

Karl-Eugen Kurrer

GESCHICHTE

Auf der Suche nach dem Gleichgewicht

DER BAUSTATIK

2. Auflage

Inhaltsverzeichnis

V	Zum Geleit
IX	Vorwort zur 2. Auflage
XI	Vorwort zur 1. Auflage
2	1 Aufgaben und Ziele der Historiografie der Baustatik
4	1.1 Wissenschaftsinterne Aufgaben
8	1.2 Ingenieurpraktische Aufgaben
9	1.3 Didaktische Aufgaben
11	1.4 Kulturelle Aufgaben
12	1.5 Ziele
12	1.6 Einladung zur Suche nach dem Gleichgewicht von Tragwerken in Zeitreisen
14	2 Lernen aus der Geschichte: Zwölf Einführungsvorträge in die Baustatik
15	2.1 Was ist Baustatik?
15	2.1.1 Vorbereitungsperiode (1575–1825)
15	2.1.1.1 Orientierungsphase (1575–1700)
16	2.1.1.2 Applikationsphase (1700–1775)
17	2.1.1.3 Initialphase (1775–1825)
18	2.1.2 Disziplinbildungsperiode (1825–1900)
18	2.1.2.1 Konstituierungsphase (1825–1850)
19	2.1.2.2 Etablierungsphase (1850–1875)
20	2.1.2.3 Vollendungsphase (1875–1900)
21	2.1.3 Konsolidierungsperiode (1900–1950)
22	2.1.3.1 Akkumulationsphase (1900–1925)
23	2.1.3.2 Inventionsphase (1925–1950)
24	2.1.4 Integrationsperiode (1950 bis heute)
24	2.1.4.1 Innovationsphase (1950–1975)
25	2.1.4.2 Diffusionsphase (1975 bis heute)
26	2.2 Vom Hebel zum Fachwerk
27	2.2.1 Hebelgesetz nach Archimedes
27	2.2.2 Prinzip der virtuellen Verschiebungen
28	2.2.3 Allgemeiner Arbeitssatz
28	2.2.4 Prinzip der virtuellen Kräfte
29	2.2.5 Parallelogramm der Kräfte
30	2.2.6 Von Newton zu Lagrange
31	2.2.7 Das Kräftepaar
31	2.2.8 Kinematische oder geometrische Richtung der Statik?
32	2.2.9 Labil oder stabil, bestimmt oder unbestimmt?
33	2.2.10 Statische Synthesen

36	2.2.11	Schwedlers Dreigelenkrahmen
38	2.3	Die Entwicklung der höheren technischen Bildung
38	2.3.1	Die Fach- und Militärschulen des Ancien Régimes
39	2.3.2	Wissenschaft und Aufklärung
40	2.3.3	Wissenschaft und Erziehung in der Französischen Revolution (1789–1794)
41	2.3.4	Monges Lehrplan für die <i>École Polytechnique</i>
42	2.3.5	Die Nachläufer der <i>École Polytechnique</i> in Österreich, Deutschland und Russland
46	2.3.6	Ingenieurbildung in den Vereinigten Staaten
52	2.4	Eine Studie über Erddruck auf Stützmauern
54	2.4.1	Erddruckermittlung nach Culmann
55	2.4.2	Erddruckermittlung nach Poncelet
56	2.4.3	Spannungs- und Standsicherheitsnachweise
58	2.5	Einblicke in den Brückenbau und die Baustatik des 19. Jahrhunderts
60	2.5.1	Hängebrücken
61	2.5.1.1	Österreich
62	2.5.1.2	Böhmen und Mähren
62	2.5.1.3	Deutschland
63	2.5.1.4	Vereinigte Staaten
65	2.5.2	Holzbrücken
67	2.5.3	Mischsysteme
69	2.5.4	Die Göltzschtal- und die Elstertalbrücke (1845–1851)
71	2.5.5	Die Britannia-Brücke (1846–1850)
74	2.5.6	Die erste Dirschauer Weichselbrücke (1850–1857)
76	2.5.7	Der Garabit-Viadukt (1880–1884)
80	2.5.8	Baustatische Brückentheorien
80	2.5.8.1	Reichenbachs Bogentheorie
82	2.5.8.2	Youngs Gewölbetheorie
85	2.5.8.3	Naviers Theorie der Hängebrücken
86	2.5.8.4	Naviers <i>Résumé des Leçons</i>
87	2.5.8.5	Die Fachwerktheorie Culmanns und Schwedlers
88	2.5.8.6	Balkentheorie und Spannungsnachweis
89	2.6	Industrialisierung des Stahlbrückenbaus von 1850 bis 1900
89	2.6.1	Deutschland und Großbritannien
92	2.6.2	Frankreich
93	2.6.3	Vereinigte Staaten
97	2.7	Einflusslinien
97	2.7.1	Eisenbahnzüge und Brückenbau
100	2.7.2	Herausbildung des Begriffs der Einflusslinie
102	2.8	Der elastisch gebettete Balken
103	2.8.1	Die Winklersche Bettung

