4 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit 762
9.4.5 Ermüdungsnachweis 770
9.4.6 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit 772
9.5 Betonbrücken 773
9.5.1 Vorspannung von Betonbrücken 773
9.5.2 Schnittgrößen infolge Vorspannung 777
9.5.3 Einleitung konzentrierter Kräfte 791
9.5.4 Vorspannkraftverluste infolge des Kriechens und Schwindens des Betonsund der Relaxation des Spannstahls 796
9.5.5 Schnittgrößenumlagerungen bei Systemänderungen und abschnittsweisem Bauen . 802
9.5.6 Bemessungsgrundlagen .. 807
9.5.7 Besonderheiten bei der Bemessung von semiintegralen Brücken .. 829

9.6 Berechnung von Unterbauten 838
9.6.1 Einführung 838
9.6.2 Berechnung von Widerlagern 841
9.6.3 Berechnung von Pfeilern und Stützen 860
9.6.4 Berechnung von Gründungen 870
9.7 Ausgewählte Probleme ... 882
9.7.1 Temperaturbeanspruchung 882
9.7.2 Schwingungsprobleme ... 907
9.7.3 Eisenbahnbrücken 930
9.7.4 Erdbebenbeanspruchung . 943

10 Herstellung und Ausführungsmethoden 961
10.1 Betonbrücken 961
10.1.1 Herstellung auf Lehrgerüst 961
10.1.2 Herstellung auf Vorschubrüstung 979
10.1.3 Freivorbau 992
10.1.4 Taktschieben 1007
10.1.5 Segmentbauweise 1017
10.1.6 Schrägkabelbrücken 1046
10.2 Stahlbrücken 1069
10.2.1 Werkstattfertigung 1069
10.2.2 Montage vorgefertigter Einheiten 1074
10.2.3 Freivorbau 1080
10.2.4 Längseinschub (Lancieren) 1085
10.2.5 Spezielle Verfahren 1088
10.3 Brücken in Verbund- und Mischbauweise 1106
10.3.1 Fertigung und Montage Stahlüberbau 1106
10.3.2 Schalung und Fertigung Betonfahrbahnplatte 1110
10.3.3 Einfluss des Bauablaufs . 1120
10.3.4 Systemabhängige Bauabläufe 1126

11 Brückenausrüstung 1131
11.1 Fahrbahnausbildung und Dichtungen für Fahrbahntafeln aus Beton 1131
11.2 Fahrbahnübergänge 1132
11.2.1 Allgemeines 1132
11.2.2 Fahrbahnübergänge für Straßenbrücken 1133
11.2.3 Schienenauszugs-vorrichtungen 1142
11.3 Die Randausbildung von Straßenbrücken in Deutschland 1143
11.3.1 Allgemeine Anforderungen an die Randausbildung .. 1143
11.3.2 Brückenkappen 1144
11.3.3 Mechanische Befestigungen 1145
11.3.4 Fußgänger-Rückhaltesysteme, Brückengeländer 1147
11.3.5 Fahrzeug-Rückhaltesysteme 1148
11.3.6 Lärmschutzanlagen 1154
11.4 Brückenentwässerungen . 1157
11.5 Beleuchtung 1159
11.6 Versorgungsleitungen ... 1161

12 Überwachung, Prüfung, Bewertung und Beurteilung von Brücken 1165
12.1 Einleitung 1165
12.2 Ursachen für Schäden an Betonbrücken 1165
12.2.1 Allgemeines 1165
12.2.2 Schäden am Beton 1166
12.2.3 Schäden am Bewehrungsstahl 1171
12.2.4 Schäden an den Fugen und Lagern 1177
12.3 Schäden an Stahl- und Verbundbrücken ... 1180
12.4 Überwachung und Prüfung von Brückenbauwerken . 1191

12.4.1 Grundlagen zur Überwachung von Brückenbauwerken 1191
12.4.2 Prüfung von Betonbrücken 1192
12.4.3 Prüfung von Stahl- und Verbundbrücken ... 1201
12.4.4 Prüfung der Brückenausstattung 1208
12.4.5 Prüfung der Brückenausrüstung 1209
12.5 Zustandsbewertung und -beurteilung von Brücken 1210
12.5.1 Allgemeines 1210
12.5.2 Verfahren zur Zustandsbewertung von Brücken 1211
12.6 Brückenmanagement 1215
12.6.1 Allgemeines 1215
12.6.2 Brückenmanagement-systeme 1216
12.7 Kontinuierliche rechnergestützte Dauerüberwachung 1217
12.7.1 Allgemeines 1217
12.7.2 Festlegung eines Konzepts für die Dauerüberwachung 1218
12.7.3 Messgrößen und zugehörige Sensoren 1219
12.7.4 Aufzeichnung der Messdaten 1222
12.7.5 Aufbereitung und Verarbeitung der Messdaten 1223
12.7.6 Dauerüberwachung mit Hilfe von Schwingungstestdaten am Beispiel der Gärtnerplatzbrücke in Kassel 1225

13 Brückeninstandsetzung und -sanierung 1241
13.1 Einleitung 1241
13.2 Betonbrücken 1241
13.2.1 Planung von Instandsetzungs- und Sanierungsmaßnahmen . 1241
13.2.2 Vorbereitende Maßnahmen 1243
13.2.3 Durchführung der Instandsetzungs- und Sanierungsmaßnahmen . 1247
13.3 Stahlbrücken 1254
13.3.1 Korrosionsschutz 1254
13.3.2 Niete und Schrauben ... 1255
13.3.3 Instandsetzung von Abrostungen 1255
13.4 Fahrbahnbeläge 1256

14 Brückenverstärkung 1259
14.1 Einleitung 1259
14.2 Betonbrücken 1259
14.2.1 Geklebte Kohlenstofffaser-verbundwerkstoffe 1260
14.2.2 Externe Vorspannung ... 1267
14.2.3 Querschnittsergänzung .. 1271
14.3 Stahl- und Verbundbrücken 1274
14.3.1 Fahrbahnverstärkung ... 1277
14.3.2 Systemverstärkung 1279
14.3.3 Systemänderung 1281

Literatur 1287

Brückenverzeichnis 1357

Personen- und Firmenverzeichnis 1375

Stichwortverzeichnis 1379

Autorenverzeichnis

A. o. Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing.
Aigner, Francesco
Institut für Tragkonstruktionen/Stahlbau
TU Wien

Prof. em. Dr.-techn. Dr.-Ing. e.h.
Bachmann, Hugo
Institut für Baustatik und Konstruktion
ETH Zürich

Dipl.-Ing.
Breunig, Stephanie
Institut für Konstruktion und Entwurf/
Stahlbau, Holzbau und Verbundbau
Universität Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h.
Curbach, Manfred
Institut für Massivbau
TU Dresden

Prof. Dr.-Ing.
Detzel, Annette
Fachgebiet Bauplanung und Konstruktion
Fachbereich 2 Duales Studium
Hochschule für Wirtschaft und Recht
Berlin

Dipl.-Ing.
Dietrich, Richard J.
Büro für Ingenieur-Architektur,
Traunstein

Dipl.-Ing. Dr.-techn.
Eichinger-Vill, Eva-Maria
Bundesministerium für Verkehr,
Innovation und Technologie
Infrastruktur-Straße Abteilung II/
St2-Technik, Wien

Prof. Dr.-Ing.
Fehling, Ekkehard
Institut Konstruktiver Ingenieurbau/
Massivbau
Universität Kassel

Prof. Dr.-Ing.
Freundt, Ursula
Fachgebiet Verkehrsbau
Bauhaus-Universität Weimar

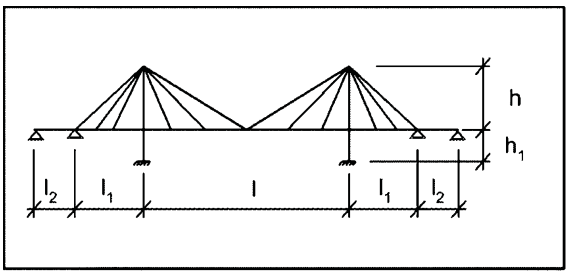
Prof. Dr.-Ing.
Fritsche, Thomas
Fritsche Ingenieure, Deggendorf

Prof. Dr.-Ing.
Girmscheid, Gerhard
Institut für Bauplanung und Baubetrieb/
Bauprozess- und Bauunternehmens-
management
ETH Zürich

Dr.-Ing.
Gläser, Christian
Dywidag Systems International GmbH,
Unterschleissheim

MR Dipl.-Ing.
Goj, Karl
Oberste Baubehörde im Bayr.
Staatsministerium des Inneren, München

Dr.-Ing.
Gunter Hauf
Institut für Konstruktion und Entwurf/
Stahlbau, Holzbau und Verbundbau
Universität Stuttgart



		A - Pylon	Versteifungsträger
		h = 53 m h_1 = 26 m	l = 230 m l_1 = 90 m l_2 = 50 m
			b = 23.00 m 4 Fahrspuren
Kennzahlen	Beton	0.165 m^3/m^2	Hauptfeld: 0.60 m^3/m^2 Endfeld: 0.77 m^3/m^2
	Stahlkonstruktion		
	Schlaffstahl	120 kg/m^3	73 kg/m^2
	Spannstahl Längsrichtung		8.5 kg/m^2
	Spannstahl Querrichtung		10.7 kg/m^2
	Spannstahl Total	20 kg/m^2 (2.5-5.0 kg/m^3)	19.2 kg/m^2
	Seile	40 kg/m^2 (45 kg/m^2 inkl. Anker)	

Bild 10.1.6-29 Xiang Jia Tang Bridge, China

10.2 Stahlbrücken

Günter Ramberger
und Francesco Aigner

10.2.1 Werkstattfertigung

Die Einteilung des Querschnitts in Sektionen (siehe Bild 5.2.2-20) und die Einteilung des Balkens in Felder bestimmt die Abmessungen der in der Werkstatt gefertigten Einheiten (Bild 10.2.1-1).

Ihre Größe und ihr Gewicht ist auf die Fertigungsmöglichkeiten der Werkstatt, auf Transportweg und Transportmittel und auf die Art und Tragfähigkeit der eingesetzten Hebezeuge bei der Montage abzustimmen. Da Stahlbau immer Fertigteilbau ist, sind bereits vom Beginn der Planung an die Werkstattfertigung und die Montage in die Überlegungen einzubeziehen, um kostengünstige Brückentragwerke herstellen zu können.

Stahlbrücken sind überwiegend Blechkonstruktionen. Da heute auch die Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften dicker Bleche bei tiefen Betriebstemperaturen hinreichend gut sind, kommen immer mehr auch dicke Bleche zum Einsatz. Als Fügetechnik in der Werkstatt wird fast ausschließlich das Lichtbogen-Schmelzschweißen in Form von Metall-Aktivgas (MAG-)Schweißen und Unterpulver (UP-) Schweißen verwendet. Die E-Handschweißung mit umhüllten Elektroden wird von den genannten Verfahren wegen deren höherer Abschmelzleistung zurückgedrängt.

Die überwiegenden Elemente für den Stahlbrückenbau sind längs- und quer ausgesteifte Bleche (orthotrope Platten und Scheiben). Die Bleche werden meist auf CNC-gesteuerten Kreuzwagen-Brennschneidemaschinen auf Maß geschnitten. Diese Maschinen können auch mit Ankörn- und Anreißvorrichtung ausgestattet sein, die auch die Risse für Schweißnähte und die Lochmitten für Bohrungen an den Blechen anzeichnen. Schweißnahtvorbereitungen an den Kanten für V-, X-, K- und Steilflan-

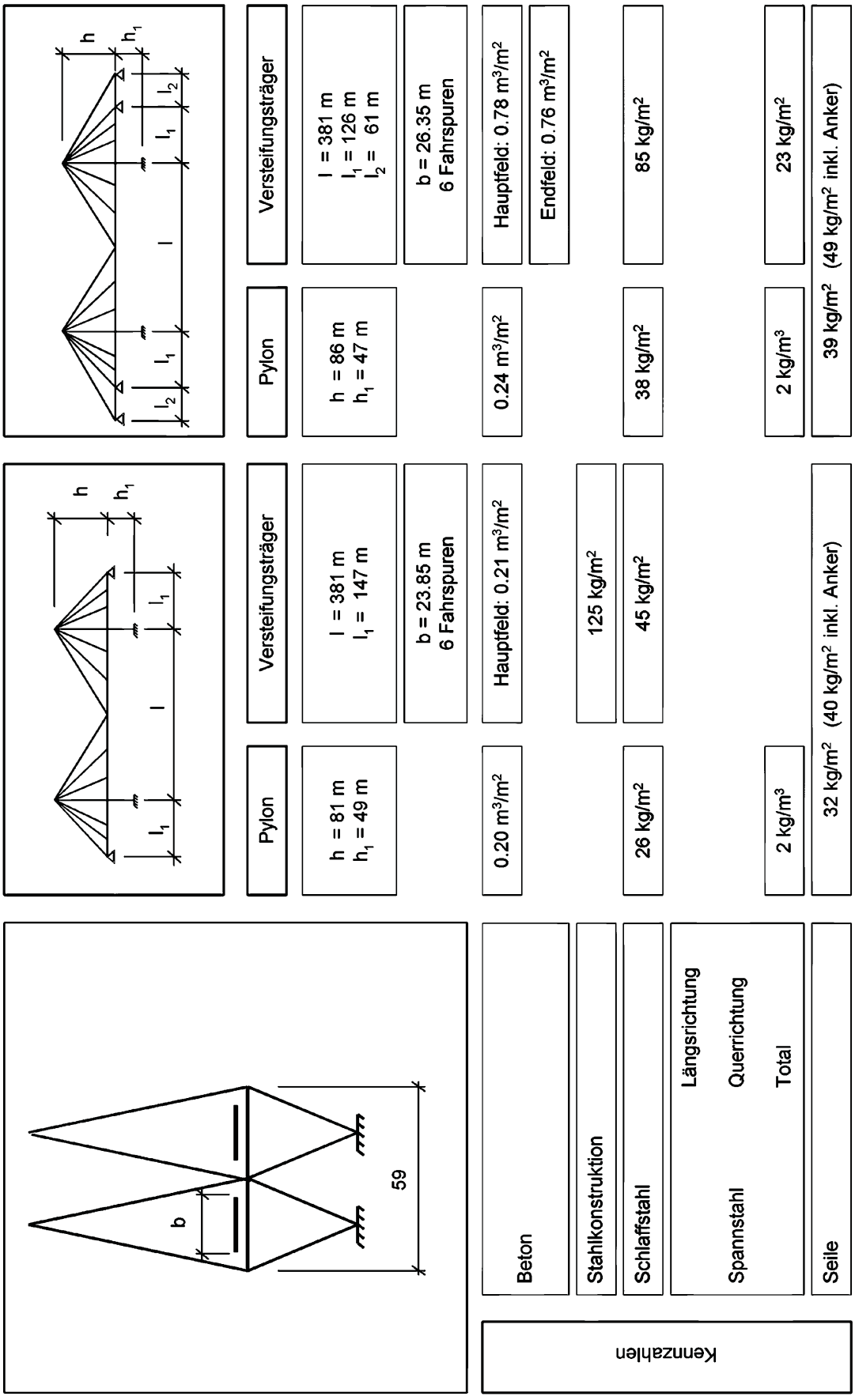


Bild 10.1.6-30 Houston Ship Channel Crossing

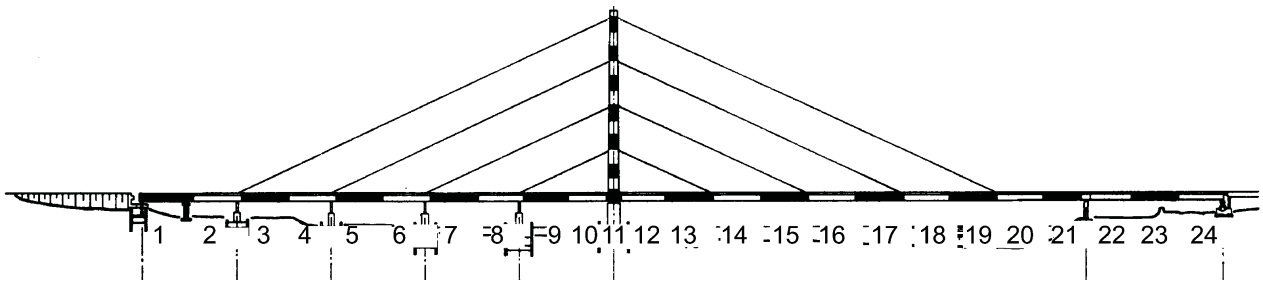


Bild 10.2.1-1 Einteilung einer Brücke in Montagefelder, Rheinbrücke Düsseldorf-Oberkassel [Beyer et al., 1977]

kennähte werden meist beim Ausschneiden der Bleche durch Schiefstellung der Brenner oder durch Schneiden mit mehreren Brennern in einem Arbeitsgang angefertigt.

