



# Brücken

BAND 91





Ein **WAS  
IS  
WAS** Buch

# Brücken

Von Dr. Rainer Köthe

Illustriert von Peter Klaucke  
und Frank Kliemt

Fachliche Beratung:  
Prof. Dr. Fritz Leonhardt



**Tessloff**  **Verlag**



# Vorwort

Brücken – kaum ein anderer Gegenstand des Bauwesens ist so eng mit allen Bereichen menschlichen Lebens und Schaffens verwoben!

In allen Zeiten und Kulturen der Welt gleichermaßen wichtig, führten und führen sie Straßen, Schienen und Kanäle immer höher, weiter und sicherer über Bäche und Flüsse, über breite Ströme und Meeresarme, über weite Täler und tiefe Schluchten. Ob nun als primitiv anmutende Stege oder als kühne technische Konstruktionen – sie waren und sind eine der Grundlagen von Handel, Verkehr, Reisen und Kommunikation und damit unserer heutigen Zivilisation schlechthin.

Über die Jahrtausende hat sich der Brückenbau zu einer großen Kunst entwickelt. Alte, natürliche Baustoffe wie Pflanzenfasern, Holz und Stein wurden dabei mehr und mehr von neuen, künstlich erzeugten Materialien wie Eisen und Stahl, Beton und hochfesten Stahlkabeln verdrängt. Aus grundlegenden, von der Natur selbst vorgegebenen Formen wie dem Balken, dem Gewölbe und dem durchhängenden Seil entwickelte man immer bessere und leistungsfähigere Tragwerke wie Durchlaufträger, die weite Strecken fugenlos überspannen, Rahmen und Schalen und schließlich große Hänge- und Schrägkabelbrücken. Die Brückenbau-

ingenieure haben nicht nur gelernt, die Kräfte und Spannungen, die bei diesen Tragwerken unter Lasten, Wind und Sonne auftreten, genau zu berechnen – heute hilft hierbei der Computer. Sie haben auch die Eigenschaften der Baustoffe erforscht und verbessert und dadurch ihre Werke immer widerstandsfähiger gegen Umwelteinflüsse gemacht und sie gleichzeitig ästhetischen Erfordernissen angepaßt. Mit all diesen Kenntnissen und Erfahrungen ist es ihnen heute möglich, den zunehmenden Anforderungen des Verkehrs gerecht zu werden, ohne dabei gegen ökologische Grundsätze zu verstoßen – ein Brücke stellt oftmals einen nicht geringen Eingriff in das natürliche Landschaftsbild dar.

Brückenbauer ist einer der schönsten Berufe, der viel Freude und Befriedigung geben kann – vor allem dem, der auch die schönheitliche Gestaltung für wichtig erachtet und verwirklichen kann.

Möge dieses Buch nicht nur viele Fragen zur Brückenbaukunst beantworten, sondern vielleicht auch den einen oder anderen jungen Leser dazu anregen, selbst einmal Brückenbauer zu werden.

Stuttgart, Juli 1991

Prof. Dr. Fritz Leonhardt

WAS IST WAS, Band 91

■ Dieses Buch ist auf chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

## Bildquellennachweis:

Archiv für Kunst und Geschichte: 17 o, 21 o, 28 o, 31 ml, 35 u, 40 o – Bavaria: Cover o Picture Finders, 20 o Bogner, 37 o und 38 ol Picture Finders, 41 o The Telegraph – Bildarchiv Preußischer Kulturbesitz: 21 u, 36 o – Bolsinger: 46 – dpa: 17 u Matheisl, 18 o Zentralbild, 18 u Scholz, 22 or Barone, 24 ul und 24 ur von Pechmann, 31 or Scheidemann, 34 Wöstmann, 38 or Biber, 38 mr Scholz, 40 m Wöstmann, 47 u Staedele, 48 l Ossinger – Geyer: 22 ol – Hansmann: 25 o – Honshu-Shikoku Bridge Authority: 47 o – The Institution of Civil Engineers: 28 u, 29 – Kiesling: 25 u – Leonhardt: 24 o, 39 o, 39 m – Okapia: Cover u Geiersperger, 1 Cassill, 3 u Reinhard, 9 o Weissgerber, 23 u Kneer, 48 r Geiersperger – Stief Pictures: 3 o, 15, 16, 45 o – Superbild: Cover m Ducke – Transglobe: 22 ur Grehan, 36 u Rowan.

Illustrationen/Zeichnungen:  
Peter Klauke: 4–5, 10–11, 12–13, 26–27, 32–33, 42–43 – Frank Kliemt: 8, 9 u, 12 u, 19 m, 20 u, 23 o, 30 o, 30 u, 31 ol, 35 o, 37 u, 39 u, 40 u, 41 ul, 41 ur, 44, 45 u – Manfred Kostka: Cover.

Copyright © 1991 Tessloff Verlag, Nürnberg

Die Verbreitung dieses Buches oder von Teilen daraus durch Film, Funk oder Fernsehen, der Nachdruck oder die fotomechanische Wiedergabe sind nur mit Genehmigung des Tessloff Verlages gestattet.

ISBN 3-7886-0633-9



# Inhalt

## Brücke und Mensch

Seit wann baut der Mensch Brücken?	5
Warum mauerte man früher oft etwas Lebendes in die Brücke ein?	6
Warum sind Brücken für Handel und Verkehr so wichtig?	7
Welche Bauformen von Brücken gibt es?	7
Was ist eine Bogenbrücke?	8
Warum dürfen Soldaten manche Brücken nicht im Gleichschritt passieren?	10

## Brücken aus Holz und Stein

Was ist eine Schiffsbrücke?	11
Wie überquerte Cäsar den Rhein?	13
Warum sind die Römer als Brückenbauer berühmt?	14
Wie arbeiteten die römischen Baumeister?	14
Was ist ein Aquädukt?	15
Warum lag der Brückenbau im Mittelalter so lange brach?	16
Wie entstand die „Stainern Pruckn“ in Regensburg?	17
Wann begann der wissenschaftlich fundierte Brückenbau?	19
Warum errichtete man auch große Holzbrücken?	23

*Brückenbau vor der Erfindung des Betons: die alte Steinbrücke bei Heddesbach im Odenwald.*



*Spannbetonbrücke der Tauernautobahn über das Liesertal in Kärnten/Österreich.*

## Brücken aus Eisen und Stahl

Welche Vorteile bietet Eisen als Baustoff?	27
Wie entstand die Britannia-Brücke?	29
Was ist ein Gerberträger?	30
Warum stürzte die Tay-Brücke ein?	32
Wer baute die Brooklynbrücke in New York?	34
Was wurde der Tacoma-Brücke zum Verhängnis?	38
Was ist eine Schrägkabelbrücke?	39
Gibt es auch bewegliche Brücken?	40

## Brücken aus Beton

Wann eignet sich Beton für Brücken besser als Stahl?	42
Was ist Spannbeton?	44
Wie baut man heute Betonbrücken?	45
Welche Brückenprojekte sind für die nächsten Jahre geplant?	46

Brückenrekorde	47
----------------	----





Р. КАМЕНЕВ



# Brücke und Mensch

„Von allem, was der Mensch in seinem

**Seit wann  
baut  
der Mensch  
Brücken?**

Lebenstrieb errichtet und erbaut, scheint meinen Augen nichts besser und wertvoller zu sein als die Brücken“, schrieb

vor Jahren der jugoslawische Dichter Ivo Andrić. „Sie sind wichtiger als Häuser, heiliger, weil gemeinsamer, als Kirchen. Allen gehörig und allen gegenüber gleich nützlich, immer sinnvoll errichtet an dem Orte, an dem die meisten menschlichen Bedürfnisse sich kreuzen; sie sind ausdauernder als andere Gebäude und dienen keinem heimlichen oder bösen Zweck.“

In der Tat gibt es kaum ein Bauwerk, das von so offensichtlicher Notwendigkeit ist wie eine Brücke. Schon vor vielen Jahrtausenden erkannten die frühen Menschen, wieviel einfacher sich ein Bach über einen vielleicht zufällig den Wasserlauf überspannenden umgefallenen Baum passieren ließ. Von dieser Beobachtung war es nur ein Schritt zum gefällten Baum, zum Steg aus gesägten Balken oder aus großen flachen Steinen. Aus solchen Anfän-

gen entstanden schließlich die modernen Brücken aus Stahlbeton, die scheinbar schwerelos die Autobahn über breite Täler führen, und die weitspannenden Hängebrücken, die sich in elegantem Schwung über Flüsse und Meeresarme recken.

Die Brücke über einen Fluß rückt die Ufer – und die dort lebenden Menschen – näher zusammen. Dieses Sinnbild des Verbindenden hat sich tief in unser Denken und unsere Sprache eingegraben. Gegensätze etwa sind vielleicht „unüberbrückbar“. „Jemandem eine goldene Brücke bauen“ dagegen heißt, ihm Hilfe anzubieten oder den Rückzug von einem falschen Standpunkt zu erleichtern. „Alle Brücken hinter sich abubrechen“ bedeutet, sich jede Möglichkeit zum Widerruf oder zur Wiederkehr zu nehmen. Uralt und in ganz Europa verbreitet sind Kinderspiele wie die „Meiersche Brücke“, und von Brücken handeln auch viele Volkslieder und Schlager, etwa „Sur le pont d'Avignon“ („Auf der Brücke von Avignon“), „Es führt über den Main eine Brücke aus Stein“, „Über sieben Brücken mußt du gehn“ oder „Bridge over troubled water“.

*Seit Jahrtausenden überspannen solche schwankenden Seilhängebrücken reißende Flüsse und tiefe Täler in den Anden und im Himalaja.*





*Der Regenbogen gilt im christlichen Glauben als Brücke zwischen Himmel und Menschen, auf der Jesus als Weltenrichter thront.*

Unser deutsches Wort Brücke ist verwandt mit „Prügel“ in der Bedeutung von Holzknüppel. Es stammt aus der Zeit, als die Germanen sumpfiges Gelände mit Knüppeldämmen begehbar machten. Erst die Römer führten kunstvolle Holz- und Steinbrücken in Mitteleuropa ein. Sie nannten die Brücke „pons“; dieses Wort ist mit dem griechischen „patos“ (finden, gehen) und dadurch mit unserem Wort „Pfad“ verwandt. Von „pons“ leitet sich das französische „pont“ und das italienische „ponte“ ab.

Im Islam und vielen fernöstlichen Religionen spielt die Brücke ins Jenseits eine Rolle, etwa in Form der Milchstraße oder des Bogens der Sonnen- und Sternenbahnen vom Aufgangs- zum Untergangspunkt. Der Gestorbene muß eine schmale, lange Brücke beschreiten, um ins Jenseits zu gelangen. Doch nur die Guten kommen hinüber, die Bösen fallen in den Abgrund. Die Germanen deuteten den Regenbogen

als Weg der Erwählten und der Götter in den Himmel. Auch im christlichen Glauben gilt er als Brücke zwischen Gott und den Menschen; mittelalterliche Darstellungen zeigen Christus als Weltenrichter auf dem Regenbogen thronend. Der Papst trägt als Bischof von Rom den Titel des „Pontifex maximus“, des „größten Brückenbauers“ (als Vermittler zwischen Himmel und Erde), und daher heißt die Amtsdauer eines Papstes oder Bischofs „Pontifikat“. Der Titel selbst stammt sogar schon aus der Römerzeit, als der höchste Priester die Oberaufsicht über die Brücken wahrnahm – ein Zeichen dafür, daß man eine Brücke nicht nur als reinen Zweckbau, sondern stets auch als Sinnbild ansah.

Wasserläufe und Seen, dunkle Wälder und

**Warum mauerte man früher oft etwas Lebendes in die Brücke ein?**

tiefe Schluchten waren für die Menschen jahrhundertlang bewohnt von guten und vor allem bösen Geistern, von Dämonen,

die dem Menschen Böses antun wollten und vor denen man sich mit Zaubersprüchen, bestimmten Ritualen und später in der christlichen Zeit mit Gottes Hilfe und der Fürsprache der Heiligen schützen mußte. Während sich etwa die Griechen Quellen und Brunnen von guten, lebenspendenden Nymphen bevölkert dachten, sahen sie im oft tosenden, unergründlichen Fluß die Heimstätte von mächtigen, mitunter zornigen Flußgöttern, die sich von Zeit zu Zeit menschliche Opfer holten. So entstand die Vorstellung, daß eine Brücke oder ein Steg die Flußgötter erzürnte und man diese daher durch Opfer besänftigen mußte. Nicht selten mauerte man deshalb Tiere oder sogar Menschen mit ein oder setzte dem Mörtel Blut zu. Mütter, so ein verbreiteter Aberglaube, mußten ihr Neugeborenes beim ersten Gang über die Brücke durch ein ins Wasser geworfenes Geldstück „freikaufen“. Mitunter wateten Trauerzüge durchs Wasser, statt die



Brücke zu benutzen, in der Furcht, daß sonst der Tote als Gespenst zurückkommen könnte.

Auch der Teufel trieb sich nach altem Volksglauben gerne auf und an Brücken herum, ebenso wie Hexen oder Geister in Tiergestalt. In vielen Ländern gibt es „Teufelsbrücken“. Ihr Name geht auf ein verbreitetes Sagenmotiv zurück: Der Brückenbaumeister ruft, angesichts der Schwierigkeit des Werkes verzweifeln, den Teufel als Beistand an. Der erscheint auch und baut die Brücke innerhalb einer Nacht fertig – unter der Bedingung, daß ihm das erste lebende Wesen zufallen möge, das die Brücke passiert. Doch dann wird er um die erhoffte Seele geprellt: Der Baumeister treibt einen Hahn oder einen Hund als ersten über die Brücke.

Unzählig sind die Ortsnamen, die sich auf

**Warum sind Brücken für Handel und Verkehr so wichtig?**

die „Brücke“ beziehen: Osnabrück, Saarbrücken, Zweibrücken, Brügge, Bruck an der Mur oder Innsbruck. Ähn-

lich gibt es in Großbritannien und den USA Orte, die auf „bridge“ enden. In Frankreich beginnen viele Dörfer mit „Pont“; einer der dort häufigsten Familiennamen „Dupont“ bedeutet „von der Brücke“.

Städte, Flüsse und Brücken hängen eng miteinander zusammen: Ansiedlungen entstanden meist dort, wo eine wichtige Handelsroute einen Fluß passierte. Dort gab es entweder eine flache Stelle, eine „Furt“ (Städtenamen wie Frankfurt, Erfurt, Ochsenfurt erinnern daran), oder noch aus römischer Zeit eine Brücke. Im Mittelalter, als in Deutschland die meisten Städte entstanden, war sie oft durch Kriege oder Hochwasser zerstört. Dann mußten die Reisenden mit Booten den Fluß überqueren. Dazu brauchten sie die Hilfe der Einheimischen, die nicht nur Fährdienste leisteten, sondern auch Obdach und Verpflegung anboten – gegen Geld selbstver-



*Die Brücke als Anziehungspunkt übernatürlicher Mächte: Papst und Teufel reichen sich über dem Bauwerk die Hand.*

ständig. Dank dieser Einnahmequelle wuchsen die Ansiedlungen zu Städten, die gleichzeitig den Fluß als Wasserversorgung, zur Ableitung der Abwässer, als Schutz gegen Feinde, zum Antrieb von Mühlen und als Verkehrsweg nutzten. Allerdings konnten sich nur die reichen Städte auf das Wagnis des Baus einer Steinbrücke einlassen. Es dauerte oft Jahrzehnte, bis das Werk mit den damaligen technischen Möglichkeiten vollendet war, und nicht selten rissen Hochwasser oder treibende Eisschollen den halbfertigen Bau wieder weg.