104	2.8.2	Die Theorie des Eisenbahnoberbaus
106	2.8.3	Von der Eisenbahnoberbautheorie zur Theorie des elastisch gebetteten Balkens
107	2.8.4	Erweiterungen durch die Geotechnik
109	2.9	Deformationsverfahren
109	2.9.1	Analyse eines Dreieckrahmens
110	2.9.1.1	Stabendmomente
111	2.9.1.2	Zwangskräfte
113	2.9.1.3	Superposition heißt, die Zustandsgrößen linear mit der Lösung zu kombinieren
113	2.9.2	Deformationsverfahren und Fachwerktheorie bei rahmenartigen Systemen im Vergleich
114	2.10	Theorie II. Ordnung
114	2.10.1	Der Beitrag Josef Melans
115	2.10.2	Hängebrücken werden steifer
116	2.10.3	Bogenbrücken werden weicher
116	2.10.4	Die Differentialgleichung des querbelasteten Druck- und Zugstabes
117	2.10.5	Die Integration der Theorie II. Ordnung in das Deformationsverfahren
118	2.10.6	Wozu dienen fiktive Kräfte?
121	2.11	Traglastverfahren
122	2.11.1	Erste Ansätze
124	2.11.2	Grundlegung des Traglastverfahrens
124	2.11.2.1	Josef Fritsche
125	2.11.2.2	Karl Girkmann
128	2.11.2.3	Andere Autoren
128	2.11.3	Das Paradoxon des Fließgelenkverfahrens
131	2.11.4	Durchsetzung des Traglastverfahrens
131	2.11.4.1	Sir John Fleetwood Baker
132	2.11.4.2	Exkurs: ein Rechenbeispiel
134	2.11.4.3	Die britisch-amerikanische Schule der Traglasttheorie
135	2.11.4.4	Kontroverse um das Traglastverfahren
138	2.12	Baugesetz – statisches Gesetz – Bildungsgesetz
138	2.12.1	Die fünf platonischen Körper
139	2.12.2	Anmut und Gesetz
142	2.12.2.1	Baugesetz
142	2.12.2.2	Statisches Gesetz
143	2.12.2.3	Bildungsgesetz
144	3	Die ersten technikwissenschaftlichen Grundlagendisziplinen: Baustatik und Technische Mechanik
145	3.1	Was ist Technikwissenschaft?
146	3.1.1	Erste Annäherung
148	3.1.2	Nobilitierung der Technikwissenschaften durch den philosophischen Diskurs
150	3.1.2.1	Der Beitrag der Systemtheorie
152	3.1.2.2	Der Beitrag des Marxismus
154	3.1.2.3	Die Theorie der Technikwissenschaften

- 157 3.1.3 Technik und Technikwissenschaften
- 162 3.2 Die Aufhebung des Enzyklopädischen im System der klassischen Technikwissenschaften: fünf Fallbeispiele aus der Technischen Mechanik und der Baustatik
- 163 3.2.1 Zur Aktualität des Enzyklopädischen
- 165 3.2.2 Franz Joseph Ritter von Gerstners Beitrag zur Mathematisierung der Bauwissenschaften
- 166 3.2.2.1 Gerstners Gegenstandsbestimmung der Technischen Mechanik
- 168 3.2.2.2 Festigkeit des Eisens
- 172 3.2.2.3 Theorie und Praxis des Hängebrückenbaus im *Handbuch der Mechanik*
- 174 3.2.3 Weisbachs Enzyklopädie der Technischen Mechanik
- 175 3.2.3.1 Das Lehrbuch
- 178 3.2.3.2 Die Erfindung des Handbuchs für Ingenieure
- 180 3.2.3.3 Die Zeitschrift
- 180 3.2.3.4 Die Festigkeitslehre in Weisbachs *Lehrbuch*
- 183 3.2.4 Rankines *Manuals* oder: die Harmonie zwischen Theorie und Praxis
- 183 3.2.4.1 Rankines *Manual of Applied Mechanics*
- 186 3.2.4.2 Rankines *Manual of Civil Engineering*
- 187 3.2.5 Föppls *Vorlesungen über Technische Mechanik*
- 188 3.2.5.1 Ursprung und Ziel der Mechanik
- 189 3.2.5.2 Aufbau der *Vorlesungen*
- 190 3.2.5.3 Die wichtigsten deutschsprachigen Lehrbücher der Technischen Mechanik
- 191 3.2.6 Das *Handbuch der Ingenieurwissenschaften* als Enzyklopädie der klassischen Bauingenieurwissenschaften
- 194 3.2.6.1 Eiserne Balkenbrücken
- 196 3.2.6.2 Eiserne Bogen- und Hängebrücken
- 198 **4 Vom Gewölbe zum Bogen**
- 201 4.1 Das Gewölbe
- 202 4.2 Das geometrische Denken in der Theorie gewölbter Brücken
- 202 4.2.1 Der Ponte S. Trinità in Florenz
- 205 4.2.1.1 Galilei und Guidobaldo del Monte
- 207 4.2.1.2 Hypothesen
- 208 4.2.2 Die Etablierung des neuen Denkens in der Brückenbaupraxis am Beispiel der Nürnberger Fleischbrücke
- 209 4.2.2.1 Entwürfe zum Bau der Fleischbrücke
- 210 4.2.2.2 Entwürfe und Überlegungen zum Lehrgerüst
- 211 4.2.2.3 Das Tragverhalten der Fleischbrücke
- 213 4.3 Vom Keil zum Gewölbe – oder: das Additionstheorem der Keiltheorie
- 214 4.3.1 Zwischen Mechanik und Architektur: die Gewölbetheorie an der *Académie Royale d'Architecture de Paris* (1687–1718)
- 215 4.3.2 La Hire und Bélidor
- 216 4.3.3 Epigonen
- 217 4.4 Von der Bruchbildanalyse in Gewölben zur Kantungstheorie
- 218 4.4.1 Baldi
- 220 4.4.2 Fabri
- 221 4.4.3 La Hire