Warmgewalzte Profile für Längssteifen (Flachstähle, Wulstflachstähle, halbierte I-Profile) werden entweder auf genaues Maß zugeschnitten bestellt (Aufpreis) oder auf der Säge, auch im Paket, geschnitten. Kaltprofile für dreiecks- oder trapezförmige Steifen werden entweder als kaltgewalzte Profile gekauft oder durch Abkanten hergestellt. Da die Abkantbänke der meisten Werkstätten kürzer als die Feldlängen der Lieferteile sind, werden die abgekanteten Profile vorab zu längeren Einheiten stumpf zusammengeschweißt. Kaltgewalzte Profile haben auch weitaus geringere Abmessungstoleranzen als abgekantete Profile. Offene Steifen werden zunächst mit dem Blech mit Heftnähten (20–30 mm lang und ca. 400 bis 800 mm Abstand) verbunden. Geschlossene Profile können direkt auf das Blech gestellt werden und in größeren Abständen geheftet werden. Für die Einhaltung der Passgenauigkeit und damit für die Vereinfachung der Fertigung ist wichtig, dass die Längssteifen an den Kreuzungsstellen mit den Quersteifen genau auf Sollmaß sitzen und dort geheftet sind. Kleinere Abweichungen zwischen den Quersteifen sind ohne Bedeutung. Die Verbindung der Längssteifen mit dem Blech erfolgt mit Kehlnähten. Dazu eignen sich vorwiegend Unterpulver-Schweißautomaten mit zwei oder mehreren Schweißköpfen, die in Längsrichtung über das Blech fahren. Die Heftnähte werden dabei überschweißt. Durch den tiefen Einbrand der UP-Schweißung wird auch der Spalt bei Trapezblechen aus der Schiefe der Trapezstege zugeschweißt und eine biegesteife Verbindung mit den Blechen erreicht (siehe auch Bild 5.2.2-4).

Für orthotrope Scheiben (Steg- und Bodenbleche) können die Quersteifen auch an der den Längssteifen gegenüberliegenden Blechseite angeordnet werden. Dadurch werden Durchdringungen vermieden und die Werkstattfertigung vereinfacht (Bild 10.2.1-2, 10.2.1-3).

Für orthotrope Fahrbahnplatten und für orthotrope Scheiben von Steg- und Bodenblechen mit glatten Außenseiten liegen die Querträger bzw. Steifen auf der Seite der Längsträger bzw. Steifen. Dazu werden die Stege der meist T-förmigen Querträger so ausgeschnitten, dass sie auf die Längsträger aufgekämmt und dabei Höhentoleranzen der Längsträger ausgeglichen werden können. Die Querträgerstege werden mit den Querträgergurten vorher mit Kehlnähten verschweißt. Die Verbindung der Querträgerstege mit dem Blech und den Längssteifen erfolgt meist mit MAG-geschweißten Kehlnähten.

Jede Kehlnaht erzeugt einen Schrumpf des Blechs um 0,1 bis 0,3 mm, abhängig von der Dicke a der Naht und dem gewählten Schweißverfahren. Da alle orthotropen

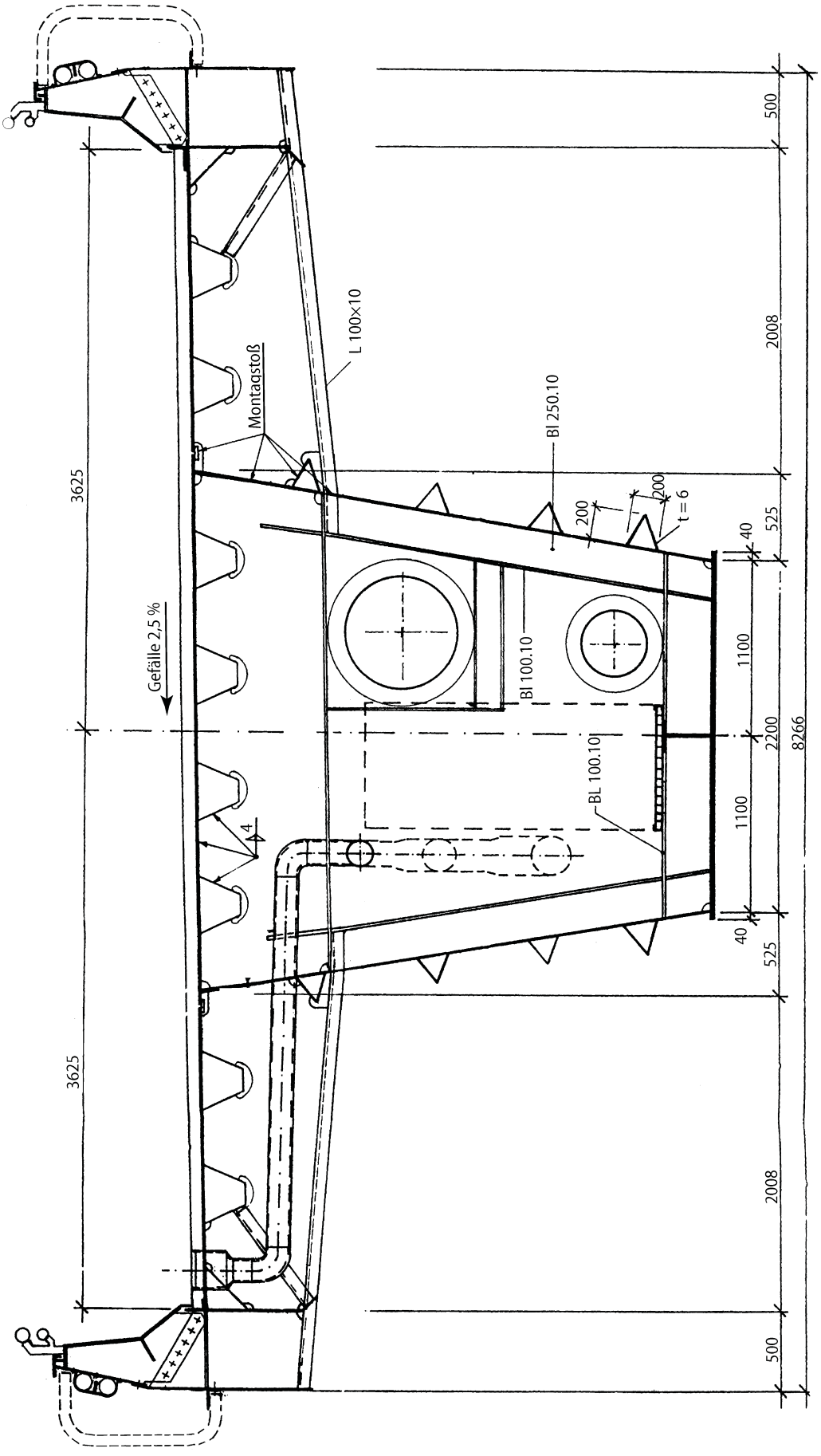


Bild 10.2.1-2 Querschnitt mit außenliegenden Steglängssteifen und innenliegenden Stegquersteifen, Nordsteg über die Donau in Wien [VA TECH VOEST MCE]

Bild 10.2.1-3 Träger mit außenliegenden Steglängssteifen, Nordsteg über die Donau in Wien

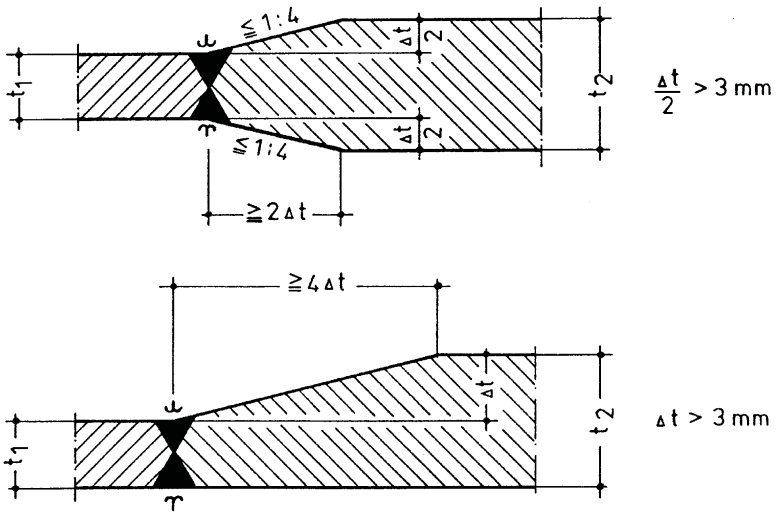


Bild 10.2.1-4 Gurtlamellenabstufung [Thiele/Lohse, 1997]

Fahrbahnplatten viele Kehlnähte aufweisen, sollte diese Tatsache durch eine nach der Erfahrung gewählte Breitenzugabe berücksichtigt werden.

Querstöße von Blechen werden üblicherweise vor dem Zuschnitt der Gesamtbleche gefertigt.

Für die Verbindung von Steg- mit Deckblechgurt und Bodenblech werden Kehlnähte verwendet. Meist genügt es, auch die Querträger mit Kehlnähten an die Stege anzuschließen. Bei hoher Beanspruchung in den Gurten und bei hohen Anforderungen an die Ermüdungsfestigkeit sind für den Anschluss durchgeschweißte Nähte (K-Nähte) erforderlich (siehe Bild 5.2.2-1). Während früher die Anpassung der Dicken der Untergurte an die Momentenlinie durch Zulagelamellen erfolgte, wird heute diese Anpassung durch die Wahl der Lamellendicke selbst durchgeführt (Bild 10.2.1-4).

Bleche mit einem Kohlenstoffäquivalent CEV ≥ 0,4 und Dicken ≥ 30 mm sollten vor dem Schweißen vorgewärmt werden, damit bei dicken Blechen die durch das Abfließen der Wärme auftretende hohe Abkühlgeschwindigkeit und damit die Martensit-

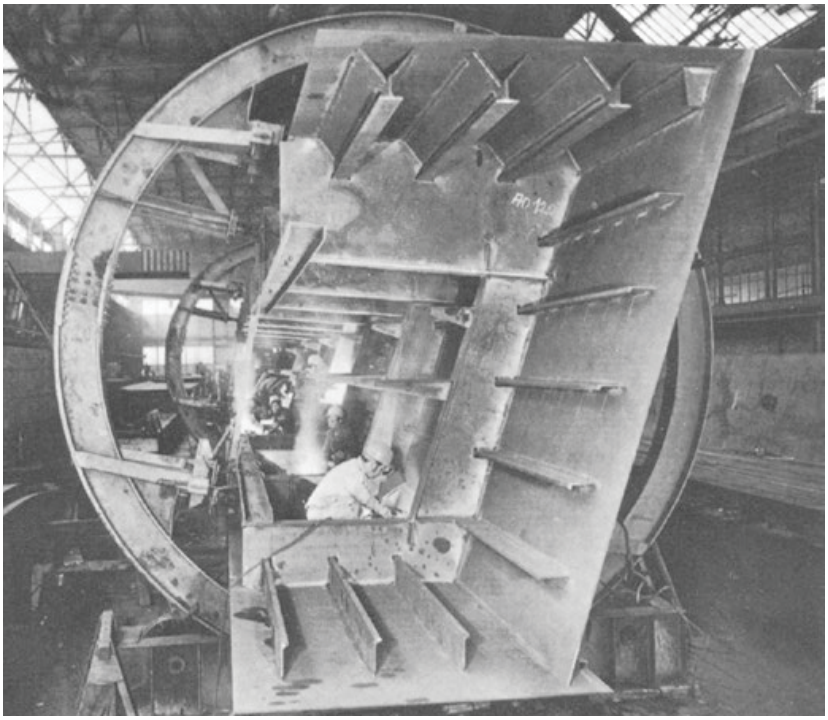


Bild 10.2.1-5 Werkstattfertigung mit Rhönrad [Gerhards et al., 1982]

und Bainitbildung verringert wird, wodurch Sprödbrüche im Nahtbereich vermieden werden. Thermomechanisch gewalzte Stähle mit einem ausnehmend geringen CEV können auch bei großen Dicken ohne Vorwärmen verschweißt werden.

Besondere Beachtung ist jenen geschweißten Stellen beizumessen, bei denen in Dickenrichtung des Blechs entweder aus äußeren Einwirkungen, aber auch aus der Belastung des Schweißschrumpfs Zugspannungen auftreten. Durch die Einlagerung von Mangansulfiden und -oxiden, die beim Walzen in Walzrichtung entstehen, kann es bei einem Schweißvorgang mit Zugspannungen in Dickenrichtung zum Aufschmelzen der Mangansulfide und -oxide und zu Terrassenbrüchen kommen. Abhilfe schafft hier die Verwendung von Blechen, deren Eigenschaften bei Beanspruchung in Dickenrichtung garantiert werden, wie Bleche Z15, Z25, Z35. Anleitung, welche Blechqualität verwendet werden sollte, gibt die [EN 1993-1-10].

Schweißnähte werden bevorzugt in der Wannen- oder in der Horizontalposition hergestellt. Die Lagerung des zu fertigenden Teils in einer Drehvorrichtung (Rhönrad) kann dies wesentlich erleichtern (Bild 10.2.1-5).