Die Natur selbst hat die drei wichtigen

**Welche Bauformen von Brücken gibt es?**

Brückenformen verwirklicht, und wahrscheinlich haben die ersten Brückenbauer daraus Anregungen geschöpft. Am

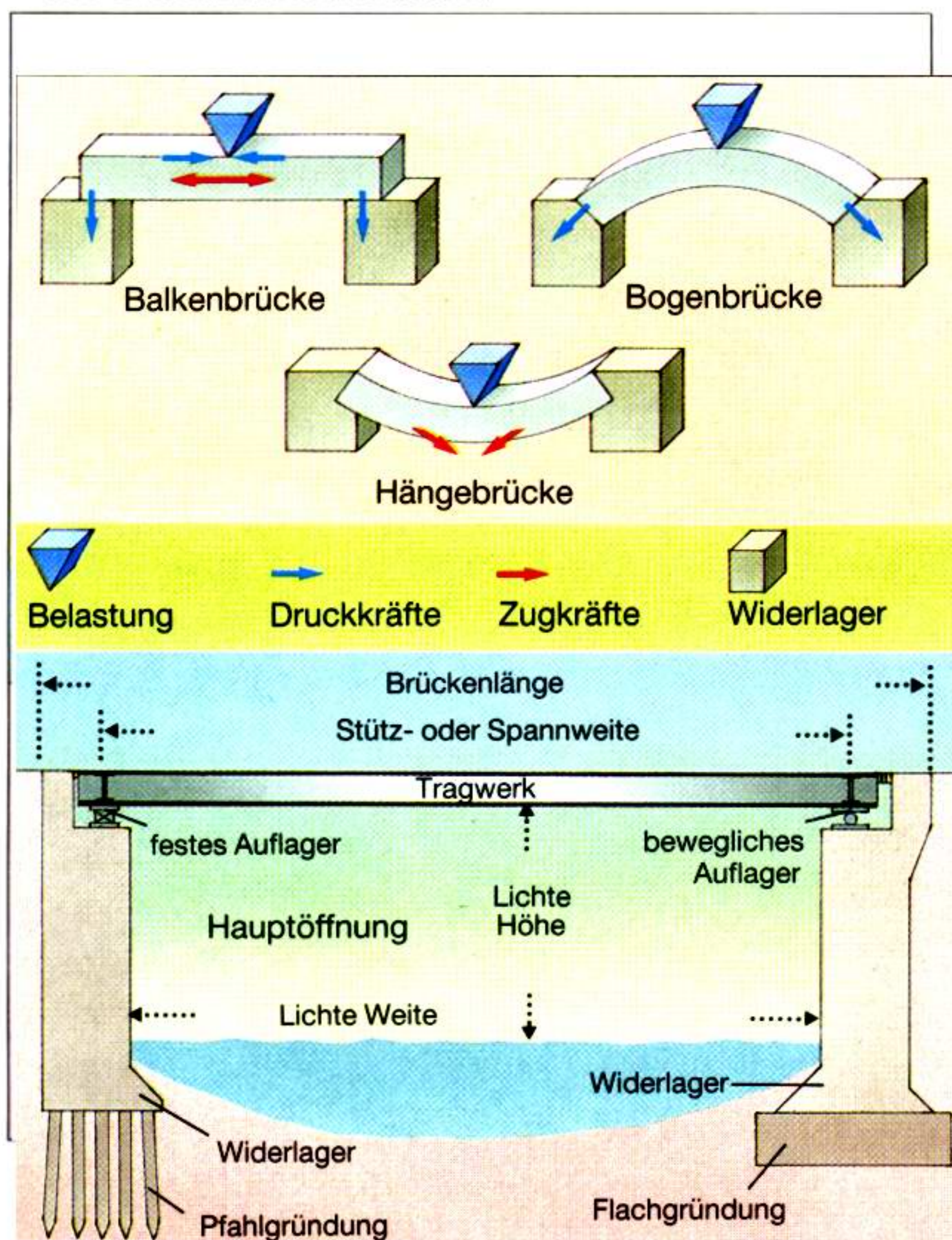
einfachsten ist die *Balkenbrücke*, in der



primitivsten Form der über den Bach gefallene Baumstamm. Allerdings ermöglichen ein aus Kanthölzern zusammengesetzter Balken oder eine lange Steinplatte keine große Spannweite – so heißt die Entfernung zwischen zwei Pfeilern oder Auflagepunkten einer Brücke –, weil sie sich unter Last und schon durch das eigene Gewicht durchbiegen und schließlich brechen können. Natürlich könnte man sie durch viele, nahe beieinanderstehende Pfeiler unterstützen, aber das wäre eine arbeitsaufwendige, teure Lösung und würde zudem bei Flußbrücken dem strömenden Wasser zuviel Widerstand entgegensetzen.

Erst seit einigen Jahrzehnten kann man dank der hervorragenden Festigkeitseigenschaften von Stahl und Stahlbeton wirtschaftlich Balkenbrücken bauen. Jahrhundertlang gab es nur die Möglichkeit, den Geh- und Fahrweg einer Brücke auf gemauerten Gewölben aus Stein abzustützen – dann nennt man das Bauwerk

*Kleines Brücken-Einmaleins: Oben die grundlegenden Bauformen mit den jeweiligen Kräfteverteilungen. Unten wichtige Fachbegriffe des Brückenkonstruktors.*



*Bogenbrücke* – oder ihn an Seilen oder Kabeln aufzuhängen – das Prinzip der *Hängebrücke*.

Die Hängebrücke ist nach der Balkenbrücke die zweitälteste Bauform. In tropischen Ländern gibt es Pflanzen mit langen, reißfesten Fasern, etwa die Lianen. Mitunter hängen solche Schlingpflanzen über einen Wasserlauf und bilden natürliche Brücken. So haben daher auch die Menschen in diesen Gebieten früh gelernt, Schluchten und Flüsse mit Seilen aus Pflanzenfasern oder auch Tierhäuten zu überbrücken und damit Hängebrücken zu schaffen. Die einfachsten bestanden aus nebeneinanderliegenden Seilen, auf denen man ging, und aus zwei dünnen Seilen weiter oben, an denen man sich festhielt. Solche Gebilde überspannten zum Beispiel in abgelegenen Hochtälern des Himalaja und im Reich der Inka in Peru tiefe Schluchten. Selbst beladene Tragtiere balancierten auf solchen schwankenden Brücken, die bis zu 60 Meter lang waren, über den Abgrund. Im Himalaja findet sich auch die weiterentwickelte Form, bei der ein Steig aus Brettern oder Bambusrohren an zwei parallelen Seilen aufgehängt ist. Allerdings folgt dieser Steig der Form des hängenden Seils. Bei modernen Hängebrücken dagegen verläuft die Fahrbahn waagrecht. Sie ist mit unterschiedlich langen Stahlseilen oder -stangen an kräftigen Stahlkabeln angehängt, die von hohen Turmpfeilern, den „Pylenen“, gestützt werden.

Auch für die Bogenbrücke – die drittälteste Bauform – bietet die

### Was ist eine Bogenbrücke?

Natur ein Vorbild: die Naturbrücke, das Felsentor. Es bildet sich, wenn ein Fluß sich seinen Weg unter einer Schicht besonders harten Gesteins hindurchbahnt und später durch die Verwitterung der umliegende Fels abgetragen wird. 60 Kilometer nördlich der

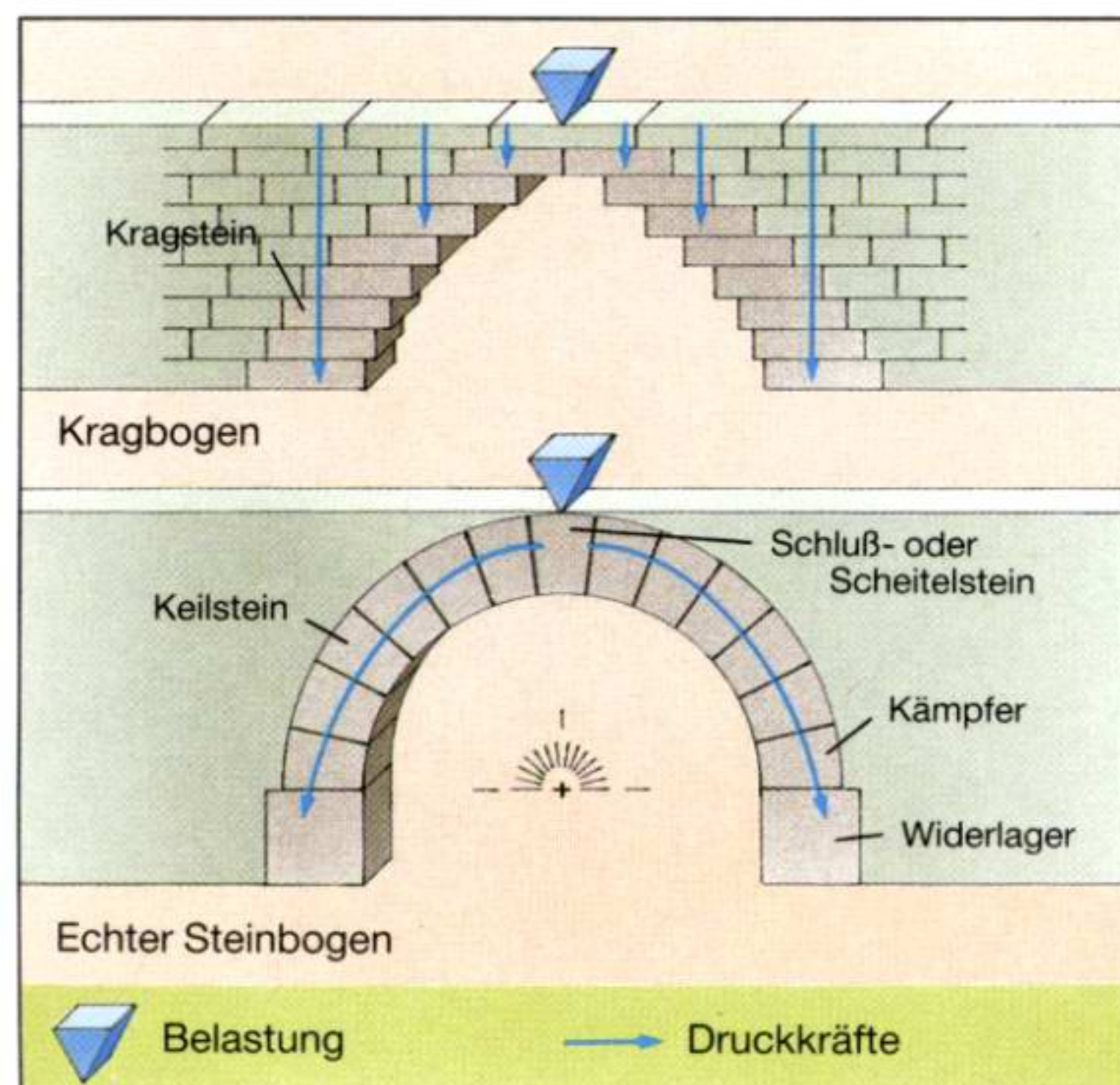


südfranzösischen Stadt Nîmes zum Beispiel streckt sich ein solcher Felsbogen über den Fluß Ardèche. Dieser „Pont d’Arc“ überspannt 59 Meter und ist 34 Meter hoch, das entspricht etwa einem zehnstöckigen Gebäude!

Der Bogen war die älteste und lange Zeit einzige Möglichkeit, mit Steinbrücken große Spannweiten zu erzielen. Der Grund dafür: Steine halten hohe Druckkräfte aus, brechen aber schon bei vergleichsweise geringen Zugkräften. Solche Zugkräfte aber wirken an der Unterseite eines Balkens, der sich unter einer Last biegt.

Ein gutes Modell für die Kräfteverteilung in einem Balken ist ein dicker Streifen aus Schaumstoff, auf dessen Längsseite man mit einem Filzstift mehrere senkrechte Linien in gleichen Abständen gezogen hat. Man legt ihn zwischen zwei Bücherstapel. Ein weiteres, in die Mitte dieser Miniaturbrücke gelegtes Buch simuliert die Belastung. Nun lassen sich die Kräfte im Schaumstoff durch Beobachten der Linien abschätzen. An der Oberseite sind die Abstände kleiner als zuvor – der Schaumstoff ist hier zusammengedrückt. An der Unterseite dagegen sind die Abstände größer als zuvor, hier ziehen Kräfte den Schaumstoff auseinander.

*Der Kragbogen ist in jeder Phase stabil, der echte Bogen erst nach Einsetzen des Schluß- oder Scheitelsteines.*



*Die 34 Meter hohe Naturbrücke Pont d’Arc, die den südfranzösischen Fluß Ardèche überspannt, ist vermutlich der Rest einer Höhle.*

Die Zugkräfte an der Unterseite eines überlasteten Steinbalkens sorgen dafür, daß sich Risse bilden und schnell vergrößern – die Brücke stürzt ein.

Schichtet man aber Quadersteine zu einem Bogen aufeinander, so stützen sie sich gegenseitig. Dabei müssen sie nur Druckkräfte aufnehmen, aber keine Zugkräfte. Und sie tragen sogar noch die zusätzliche Last einer daraufgemauerten steinernen Fahrbahn samt dem Verkehr.

Die ersten steinernen Bögen wurden vermutlich nicht für Brücken, sondern für Hausdächer verwendet. Schon die Sumerer und Ägypter mauerten vor etwa 5000 Jahren Bogengewölbe aus Ziegelsteinen. Vorläufer war vermutlich die aus „Kragsteinen“ gebildete Toröffnung oder Decke: Einzelne Quadersteine werden von den Seiten aus so übereinandergeschichtet, daß der obere Stein jeweils etwas über den unteren herausragt, aber nicht soweit, daß er herunterkippt. Das Einstürzen des ganzen Gebildes verhindert man durch Belasten der unteren Steine mit weiteren Quadern. Schließlich treffen sich die vorragenden Steine.

Von den Kragträgern mit waagerechten



Fugen unterscheidet sich der echte Bogen dadurch, daß die Fugen der keilförmig behauenen Steine auf einen gemeinsamen Mittelpunkt weisen. Beim Bau eines echten Bogens muß man stets mit einem „Lehrgerüst“ arbeiten. Dieses Gerüst trägt die Last der Steine während des Baus, denn erst nach dem Einsetzen des „Scheitelsteins“ am höchsten Punkt des Bogens wird das Gebilde standfest. Die Stabilität kommt dadurch zustande, daß das Gewicht jedes Steins jeweils vom nächsttieferen getragen wird. Schließlich übernehmen die beiden untersten Bogensteine, die „Kämpfer“, und die Pfeiler das Gesamtgewicht. Jeder Stein wird bei dieser Konstruktion von seinen beiden Nachbarn eingeklemmt. So kann sich keiner aus dem Bogen lösen und einfach herunterfallen.

Jede Brücke ist ein Kompromiß: Mit einem

**Warum dürfen Soldaten manche Brücken nicht im Gleichschritt passieren?**

bestimmten Material und einer gewählten Bauform soll eine möglichst große Spannweite bewältigt werden – und das

bei möglichst niedrigen Kosten. Früher mußten sich die Baumeister auf ihre Erfahrung und ihr Gefühl verlassen, wenn sie eine Brückenkonstruktion planten. Seit etwa 200 Jahren bemühen sich die Bauingenieure, mit immer ausgefeilteren Methoden die Eigenschaften einer Brücke vorauszuberechnen, um sie möglichst elegant, kostengünstig und sicher bauen zu können. In diese Rechnung gehen nicht nur die Festigkeit der Baustoffe und die gewünschte Belastungsfähigkeit ein, sondern zum Beispiel auch die Kräfte, mit denen Stürme auf eine Brücke einwirken. Große Gefahr besteht für eine Brücke, wenn sie ins Schwingen gerät. Ein einfaches Beispiel: Geht man vorsichtig auf einem langen, nur an den Enden abgestützten Holzbalken entlang, biegt er sich in der Mitte durch, aber er bricht nicht

unbedingt. Wippt man aber im einem Rhythmus, der der Eigenschwingung des Balkens entspricht, so verstärkt sich die Schwingung sehr rasch („Resonanzeffekt“), und er kann brechen.

Es ist vorgekommen, daß eine im Gleichschritt über eine leichte Brücke marschierende Soldatenkolonne das Bauwerk zum Einsturz brachte, weil ihr Marschrhythmus zufällig mit der Eigenschwingung der Brücke übereinstimmte. Daher wurde früher vor dem Betreten einer zu Resonanz neigenden Brücke stets „Außer Tritt marsch!“ kommandiert. Den heutigen, für schwere Fahrzeuge gebauten Brücken allerdings macht eine im Gleichschritt marschierende Soldatenkolonne nichts aus.

Derselbe zerstörerische Effekt kann auch bei Eisenbahnbrücken auftreten, wenn sie bei einer bestimmten Umdrehungsgeschwindigkeit der Lokomotivräder in Schwingung versetzt werden. Allerdings können die Brückenbauer heute den Resonanzeffekt vorausberechnen und weitgehend unterdrücken.