222	4.4.4	Couplet
224	4.4.5	Brückenbau – noch immer Empirie
225	4.4.6	Coulombs Kantungstheorie
226	4.4.7	Monasterios <i>Nueva Teórica</i>
228	4.5	Die Stützlinientheorie
228	4.5.1	Präludium
231	4.5.2	Gerstner
233	4.5.3	Auf der Suche nach der wahren Stützlinie
235	4.6	Die Durchsetzung der Elastizitätstheorie
235	4.6.1	Der Dualismus von Gewölbe- und Bogentheorie bei Navier
236	4.6.2	Zwei Schritte vorwärts – ein Schritt zurück
238	4.6.3	Von Poncelet zu Winkler
242	4.6.4	Ein Rückfall
243	4.6.5	Das Gewölbe ist nichts, der Bogen ist alles: der Sieg der Theorie des elastischen Bogens über die Gewölbetheorie
244	4.6.5.1	Grandes Voûtes
247	4.6.5.2	Zweifel
248	4.6.5.3	Modellversuche
250	4.7	Die Traglasttheorie der Gewölbe
251	4.7.1	Von Rissen und der wahren Stützlinie im Gewölbe
253	4.7.2	Versagen von Gewölben
254	4.7.3	Die Grenzlastsätze der Traglasttheorie für Gewölbe
254	4.7.4	Die Sicherheit von Gewölben
256	4.7.5	Analyse von gewölbten Brücken
260	4.7.6	Erweiterungen der Gewölbetheorie von Heyman
262	4.8	Finite-Elemente-Methode
266	4.9	Die Untersuchungen von Holzer
267	4.10	Zum epistemologischen Status der Gewölbetheorien
268	4.10.1	Keiltheorie
269	4.10.2	Bruchbildanalyse und Kantungstheorie
270	4.10.3	Stützlinientheorie und Elastizitätstheorie der Gewölbe
271	4.10.4	Traglasttheorie der Gewölbe als Gegenstand der Historischen Baustatik
272	4.10.5	Finite-Elemente-Analyse von Gewölben
274	5	Geschichte der Erddrucktheorie
276	5.1	Stützmauern im Festungsbau
279	5.2	Erddrucktheorie als Gegenstand des Militäringenieurwesens
280	5.2.1	Am Anfang war die schiefe Ebene
281	5.2.1.1	Bullet
282	5.2.1.2	Gautier
282	5.2.1.3	Couplet
283	5.2.1.4	Weitere Ansätze
285	5.2.1.5	Reibung reduziert den Erddruck
287	5.2.2	Von der schiefen Ebene zur Keiltheorie
290	5.2.3	Charles Augustin Coulomb
292	5.2.3.1	Erscheinungsformen der Adhäsion
292	5.2.3.2	Bruchverhalten eines Mauerpfeilers