10.2.2 Montage vorgefertigter Einheiten

Stahltragwerke haben gegenüber Ortbeton- und Verbundtragwerken den entscheidenden Vorteil, dass alle ihre Teile nach der Werkstattfertigung voll tragfähig sind. Deshalb werden heute Stahltragwerke nie auf vollständigen Lehrgerüsten hergestellt, da diese Methode unwirtschaftlich ist.

Bei kleineren Brückentragwerken ist es manchmal möglich, das gesamte Tragwerk in der Werkstatt herzustellen, zur Baustelle zu transportieren und dort mit Hilfe von Hebezeugen (meist Mobilkränen) auf die Unterbauten zu legen (Bilder 10.2.2-1 bis 10.2.2-4).

Bild 10.2.2-1 Transport einer gesamten Brücke, Eisenbahnbrücke Sandträger Weg, Düsseldorf

Bild 10.2.2-2 Einheben einer gesamten Brücke mit zwei Autokränen, Eisenbahnbrücke Sandträger Weg, Düsseldorf

Bild 10.2.2-3 Einheben mit Autokran, Eisenbahnbrücke Sandträger Weg, Düsseldorf

Bild 10.2.2-4 Einheben einer Fachwerkbrücke mit Schwimmkränen, Donaubrücke Krems

Ist das Tragwerk zu breit, kann eine Längsteilung des Brückenbalkens in zwei oder mehrere Hauptträger die Montage vereinfachen. Die Stöße zwischen den Hauptträgern werden dann auf der Baustelle geschlossen. Auf diese Weise können auch zwischen den Hauptträgern liegende bzw. an die Hauptträger anschließende Plattenelemente feldweise angeschlossen werden.

Bei Durchlaufträgern können die Hauptträger über die jeweils einzelnen Stützweiten verlegt und anschließend geschlossen werden. Dabei ist in der Berechnung zu beachten, dass die Hauptträgerfelder für die Belastung aus Eigenlast der Konstruktion als Einfeldträgerketten, nach dem Schließen jedoch als Durchlaufträger wirken (Bilder 10.2.2-5 und 10.2.2-6).

Ist der Transport von Trägern in der Länge einer Stützweite nicht möglich, können auch die Felder einer Stützweite zu einem Vormontageplatz in der Nähe der Baustelle transportiert werden, dort abgelegt, zusammengebaut und in diesem Zustand mit Hebezeugen eingesetzt werden.

Eine Sonderstellung nehmen hier Bogentragwerke ein. Da Bogentragwerke erst im geschlossenen Zustand voll tragfähig sind, wird immer angestrebt, das Tragwerk komplett auf einzelnen Unterstützungen zusammenzubauen und als eine Einheit einzulegen. Dies kann nicht nur durch Einheben mit Kränen, sondern auch durch Einschwimmen und Einschieben auf Wagen und/oder Schiff erfolgen (Bilder 10.2.2-7 und 10.2.2-8).

In seltenen Fällen ist es auch möglich, das Tragwerk auf dem Untergrund herzustellen und erst nachfolgend den Untergrund unter dem Tragwerk abzutragen.

Ist das zu überbrückende Hindernis nicht allzu tief oder wird durch Hilfsstützen die Benutzung der Flächen unter der Brücke nicht gestört, so können auch Hilfsstützen gestellt werden und die in der Werkstatt hergestellten Felder auf den Stützen gelagert und an Ort und Stelle zum Tragwerk zusammengefügt werden.

Für alle Montagen mit vorgefertigten Einheiten ist die Einhaltung der geometrischen Form sowohl für die Ästhetik als auch bei statisch unbestimmten Systemen für die Beanspruchung von entscheidender Bedeutung. Für die Werkstattfertigung und für die Montage ist nicht die geometrische Sollform des Bauwerks im Endzustand einzuhalten, sondern die sich für den span-

Bild 10.2.2-5 Einheben des Seitenfelds einer Mittelträger-Eisenbahnbrücke mit vier Schwimmkränen, Süderelbebrücke Hamburg, 3. Überbau

Bild 10.2.2-6 Einheben des Mittelfelds einer Mittelträger-Eisenbahnbrücke mit vier Schwimmkränen, Süderelbebrücke Hamburg, 3. Überbau

Bild 10.2.2-7 Einschwimmen bzw. -schieben eines Langer'schen Balkens, Mittellandkanalbrücke Brahmsche

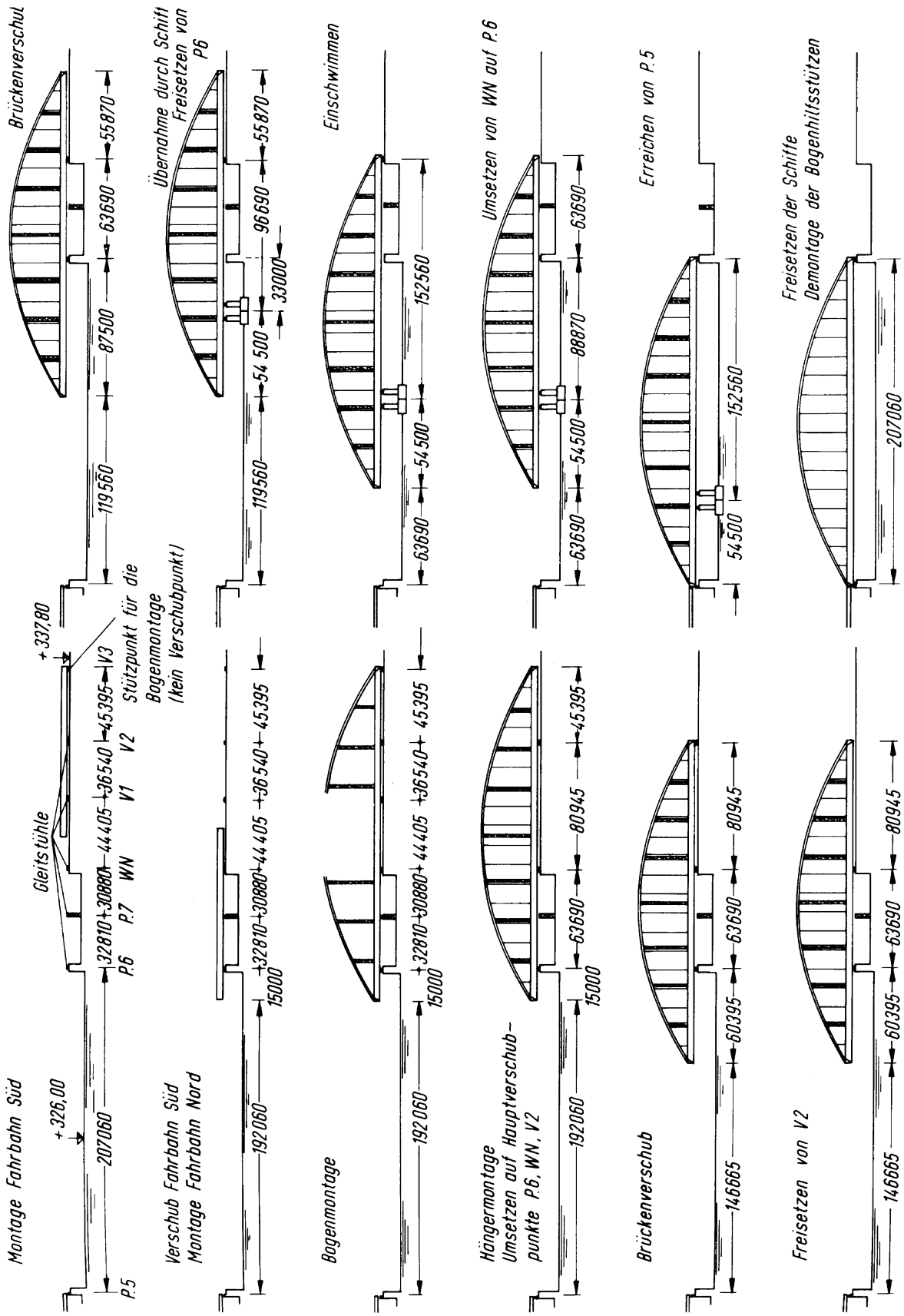


Bild 10.2.2-8 Montage eines Langer'schen Balkens, Donaubrücke Schwabelweis [Carl et al., 1982]

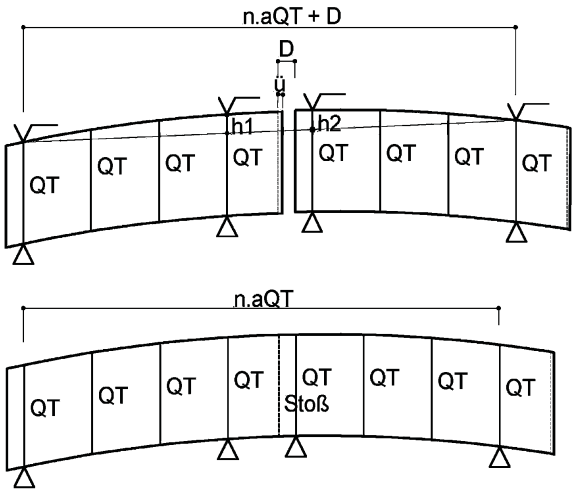


Bild 10.2.2-9 Herstellung der Werkstattform

nungslosen Zustand ergebende, aus der Sollform abgeleitete Werkstattform.

Die richtige Form eines Felds wird durch die richtige Form der formgebenden Elemente, das sind die Stegbleche, erreicht. Zur Erzielung der richtigen Form und der richtigen Länge des aus Feldern zusammengesetzten Trägers müssen die Felder, zumindest deren formgebende Elemente (Hauptträger), in der richtigen Form zusammengelegt werden. Um Längenfehler (z. B. aus Schweißschrumpf) ausgleichen zu können, wird üblicherweise ein Ende auf Maß abgelängt, das andere Ende mit planmäßiger Überlänge (30 bis 50 mm) gefertigt. Zwei aufeinanderfolgende Hauptträger werden entweder in der Werkstatt oder auf einem Vormontageplatz oder bei Auflagerung auf Hilfsstützen direkt bei der Montage so zusammengelegt und höhenmäßig eingerichtet, dass die Sehnenstiche h_1 und h_2 den Stichen der Werkstattform entsprechen. Dann wird das Istmaß l_{ist} vom ersten zum letzten Querträger genommen und mit dem Sollmaß l_{soll} verglichen. Die Differenz $\Delta = l_{ist} - l_{soll}$ ist jenes Maß, mit dem vom abgelängten Ende aus das andere Ende mit Überlänge angerissen und abgeschnitten wird. Damit wird sichergestellt, dass sowohl Stichmaße zwischen aufeinanderfolgenden Schüssen als auch die Längenmaße stimmen (Bild 10.2.2-9).

Noch besser ist es natürlich, wenn dieses Verfahren nicht nur auf jeweils zwei, sondern auf mehrere hintereinander liegende Felder angewendet wird. Die Maße der zusammengelegten Felder sind durch Passmarken oder Passlaschen zu sichern.

Die Verbindung der einzelnen Felder erfolgt entweder durch Schweißung oder durch GV-Verschraubung. Schweißen wird vor allem im Bereich der Fahrbahnplatten angewendet, da Laschen und Schraubenköpfe die Dicke des Fahrbahnbelags vermindern und sich in den Belag durchdrücken. Schraubenverbindungen haben den Vorteil, dass sie meist schon bei teilweiser Verschraubung für die Montage ausreichende Tragfähigkeit aufweisen und dass Fertigungsungenauigkeiten leichter ausgeglichen werden können. Bei GV-Schraubenverbindungen kann auch durch die Verwendung von reibfesten Anstrichen in den Berührungsflächen der gesamte Korrosionsschutz in der Werkstatt aufgebracht werden.

Das Verbinden der Teile durch Schweißung an der Baustelle erfordert höhere Anforderungen an die Schweißer als das Schweißen in der Werkstatt, da die Teile in der jeweiligen Zwangsposition (auch steigend und über Kopf) verbunden werden müssen. Schweißen stellt auch gegenüber einer Laschenverbindung die homogenere Verbindung der Teile ohne Kräfteumleitung dar. In Ausnahmefällen können auch Schweißnähte blecheben geschliffen werden, so dass sie unter dem Korrosionsschutz unsichtbar bleiben. Um die durchgehenden Deck-, Steg- und Bodenbleche beidseitig oder einseitig auf Badsicherung verschweißen zu können, werden meistens die Steifen im Bereich der Schweißnaht zunächst auf einige 100 mm Länge im Nahtbereich weggelassen. Um die Bleche vor allem in den Ecken gut anpassen zu können, wer-

den auch die Längsnähte einige 100 mm vor dem Stoß nicht geschweißt. Die erforderlichen Schweißnahtvorbereitungen sind bereits beim Schneiden der Bleche angearbeitet. Badsicherungen auch durch Stahlplättchen werden meist erst bei der Montage angebracht, da sie beim Transport abgeschlagen werden können. Die zu verbindenden Teile werden zunächst mit Knaggen gesichert, geheftet und schließlich verschweißt und die Knaggen entfernt. Anschließend werden die vorher nicht verschweißten Kehlnahtenden nachgeschweißt. Die Stöße der Längssteifen werden durch eingeschweißte Passstücke, die meist auf der Baustelle nach Naturmaß abgelängt werden, geschlossen. Bei Hohlsteifen werden die Stumpfnähte der Passstücke entweder auf eingelegten Unterlagsplättchen oder auf eingesetzten Querschotten als Badsicherung verschweißt. Da beim Schweißen der Korrosionsschutz zerstört wird, muss in den von den Schweißnähten beeinflussten Bereichen der Korrosionsschutz vom Grund auf nachgearbeitet werden.

10.2.3 Freivorbau

Freivorbau wird jenes längsorientierte Montageverfahren genannt, bei dem nach dem Aufstellen des ersten, sogenannten Standfelds, die weiteren Felder am Ort der endgültigen Lage über weitere Strecken, eventuell unter Einbeziehung weniger Hilfsstützen nacheinander angeschlossen werden. Das Hebezeug kann dabei unter der Brücke oder (meist) auf der Brücke fahren. Das Vorfahren der einzelnen Teile eines Felds erfolgt dabei im Allgemeinen über den bereits montierten Brückenbalken. Das Anschließen der Teile eines Felds erfolgt im Hebezeug freihängend. Zunächst werden die längsorientierten Hauptträger vorgehängt und biege- und schubfest an das vorhergehende, bereits montierte Feld angeschlossen. An die Hauptträger werden die dazwischenliegenden und auskragenden Teile meist längsorientiert, manchmal auch querorientiert angeschlossen. Nach Montage eines Felds werden bei auf dem Brückendeck fahrenden Hebezeugen diese um eine Feldlänge vorgefahren und der Montagevorgang fortgesetzt. Bei Erreichen eines Pfeilers muss die Vorbauspitze entweder dort gehoben oder durch Überhöhung der vorhergehenden Lager die Durchbiegung des Kragarms ausgeglichen werden (Bild 10.2.3-1).