# Brücken aus Holz und Stein

## Was ist eine Schiffsbrücke?

Im Jahre 490 v. Chr. wurde in Marathon nordöstlich der griechischen Hauptstadt Athen eine Schlacht ausgefochten, die den Lauf der Weltgeschichte bestimmte: 11 000 Griechen standen einer gewaltigen Übermacht von rund 100 000 Persern unter König Darius gegenüber. Die Griechen gewannen dank überlegener Strategie,

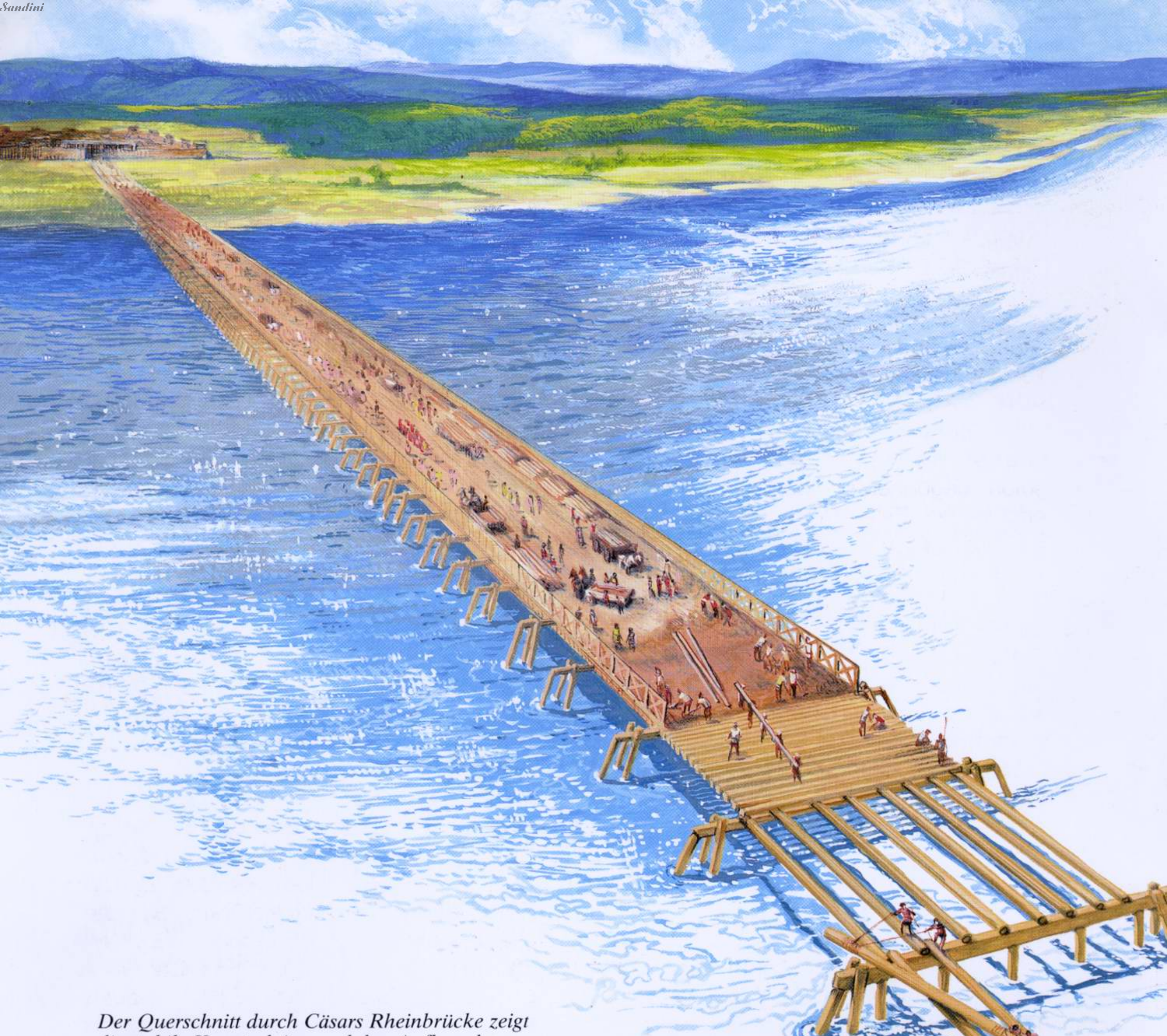
*Auf einer von nebeneinander verankerten Schiffen getragenen Brücke überquerte das Heer des Perserkönigs Darius den Bosporus.*

und ihr Siegesbote legte dann die 42 Kilometer lange Strecke nach Athen im Laufschrift zurück – der erste Marathonlauf.

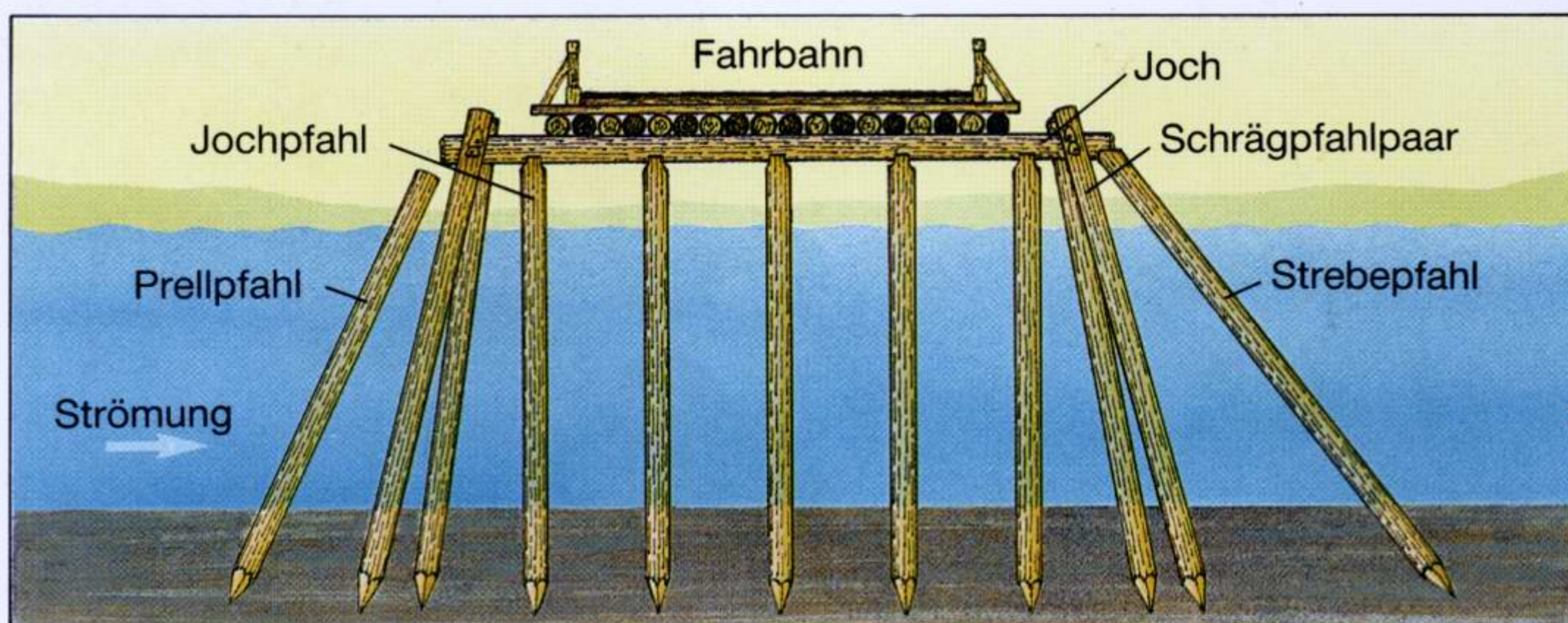
Doch der Schlacht von Marathon vorausgegangen war eine bemerkenswerte technische Leistung: eine Schiffsbrücke über den Bosporus. Das ist ein Teil der Wasserstraße zwischen Mittel- und Schwarzem Meer, der selbst an der schmalsten Stelle fast 700 Meter breit ist; zudem ist er wegen starker Strömungen und heftiger Winde berüchtigt. Erst diese Brücke ermöglichte







*Der Querschnitt durch Cäsars Rheinbrücke zeigt die stabile Konstruktion und den Aufbau der Fahrbahn.*





493 v. Chr. dem Heer des Darius den Übergang nach Europa. Sie bestand aus einer Reihe von mehrfach verankerten Schiffen, die die eigentliche Fahrbahn aus Holzbalken trug.

Weniger Glück hatte der Perserkönig Xerxes, der 13 Jahre später für einen neuen Feldzug gegen die Griechen die Meerenge noch einmal überbrücken ließ: Ein heftiger Sturm zerstörte das fast fertige Werk. Xerxes ließ daraufhin, so berichtet der griechische Geschichtsschreiber Herodot, in schrecklichem Zorn die Baumeister köpfen und das Wasser mit Ruten peitschen. Ein sofort begonnener zweiter Versuch war erfolgreich: Eine Doppelreihe aus 700 Schiffen trug die eigentliche Fahrbahn; sie bestand aus Bohlen, die mit festgestampfter Erde bedeckt und seitlich mit Schutzzäunen versehen waren, damit scheuende Pferde nicht ins Wasser fielen. Angeblich setzten 700 000 Mann zu Roß und zu Fuß auf dieser Brücke über – trotz dieses gewaltigen Aufgebotes wurde Xerxes geschlagen.

*Innerhalb von nur zehn Tagen erbauten römische Legionäre auf Befehl Cäsars um 55 v. Chr. diese rund 400 Meter lange Holzbrücke über den Rhein – eine technische Meisterleistung.*

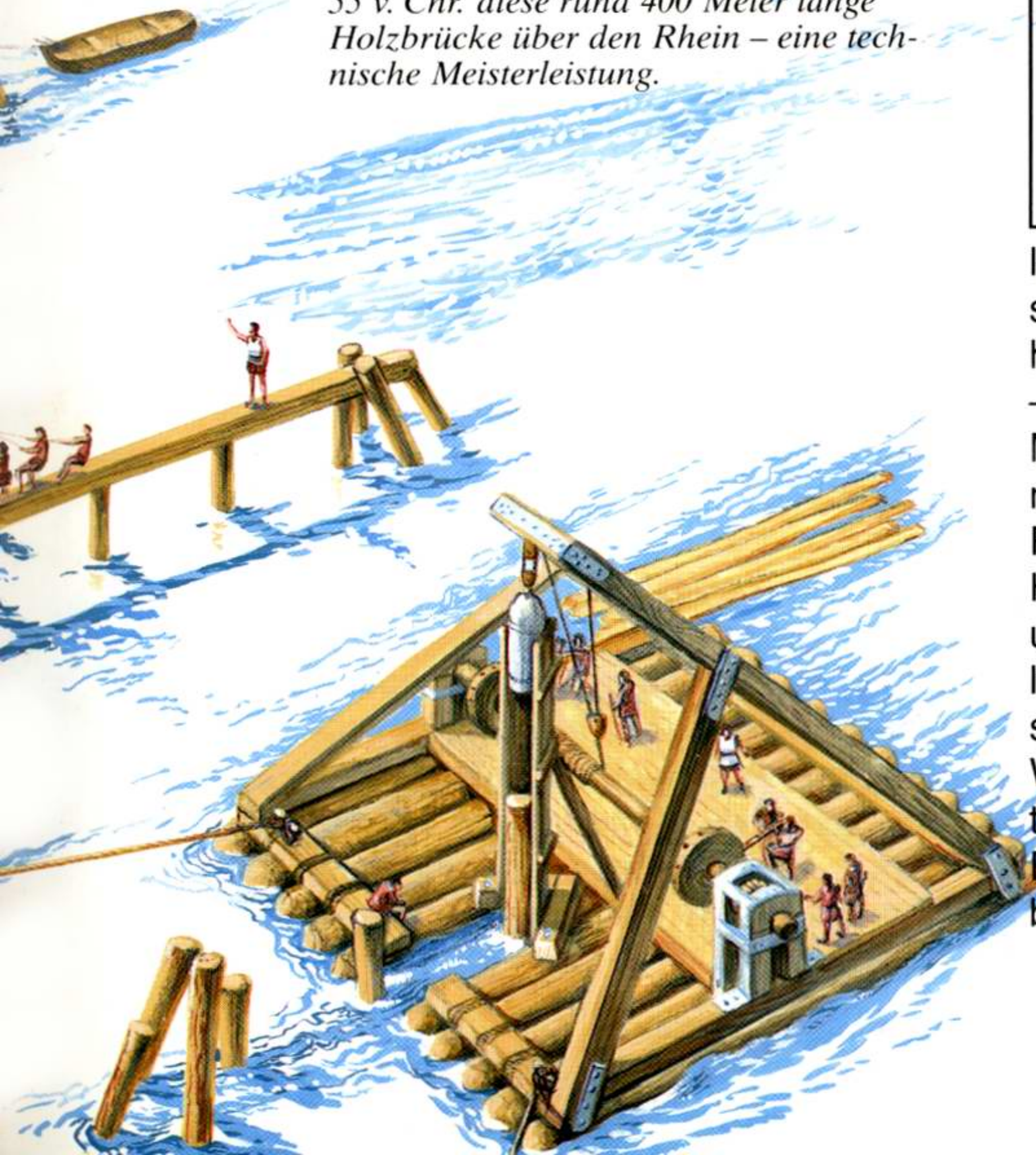
Heerführer nutzten auch in späterer Zeit Brücken aus Schiffen oder „Pontons“ – einfachen schwimmenden Kästen –, um schnell große Truppen über Flüsse setzen zu können. Der Karthager Hannibal überquerte auf diese Weise die Rhône, Alexander der Große den asiatischen Fluß Oxus, und der römische Kaiser Caligula ließ sich eine Schiffsbrücke im Golf von Neapel nur deshalb bauen, um damit prahlen zu können, er sei über das Meer geritten.

Mitunter errichtete man aber auch Schiffsbrücken für zivile Zwecke, wenn nicht genügend Geld für den Bau einer festen Verbindung vorhanden war. So bestanden im vorigen Jahrhundert teils sogar von der Eisenbahn benutzte Schiffsbrücken bei Karlsruhe, Speyer und Köln über den Rhein. Doch diese Brücken mußten nicht nur regelmäßig unterbrochen werden, um Schiffe durchzulassen, sondern litten auch unter den starken Pegelschwankungen und dem Eisgang des Stroms und wurden daher schließlich durch feste Brücken ersetzt.

Vielleicht die berühmteste Brücke, die zu militärischen Zwecken entstand, ist die Holzbrücke, die der römische Feldherr Cäsar 55 v. Chr. über den Rhein bauen

### Wie überquerte Cäsar den Rhein?

ließ. Dank der präzisen Beschreibung in seinem Buch „Der Gallische Krieg“ – noch heute Standardlektüre im Lateinunterricht – können wir uns von dieser technischen Meisterleistung ein recht gutes Bild machen. Der genaue Ort von Cäsars Rheinübergang war lange umstritten. Heute gilt eine Stelle etwa 11 Kilometer unterhalb von Bonn als die wahrscheinlichste. Der Strom ist hier immerhin etwa sechs Meter tief und rund 400 Meter breit. Waagerechte Balken, sogenannte Joche, trugen die aus Holzbohlen mit Reisig- und Erdauflage bestehende, fast neun Meter breite Fahrbahn. Die Joche ruhten ihrer-





seits auf jeweils fünf senkrecht eingerammten, am unteren Ende zugespitzten Holzpfählen. Damit die Brücke der heftigen Flußströmung besser widerstehen konnte, wurde jedes Joch zusätzlich nach stromauf mit zwei „Schrägpfählen“, nach stromab mit zwei „Schrägpfählen“ und einem „Strebepfahl“ verstärkt. Weitere „Prellpfähle“ nach stromauf (je Joch einer) sicherten die Brücke gegen treibende Baumstämme.

Die römischen Soldaten bauten die Brücke einschließlich des Baumfällens innerhalb von nur zehn Tagen. Sie ermöglichte Cäsar einen kurzen Feldzug gegen die auf der rechten Rheinseite wohnenden Germanenstämme; nach 18 Tagen ließ er sie wieder abbrechen. In gleicher Weise überquerte er einige Jahre später noch einmal den Rhein.