293	5.2.3.3	Der Übergang zur Erddrucktheorie
295	5.2.3.4	Der aktive Erddruck
297	5.2.3.5	Der passive Erddruck
297	5.2.3.6	Bemessung
298	5.2.4	Ein Magazin für Ingenieuroffiziere
300	5.3	Erweiterungen der Coulombschen Erddrucktheorie
300	5.3.1	Die Trigonometrisierung der Erddrucktheorie
300	5.3.1.1	Prony
301	5.3.1.2	Mayniel
302	5.3.1.3	Français, Audoy und Navier
304	5.3.1.4	Martony de Köszezh
306	5.3.2	Der geometrische Weg
307	5.3.2.1	Jean-Victor Poncelet
308	5.3.2.2	Hermann Schefflers Kritik an Poncelet
309	5.3.2.3	Karl Culmann
311	5.3.2.4	Georg Rebhann
313	5.3.2.5	Treibende Widersprüche
315	5.4	Der Beitrag der Kontinuumsmechanik
316	5.4.1	Das hydrostatische Erddruckmodell
317	5.4.2	Die neue Theorie des Erddrucks
319	5.4.2.1	Carl Holtzmann
320	5.4.2.2	Der Geniestreich Rankines
321	5.4.2.3	Emil Winkler
323	5.4.2.4	Otto Mohr
325	5.5	Die Erddrucktheorie von 1875 bis 1900
326	5.5.1	Coulomb oder Rankine?
327	5.5.2	Erddrucktheorie als Gewölbetheorie
328	5.5.3	Erddrucktheorie à la française
332	5.5.4	Kötters mathematische Erddrucktheorie
335	5.6	Experimentelle Erddruckforschung
335	5.6.1	Vorläufer der experimentellen Erddruckforschung
335	5.6.1.1	E. Cramer
336	5.6.1.2	B. Baker
337	5.6.1.3	A. Donath und H. Engels
338	5.6.2	Eine Sternstunde der Baugrundforschung
339	5.6.3	Erddruckversuche an der Versuchsanstalt für Statik der Baukonstruktion der TH Berlin
342	5.6.4	Fehlerdiskussionen in der Endlosschleife
344	5.6.5	Die schwedische Schule des Erdbaus
347	5.6.6	Entstehung der Bodenmechanik
348	5.6.6.1	Drei Entwicklungslinien
349	5.6.6.2	Die disziplinäre Konstruktion der Bodenmechanik
349	5.6.6.3	Konturen der phänomenologischen Erddrucktheorie
352	5.7	Erddrucktheorie in der Disziplinbildungsperiode der Geotechnik
355	5.7.1	Terzaghi
356	5.7.2	Rendulic
356	5.7.3	Ohde

358	5.7.4	Irrungen und Wirrungen
359	5.7.5	Ein publizistischer Schnellschuss
360	5.7.6	Grundbau + Bodenmechanik = Geotechnik
360	5.7.6.1	Der Bauingenieur als Soldat
362	5.7.6.2	Komplementäres
364	5.8	Erddrucktheorie in der Konsolidierungsperiode der Geotechnik
364	5.8.1	Neue Subdisziplinen der Geotechnik
365	5.8.2	Erddruckbestimmung in der praktischen Baustatik
366	5.8.2.1	Die erweiterte Culmannsche E-Linie
367	5.8.2.2	Neue Erkenntnisse über den passiven Erddruck
369	5.9	Erddrucktheorie in der Integrationsperiode der Geotechnik
370	5.9.1	Computergestützte erdstatische Berechnungen
372	5.9.2	Geotechnische Kontinuumsmodelle
375	5.9.3	Von der Kunst des Schätzens
377	5.9.4	Die Geschichte der Geotechnik als Gegenstand der Bautechnikgeschichte
380	6	Die Anfänge der Baustatik
382	6.1	Was ist Festigkeitslehre?
385	6.2	Zum Entwicklungsstand der Statik und Festigkeitsbetrachtung in der Renaissance
391	6.3	Galileis <i>Discorsi</i>
392	6.3.1	Erster Tag
395	6.3.2	Zweiter Tag
401	6.4	Die Entwicklung der Festigkeitslehre bis 1750
408	6.5	Das Bauingenieurwesen im ausgehenden 18. Jahrhundert
410	6.5.1	Die Vollendung der Balkentheorie
412	6.5.2	Franz Joseph Ritter von Gerstner
416	6.5.3	Einleitung in die statische Baukunst
417	6.5.3.1	Gerstners Analyse und Synthese von Tragstrukturen
421	6.5.3.2	Methodisierung des Tragwerksentwurfs bei Gerstner
422	6.5.3.3	Die <i>Einleitung in die statische Baukunst</i> als Lehrbuch der Analysis
422	6.5.4	Vier Bemerkungen zur Bedeutung von Gerstners <i>Einleitung in die statische Baukunst</i> für die Baustatik
423	6.6	Die Herausbildung der Baustatik: Eytelwein und Navier
424	6.6.1	Navier
427	6.6.2	Eytelwein
429	6.6.3	Die Analyse des Durchlaufträgers bei Eytelwein und Navier
430	6.6.3.1	Der Durchlaufträger in Eytelweins <i>Statik fester Körper</i>
434	6.6.3.2	Der Durchlaufträger in Naviers <i>Résumé des Leçons</i>
437	6.7	Rezeption von Naviers Analyse des Durchlaufträgers
440	7	Die Disziplinbildungsperiode der Baustatik
442	7.1	Clapeyrons Beitrag zur Herausbildung der klassischen Technikwissen- schaften
442	7.1.1	Les Polytechniciens: gefesselter revolutionärer Elan der Polytechniker in der nachrevolutionären Zeit
444	7.1.2	1820 bis 1831: Clapeyron und Lamé in St. Petersburg