Freivorbau kann von einem Randstandfeld aus nach einer Seite oder von einem inneren Standfeld aus nach beiden Seiten betrieben werden. Bei Durchlaufbalken mit ausgeprägten großen Öffnungen, z. B. Strombrücken, wird der Freivorbau von beiden Seiten gleichzeitig oder nacheinander bis zur Brückenmitte durchgeführt und dort das Brückentragwerk geschlossen. Das Schließen muss höhen- und tangentengleich erfolgen. Das kann durch die Wahl der entsprechenden Momentenverteilung, durch Hebung an den anliegenden Stützen oder durch örtliche Eintragung eines Biegemoments (ev. auch einer Querkraft) mit hydraulischen Pressen erfolgen. Das Montieren der beiden Tragwerksteile nacheinander hat den Vorteil, dass mit einem Vorbaugerät, das nach Montage des ersten Tragwerksteils auf den zweiten umgesetzt wird, das Auslangen gefunden werden kann. Als Nachteil steht die längere (etwa doppelte) Montagezeit gegenüber (Bild 10.2.3-2).

Beim Freivorbau können eventuell auch bei großen Steghöhen längsgeteilte Hauptträger montiert werden. Hier werden allerdings Montagespannungen „eingefroren", die bei den Nachweisen der Träger berücksichtigt werden müssen.

Vor allem beim Freivorbau ist das im vorhergehenden Abschnitt beschriebene Auslegen der Träger benachbarter Felder mit Form- und Längenanpassung erforderlich. Bei der Montage sind die Abstände der Passmarken oder Passlaschen genau einzu-

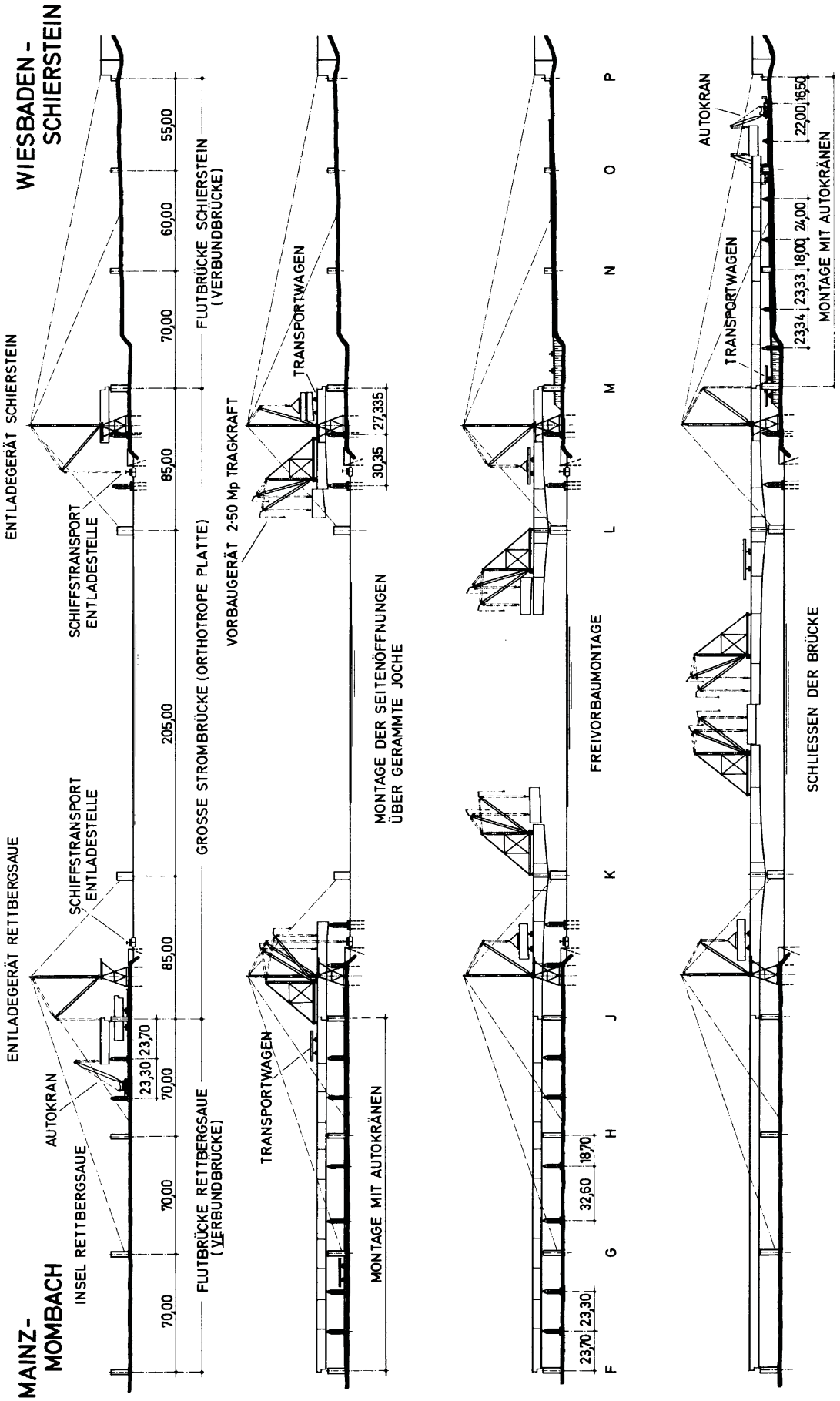


Bild 10.2.3-1 Freivorbau einer Balkenbrücke, Rheinbrücke Wiesbaden-Schierstein [Weitz, 1975]

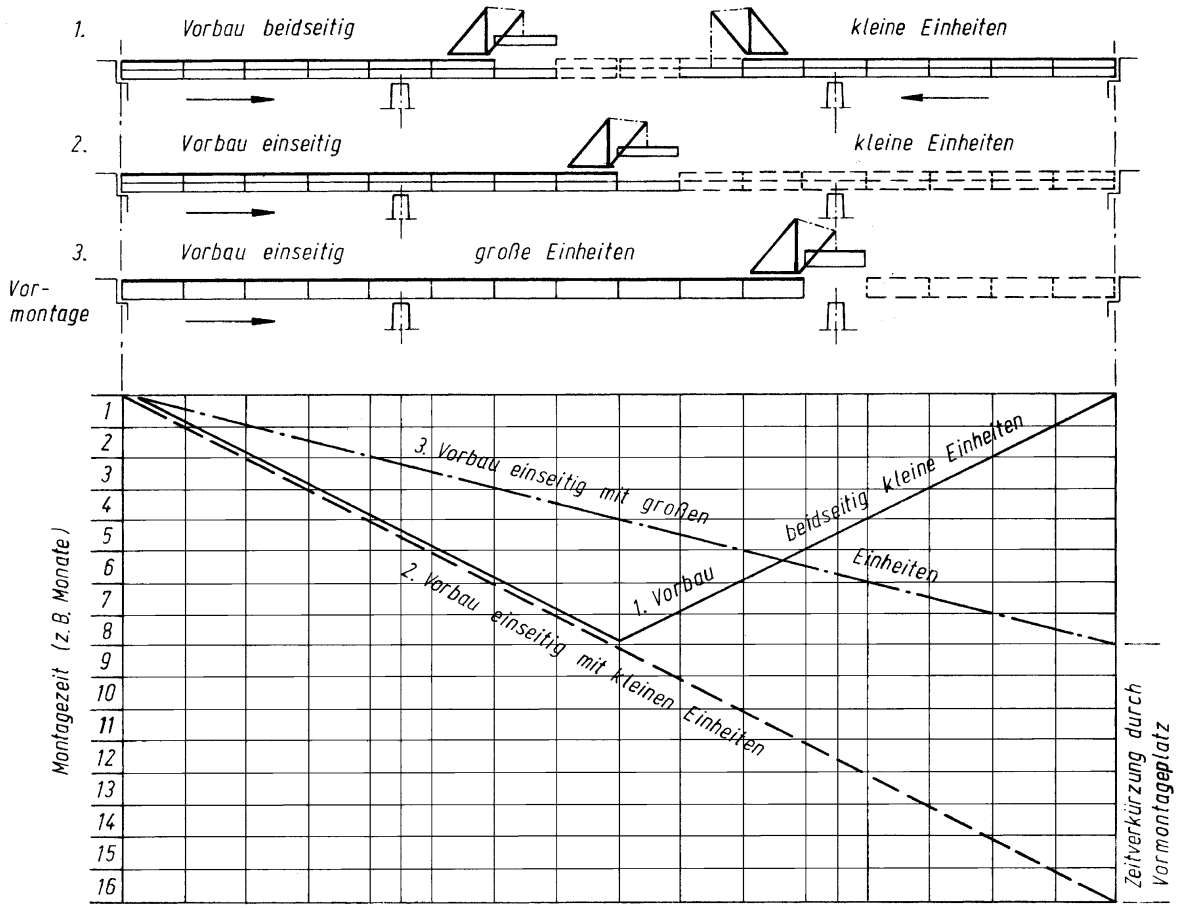


Bild 10.2.3-2 Ein- und zweiseitiger Freivorbau einer Balkenbrücke [Weitz, 1975]

Bild 10.2.3-3 Stabweiser Freivorbau einer Fachwerkbrücke im Seitenfeld, Hochbrücke Brunsbüttel über den Nordostseekanal

Bild 10.2.3-4 Stabweiser Freivorbau einer Fachwerkbrücke bis zur Brückenmitte, Hochbrücke Brunsbüttel über den Nordostseekanal

halten (Passschrauben). Die theoretische Biegelinie ist nach Montage jedes Felds mit der tatsächlichen Trägerform zu vergleichen. Bei Abweichungen können mit den nachfolgenden Schüssen diese Fehler wieder ausgeglichen werden. Besonderes Augenmerk ist auf die Form zu legen, wenn Teile des Querschnitts (z. B. Deckblech) durch Schweißnähte und andere Teile (z. B. Stege und Untergurte) mit GV-Laschenstößen angeschlossen werden. Das Schrumpfen der Schweißnaht kann in Folge zu einer erheblichen Abweichung von der Sollgeometrie führen. Deshalb ist während der Montage die Form des Tragwerks laufend zu kontrollieren und eventuell zu korrigieren.

Der Freivorbau eignet sich als Montagemethode besonders für Vollwand- und Fachwerkbalken. Bei Fachwerken geringerer Höhe werden Hauptträger„wände“ vorgebaut, bei Fachwerken großer Höhe erfolgt der Freivorbau stabweise (Bilder 10.2.3-3 bis 10.2.3-5).

Auch Schrägkabelbrücken sind für den Freivorbau hervorragend geeignet, wenn die Seitenöffnung auf einigen Hilfsstützen errichtet werden kann, dann der Pylon gebaut wird und abschließend die Teile der

Bild 10.2.3-5 Freivorbau eines Obergurtstabs, Hochbrücke Brunsbüttel über den Nordostseekanal

großen Öffnung im Freivorbau jeweils mit Kabelunterstützung montiert werden (Bild 10.2.3-6).

Der Freivorbau des Balkens von Hängebrücken erfolgt meist durch Aufziehen der auf Pontons eingeschwommenen Balken-

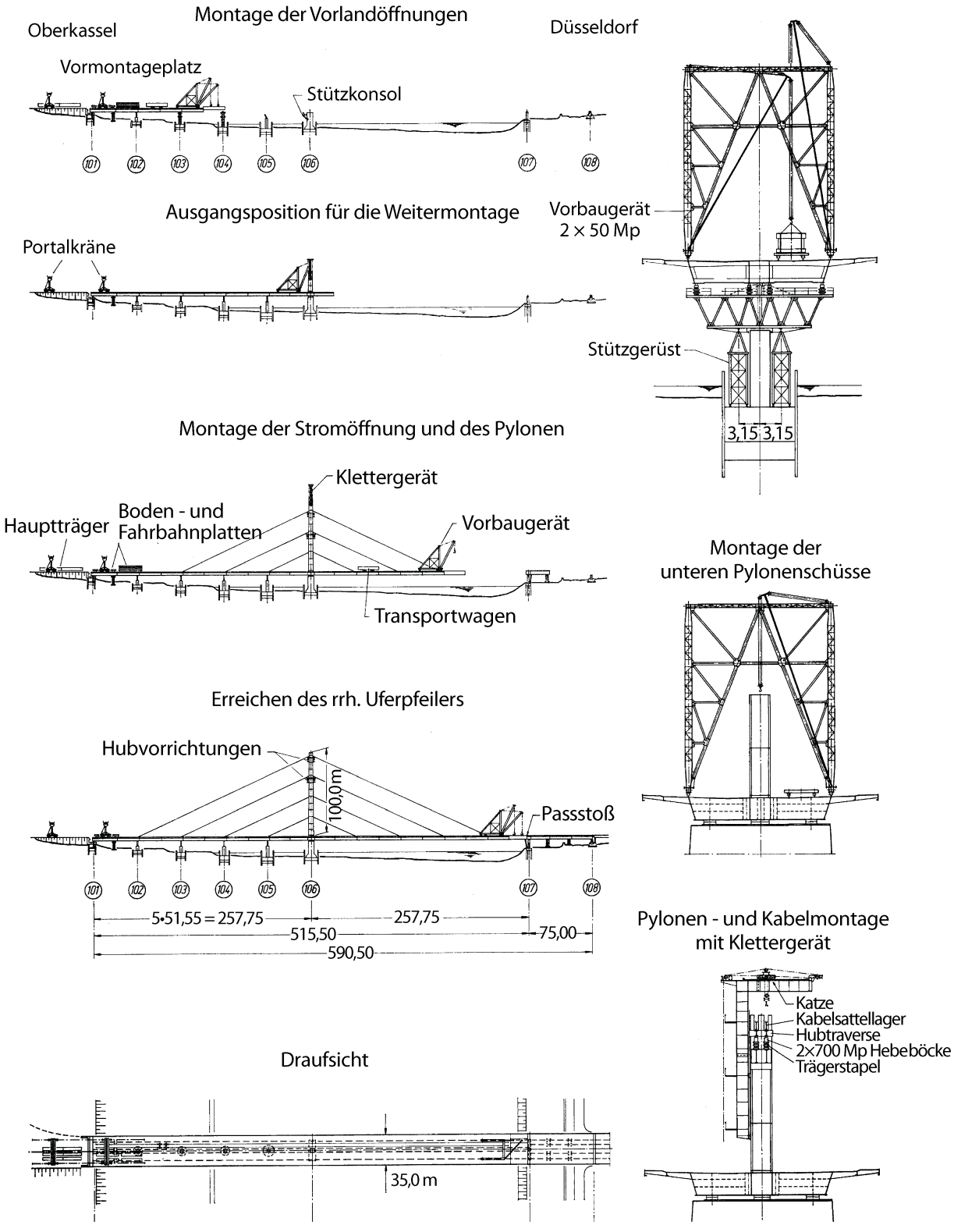


Bild 10.2.3-6 Freivorbau einer Schrägkabelbrücke, Rheinbrücke Düsseldorf-Oberkassel [Beyer et al., 1977]