#### **Warum sind die Römer als Brückenbauer berühmt?**

Das Römische Reich war ein Imperium der Straßen. Nur dank der guten Verbindungen konnte ein so gewaltiges Gebiet zentral von Rom aus regiert werden. Sie ermöglichten es Truppen, schnell an jeden Ort zu marschieren, Beamte und Kaufleute reisten auf ihnen schnell und bequem in jede Provinz. Ein wichtiger Teil dieses insgesamt rund 300 000 Kilometer langen Straßennetzes waren die Brücken. Die Römer bauten sie so stabil, daß noch heute, nahezu 2000 Jahre später, fast 300 von ihnen existieren – und benutzt werden! Die vor 2100 Jahren errichtete Milvische Brücke nördlich von Rom trug im Zweiten Weltkrieg sogar die Last von Panzern!

#### **Wie arbeiteten die römischen Baumeister?**

Dank des römischen Architekten Vitruv, der im ersten Jahrhundert v. Chr. lebte und ein zehnbändiges Werk mit dem Titel „Von der Architektur“ schrieb, wissen wir über die damalige Bautechnik recht gut

Bescheid. Wichtigste Voraussetzung war eine genaue Planung vor Baubeginn einschließlich der Vermessung des Geländes. Auch Größe, Form und Zahl der nötigen Keilsteine für die Bogen waren zuvor errechnet und den Arbeitern im Steinbruch mitgeteilt worden. Jeder der Steine bekam schon im Steinbruch eine Markierung, die anzeigte, wo genau er im Bauwerk seinen Platz finden sollte. Das setzte außer exakten Bauplänen gute Meßgeräte und ein einheitliches Maßsystem voraus. Allerdings konnte man die Belastbarkeit des Bauwerks noch nicht vorherbestimmen: An die Stelle genauer Berechnung traten die Erfahrung und ein hoher Sicherheitszuschlag.

Die Arbeiter mußten die schweren Steine oft viele Kilometer weit zur Baustelle transportieren, dort mit Hilfe von hölzernen Kränen mit Flaschenzügen bis zu 50 Meter hoch hieven und an die vorgesehene Stelle setzen. Vor einigen Jahren bauten Ingenieure nach alten Beschreibungen und Darstellungen einen römischen Kran nach, um seine Leistungsfähigkeit zu prüfen – und staunten: bis zu 7000 Kilogramm konnte er heben! Dabei war die einzige Kraftquelle ein von Sklaven angetriebenes Tretrad.

Eine besondere Leistung der Brückenbauer war die Gründung der Pfeiler in der Mitte eines Flusses. War es nicht möglich, den Fluß mit einem Damm vorübergehend umzuleiten, schufen die Arbeiter an der vorgesehenen Stelle eine künstliche Insel. Wichtigstes Hilfsmittel dazu waren „Spundwände“ – aus Holzplanken zusammengebaute, möglichst wasserdichte Zylinder, die bis unter den Grund des Flusses reichten. Meist stellten sie zwei solcher Zylinder ineinander und füllten den Raum zwischen den beiden mit wasserundurchlässigem Ton aus. Nun konnten die Arbeiter das Wasser im inneren Zylinder auspumpen (teils mit Hilfe vom Fluß angetriebener Schöpfräder). In weichen Untergrund rammte man dann dicht an dicht





*Der Pont du Gard  
diente der Wasserver-  
sorgung der Römerstadt  
Nemausus in Südfrank-  
reich, dem heutigen  
Nîmes.*

zugespitzte Eichenstämme von mehreren Metern Länge und bis zu 40 Zentimeter Durchmesser ein und nagelte dicke Holzbohlen darauf, die das eigentliche Fundament bildeten.

Felsiger Untergrund wurde nur gesäubert und die Steinquader mit wasserfestem Beton daraufgemauert. Dieses „opus caementitium“ war ein Gemisch aus gebranntem Kalk und einer vulkanischen Asche, die nahe dem Ort Putteoli am Vesuv abgebaut wurde. Der damit hergestellte Mörtel härtete selbst unter Wasser und ermöglichte Pfeilergründungen, die dauerhaft den Strömungen widerstanden. Waren die Pfeiler schließlich hoch genug, errichteten Zimmerleute unter jeder vorgesehenen Bogenwölbung ein stabiles hölzernes Lehrgerüst. Es ruhte auf breiten Steinvorsprüngen der Pfeiler, die an manchen Römerbrücken noch heute zu sehen sind. Dieses Gerüst trug dann die Last der Steine, bis der Gewölbebogen komplett und damit selbsttragend war; danach wurde es abgerissen.

Die gewaltigsten Brücken bauten die Römer aber nicht für den Verkehr, sondern für ihre Wasserleitungen. Das in die Städte geleitete Wasser diente nicht nur zum Trinken, sondern speiste auch die Bäder und schwemmte die Abfälle fort. Brücken, die Wasserleitungen tragen, heißen Aquädukte (deutsch „Wasserleiter“). Der wohl eindrucksvollste ist der „Pont du Gard“ in der Nähe der südfranzösischen Stadt Nîmes, dem römischen Nemausus. Dieser Aquädukt war ein Teil der 50 Kilometer langen Wasserleitung, die Nemausus ab dem Jahre 19 v. Chr. mit täglich 30 000 Kubikmetern klarem Gebirgsquellwasser versorgte. Anfang und Ende der Leitung haben nur 17 Meter Höhenunterschied. Daher mußten die Baumeister peinlich genau die Strecke vermessen und darauf achten, daß das Wasser gleichmäßig fließen konnte und sich nirgends staute. Das aber bedeutete, die Leitung in

### **Was ist ein Aquädukt?**





49 Meter Höhe über die tiefeingeschnittene, fast 270 Meter breite Schlucht des Flusses Gardon zu führen – und dazu diente der Pont du Gard.

Mit einer normalen Bogenbrücke allerdings ist solche Höhe nicht zu bewältigen. Doch die Römer fanden eine einfache Lösung – sie stellten einfach drei Bogenreihen aufeinander. Die untere Bogenreihe („Arkade“) besteht aus 6 Bogen von 22 Meter Höhe und bis zu 24 Meter Spannweite. Sie trägt die mittlere aus 11 Bogen mit je 19 Meter Höhe, und die oberste aus 35 Bogen, die auch immer noch je sieben Meter hoch sind; darüber läuft der Wasserkanal. Insgesamt wurden über 4300 exakt zubehauene Keilsteine allein für die Bogen gebraucht; die schwersten wiegen jeweils etwa sechs Tonnen.

Im 5. Jahrhundert n. Chr. brach das römische Reich zusammen, und in den Wirrnissen der Völkerwanderung verfielen Fernhandel, Straßen- und Brückenbau. Die römische Baukunst – und mit

**Warum lag der Brückenbau im Mittelalter so lange brach?**

sche Reich zusammen, und in den Wirrnissen der Völkerwanderung verfielen Fernhandel, Straßen- und Brückenbau.

*Die Karlsbrücke in Prag über die Moldau. Diese Brücke entstand 1357, nachdem die erste Steinbrücke von 1172 eingestürzt war.*

ihr die Erfindung des wasserfesten Betons – geriet weitgehend in Vergessenheit. Viele Römerbrücken verrotteten oder wurden in Kriegen zerstört. Wenn auch Kaiser Karl der Große um 800 versuchte, das römische Straßennetz wieder instand zu setzen, mußten sich die Reisenden doch meist mit Furten, Fähren und einigen Schiffsbrücken zufriedengeben. Die Zeiten waren unsicher und die Menschen arm. Geld für große Bauten fehlte, und so ruhte der Brückenbau fast 800 Jahre lang.

Im 12. Jahrhundert brach eine neue Zeit an. Der Handel nahm zu, die Städte blühten auf. Vorausgegangen war ein Wandel in der Landwirtschaft: Die Bauern brachen die Felder mit schweren Räderpflügen um, sie hatten die Dreifelderwirtschaft eingeführt und gelernt, das Pferd als Zugtier zu nutzen. All diese Verbesserungen steigerten die Ernten, so daß die Bauern nun die wachsende Stadtbevölkerung miternähren konnten.

Der Reichtum der Städte zeigte sich in aufwendigen Bauten. Zur Ehre Gottes



wuchsen gewaltige Kathedralen empor, deren Türme alle Häuser der Stadt bei weitem überragten. Und für die Planwagen und Karawanen der Händler baute man große Steinbrücken: 1146 in Würzburg über den Main und in Regensburg über die Donau, 1172 in Prag über die Moldau, 1188 in Avignon über die Rhône, 1209 in London über die Themse, 1260 in Dresden über die Elbe.

Ähnlich wie die Autofahrer heute in manchen Ländern Mautgebühr für die Benutzung einer Autobahn zahlen müssen, erhob man damals einen „Brückenzoll“ („Brückenpfennig“) von jedem Reisenden, der die Brücke überquerte. Diese Einnahme entlastete die Stadtkasse, in die das Bauwerk meist ein großes Loch gerissen hatte. Zudem galt Brückenbau als gottgefälliges Werk – wer dafür Geld spendete, erhielt vom Bischof oder sogar vom Papst einen „Ablaßbrief“, der die Vergebung von Sünden versprach.

Die größte und älteste bis heute erhaltene

**Wie entstand die „Stainern Pruckn“ in Regensburg?**

Brücke aus jener Zeit in Deutschland ist die mehr als 300 Meter lange „Stainern Pruckn“ in Regensburg über die Donau.

Baubeginn war 1135 während eines extremen Niedrigwassers, fertig wurde sie 1146. An dieser Stelle bestand zuvor eine Schiffsbrücke, die Karl der Große gut 300 Jahre vorher gebaut hatte, aber sie genügte dem zunehmenden Handel nicht mehr. Regensburg war damals eine blühende Handelsstadt am Schnittpunkt der alten Handelsstraßen von Köln über Wien bis Konstantinopel und von Kiew und Breslau über Augsburg bis Venedig.

16 Bogen waren notwendig, um den breiten Strom zu überspannen. Der Beton war in Vergessenheit geraten, daher schützte man die Pfeiler durch große künstliche Steininseln („Beschlächte“) vor dem Unterspültwerden. Allerdings verengten



*Die Altstadt Dresdens mit der Hofkirche und der um 1260 erbauten Elbbrücke auf einem kolorierten Foto von 1900.*

diese Inseln den Wasserdurchlauf, erhöhten so ihrerseits die Kraft des Wassers und erschwerten die Schifffahrt. Doch die Regensburger waren praktische Leute: Sie bauten für die Schiffe einen kleinen Umgehungskanal durch die Stadt und nutzten den künstlich erzeugten, höheren Fließdruck, um Mühlräder zwischen einigen Brückenbogen anzutreiben.

*Die „Stainern Pruckn“ in Regensburg gilt als die größte und älteste Steinbrücke aus dem Mittelalter.*





Die Brücke festigte die Stellung Regensburgs als Handelszentrum. Dank des bequemen Donauübergangs zogen mehr Kaufleute als je zuvor durch die Stadt. Drei große Wehrtürme und einige Wachhäuschen sorgten dafür, daß nicht auch Feinde die Brücke nutzen konnten. Einer der Türme steht noch heute, ebenso wie das Zollhaus. Dagegen ist die Brückenskapelle verschwunden, die auf dem siebten Pfeiler stand und dem Bau den himmlischen Segen sichern sollte.

Die ganze Brücke war zur „heiligen Freistadt“ erklärt worden. Störte jemand durch Streit den Brückenfrieden, schlug ihm der Henker zur Strafe eine Hand ab. Auf anderen Brücken tagten unter freiem Himmel Gerichte; lautete der Urteilsspruch auf Ertränken, stieß man den Übeltäter gefesselt in den Fluß.

Mittelalterliche Städte waren außerordentlich eng; der Ring der Stadtmauern



*Auf der Krämerbrücke in Erfurt über die Gera stehen dicht an dicht Fachwerkhäuser. Solche überbauten Brücken waren einst viel häufiger.*

*Die Ponte Vecchio über den Arno in Florenz ist mit ihren Goldschmiede- und Schmuckläden Anziehungspunkt für Touristen aus aller Welt.*