- 447 7.1.3 Clapeyrons Konstruktion des energetischen Imperativs der klassischen Technikwissenschaften
- 449 7.1.4 Brückenbau und Dreimomentengleichung
- 452 7.2 Die Vollendung der Technischen Balkentheorie
- 455 7.3 Von der graphischen Statik zur Graphostatik
- 456 7.3.1 Die Begründung der graphischen Statik durch Culmann
- 458 7.3.2 Zwei graphische Integrationsmaschinen
- 459 7.3.3 Rankine, Maxwell, Cremona und Bow
- 461 7.3.4 Differenzen zwischen graphischer Statik und Graphostatik
- 463 7.3.5 Die Durchsetzung der Graphostatik
- 464 7.3.5.1 Graphostatische Untersuchung räumlicher Gewölbe
- 466 7.3.5.2 Graphostatik im Ingenieurbau
- 470 7.4 Die Vollendungsphase der Baustatik
- 470 7.4.1 Der Beitrag Winklers
- 473 7.4.1.1 Die elastizitätstheoretische Fundierung der Baustatik
- 476 7.4.1.2 Die Theorie des elastischen Bogens als Grundlage des Brückenbaus
- 481 7.4.2 Die Anfänge des Kraftgrößenverfahrens
- 481 7.4.2.1 Beiträge zur Theorie statisch unbestimmter Fachwerke
- 486 7.4.2.2 Von der Fachwerktheorie zur allgemeinen Theorie der Stabwerke
- 493 7.4.3 Das Tragwerk als kinematische Maschine
- 493 7.4.3.1 Das Fachwerk als Maschine
- 494 7.4.3.2 Die Theoretische Kinematik Reuleaux' und die Dresdener Schule der Kinematik
- 497 7.4.3.3 Kinematischer oder energetischer Imperativ in der Baustatik?
- 501 7.4.3.4 Der Pyrrhussieg des energetischen Imperativs in der Baustatik
- 501 7.5 Die Baustatik am Übergang von der Disziplinbildungsperiode zur Konsolidierungsperiode
- 501 7.5.1 Castigliano
- 505 7.5.2 Grundlegung der klassischen Baustatik
- 509 7.5.3 Der Grundlagenstreit der klassischen Baustatik als Wiederaufnahmeverfahren
- 509 7.5.3.1 Der Anlass
- 510 7.5.3.2 Der Streit der Stellvertreter
- 511 7.5.3.3 Der Streit um den Geltungsanspruch der Theoreme von Castigliano
- 517 7.5.4 Geltungsbereich der Sätze von Castigliano
- 518 7.6 Lord Rayleighs Werk *The Theory of Sound* und Kirpichevs Grundlegung der klassischen Baustatik
- 519 7.6.1 Der Rayleigh-Koeffizient und der Ritz-Koeffizient
- 521 7.6.2 Kirpichevs kongeniale Adaption
- 524 7.7 Die Berliner Schule der Baustatik
- 524 7.7.1 Zum Begriff der wissenschaftlichen Schule
- 525 7.7.2 Der Vollender der klassischen Baustatik: Heinrich Müller-Breslau
- 528 7.7.3 Die klassische Baustatik bemächtigt sich des Konstruierens im Ingenieurbau
- 531 7.7.4 Die Schüler Müller-Breslaus
- 533 7.7.4.1 August Hertwig
- 535 7.7.4.2 Die Nachfolger August Hertwigs

540	8	Vom Eisenbau zum modernen Stahlbau
542	8.1	Die Torsionstheorie im Eisenbau und in der Baustatik von 1850 bis 1900
542	8.1.1	Die Saint-Venantsche Torsionstheorie
547	8.1.2	Das Torsionsproblem in Weisbachs <i>Lehrbuch</i>
549	8.1.3	Die Torsionsversuche von Bach
552	8.1.4	Die Rezeption der Torsionstheorie durch die klassische Baustatik
556	8.2	Der Kranbau im Schnittpunkt von Maschinenbau, Elektrotechnik, Eisenbau und Baustatik
556	8.2.1	Rudolph Bredt – ein bekannter Unbekannter
557	8.2.2	Die Firma Ludwig Stuckenholz in Wetter a. d. Ruhr
558	8.2.2.1	Bredts Aufstieg zum Maestro des Kranbaus
562	8.2.2.2	Kran-Typen der Firma Ludwig Stuckenholz
568	8.2.3	Bredts wissenschaftlich-technische Veröffentlichungen
568	8.2.3.1	Prüfmaschine
569	8.2.3.2	Das Prinzip der Funktionstrennung im Kranbau
569	8.2.3.3	Kranhaken
569	8.2.3.4	Druckstäbe
570	8.2.3.5	Fundamentanker
570	8.2.3.6	Druckzylinder
571	8.2.3.7	Stark gekrümmte Stäbe
571	8.2.3.8	Elastizitätstheorie
571	8.2.3.9	Ingenieurpädagogik
573	8.2.3.10	Torsionstheorie
574	8.2.4	Die Maschinenbauindustrie bemächtigt sich der klassischen Baustatik
578	8.3	Die Torsionstheorie in der Konsolidierungsperiode der Baustatik (1900–1950)
578	8.3.1	Die Einführung eines technikwissenschaftlichen Begriffs: das Torsionsträgheitsmoment
580	8.3.2	Die Entdeckung des Schubmittelpunktes
581	8.3.2.1	Carl von Bach
582	8.3.2.2	Louis Potterat
582	8.3.2.3	Adolf Eggenschwyler
583	8.3.2.4	Robert Maillart
585	8.3.2.5	Nachhutgefechte in der Debatte um den Schubmittelpunkt
585	8.3.3	Die Torsionstheorie im Stahlbau von 1925 bis 1950
588	8.3.4	Resümee
588	8.4	Auf der Suche nach der wahren Knicktheorie im Stahlbau
588	8.4.1	Die Knickversuche des Deutschen Stahlbau-Verbandes (DStV)
590	8.4.1.1	Der Welt größte Versuchsmaschine
591	8.4.1.2	Die perfekte Knicktheorie auf Basis der Elastizitätstheorie
593	8.4.2	Die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft und die technisch-wissenschaftliche Gemeinschaftsarbeit im Stahlbau
593	8.4.2.1	Vereinheitlichung der Vorschriften des Stahlbaus
595	8.4.2.2	Gründung des Deutschen Ausschuss für Stahlbau (DASt)
597	8.4.3	Exkurs: die Olympischen Spiele des Konstruktiven Ingenieurbaus
599	8.4.4	Paradigmenwechsel in der Knicktheorie