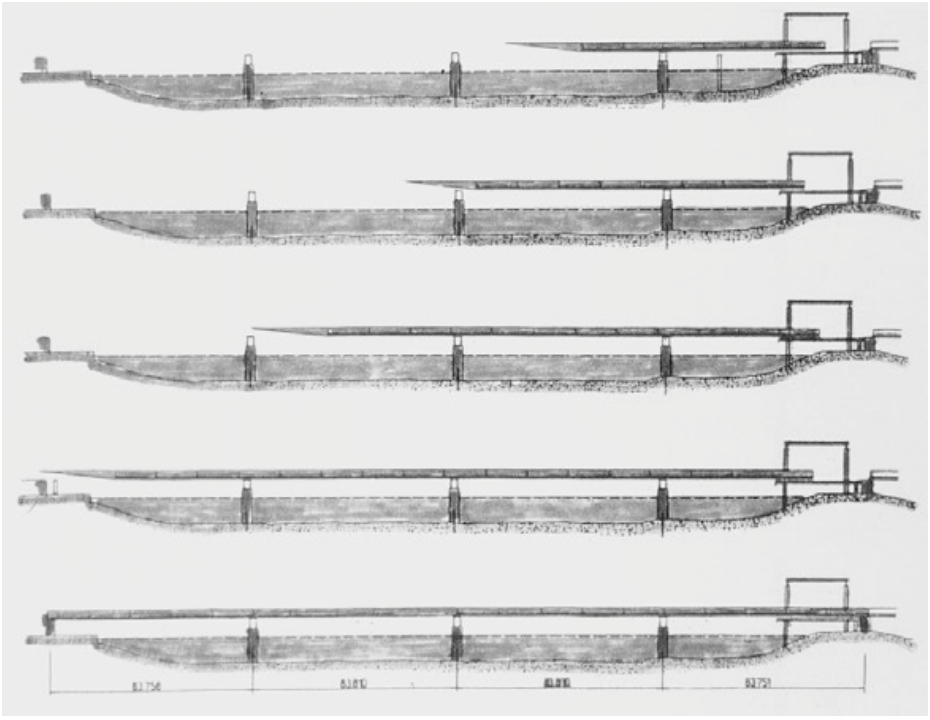


Bild 10.2.4-1 Längseinschub einer Balkenbrücke, U6-Brücke über die Donau in Wien

teile von einer auf den Tragkabeln fahrenden Hebebühne aus. Dabei wird meistens der komplette Querschnitt eines Felds auf den Pontons zusammengebaut und aufgezogen.

10.2.4 Längseinschub (Lancieren)

Beim Längseinschub wird die Brücke in der Achse des Tragwerks auf einem Montageplatz mit den ersten Feldern beginnend zusammengebaut und längs in Achse eingeschoben (Bild 10.2.4-1).

Der Längsverschub ist eine sehr wirtschaftliche Montagemethode, da der Zusammenbau auf dem Montageplatz immer an derselben Stelle unter denselben Bedingungen erfolgt, die durchaus den Zusammenbaubedingungen in der Werkstatt ähnlich sein können. Dieser Zusammenbauplatz kann mit einem Kran (meist Portalkran) ausgestattet und für Schweiß- und Korrosionsschutzarbeiten eingehaust werden (Bilder 10.2.4-2 und 10.2.4-3).

Selbstverständlich können nur Brückenbalken mit im Grundriss kreisförmiger oder gerader Achse längs eingeschoben werden. Besonders geeignet ist das Verfahren für parallelgurtige Durchlaufträger über mehrere Felder.

Der Montageplatz liegt üblicherweise hinter dem Widerlager, bei dem zunächst die Kammermauern weggelassen werden. Das Zusammenlegen und Anpassen der Teile kann bei diesem Montageverfahren direkt am Montageplatz erfolgen. Zwischen Montageplatz und erstem Pfeiler sind normalerweise ein oder zwei Hilfsstützen erforderlich, um den ersten Pfeiler erreichen zu können.

Um die Vorschubspitze zu leichtern wird entweder ein Verschubschnabel verwendet, oder es werden alle Querschnittsteile, die für die Tragfähigkeit an der Vorschubspitze nicht erforderlich sind, weggelassen und erst nach Ende des Längsverschubs eingefügt (Bild 10.2.4-4).

Bei gleichen Stützweiten hat der Vorschubschnabel den Nachteil, dass die maxi-

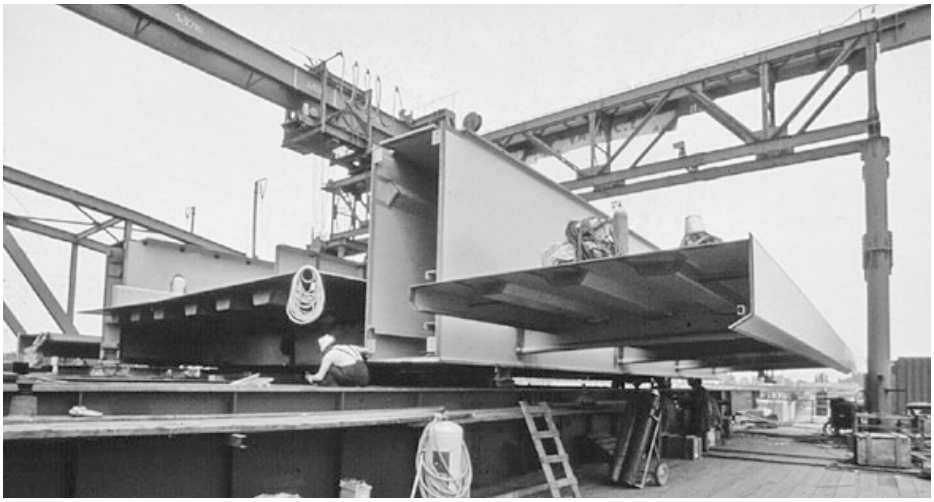


Bild 10.2.4-2 Zusammenbauplatz mit Portalkran, U6-Brücke über die Donau in Wien

Bild 10.2.4-3 Zusammenbau von zwei Feldern, U6-Brücke über die Donau in Wien

malen Kragmomente beim ersten Feld nicht an der Stelle auftreten, wo das maximale Stützenmoment auftritt. Deswegen wird im Stahlbau häufig die zweite Methode der Leichterung gewählt. Eine andere Methode zur Verstärkung des Kragarms ist die Verwendung einer Hilfsüberspannung.

Der Längsverschub kann kontinuierlich erfolgen, wenn die Verschublager unter den Hauptträgerstegen angeordnet sind, oder diskontinuierlich, wenn die Brücke auf jedem Querträger oder unter der Kreuzung Hauptträger–Querträger gelagert wird. Der heute überwiegend angewandte kontinuierliche Längsverschub hat den Vorteil, dass größere Strecken, zumindest aber die Länge eines Felds ohne Unterbrechung verschoben werden können, jedoch den Nachteil, dass jeder beliebige Punkt jedes Felds Auflagerpunkt wird und die Auflagerkraft in den Steg eingeleitet werden muss. Der kontinuierliche Längsverschub kommt auch mit einer relativ kurzen Verschubbahn aus. Der diskontinuierliche Längsverschub erfolgt immer über den Abstand der Querträger oder über den Abstand der Fachwerkknoten

Bild 10.2.4-4 Längsverschub einer Balkenbrücke mit Vorschubschnabel, U6-Brücke über die Donau in Wien

auf einem Wagen über einer Verschubbahn, die zumindest die Länge dieses Abstands hat. Dann wird das Tragwerk angehoben, die Lager zurückgeschoben, das Tragwerk abgesetzt und weiterverschoben. Der diskontinuierliche Längsverschub hat den Vorteil, dass die Lagerpunkte ausgesteift sind und die dazwischen liegenden Teile, da sie nie Lasteinleitungspunkte werden, nicht örtlich ausgesteift werden müssen.

Beim Längsverschub ist das Rollen oder Gleiten bewegter Teile auf Unterstützungen von wesentlichem Einfluss. Bei Auflagerkräften bis etwa 1000 kN können Rollenwagen zum Einsatz kommen. Da die gehärteten Rollen der Rollenwagen bei Überbeanspruchung, vor allem bei zu hohen Kantenpressungen, leicht brechen können, ist es ratsam, diese auf elastomeren Montagelagern aufzulegen. Bei größeren Kräften ist nur mehr die Lagerung auf Gleitflächen möglich. Die Gleitpaarung mit der geringsten Reibung ist die Paarung PTFE (Polytetrafluoräthylen) mit hochlegierten Chrom-Nickel-Stählen, z. B. X 5 CrNiMo 1810 mit polierter Oberfläche, wobei durch geeignete Schmierung der Reibwert deutlich unter 1 % gedrückt werden kann. Dies ist bei diskontinuierlichem Verschub immer möglich, da die Gleitbahnen mit einem polierten hochlegierten Blech bespannt werden können. Bei kontinuierlichem Verschub ist dies nicht möglich, weshalb üblicherweise die beschichtete, gut geschmierte Stahlträgerunterseite über das PTFE des Lagers gleitet. Das PTFE sollte daher gekammert auf einem Blech liegen, damit es beim Verschub nicht herausgeschoben wird und die „Bartbildung“ weitgehend vermieden wird. Die verdrehweiche Lagerung des Verschublagers durch Anordnung eines Elastomer-Montagelagers ist auch hier zu empfehlen (Bilder 10.2.4-5 und 10.2.4-6).

Erfolgt das Lancieren über eine schiffbare Wasserfläche, so kann anstelle eines Verschublagers ein Schiff treten, das den Überbau an einer festgesetzten Stelle unterstützt, mit dem Überbau aus Stabilitätsgründen biegesteif verbunden ist und mit dem Überbau längs eingeschoben wird. Hierbei ist besonders zu beachten, dass die Unterstützung durch das Schiff sehr nachgiebig (weich) ist, während die Lagerung auf Verschublagern unnachgiebig (starr) ist. Bei statisch unbestimmter Lagerung können daher hohe Beanspruchungen des Brückenbalkens durch Änderungen der Höhe des Wasserspiegels (z. B. Wellengang) entstehen. Um ein Brückentragwerk auf einem Verschubschiff lagern zu können, wird entweder der Überbau mit hydraulischen Pressen vom Schiff aus aufgestapelt, oder das Schiff vorher geflutet und unter dem Überbau gelenzt (Bild 10.2.4-7).

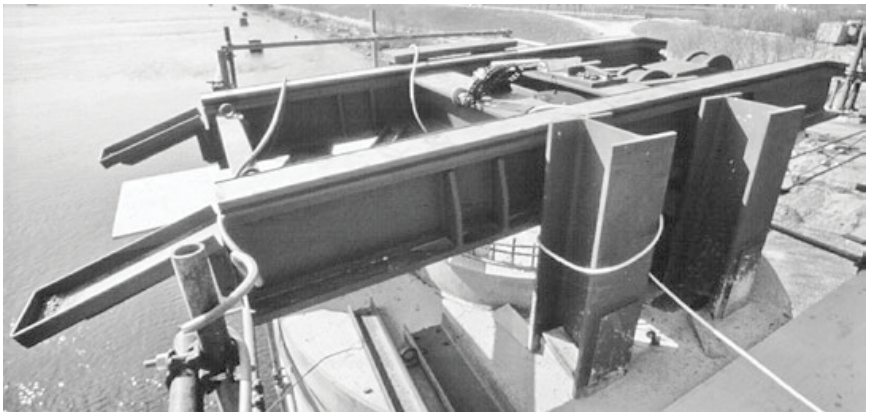


Bild 10.2.4-5 Verschublager vor Belastung U6-Brücke über die Donau in Wien

Bild 10.2.4-6 Verschublager mit Brücke, U6-Brücke über die Donau in Wien

10.2.5 Spezielle Verfahren

Die in den Abschnitten 10.2.2 bis 10.2.4 dargestellten Montageverfahren für Stahlbrücken stellen die klassischen Verfahren dar. Bei Ersatz bestehender Tragwerke durch neue mit oder ohne Beibehaltung der Unterbauten werden spezielle Montageverfahren angewandt, um die Verkehrsunterbrechung so gering wie möglich zu halten: Dazu gehören:

a) Der Querverschub des alten Tragwerks, die Umleitung des Verkehrs auf das alte Tragwerk und der Neubau in der bestehenden Achse (Bild 10.2.5-1),
b) Der Bau des neuen Tragwerks parallel zum bestehenden Tragwerk, die Umleitung des Verkehrs auf das neue Tragwerk, der Abbruch des alten Tragwerks und der Querverschub des neuen Tragwerks in die bestehende Achse (Bild 10.2.5-2),
c) Der Bau des neuen Tragwerks parallel zum bestehenden Tragwerk, der gemeinsame Querverschub beider Brücken (Bild 10.2.5-3),
d) Der Ausbau von alten und der Einbau von neuen Tragwerken, wenn aus räumlichen Gründen oder wegen nicht ausreichender Krankapazität ein direkter Austausch mit Kränen nicht möglich ist. Dabei dient das alte Tragwerk als Träger beim Einschieben des neuen Tragwerks und das neue Tragwerk als Träger beim Ausschieben des alten Tragwerks.