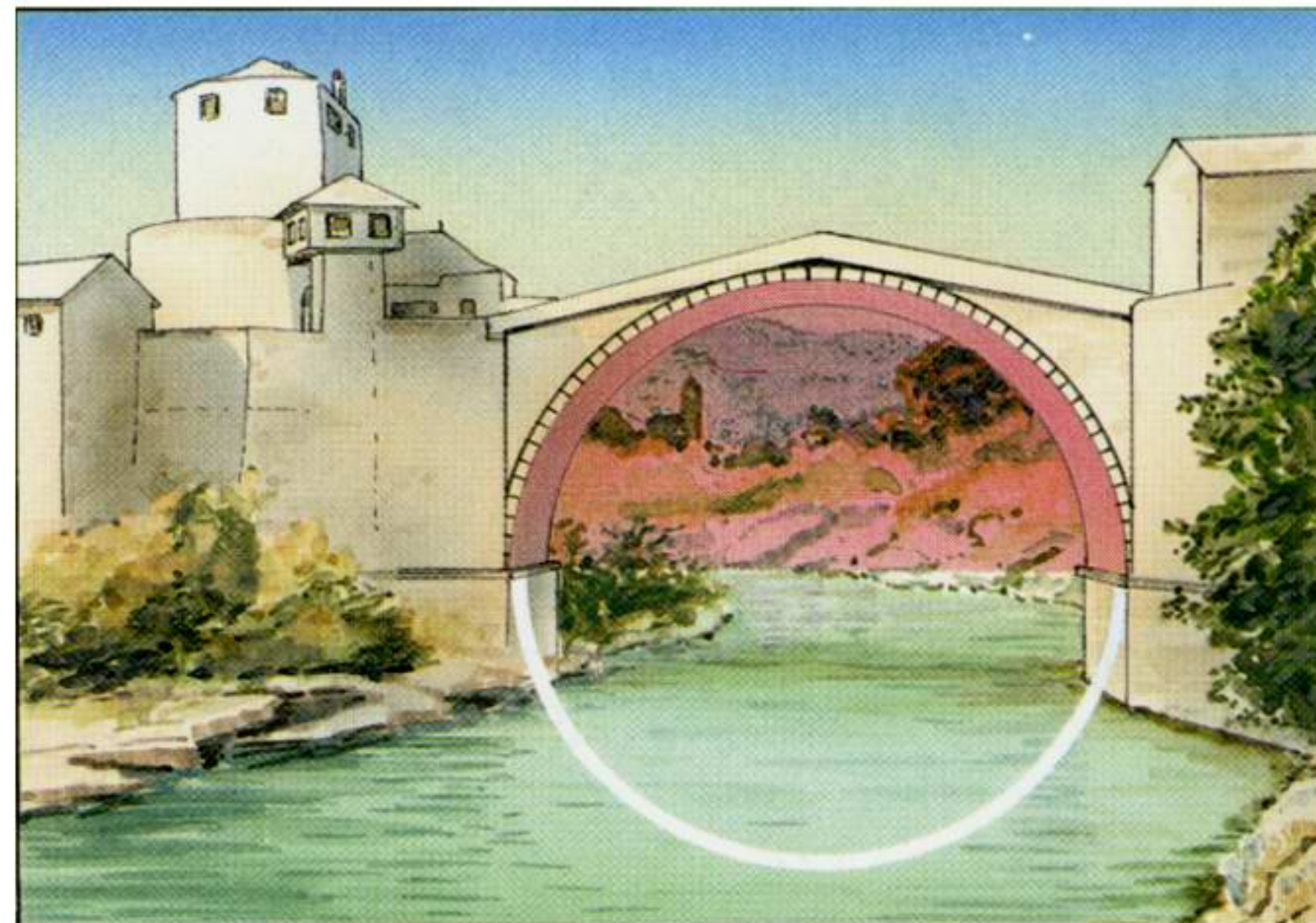




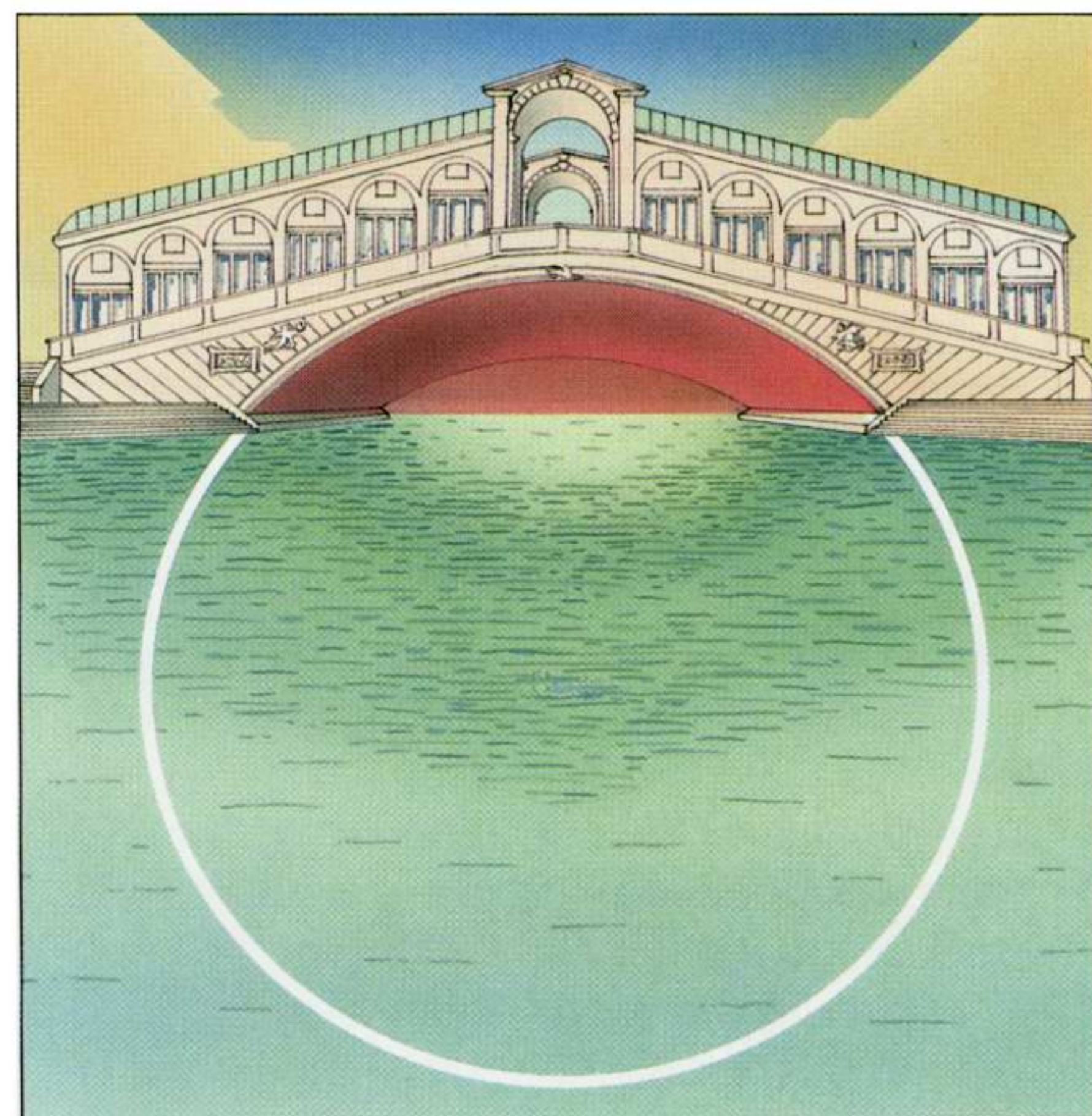
erlaubte keine Erweiterung. So nutzten die Bürger gerne den zusätzlichen Raum einer Brücke für Wohnungen und Läden – der rege Menschenstrom ermöglichte hier besonders gute Geschäfte. Die berühmte, 1209 fertiggestellte „London Bridge“ über die Themse bildete schon im 14. Jahrhundert einen kleinen Stadtteil mit fünfstöckigen Häusern. In Paris hatten sich auf der „Wechslerbrücke“ die Geldverleiher niedergelassen. Heute gibt es in Europa nur noch wenige überbaute Brücken. Die Goldschmiedeläden auf der „Ponte Vecchio“ in Florenz ziehen vor allem Touristen an. In Deutschland ist vor allem die Krämerbrücke berühmt, die seit 1325 in Erfurt über die Gera führt. Sie trägt an beiden Seiten der Straße 34 meisterlich restaurierte zwei- oder dreistöckige Fachwerkhäuser; wer sich nicht auskennt, merkt gar nicht, daß er auf einer Brücke steht.

Die mittelalterlichen Baumeister orientierten sich am römischen Vorbild und verwendeten den Halbkreisbogen. War eine größere Höhe nötig, setzten sie ihn auf senkrechte Pfeiler – „Viadukte“ heißen solche Bogenbrücken in der Fachsprache. Doch schon im Spätmittelalter entstanden unter der Leitung einzelner genialer Baumeister Brücken mit flacheren Bogen. Diese „Segmentbogen“ formen nicht einen Halbkreis, sondern nur etwa ein Achtel eines Kreises nach und wirken besonders elegant. Ein frühes Beispiel ist die durch das Kinderlied berühmte Brücke von Avignon, die 1188 eingeweiht wurde und ursprünglich mit 900 Meter Länge die Rhône überspannte. Einst hatte sie 22 Bogen mit der erstaunlich großen Spannweite von je 33 Metern. Heute stehen nur noch vier, die anderen fielen Treibeis und Kriegseinwirkungen zum Opfer. Ein Pfeiler trägt die Brückenskapelle, die dem Erbauer St. Bénézet geweiht ist.

**Wann begann der wissenschaftlich fundierte Brückenbau?**



*Der Halbkreisbogen der „Römerbrücke“ im jugoslawischen Mostar wirkt plump gegen den flachen Segmentbogen der Rialto-Brücke in Venedig.*



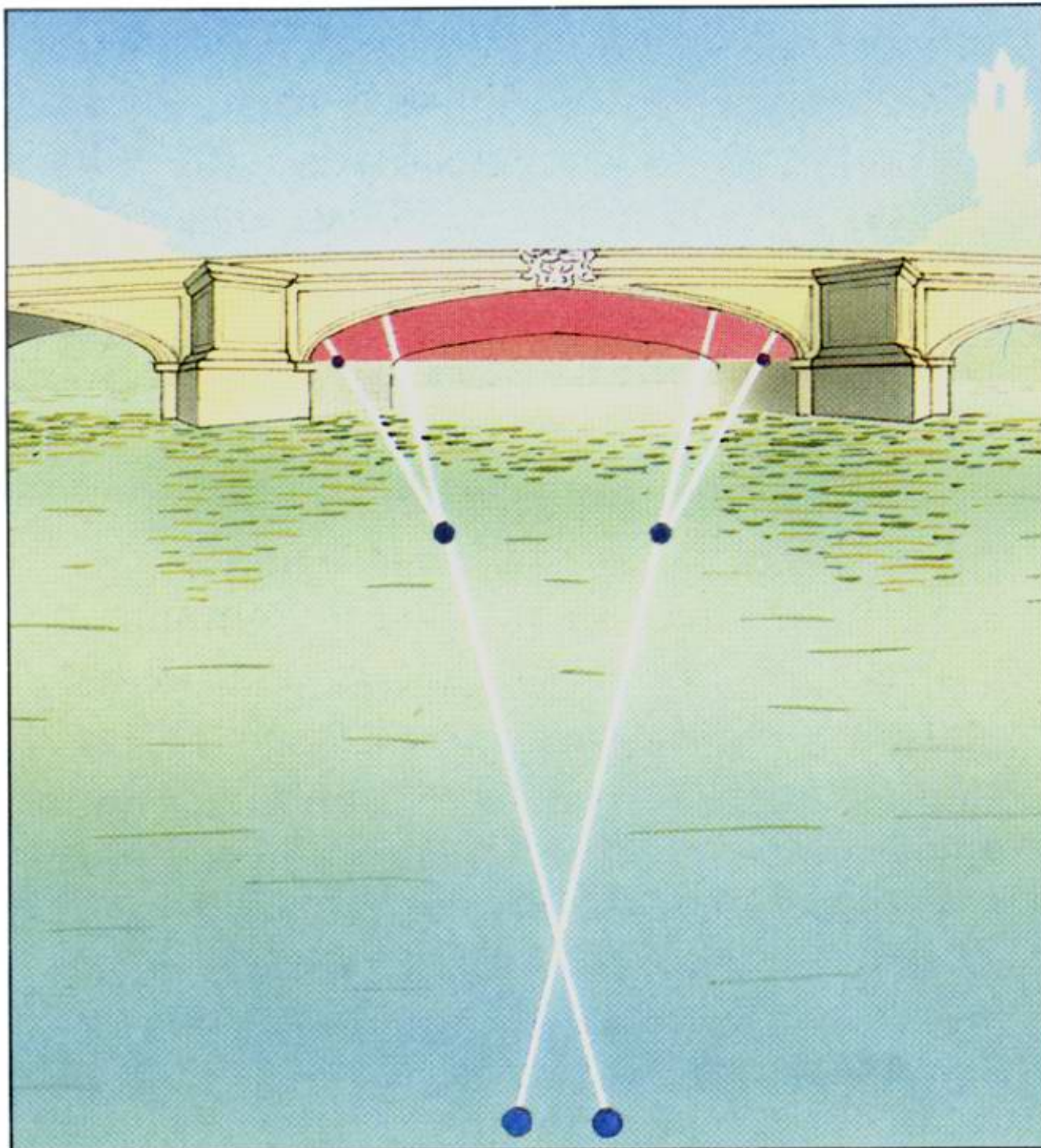
Die mittelalterlichen Baumeister konnten sich ebenso wie die römischen nur auf ihre Erfahrung verlassen und ahmten vielfach bewährte Vorbilder nach. Erst in der Renaissancezeit, die im 15. Jahrhundert in Italien einsetzte, begann der Brückenbau auf wissenschaftlicher Grundlage. Die Gelehrten studierten die Überlieferungen der Araber, Griechen und Römer und ergänzten die Erkenntnisse der Antike durch eigene Experimente.





*Vor der durch das Kinderlied bekannten Brücke in Avignon stehen nur noch vier Bogen. Im Hintergrund der Papstpalast.*

*Die eleganten Korbbojen der Ponte Santa Trinità in Florenz sind aus sechs Mittelpunkten konstruiert.*



So sammelte und veröffentlichte der Architekt Leon Battista Alberti (1404–1472), auf der Grundlage des Buchs von Vitruv, das architektonische Wissen seiner Zeit und gab einfache Faustregeln und Zahlenverhältnisse für Spannweite, Bogenhöhe, Pfeilerbreite im Vergleich zur Breite der Bogen und andere Kennzeichen einer Brücke an. Der Universalgelehrte Leonardo da Vinci (1452–1519) studierte in kleinen Holzrinnen mit Glaswänden die Wirbelbildung des Wassers und ihre Wirkung auf Brückenpfeiler. Er plante sogar eine Brücke über das Goldene Horn am Bosphorus, die mit einem einzigen gewaltigen Segmentbogen von 250 Meter Spannweite Konstantinopel und Pera (heute beide Istanbul) verbinden sollte. Leider erschien dieses Vorhaben seinen Zeitgenossen zu kühn; heute haben Berechnungen ergeben, daß er es mit den damaligen Mitteln ohne weiteres hätte durchführen können.

Aber Leonardo hielt seine Versuchsergebnisse geheim, so daß sie anderen Brück-



kenbauern keinen Nutzen brachten. Erst einige Jahrzehnte später begründete Galileo Galilei (1564–1642) die Mechanik. Er war der erste, der Spannungen und Kräfte in einem Bauwerk zu berechnen versuchte. Spätere Gelehrte studierten seine Bücher und verbesserten seine Methoden – diese Entwicklung ist bis heute noch nicht abgeschlossen.

Die neue Denk- und Bauweise zeigt sich auch in den Brücken jener Zeit. Eine der schönsten ist die 1567 erbaute Ponte Santa Trinità in Florenz. Hier verwirklichte der Ingenieur und Künstler Bartolomeo Ammanati (1511–1592) erstmals den besonders flachen „Korbbogen“: Er ist nicht Teil eines einzigen Kreises, sondern vereinigt mehrere Kreisbogen mit unterschiedlichen Radien. Ammanati wußte

*Leonardo da Vinci wollte mit einer gewaltigen Brücke das Goldene Horn in Konstantinopel überspannen.*



*Galileo Galilei versuchte als erster, die Kräfte in einem Bauwerk zu berechnen.*



bereits durch Vorversuche, daß solch ein flaches Gewölbe nicht nur senkrecht auf den Untergrund drückt, sondern auch erhebliche Seitenkräfte ausübt. Diesen „Horizontalschub“ wußte er durch massive „Widerlager“ (die Baukörper, die die Enden der eigentlichen Brücke, das heißt die „Auflager“, tragen) an den Ufern und durch wuchtige Pfeiler aufzufangen. Dennoch gab es viele Dinge, die er nicht vorausberechnen oder ausprobieren konnte. Der Bau einer solchen Brücke erforderte daher außer hohem Können einen bemerkenswerten Mut und kostete Ammanati sicher viele schlaflose Nächte und bange Augenblicke bei der ersten großen Belastungsprobe.

In Deutschland war der Brückenbau nach der mittelalterlichen Blüte fast zum Erliegen gekommen. Die geistlichen Würdenträger und weltlichen Herrscher standen den Ideen der Renaissance sehr skeptisch gegenüber, zumal das Land durch die





*Die Fleischbrücke in Nürnberg (1602 vollendet) ist eine der schönsten deutschen Renaissancebrücken. Vorbild war vermutlich die Rialtobrücke in Venedig (rechts), die über den Canal Grande führt und auf 10 000 in den weichen Untergrund gerammten Holzpfeilen ruht.*

Reformation und ihre Folgen in Aufruhr war. Schließlich brach auch noch der Dreißigjährige Krieg (1618–1648) aus. Daher gibt es nur ganz wenige Brücken aus jener Zeit. Wohl die schönste ist die 1602 fertiggestellte Fleischbrücke in Nürnberg. Sie ähnelt der berühmten Rialtobrücke in Venedig – wohl eine Folge der engen Handelsbeziehungen zwischen den beiden Städten.

Erst mit Beginn des 18. Jahrhunderts setzte wieder eine rege Bautätigkeit ein. In der Barockzeit entstanden nicht nur wunderschöne Schlösser und Kirchen, sondern auch Kunstwerke wie etwa die 1788 geschaffene Heidelberger Neckarbrücke und eine Vielzahl romantischer kleiner Bogen in den Tälern von Tauber, Kocher und Jagst. In der Bauweise ähneln sie den italienischen Renaissancebrücken, allerdings sind die Pfeiler bis zur Fahrbahn hochgezogen und bilden kleine „Kanzelbuchten“. Meist stehen hier die Statuen von „Brückenheiligen“, etwa des St. Nepomuk. Johann von Nepomuk war im 14. Jahrhundert Domherr in Prag und Beichtvater der Johanna von Böhmen. Deren eifersüchtiger Gemahl, König Wenzel IV., wollte den Inhalt ihrer Beichte wissen, aber Nepomuk wahrte trotz der Drohungen das

Beichtgeheimnis. Daraufhin ließ ihn der König 1393 von der Moldaubrücke hinabstürzen. 1721 wurde Nepomuk heiliggesprochen und ist seitdem einer der beliebtesten Brückenheiligen. Vor allem die Würzburger Marienbrücke verdankt ihren Reiz den zwölf barocken Brückenstatuen, die auf den Pfeilerkanzeln stehen.