- 600 8.4.5 Die Standardisierung der neuen Knicktheorie in der deutschen Stabilitätsnorm DIN 4114
- 602 8.5 Stahlbau und Stahlbauwissenschaft von 1925 bis 1975
- 603 8.5.1 Vom Stab- zum ebenen Flächentragwerk
- 604 8.5.1.1 Theorie der mittragenden Breite
- 606 8.5.1.2 Konstruktive Neuerungen im deutschen Brückenbau der 1930er-Jahre
- 609 8.5.1.3 Theorie des Trägerrostes
- 611 8.5.1.4 Die orthotrope Platte als Patent
- 613 8.5.1.5 Der Stahlbau zeichnet eine Anleihe beim Stahlbetonbau: die Hubersche Plattentheorie
- 616 8.5.1.6 Das Verfahren von Guyon-Massonnet
- 617 8.5.1.7 Theoriendynamik in der Stahlbauwissenschaft der 1950er- und 1960er-Jahre
- 618 8.5.2 Der Aufstieg des Stahlverbundbaus
- 619 8.5.2.1 Stahlverbundstützen
- 621 8.5.2.2 Stahlverbundträger
- 624 8.5.2.3 Verbundbrückenbau
- 627 8.5.3 Stahlleichtbau
- 632 8.5.4 Stahl und Glas gesellt sich gern
- 637 8.6 Exzentrische Bahnen – Verlust der Mitte
- 640 **9 Die Stabstatik erobert die dritte Dimension: Das Raumfachwerk**
- 641 9.1 Die Entstehung der Theorie des Raumfachwerks
- 644 9.1.1 Die Reichstagskuppel
- 645 9.1.2 Die Grundlegung der Theorie des Raumfachwerks durch August Föppl
- 649 9.1.3 Integration der Theorie des Raumfachwerks in die klassische Baustatik
- 653 9.2 Das Raumfachwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit
- 654 9.2.1 Alexander Graham Bell
- 655 9.2.2 Wladimir Grigorjewitsch Schuchow
- 655 9.2.3 Walther Bauersfeld und Franz Dischinger
- 656 9.2.4 Richard Buckminster Fuller
- 658 9.2.5 Max Mengerinhausen
- 659 9.3 Dialektische Synthese von individueller Baugestaltung und serieller Fertigung
- 659 9.3.1 Die MERO-Bauweise und das Kompositionsgesetz für Raumfachwerke
- 661 9.3.2 Das Raumfachwerk und der Computer
- 664 **10 Der Einfluss des Stahlbetonbaus auf die Baustatik**
- 666 10.1 Das erste Bemessungsverfahren im Stahlbetonbau
- 666 10.1.1 Die Anfänge des Stahlbetonbaus
- 668 10.1.2 Vom deutschen Monier-Patent zur *Monier-Broschüre*
- 671 10.1.3 Die *Monier-Broschüre*
- 672 10.1.3.1 Die neuartige statisch-konstruktive Qualität des Systems Monier
- 673 10.1.3.2 Die Anwendungsgebiete des Systems Monier
- 675 10.1.3.3 Die technikwissenschaftliche Grundlegung des Systems Monier
- 679 10.2 Der Stahlbetonbau revolutioniert das Bauwesen