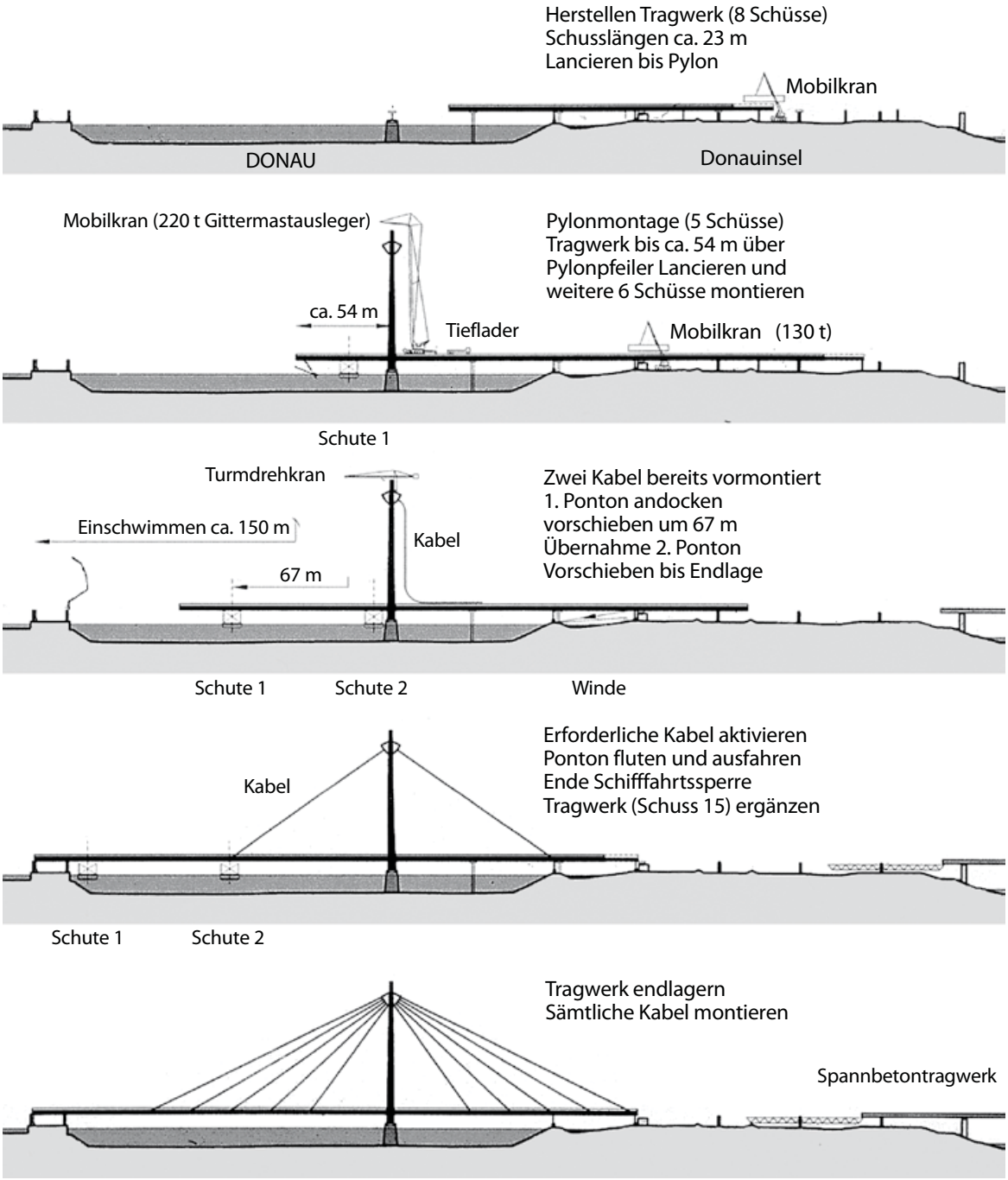


Bild 10.2.4-7 Einschieben und -schwimmen einer Brücke mit Verschubschiffen, Donaustadtbrücke über die Donau in Wien [Pauser]

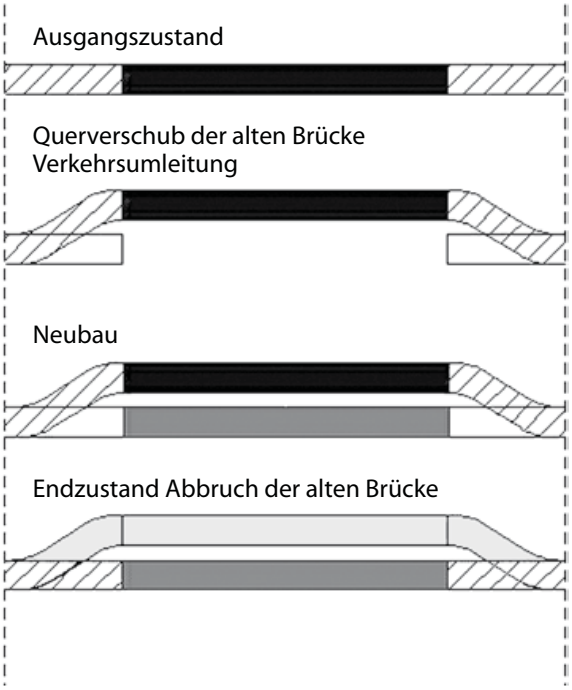


Bild 10.2.5-1 Querverschub des alten Tragwerks und Neubau in der bestehenden Achse

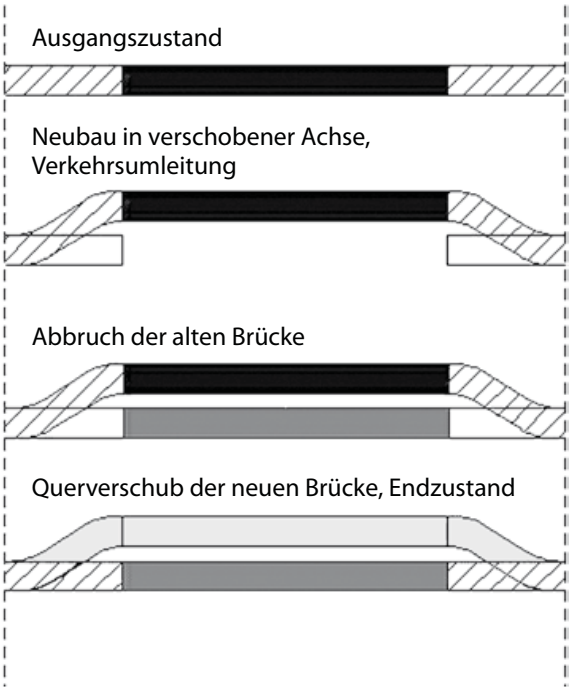


Bild 10.2.5-2 Neubau parallel zum bestehenden Tragwerk und Querverschub in die alte Achse

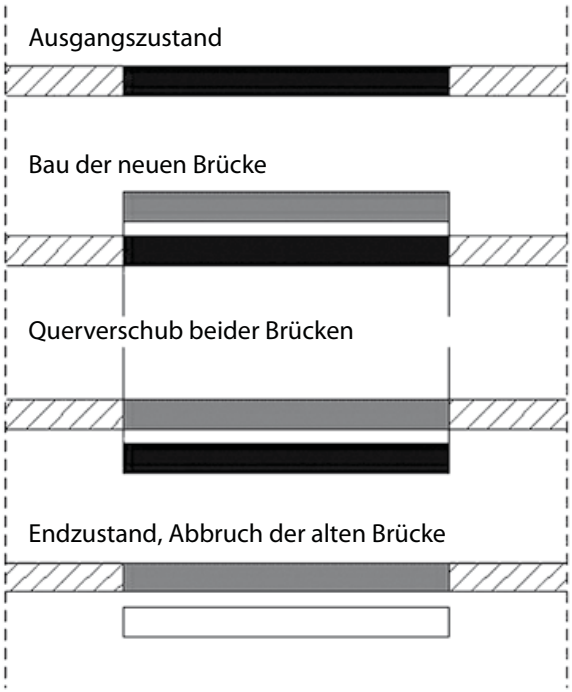


Bild 10.2.5-3 Gleichzeitiges Ausschieben des alten und Einschieben des neuen Tragwerks

Bei den Verfahren a) und b) können auch die Unterbauten der Brücke vollständig erneuert werden. Bei den Verfahren c) und d) müssen die Unterbauten weitgehend erhalten bleiben. Das Verfahren c) hat gegenüber d) den Vorteil, dass sich der Austausch lediglich auf einen Querverschub beschränkt, aber den Nachteil, dass das neue Tragwerk auf einem Gerüst montiert und das alte Tragwerk auf einem Gerüst demontiert werden muss und die Flächen beiderseits zur Brücke in ausreichender Größe zur Verfügung stehen müssen. Beim Verfahren d) werden die Kosten für diese Gerüste eingespart, der Zusammenbau des neuen Tragwerks und die Demontage des alten Tragwerks kann auf einem Vormontageplatz mit beliebig vielen Unterstützungen erfolgen. Rüstungen werden aber für das Ein- und Ausschieben der Tragwerke und für die Lagerungen auf den Pfeilern benötigt. Außerdem ist der Austausch selbst komplizierter als der Querverschub nach dem Verfahren c).

Bild 10.2.5-4 Kronprinz-Rudolf-Brücke über die Donau in Wien vor dem Verschub

Bild 10.2.5-5 Kronprinz-Rudolf-Brücke über die Donau in Wien mit Vorbereitungen für den Querverschub

Bekannte Beispiele sind für das Verfahren a) der Querverschub der Kronprinz-Rudolf-Brücke über die Donau in Wien, 1934, siehe Bilder 10.2.5-4 bis 10.2.5-7 (Stahl), für das Verfahren b) der Querverschub der Oberkasseler Rheinbrücke in Düsseldorf, 1976, siehe Bilder 10.2.5-8 bis 10.2.5-11 [Beyer et al., 1977], für das Verfahren c) der Neubau der Trisanna-Brücke, 1964, siehe Bilder 10.2.5-12 bis 10.2.5-14 [Schmid/Köhler, 1964], für das Verfahren d) der Austausch im Drehverfahren bei der Schwarzbachtalbrücke in Wuppertal, 1981, siehe Bilder 10.2.5-15 bis 10.2.5-22 [Gerhards et al., 1982] und der Austausch der Kampbrücke Zwettl, 1999, siehe Bild 10.2.5-23 bis 10.2.5-30 [Holzinger et al., 1999].

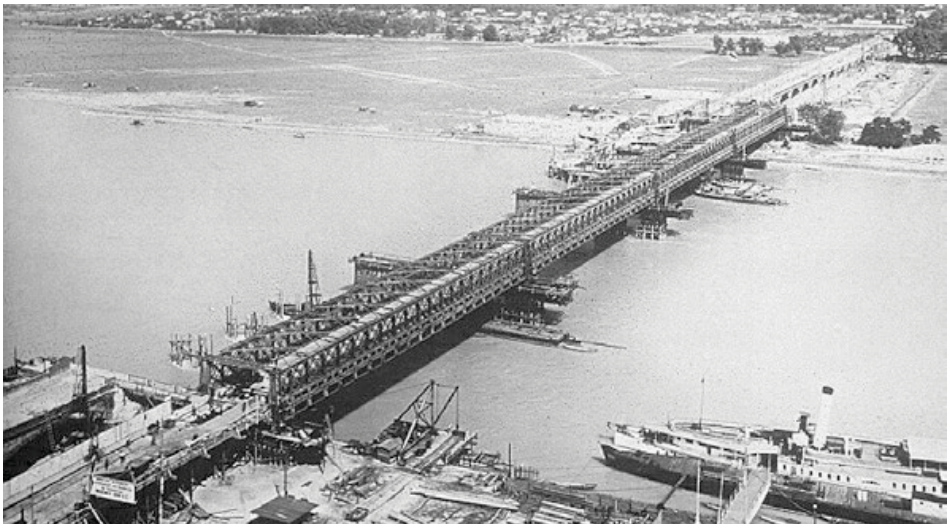


Bild 10.2.5-6 Kronprinz-Rudolf-Brücke über die Donau in Wien nach dem Querverschub

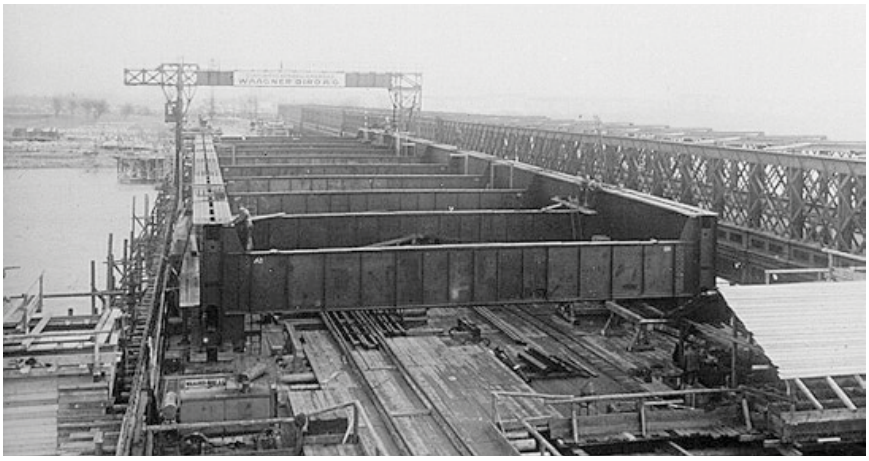


Bild 10.2.5-7 Bau der alten Reichsbrücke neben der querverschobenen Kronprinz-Rudolf-Brücke über die Donau in Wien

Bild 10.2.5-8 Rheinbrücke Düsseldorf-Oberkassel, Neubau in verschobener Achse. Im Hintergrund die alte Brücke

Bild 10.2.5-9 Rheinbrücke Düsseldorf-Oberkassel, neue Brücke in provisorischer Lage

Bild 10.2.5-10 Rheinbrücke Düsseldorf-Oberkassel, neue Brücke in endgültiger Lage

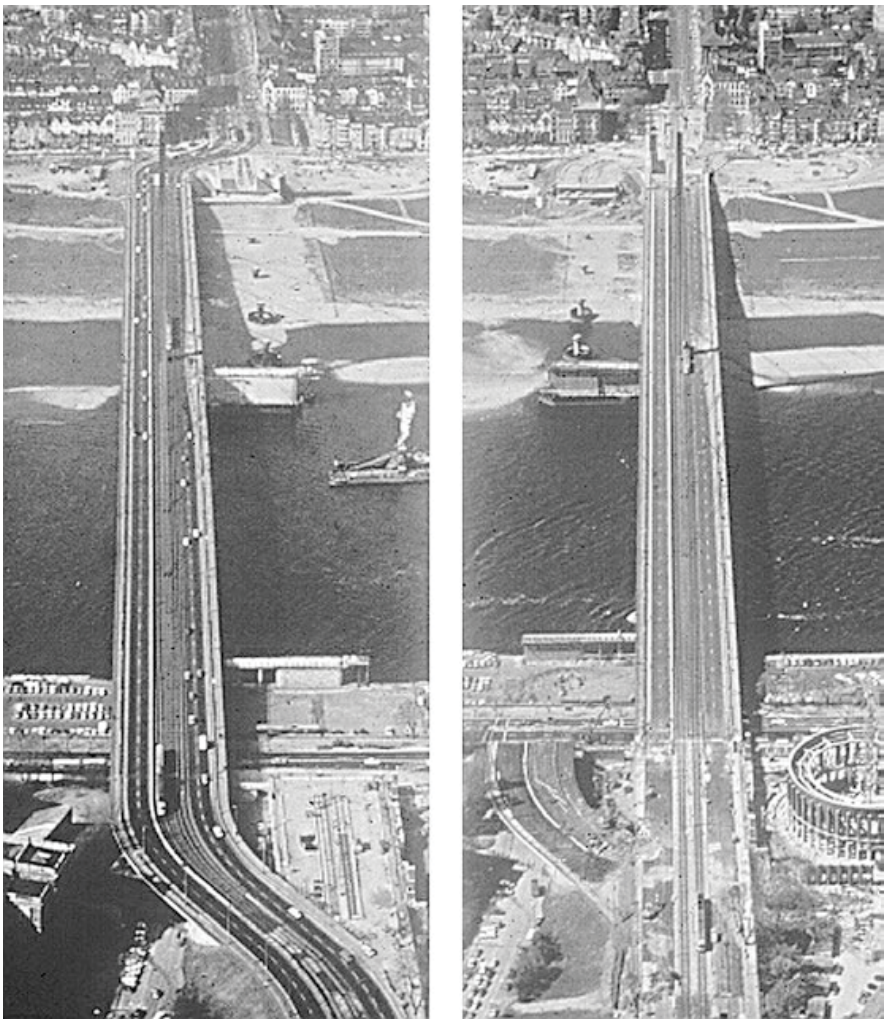


Bild 10.2.5-11 Rheinbrücke Düsseldorf–Oberkassel, vor und nach dem Querverschub [Beyer et al., 1977]