Spätere Zeiten bauten auf den Grundlagen weiter, die die Renaissancegelehrten geschaffen hatten. Immer genauer durch-

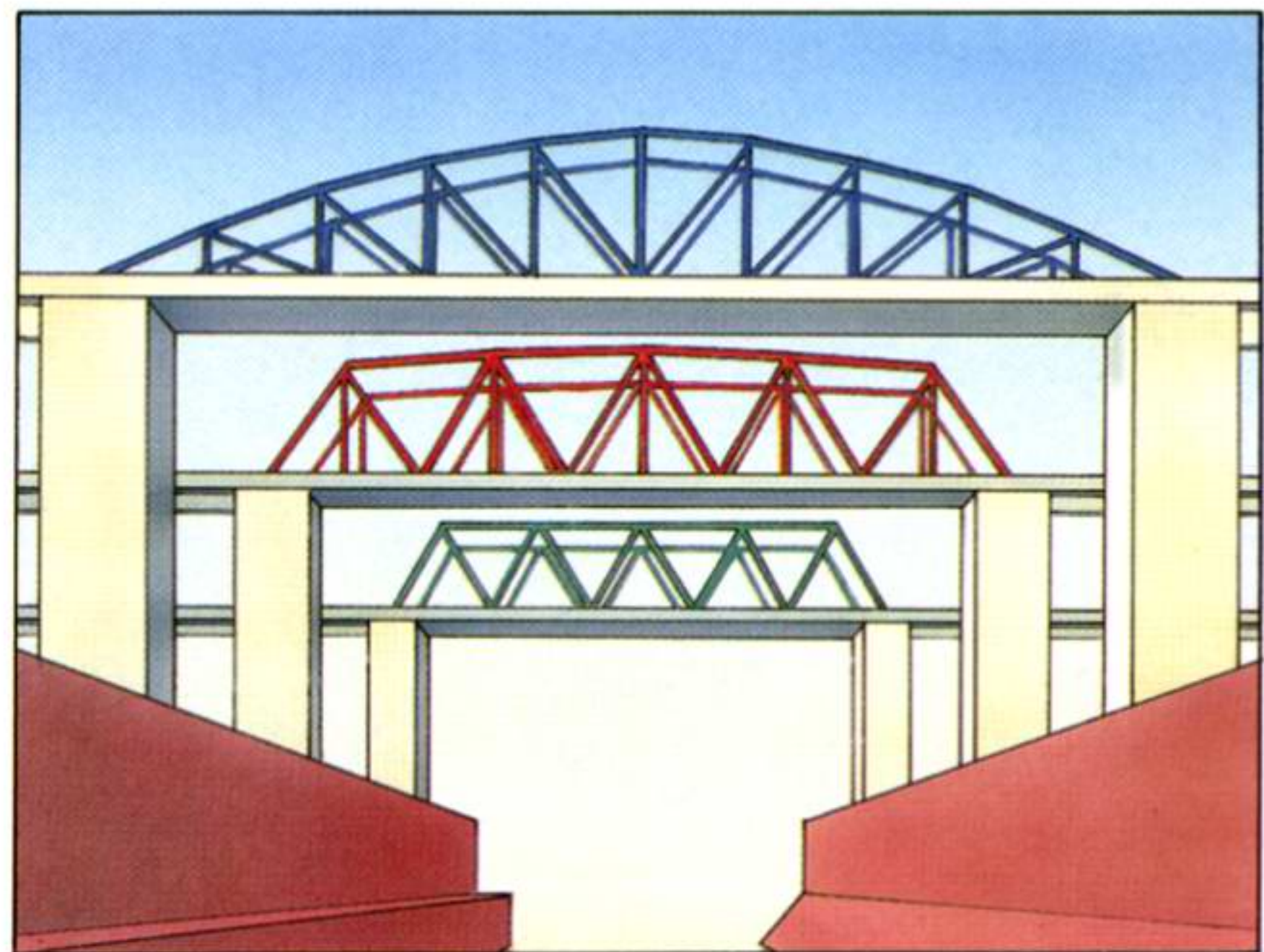
*In der Barockzeit wurden zahlreiche Brücken mit Statuen der Brückenheiligen verziert – hier die Karlsbrücke in Prag.*





schaute man die in einem Bau wirkenden Kräfte und Gesetze und erforschte die Festigkeitseigenschaften der Baustoffe. Der Philosoph und Mathematiker Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) und der englische Physiker Isaac Newton (1643–1727) entwickelten die Differential- und Integralrechnung, die sich als sehr wertvoll für die Berechnung von Bauten erwies. 1720 wurde in Paris das „Corps des ingénieurs des ponts et chaussées“ (Vereinigung der Ingenieure für Brücken- und Straßenbau) gegründet und 1747 die erste Ingenieurschule, die „Ecole des Ponts et Chaussées“ eröffnet, die noch heute existiert und Frankreich lange Zeit die Vorherrschaft im Brückenbau sicherte. Eine neue Zeit war angebrochen: Fortan bauten nicht mehr Architekten eine Brücke, sondern Bauingenieure, und die Tragwerke wurden vor der Verwirklichung berechnet und bemessen.

*Zum Himmel weist der heilige St. Kilianus auf der Marienbrücke über den Main in Würzburg. Im Hintergrund die Festung Marienberg.*



*Drei Formen von Fachwerkbalken: vorn Parabelträger, in der Mitte Halbparabelträger, hinten mit parallelem Ober- und Untergurt.*

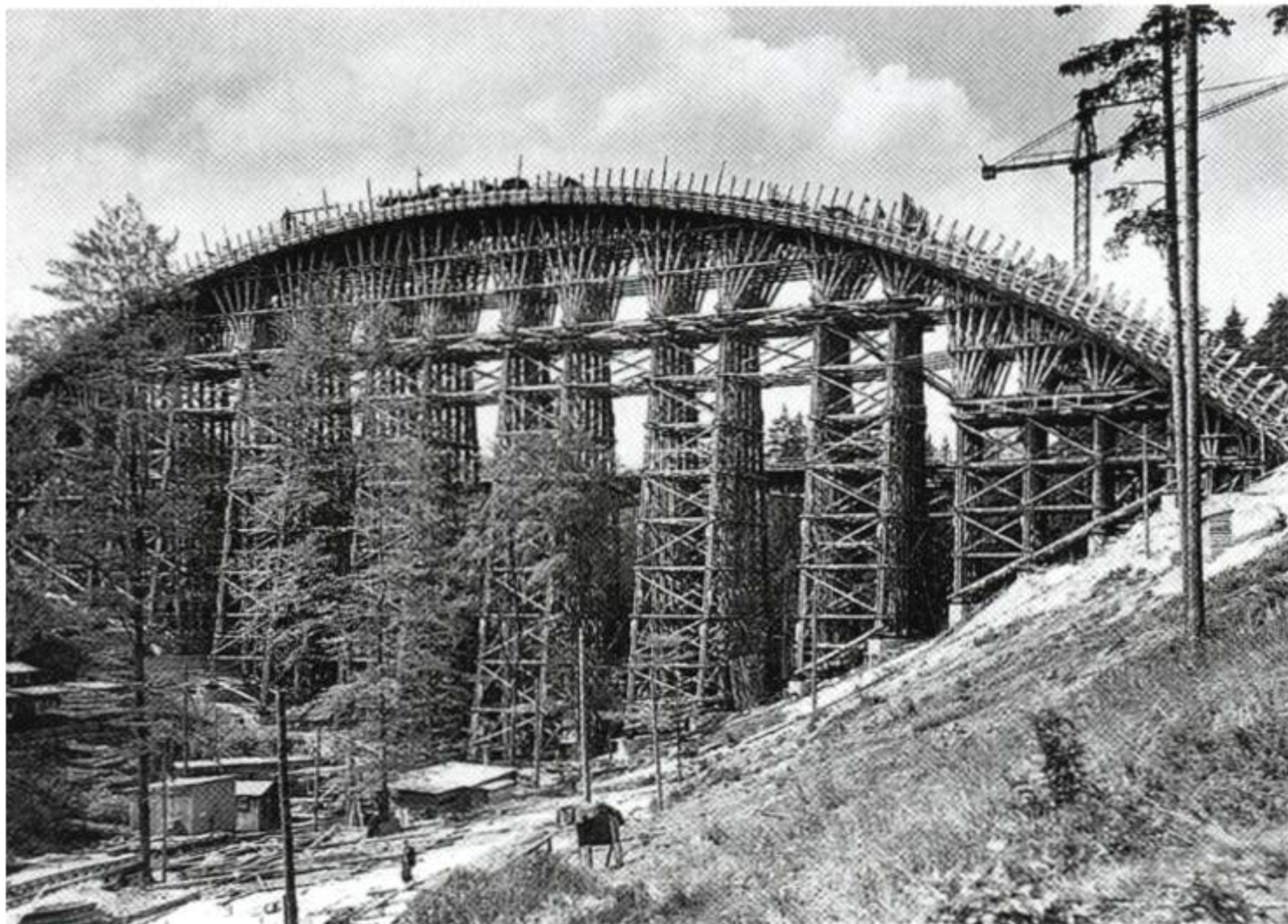
**Warum errichtete man auch große Holzbrücken?**

Seit dem Altertum bevorzugten die meisten Brückenbauer Stein wegen seiner Dauerhaftigkeit. In waldreichen Gebieten aber bot auch Holz Vorteile: Holzbrücken sind vergleichsweise billig; riß ein Hochwasser die Brücke weg, ließ sich schnell eine neue errichten.

Es lag nahe, die beim Bau der Steinbogen gewonnenen Erkenntnisse auf die Holzbrücken zu übertragen. Denn jede Steinbrücke benötigte ja ein tragfähiges hölzernes Lehrgerüst, das die Last des unfertigen Bogens aufnehmen mußte. So hatten schon die Römer die Kunst entwickelt, aus bogenförmig zusammengesetzten und verstreuten Holzbalken („Holzfachwerk“) sehr stabile Konstruktionen zu bauen. Solch ein Gerüst ließ sich ohne Probleme zu einer Holzbrücke vervollständigen.

Eine Blüte erlebte der Bau von großen Holzfachwerkbrücken in der Schweiz. Dort baute der Zimmermann Johann Ulrich Grubenmann (1709–1783) aus dem Kanton Appenzell zum Beispiel die Limmatbrücke bei Wettingen, die 60 Meter frei überspannt. Er konstruierte sogar eine Brücke mit 100 Meter Spannweite, die bei





*Das hölzerne Lehrgerüst der Teufelsbrücke der Autobahn Gera–Jena (1937) – ein Meisterwerk der Zimmerleute.*

Schaffhausen den Rhein überqueren sollte. Den Stadtvätern allerdings war sein Entwurf zu kühn. Sie trauten der Tragfähigkeit nicht und bestanden auf einem Mittelpfeiler. Angeblich baute Grubenmann ihn auch, ließ aber die Brücke frei darüber schweben. Nach einigen Wochen freilich dehnte sich das Holz, und die Brücke setzte sanft auf dem Pfeiler auf. Leider können wir dieses Wunderwerk nicht mehr besichtigen, denn 1799 steckten es französische Truppen in Brand.

*Die überdachte hölzerne Säckinger Brücke über den Rhein ist 200 Meter lang.*



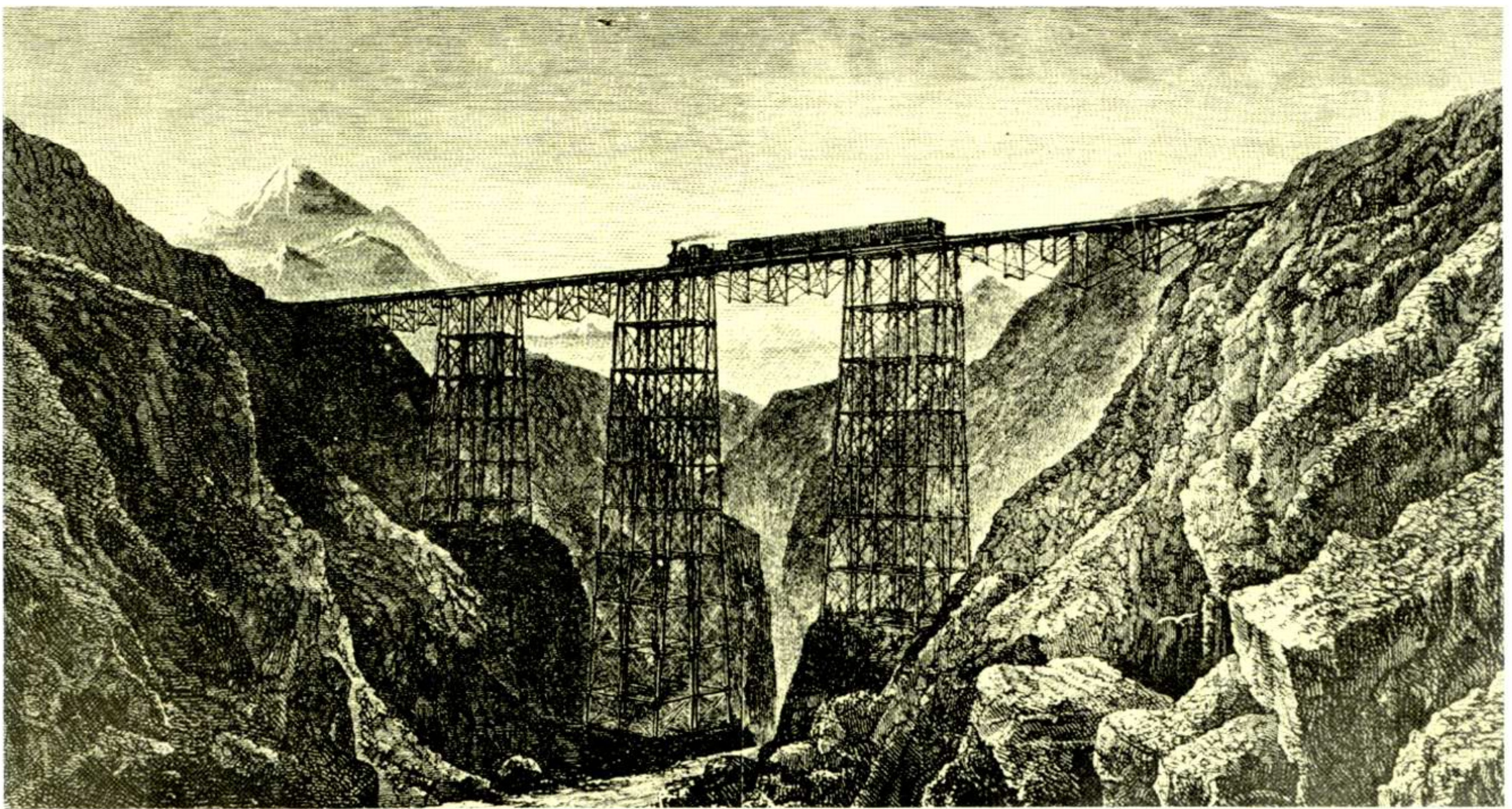
Trotz der Brandgefahr existieren in Deutschland, Österreich und der Schweiz heute noch etwa 200 große Holzbrücken. Die meisten tragen ein Ziegeldach, das Holzwerk, Fahrbahn und Passanten vor schlechtem Wetter schützt. Zu den eindrucksvollsten gehört die 200 Meter lange Säckinger Brücke, die über den Rhein hinweg Deutschland und die Schweiz verbindet. Die älteste ist die schon um 1330 erbaute, 200 Meter lange Kapellbrücke in Luzern (Schweiz).

Eine wichtige Rolle spielten Holzbrücken bei der Erschließung Nord- und Südamerikas für die Eisenbahn. Weil Lokomotiven keine großen Steigungen bewältigen können, muß eine Eisenbahnstrecke möglichst flach sein – und das erfordert in unebenem Gelände viele Erdarbeiten, Aufschüttungen, Tunnel und Brücken. Angesichts der vielen Schluchten und Flüsse in dem riesigen Land, der hohen Kosten und der langen Bauzeit kamen Steinbrücken nicht in Frage, Holz aber war ein leicht zu beschaffender und gleichzeitig billiger Baustoff. So entstanden gewaltige Balkenkonstruktionen, etwa die 260 Meter lange und 79 Meter hohe Brücke über den Portage-Fluß südlich des Eriesees in Ohio. Allerdings ließ bei vielen die Stabilität zu

*Die Kapellbrücke in Luzern (Schweiz) ist die älteste noch erhaltene große Holzbrücke – Baujahr: 1330.*







*Der Verruga-Viadukt in den peruanischen Anden, eine filigran wirkende Holzkonstruktion.*

wünschen übrig: Zwischen 1878 und 1895 stürzten, so eine amerikanische Statistik, 502 Brücken unter Zügen ein, also durchschnittlich 29 pro Jahr; eine Unzahl weiterer ging in Flammen auf.

Auch die ersten Eisenbahnlinien in Deutschland erforderten hohe Brückenkonstruktionen. Sie bestanden allerdings nur selten aus Holz, sondern meist aus Ziegel- oder Natursteinen. Zu den faszinierendsten dieser Großbauten gehören die noch heute benutzten Brücken über das Göltzschtal und das Elstertal bei Plauen in Sachsen. Sie wurden Mitte des vorigen Jahrhunderts für die Strecke von Leipzig über Hof nach Nürnberg errichtet und waren zu jener Zeit die höchsten der Welt. Allein das Lehrgerüst für den Göltzschtalviadukt verschlang 23 000 Baumstämme. Beide Brücken erinnern von der Form her an den Pont du Gard bei Nîmes. Sie übertreffen diesen zwar in der Belastbarkeit, aber nicht wesentlich in Länge und Höhe – nach fast 2000 Jahren erreichte damit der Brückenbau wieder den Anschluß an die Kunst der Römer.