681	10.2.1	Das Schicksal des Systems Monier
682	10.2.2	Das Ende der Systemzeit: Stahl + Beton = Stahlbeton
683	10.2.2.1	Der Napoleon des Stahlbetonbaus: François Hennebique
686	10.2.2.2	Der Stammvater des Rationalismus im Stahlbetonbau: Paul Christophe
691	10.2.2.3	Die Vollendung der Triade
696	10.3	Baustatik und Stahlbetonbau
697	10.3.1	Neuartige Tragwerke des Stahlbetonbaus
697	10.3.1.1	Emanzipation des Stahlbetonbaus vom Stahlbau: Rahmentragwerke
700	10.3.1.2	Erste Schritte des Stahlbetonbaus in die zweite Dimension: Plattentragwerke
713	10.3.1.3	Die erste Synthese
715	10.3.2	Statisch-konstruktive Selbstfindung des Stahlbetonbaus
715	10.3.2.1	Scheiben und Faltwerke
718	10.3.2.2	Stahlbetonschalen
753	10.3.2.3	Die zweite Synthese
755	10.3.2.4	Von der Kraft des Kalküls
757	10.4	Der Spannbetonbau: <i>Une révolution dans l'art de bâtir</i> (Freyssinet)
759	10.4.1	Leonhardts <i>Spannbeton für die Praxis</i>
762	10.4.2	Die erste Norm im Spannbetonbau
763	10.4.3	Die Spannbetonvorschriften in der DDR
764	10.4.4	Der unaufhaltsame Aufstieg des Spannbetonbaus im Spiegel der Zeitschrift <i>Beton- und Stahlbetonbau</i>
766	10.5	Es ist vollbracht: Paradigmenwechsel in der Bemessung von Stahlbetonbauteilen auch in der Bundesrepublik Deutschland
768	10.6	Sichtbarmachung des Unsichtbaren: Bemessen und Konstruieren im Stahlbetonbau mit Stabwerkmodellen
768	10.6.1	Das Fachwerkmodell von François Hennebique
769	10.6.2	Das Fachwerkmodell von Emil Mörsch
771	10.6.3	Die Kraft der Anschauung: Spannungsbilder von ebenen Flächentragwerken
773	10.6.4	Das Konzept der Stabwerkmodelle: Schritte zum ganzheitlichen Bemessen und Konstruieren im Stahlbetonbau
776	11	Die Konsolidierungsperiode der Baustatik
777	11.1	Das Verhältnis von Text, Bild und Symbol in der Baustatik
779	11.1.1	Die historischen Stufen der Idee der Formalisierung
786	11.1.2	Der Statiker – ein Symbolarbeiter?
787	11.2	Zur Entwicklung des Deformationsverfahrens
788	11.2.1	Der Beitrag der mathematischen Elastizitätstheorie
789	11.2.1.1	Elimination der Spannungen oder der Verschiebungen – das ist hier die Frage
790	11.2.1.2	Ein Element aus der idealen Objektwelt der mathematischen Elastizitätstheorie: das elastische Stabsystem
791	11.2.2	Vom Gelenkfachwerk zum Fachwerk mit biegesteifen Knoten
792	11.2.2.1	Ein Element aus der realen Objektwelt des Ingenieurs: das Eisenfachwerk mit genieteten Knoten
793	11.2.2.2	Zur Theorie der Nebenspannungen

796	11.2.3	Vom Fachwerk zum Rahmentragwerk
798	11.2.4	Die Emanzipation des Deformationsverfahrens von der Fachwerktheorie
799	11.2.4.1	Axel Bendixsen
800	11.2.4.2	George Alfred Maney
801	11.2.4.3	Willy Gehler
801	11.2.4.4	Asger Ostenfeld
802	11.2.4.5	Ludwig Mann
803	11.2.5	Das Deformationsverfahren in der Inventionsphase der Baustatik
804	11.3	Die Rationalisierungsbewegung in der Baustatik
805	11.3.1	Der operative Symbolgebrauch in der Baustatik
808	11.3.2	Rationalisierung des statisch unbestimmten Rechnens
809	11.3.2.1	Orthogonalisierungsverfahren
809	11.3.2.2	Spezielle Verfahren aus der Theorie der linearen Gleichungssysteme
810	11.3.2.3	Baustatische Iterationsverfahren
814	11.3.3	Der duale Bau der Baustatik
816	11.4	Konrad Zuse und die Automatisierung des statischen Rechnens
817	11.4.1	Schematisierung des statisch unbestimmten Rechnens
818	11.4.1.1	Schematisierter Rechengang
821	11.4.1.2	Erster Schritt zum Rechenplan
824	11.4.2	Die Rechenmaschine des Ingenieurs
826	11.5	Der Matrizenkalkül
826	11.5.1	Der Matrizenkalkül in der Mathematik und theoretischen Physik
827	11.5.2	Tensor- und Matrizenalgebra in den technikkwissenschaftlichen Grundlagendisziplinen
830	11.5.3	Zur Integration des Matrizenkalküls in die Ingenieurmathematik
833	11.5.4	Ein baustatisches Matrizenverfahren: das Übertragungsverfahren
836	12	Herausbildung und Etablierung der Computerstatik
837	12.1	<i>The Computer shapes the theory</i> (Argyris): Die historischen Wurzeln der Finite-Elemente-Methode
840	12.1.1	Stabwerkmodelle für elastische Kontinua
840	12.1.1.1	Das räumliche Fachwerkmodell von Kirsch
841	12.1.1.2	Fachwerkmodelle für elastische Scheiben
843	12.1.1.3	Die Entstehung der Gitterrostmethode
845	12.1.1.4	Erste computergestützte Strukturanalysen in der Fahrzeugindustrie
849	12.1.2	Modularisieren und Elementieren von Flugzeugstrukturen
849	12.1.2.1	Vom kastenförmigen Raumfachwerkträger zum Schubfeldträger und Schubfeldschema
856	12.1.2.2	Hochgeschwindigkeits-Aerodynamik, Elementierung des Schubfeldträgers und Matrizenrechnung
860	12.2	Die matrizenalgebraische Reformulierung der Strukturmechanik
860	12.2.1	Die Grundlegung der modernen Strukturmechanik
864	12.2.2	Die ersten Gehversuche der Computerstatik in Europa
864	12.2.2.1	Schweiz
865	12.2.2.2	Großbritannien
867	12.2.2.3	Bundesrepublik Deutschland