Bild 10.2.5-12 Alte Trisanna-Brücke [Waagner – Biro]

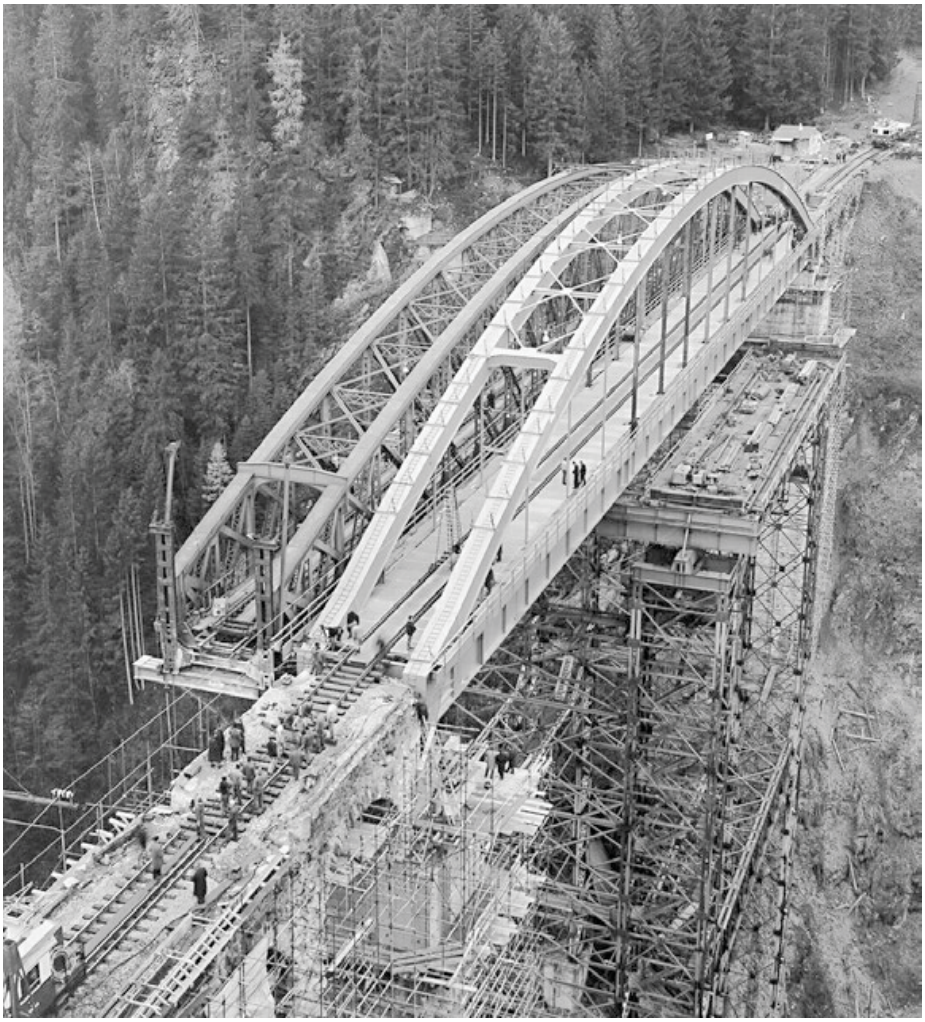


Bild 10.2.5-13 Neubau der Trisanna-Brücke und gemeinsamer Querverschub beider Brücken [Waagner – Biro]

Bild 10.2.5-14 Neue Trisanna-Brücke [Waagner – Biro]

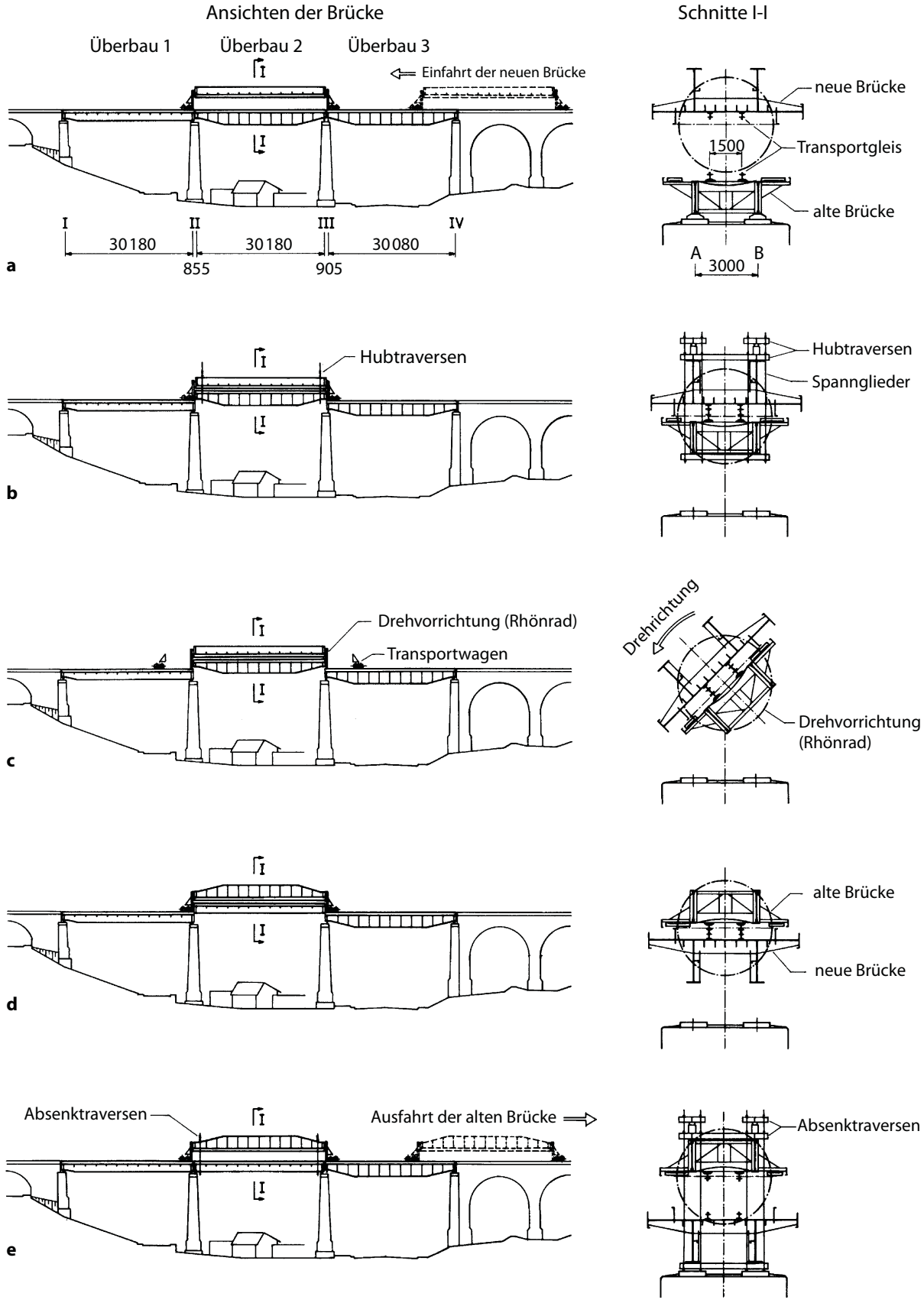


Bild 10.2.5-15 Schwarzbachtalbrücke Wuppertal, Montageübersicht [Gerhards et al., 1982]

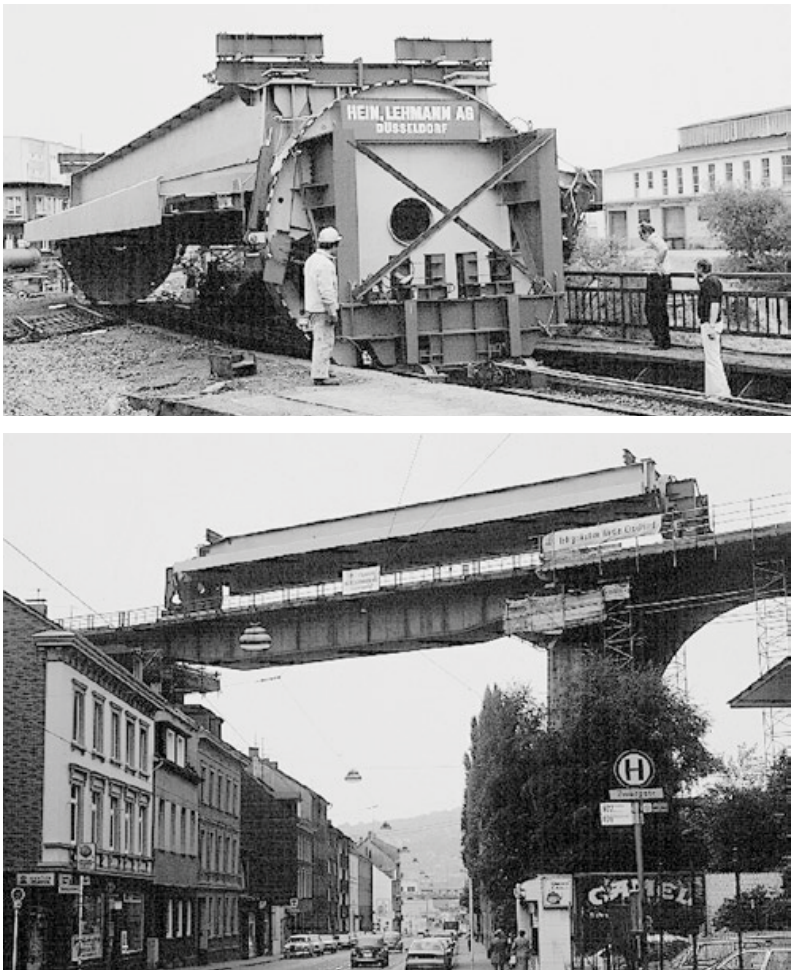


Bild 10.2.5-16 Schwarzbachtalbrücke Wuppertal, Einfahren des neuen Tragwerks

Bild 10.2.5-17 Schwarzbachtalbrücke Wuppertal, Aufziehen des alten Tragwerks

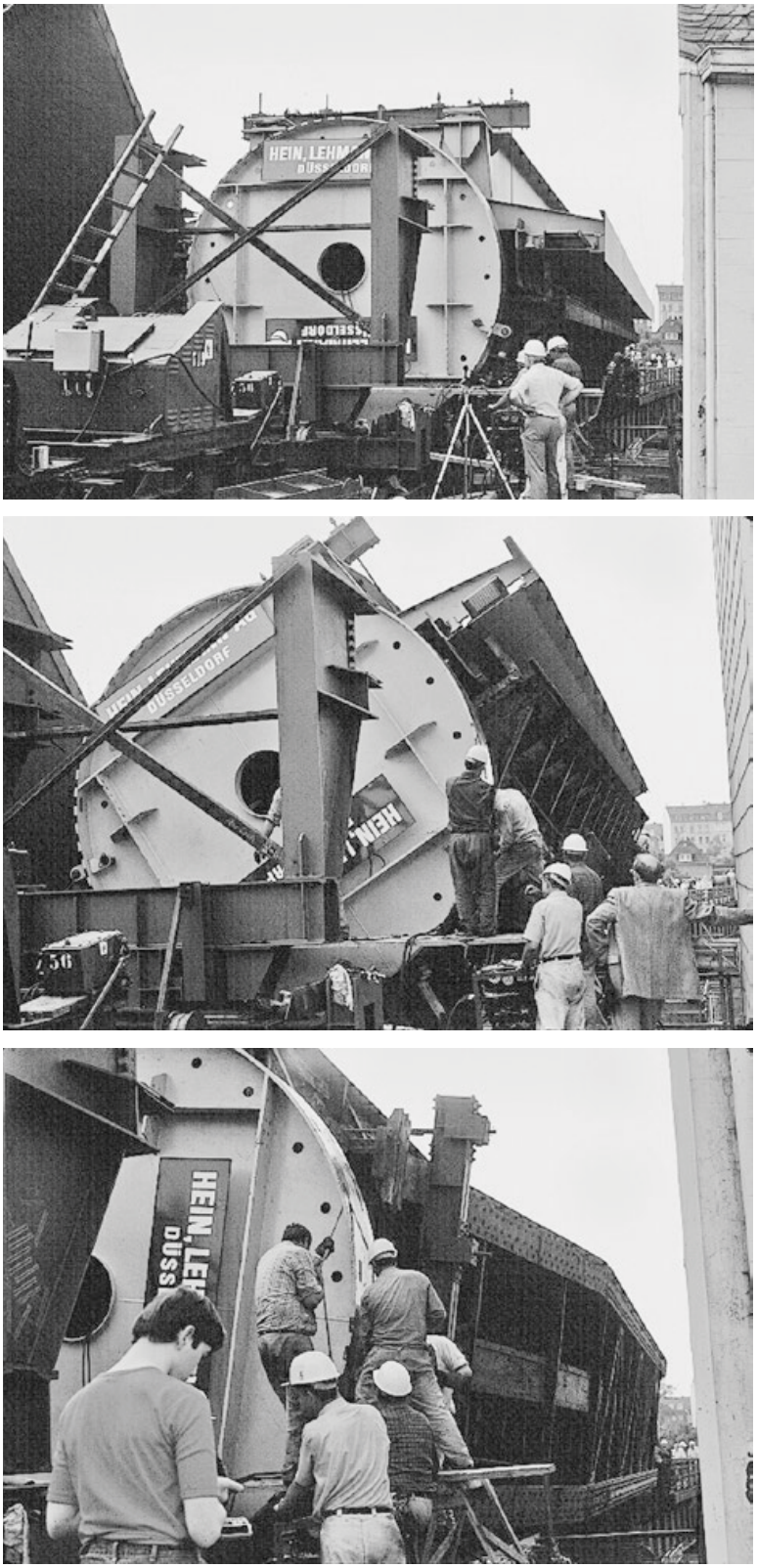


Bild 10.2.5-18 Schwarzbachtalbrücke Wuppertal, Drehvorgang

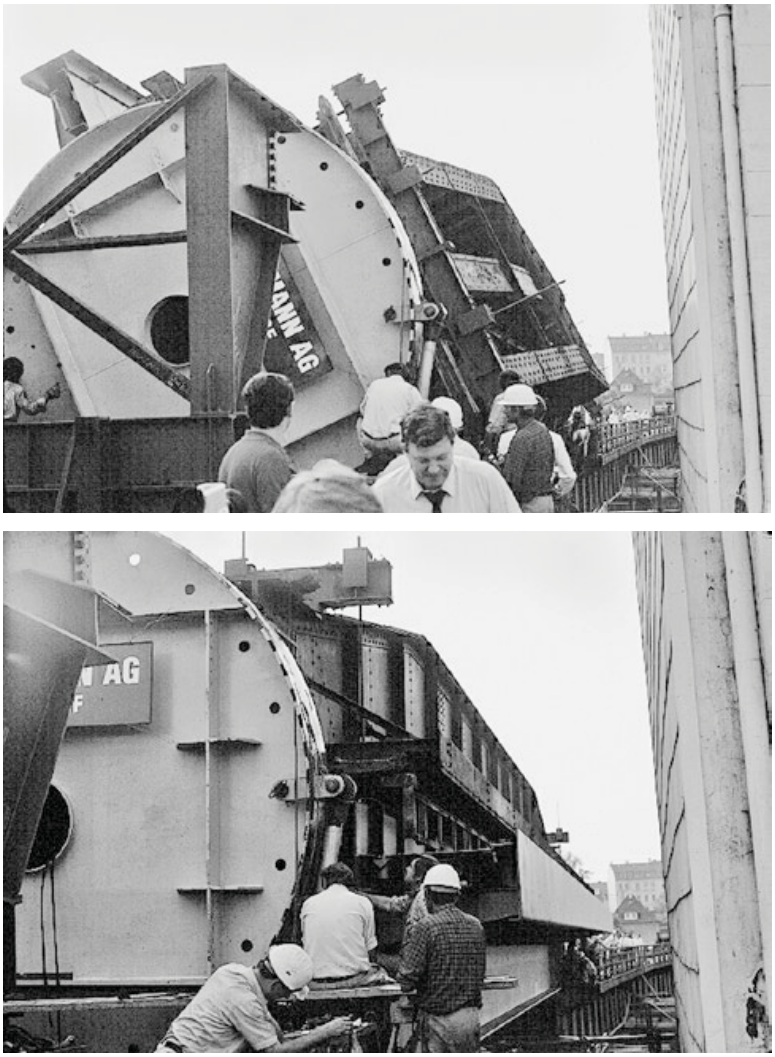


Bild 10.2.5-18 (Fortsetzung)