Für die Arbeiter allerdings bedeutete der Bau der beiden Brücken eine gewaltige

Strapaze. Am Göltzschtalviadukt zum Beispiel mühten sich zeitweise 10 000 Handwerker und Ungelernte. Im Sommer mußten sie von 5 Uhr morgens bis 9 Uhr abends auf der Baustelle bleiben. Die Löhne waren sehr niedrig, die Arbeitsbedingungen schlecht. Weil die Brücke möglichst billig und schnell hochgezogen werden sollte, tat man wenig für die Sicherheit. So forderte allein die Göltzschtalbrücke 30 Menschenleben, und über tausend Arbeiter mußten ärztlich behandelt werden.

*Der Göltzschtalviadukt bei Plauen in Sachsen ist aus Ziegelsteinen gemauert.*









# Brücken aus Eisen und Stahl

Jahrhundertlang trug die Naturstein-Bogenbrücke Menschen und Pferde, Kutschen und Karren. Doch als das neue Verkehrsmittel Eisenbahn sich anschickte, die Welt zu erobern, zeigten sich bald die Grenzen dieser Bautechnik. Schon die ersten Züge wogen an die hundert Tonnen und waren weit schwerer und schneller als alles, was zuvor eine Brücke passiert hatte. Auch die Streckenführung stellte völlig ungewohnte Anforderungen:

## Welche Vorteile bietet Eisen als Baustoff?

Straßen schmiegen sich einer hügeligen Landschaft an, schlängeln sich von den Bergen hinunter zu den Tälern, überqueren auf einer verhältnismäßig kleinen Brücke einen Fluß und gewinnen wieder Höhe, um den nächsten Berg zu überwinden. Der Schienenstrang dagegen verträgt nur eine leichte Steigung, und auch das Gefälle der Trasse darf einen bestimmten Wert nicht übersteigen. Eine Eisenbahnstrecke durchschneidet daher die Landschaft, durchtunnelt Berge und überquert Täler auf hohen Brücken. Jeder Bach, jede Straße, jede Schlucht erfordert eine Brücke; weil so viele nötig sind, dürfen sie nicht teuer sein, und sie müssen hohe Lasten über große Spannweiten führen.

Es lag nahe, als Baustoff für die Brücken dasselbe Material zu wählen wie für die Schienen und Lokomotiven. Doch in der ersten Blütezeit des Eisenbahnbaus um 1850 war hochwertiges Eisen noch rar und teuer. Daher bevorzugten die meisten europäischen Länder und die Vereinigten Staaten zunächst auch für Bahnbrücken Holz oder Stein. Eine Ausnahme war England, zu jener Zeit der weltweit größte Eisenlieferant.

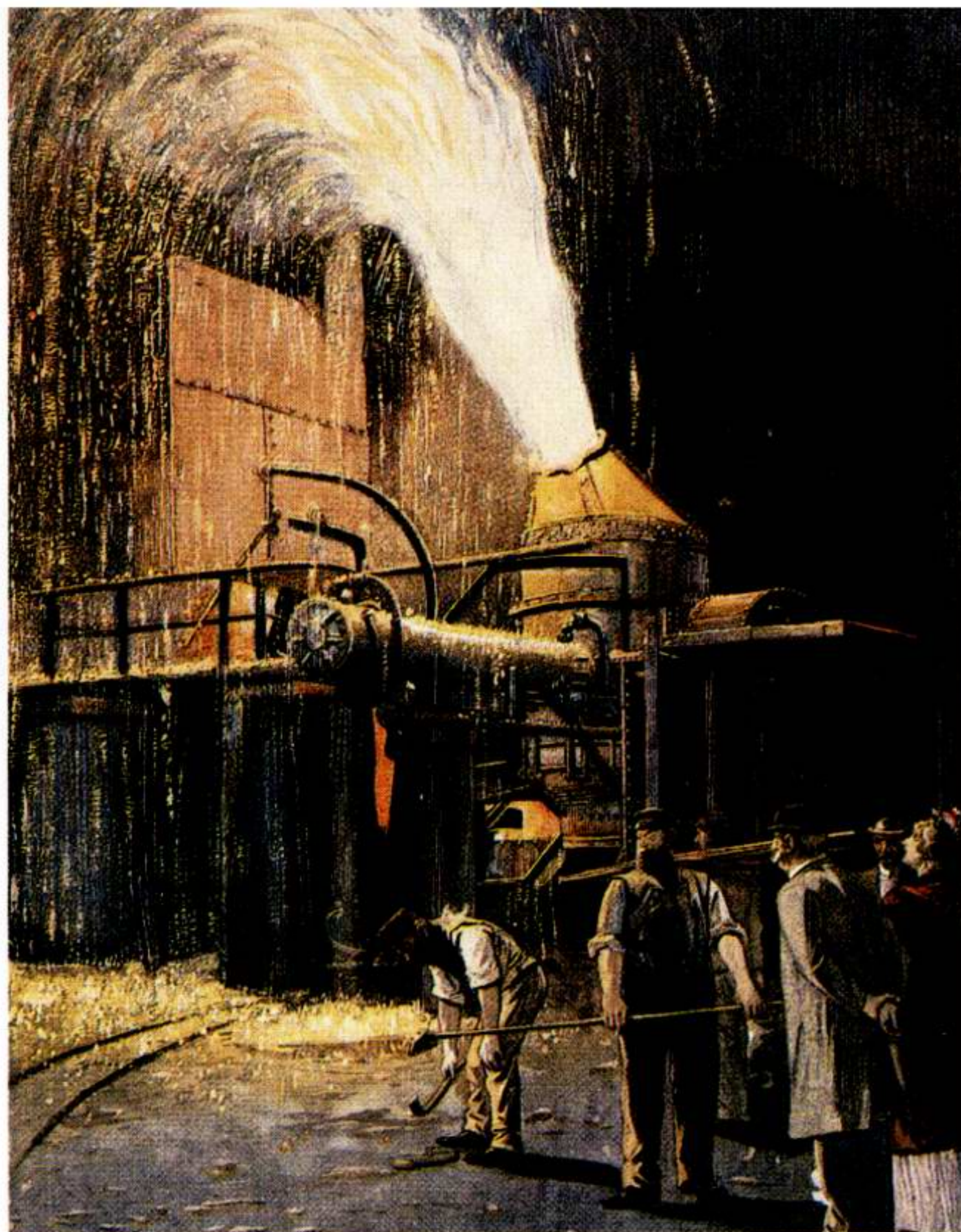
*Der amerikanische Brückenkonstrukteur Washington Roebling war durch einen Arbeitsunfall gelähmt. Dennoch leitete er vom Rollstuhl aus den Bau der Brooklynbrücke in New York, indem er die Arbeiten per Fernrohr verfolgte.*



Jahrtausendlang konnte man Eisen nur mühsam und in geringen Mengen erzeugen. Das eigentliche „Eisenzeitalter“ brach erst 1735 an. Damals gelang es einer Eisenhütte im englischen Städtchen Coalbrookdale am Severn-Fluß, das begehrte Metall mit Hilfe von Koks (entgaste Kohle) im Hochofen zu erzeugen. Jetzt war erstmals eine Massenproduktion möglich, und bald erprobte man die Eigenschaften dieses „Gußeisens“ für große Bauten.

In Coalbrookdale entstand deshalb auch die weltweit erste aus Eisenteilen bestehende Brücke, erbaut von dem Eisenverhütter Abraham Darby und dem Ingenieur Joseph Wilkinson. Seit 1779 überspannt sie den Severn-Fluß, heute steht sie als Nationaldenkmal unter Schutz. Allerdings ist Gußeisen spröde und verträgt ebenso wie Naturstein nur Druckkräfte. Deshalb griffen Darby und Wilkinson auf die bewährte Bogenform, bei der kaum Zugkräfte auftreten, zurück. Sie ließen die je 21 Meter langen Bogenrippen in Darbys Fabrik gießen und mußten diese an der Baustelle nur noch zusammensetzen.

Die erste deutsche Gußeisenbrücke nach dem englischen Vorbild wollte 15 Jahre



*Entkohlung des Roheisens in der Bessemerbirne. Die Fortschritte in der Stahlherstellung wirkten sich stark auf den Brückenbau aus.*

später ein Graf auf seinem Gut in Laasan im damaligen Niederschlesien errichten lassen. Doch als nach zwei Jahren der Guß der Teile beendet war, bemühte man



*Die noch heute existierende Coalbrookdale-Brücke über den Severn in England war als erste aus Gußeisenteilen zusammengesetzt.*





*Das Ingenieurteam um Robert Stephenson, dem Erbauer der Britannia-Brücke. Die Brücke ist im Hintergrund zu sehen.*

sich vergeblich, sie zusammenzubauen. Schließlich rief der Graf einen Techniker aus England herbei, der dann die mit 11 Meter Spannweite eher kleine Brücke aufstellte.

Manche der vielen kleinen Gußeisenbrücken, die im Laufe der Zeit nach dem Vorbild von Coalbrookdale gebaut wurden, stürzten wieder ein, weil Streben brachen. Die Zeit der großen Eisenbrücken begann erst, als man aus Roheisen zunächst Schmiedeeisen und schließlich Stahl in großen Mengen erzeugen konnte; Stahl und Schmiedeeisen sind wesentlich zäher und nehmen auch Zugkräfte auf. Auch auf diesem Gebiet war England führend.

All die altbekannten Brückenformen und -bautechniken wurden nun auf den neuen Werkstoff übertragen – die Hängebrücke, nun von Ketten oder dicken Stahlkabeln getragen, die Bogenbrücke aus zusammenge-nieteten Stahlprofilen und das von den Holzbrücken bekannte Fachwerk.

Einer der besten Brückenbauer Englands

#### **Wie entstand die Britannia-Brücke?**

war Robert Stephenson (1803–1859), der Sohn des Eisenbahnpioniers George Stephenson. Sein berühmtestes Werk

ist die Eisenbahnbrücke über die 400 Meter breite Menai-Meeressstraße zwischen Wales und der Insel Anglesey. Ursprünglich wollte Stephenson hier eine Bogenbrücke aus Gußeisen bauen, aber sie hätte die Durchfahrt der Schiffe behindert. So ersann er eine für die damalige Zeit höchst ungewöhnliche Konstruktion: Seine Brücke besteht aus zwei nebeneinander verlaufenden rechteckigen, aus schmiedeeisernen Blechen zusammenge-nieteten „Röhren“, in denen die Züge fahren; eine solche Kastenkonstruktion hat eine große „Biegesteifigkeit“. Jede Röhre ist neun Meter hoch und 4,40 Meter breit. Insgesamt halten mehr als 1,7 Millionen Nieten die Bleche zusammen! Die Brücke ruht auf Steinpfeilern und hat zwei Hauptöffnungen von je 141 Meter Spannweite.



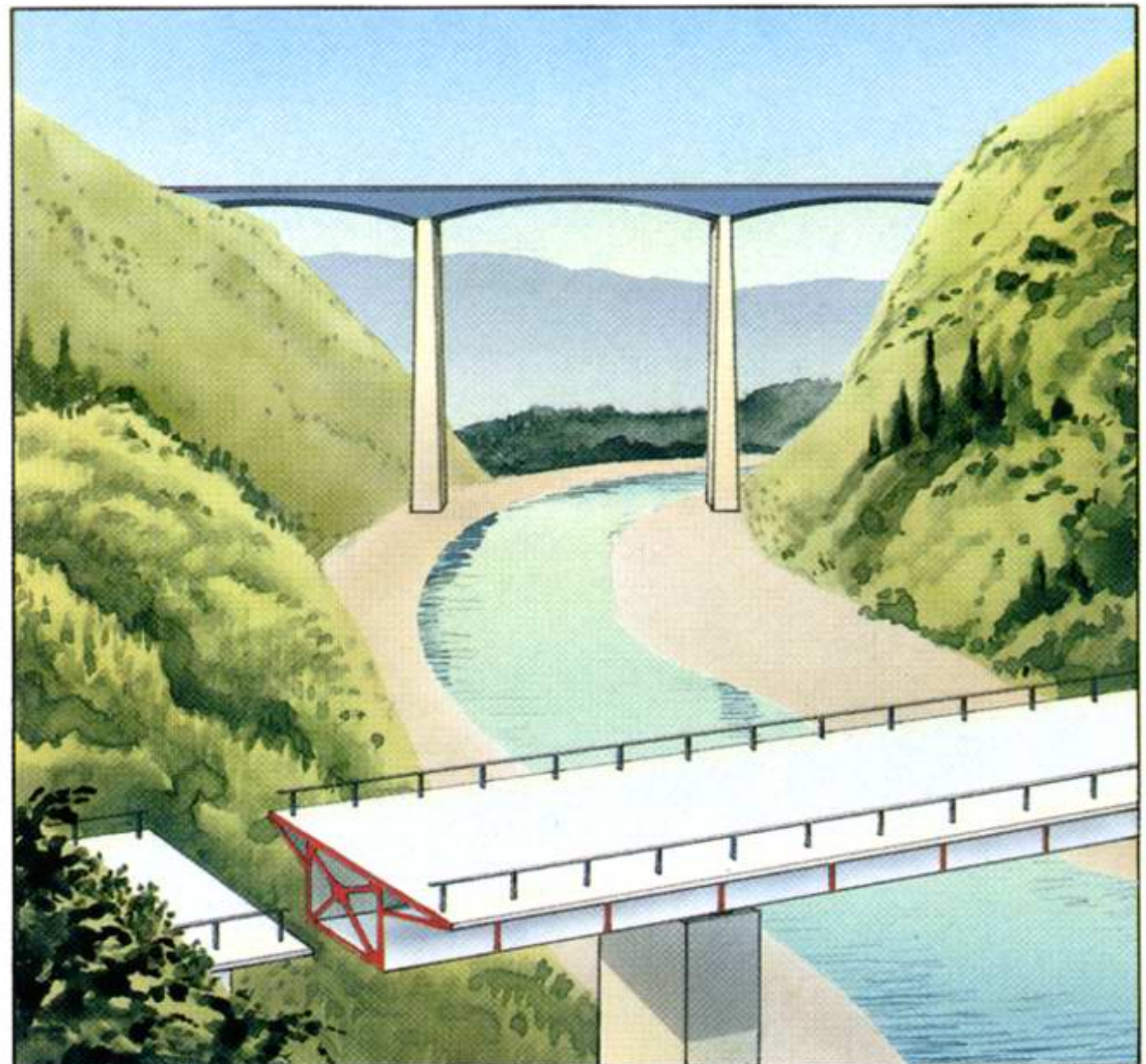
1850 fuhr der erste Zug zwischen den im ägyptischen Stil gehaltenen, von Steinlöwen flankierten Einfahrtstoren hindurch, und voller Stolz taufte er sein Werk auf den Namen „Britanniabrücke“.

Sie ist nicht nur wegen ihrer eigenwilligen Form bemerkenswert, sondern auch, weil bei diesem Projekt erstmals Experten unterschiedlicher Fachrichtungen zusammenarbeiteten. Dem Bau gingen umfangreiche Experimente, Messungen und Berechnungen voraus, deren Ergebnisse Stephenson in einem zweibändigen Werk veröffentlichte. Er ließ nicht nur ausführlich die Festigkeitseigenschaften verschiedener Eisensorten testen und von einem Mathematiker die Tragfähigkeit unterschiedlicher Bauformen berechnen, sondern führte auch Biegeversuche an einem 20 Meter langen Modell aus.

Auch beim Bau erwies sich Stephenson als Pionier. Zum Beispiel wurden die Röhren am Ufer zusammengebaut, dann auf Flößen zwischen die Pfeiler transportiert und mit hydraulischen Pressen emporgehoben.

Die meisten unserer großen Autobahnbrücken sind Verwandte jener Britannia-Brücke. Sie bestehen aus einem langgestreckten Kasten aus Stahl oder aus Spannbeton, der die Fahrbahn trägt.