871	12.3	Die FEM – eine allgemeine Technologie technikwissenschaftlicher Theoriebildung
871	12.3.1	Zur klassischen Veröffentlichung einer nichtklassischen Methode
875	12.3.2	Von der heuristischen Potenz der FEM: die direkte Steifigkeitsmethode
878	12.4	Die Grundlegung der FEM durch Variationsprinzipien
879	12.4.1	Das Variationsprinzip von Dirichlet und Green
879	12.4.1.1	Ein einfaches Beispiel: der längsbelastete elastische Dehnstab
881	12.4.1.2	Die Göttinger Schule um Felix Klein
882	12.4.2	Die erste Stufe der Synthese: das kanonische Variationsprinzip von Hellinger und Prange
883	12.4.2.1	Pranges Habilitationsschrift
886	12.4.2.2	Im Orkus des Vergessens
887	12.4.2.3	Erste Schritte des Erinnerns
887	12.4.2.4	Eric Reissners Beitrag
889	12.4.3	Die zweite Stufe der Synthese: das Variationsprinzip von Fraeijs de Veubeke, Hu und Washizu
892	12.4.4	Variationsformulierung der FEM
895	12.4.5	Ein folgenschwerer Symmetriebruch
897	12.5	Computational Mechanics
900	13	Dreizehn wissenschaftliche Kontroversen in der Mechanik und Baustatik
901	13.1	Die wissenschaftliche Kontroverse
901	13.2	Dreizehn Streitfälle
901	13.2.1	Galileis <i>Dialogo</i>
902	13.2.2	Galileis <i>Discorsi</i>
903	13.2.3	Der philosophische Streit um das wahre Kraftmaß
904	13.2.4	Der Streit um das Prinzip der kleinsten Aktion
905	13.2.5	Die Peterskuppel im Streit der Theoretiker und Praktiker
907	13.2.6	Diskontinuum oder Kontinuum?
908	13.2.7	Graphische Statik vs. Graphostatik oder: die Verteidigung der reinen Lehre
909	13.2.8	Eine Feindschaft schafft zwei Schulen: Mohr gegen Müller-Breslau
910	13.2.9	Der Stellungskrieg
912	13.2.10	Bis dass der Tod euch scheidet: Fillunger gegen Terzaghi
913	13.2.11	»Im Prinzip ja ... «: der Streit um die Prinzipien
915	13.2.12	Elastisch oder plastisch – das ist hier die Frage
916	13.2.13	Vom Bestand des Klassischen in der Erddrucktheorie
917	13.3	Resümee
918	14	Perspektiven der Historischen Baustatik
920	14.1	Baustatik und Ästhetik
920	14.1.1	Das Schisma der Baukunst
921	14.1.2	Schönheit und Nutzen in der Baukunst – eine Utopie?
925	14.1.3	Alfred Gotthold Meyers <i>Eisenbauten. Ihre Geschichte und Ästhetik</i>
928	14.1.4	Das Ästhetische in der Dialektik von Bauen und Rechnen

933	14.2	Historische Technikwissenschaft – Historische Baustatik
934	14.2.1	Saint-Venants Historische Elastizitätstheorie
935	14.2.2	Historische Gewölbetheorie
936	14.2.3	Historisch-genetische Statiklehre
937	14.2.3.1	Historisch-logische Längsschnittanalyse
938	14.2.3.2	Historisch-logische Querschnittanalyse
938	14.2.3.3	Historisch-logischer Vergleich
938	14.2.3.4	Inhalte, Ziele, Mittel und Charakteristik der historisch-genetischen Statiklehre
938	14.2.4	Computergestützte Graphostatik
944	15	Kurzbiografien von 243 Protagonisten der Baustatik
1062		Bibliografie
1147		Personenregister
1157		Sachregister