Bild 10.2.5-19 Schwarzbachtalbrücke Wuppertal, Ablassen des neuen Überbaus

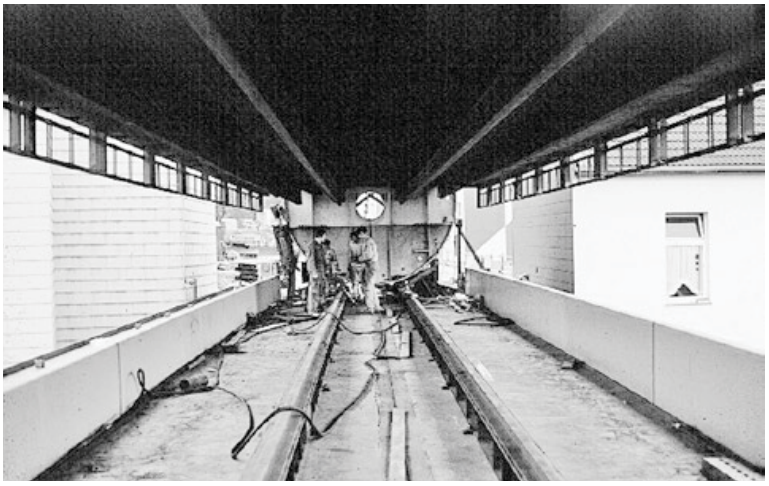


Bild 10.2.5-20 Schwarzbachtalbrücke Wuppertal, zwischen den beiden Überbauten

Bild 10.2.5-21 Schwarzbachtalbrücke Wuppertal, Ausfahren der alten Brücke

Bild 10.2.5-22 Schwarzbachtalbrücke Wuppertal, Zerschneiden der alten Brücke

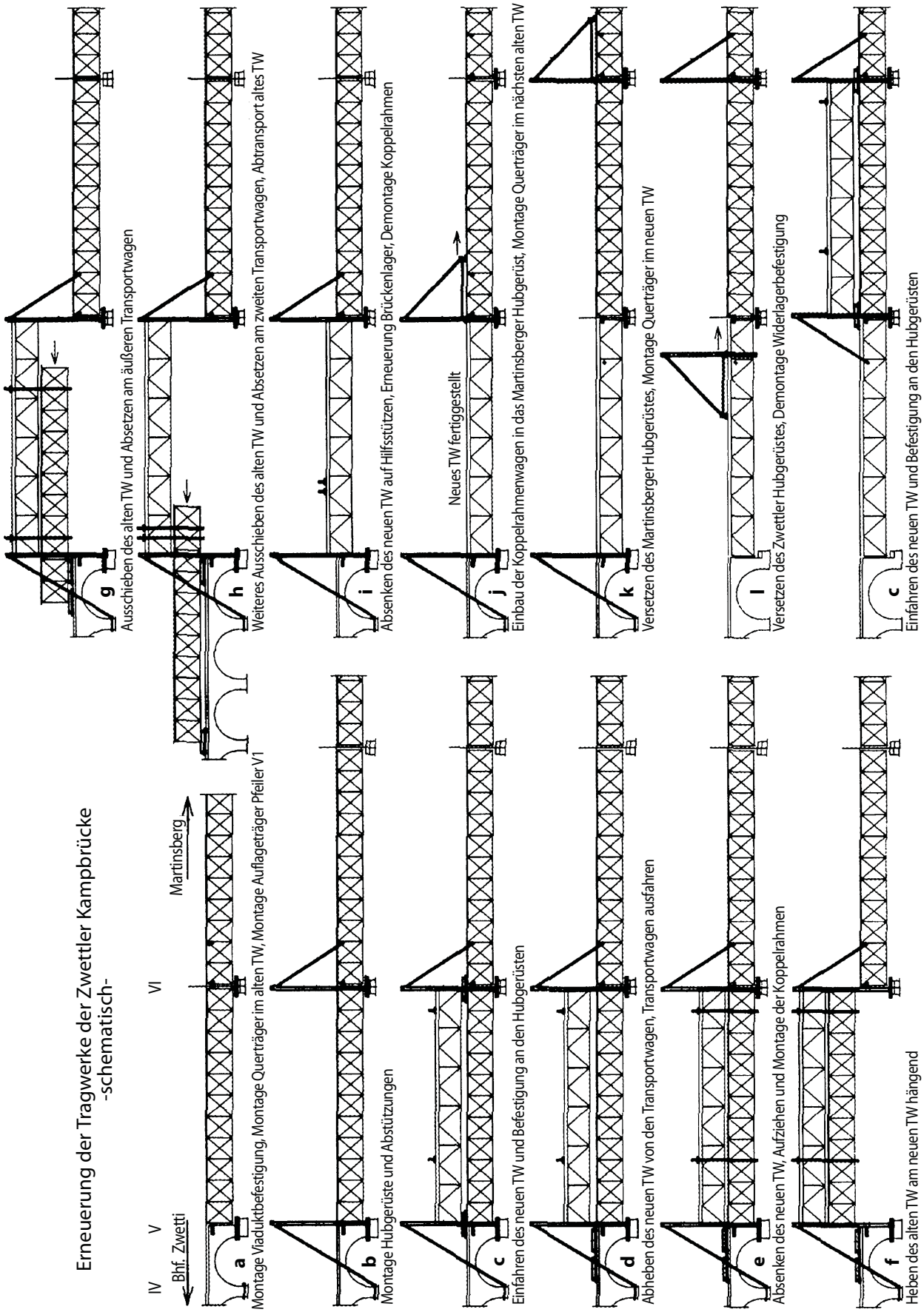


Bild 10.2.5-23 Kampbrücke Zwettl, Montageübersicht [Holzinger et al., 1999]

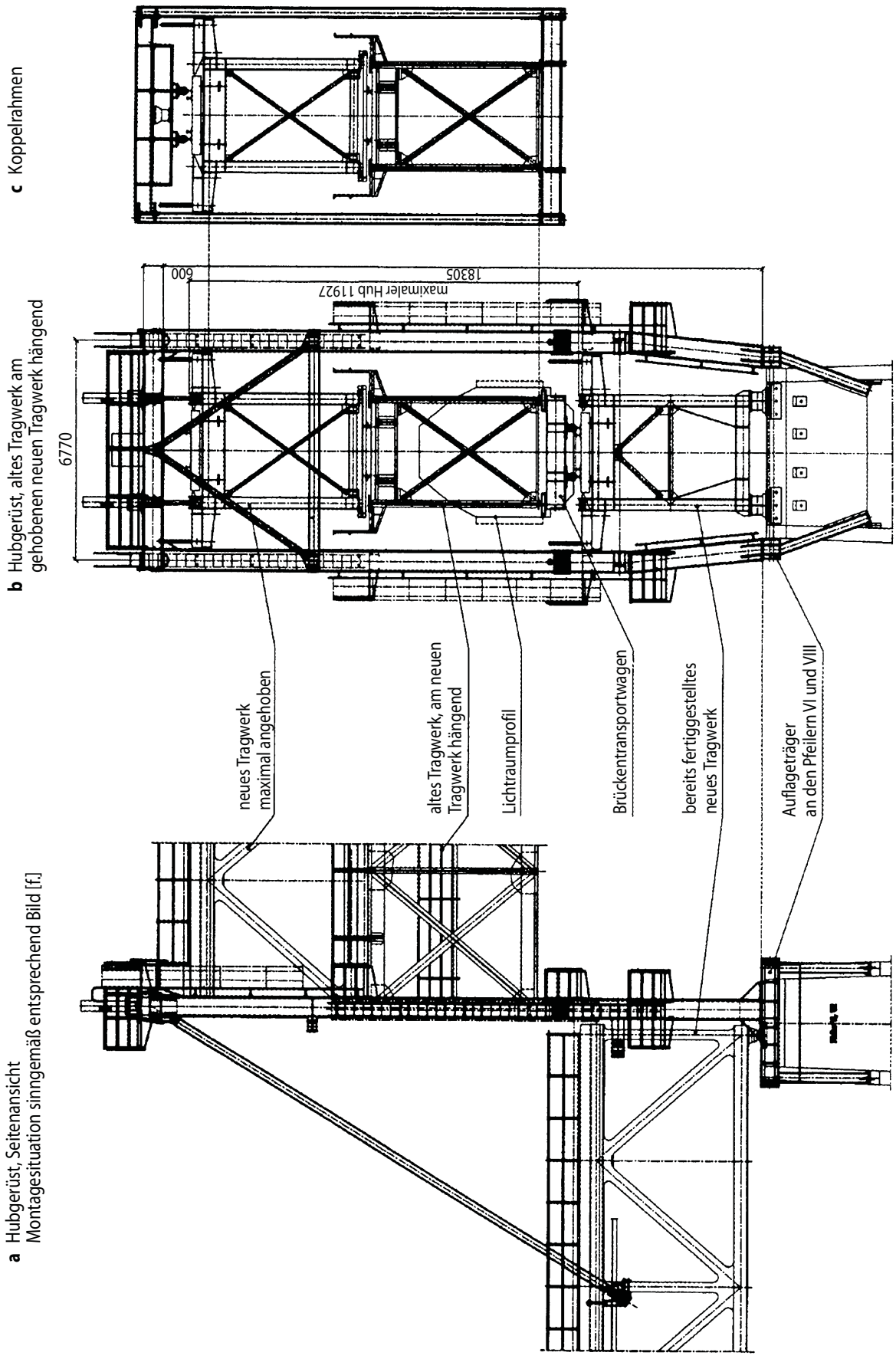


Bild 10.2.5-24 Kampbrücke Zwettl, Hubrahmenübersicht [Holzinger et al., 1999]

Bild 10.2.5-25 Kampbrücke Zwettl, Ansicht der alten Brücke [Holzinger et al., 1999]

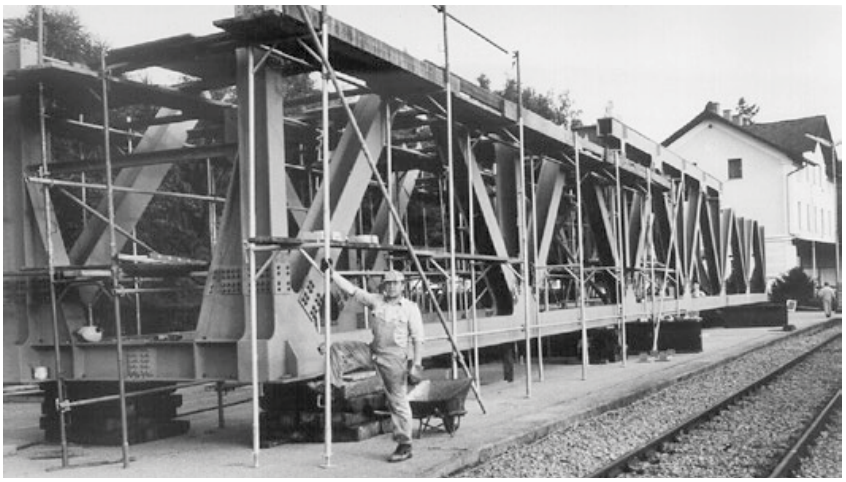


Bild 10.2.5-26 Kampbrücke Zwettl, Zusammenbau des neuen Tragwerks auf dem Bahnhofsgelände [Holzinger et al., 1999]

Bild 10.2.5-27 Kampbrücke Zwettl, Einfahren des neuen Tragwerks

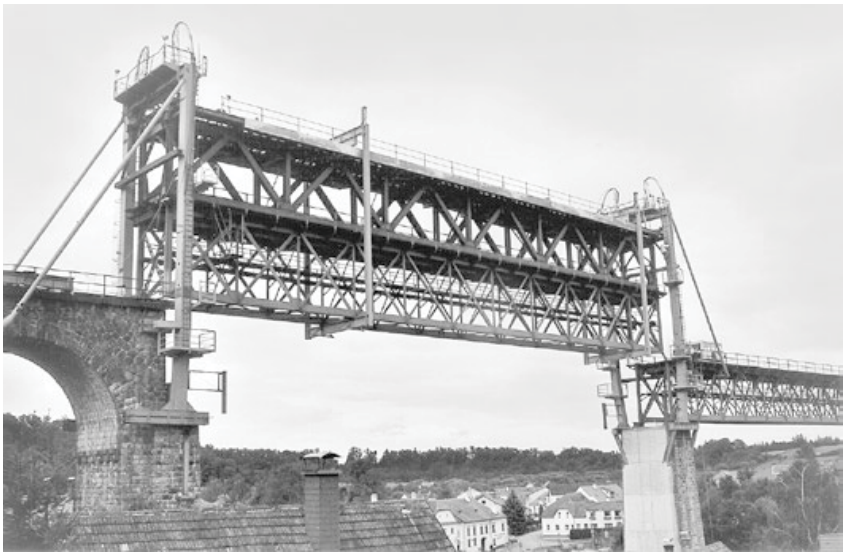


Bild 10.2.5-28 Kampbrücke Zwettl, Heben der beiden Tragwerke

Bild 10.2.5-29 Kampbrücke Zwettl, Ausfahren des alten Tragwerks

Bild 10.2.5-30 Kampbrücke Zwettl, neues Tragwerk eingebaut, Verschub des linken Rahmens