*Neues Material – neue Bauformen: Eisen und Stahl sind auch auf Zug beanspruchbar und erlauben eine Fahrbahn innerhalb oder unterhalb eines Bogens.*



*Viele unserer Autobahnbrücken sind Kastenbrücken: vorne mit parallelem Ober- und Untergurt, hinten mit konkavem Untergurt.*

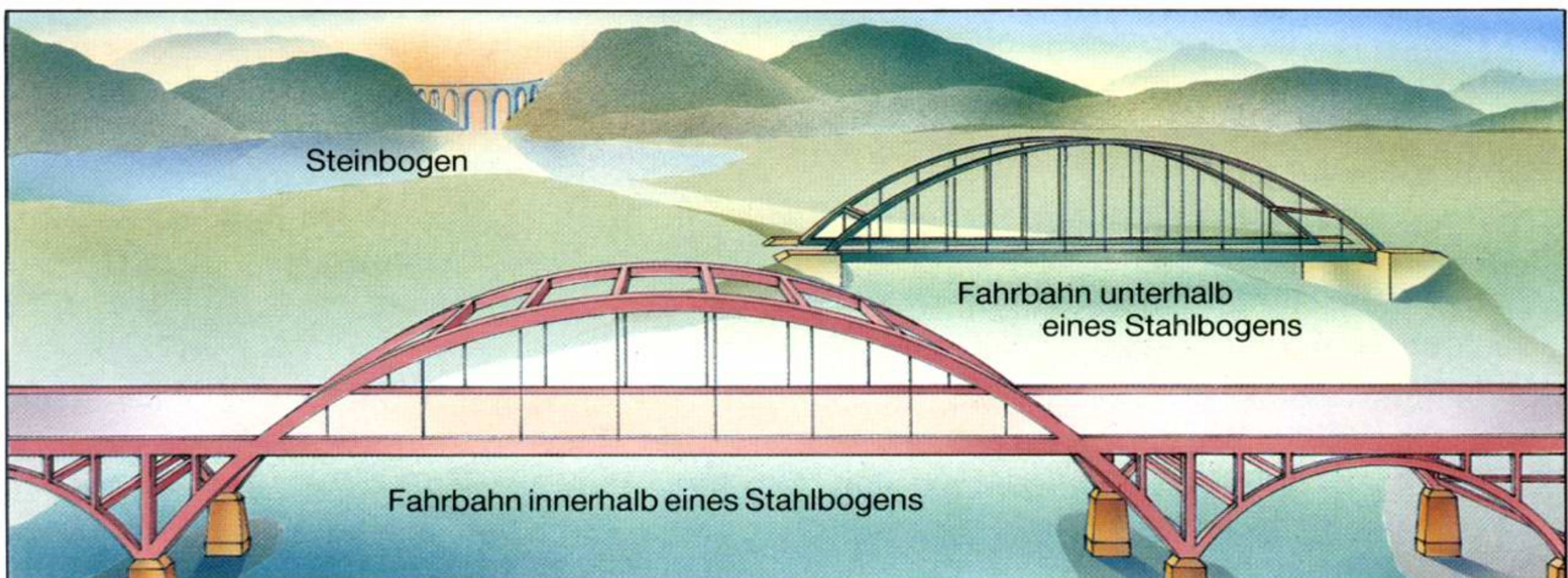
Zahlreiche Ingenieure versuchten in der

### Was ist ein Gerberträger?

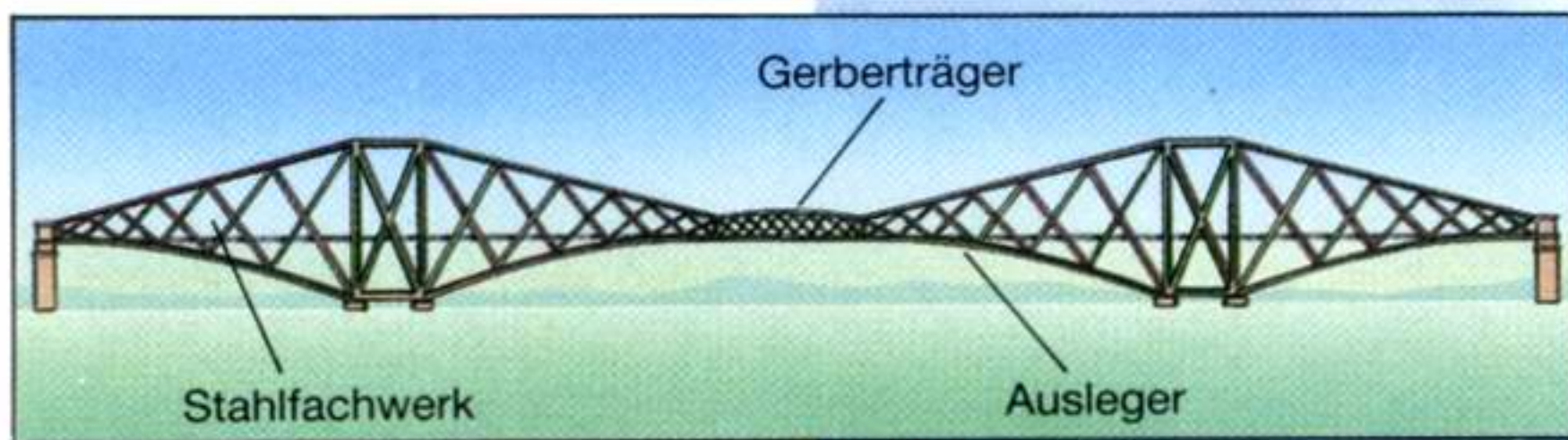
folgenden Zeit, mit immer neuen Konstruktionen die Möglichkeiten des Stahls auszuloten. Der Franzose Gustave Eiffel

(1832–1923) zum Beispiel war schon ein berühmter Brückenkonstrukteur, bevor er das Pariser Wahrzeichen aus Stahlfachwerk erbaute.

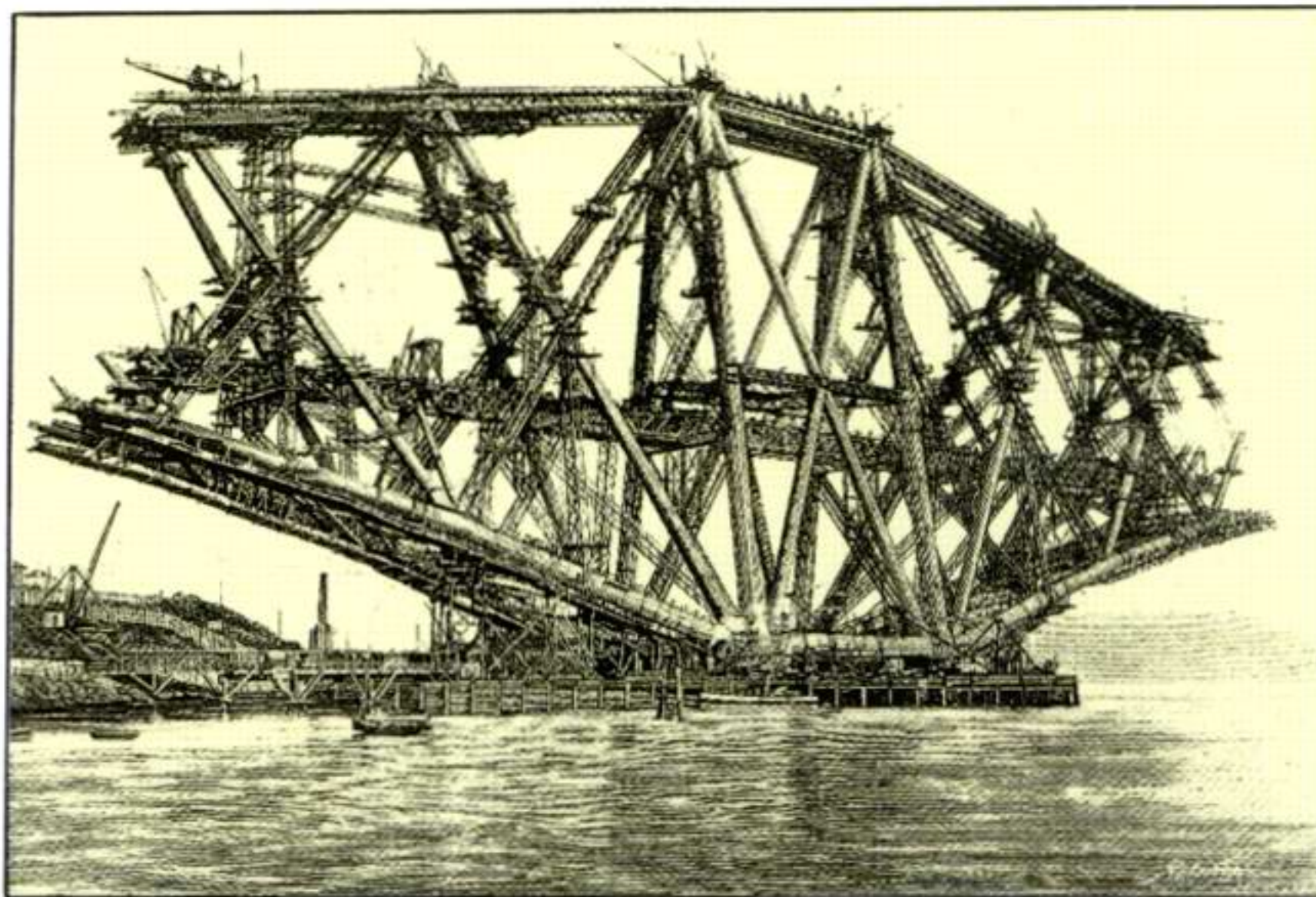
Die ersten Eisenbrücken modellierten den von den Steinbrücken bekannten Bogen







Die 2500 Meter lange Brücke über den Firth of Forth in Schottland (unten im Bau) besitzt weitauskragende Stahlfachwerkpfeiler, zwischen denen jeweils ein „Gerberträger“ (oben) eingehängt ist.



ziemlich exakt nach. Doch bald lernte man, die Vorteile des auch Zugkräfte aufnehmenden Stahls zu nutzen. Während zum Beispiel bei Steinbrücken die Fahrbahn stets oberhalb eines Steinbogens verlaufen muß, kann sie bei Eisenbrücken auf mit stählernen Stangen angehängten Balken unterhalb oder innerhalb der Stahlbogen „schweben“. Ohne Schwierigkeiten lassen sich mehrere Bogen kombinieren: Beim Fischbauchträger beispielsweise fängt der obere Bogen die Druckkräfte auf, während der untere Bogen auf Zug beansprucht wird.

Sogar die uralte Kragtechnik ließ sich mit dem echten Bogen verbinden. Der deutsche Ingenieur Heinrich Gerber (1832 bis

1912) entwickelte eine Bauform, bei der zwischen weitausladenden, aus Eisen- oder Stahlfachwerk errichteten Pfeilern ein vergleichsweise kleiner Balken, der „Gerberträger“, hängt. Auf diese Weise ließen sich nie zuvor erreichte Spannweiten bewältigen. Ein Beispiel ist die 1882 bis 1890 errichtete Brücke über die breite Flußmündung Firth of Forth in Schottland. Das gewaltige Bauwerk ist 2500 Meter lang und besitzt Spannweiten von 521 Metern; es hielt damit 27 Jahre lang einen Rekord. Erst 1917 verwies eine Brücke über den kanadischen Sankt-Lorenz-Strom mit 549 Meter Spannweite den schottischen Bau auf den zweiten Platz. Nicht alle jener damals verwirklichten Fachwerkkonstruktionen befriedigen das Schönheitsempfinden des Menschen. Manchen sieht man deutlich an, daß ihre Form vor allem von den mathematischen oder statischen Erfordernissen vorgegeben wurde. Balkenbrücken zum Beispiel wirken besonders elegant, denn bei ihnen verläuft die Trasse geradlinig und ungestört. Auch einen unter der Fahrbahn liegenden Bogen finden wir schön. Dagegen gelten manche Fachwerke, wie beispielsweise Fischbauchfachwerke, als ausgesprochen häßlich.



Wir können den Mut der damaligen Brückenbauingenieure

**Warum  
stürzte die  
Tay-Brücke  
ein?**

nur bewundern, die mit ihren Konstruktionen immer wieder versuchten, bis an die Grenze des tech-

nisch Möglichen vorzustößen. Rückschläge blieben nicht aus – so mancher Bau brach wieder zusammen.

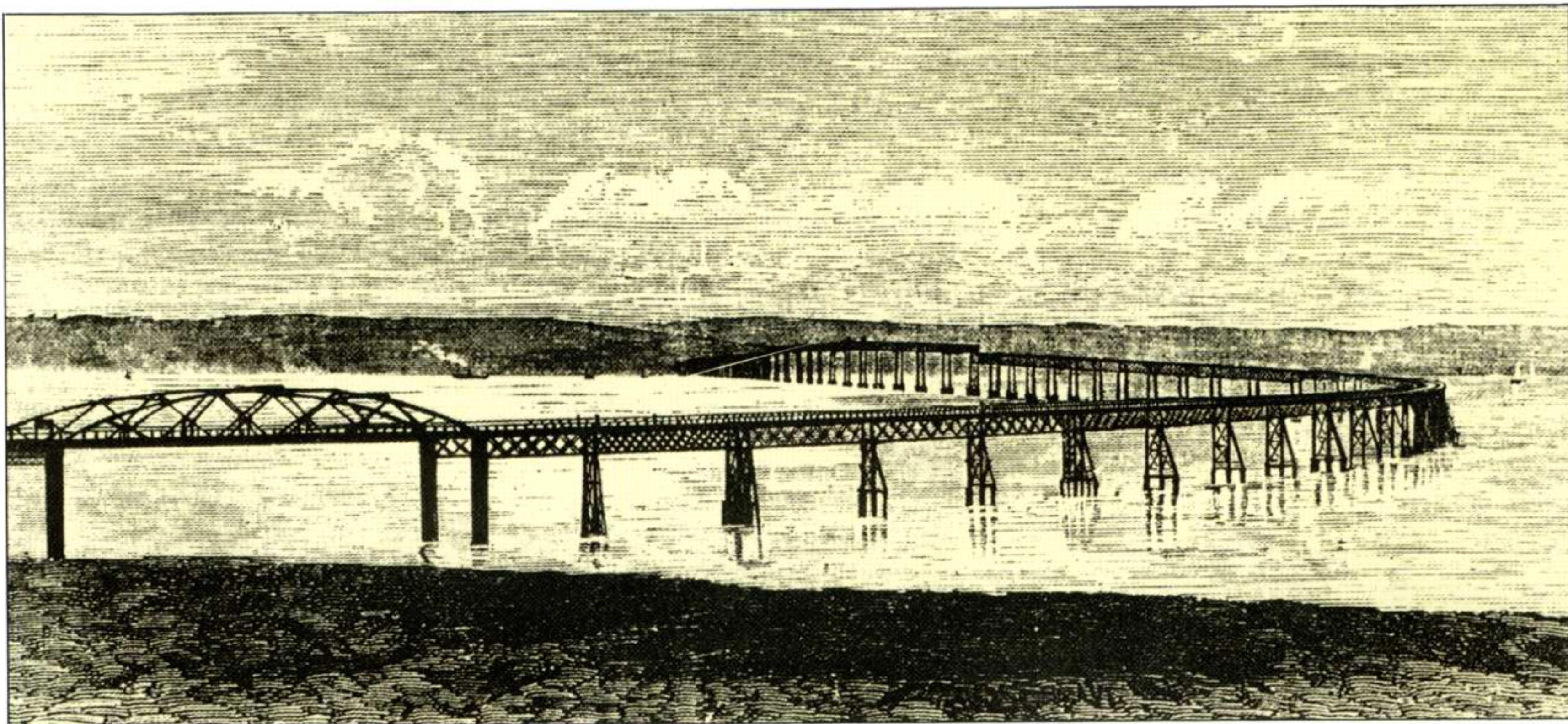
Eine der folgenschwersten Katastrophen war der Einsturz der Brücke über den Firth of Tay an der schottischen Ostküste zwischen den Städten Edinburgh und Dundee. Zeitungen und Illustrierte berichteten ausführlich darüber, und er ging sogar in die Literatur ein. Der deutsche Ingenieur

Max Eyth beschrieb die Hintergründe des Unglücks in seinem Roman „Hinter Pflug und Schraubstock“, und den Schriftsteller Theodor Fontane regte es zu seiner Ballade „Die Brücke am Tay“ an: „Tand, Tand ist das Gebilde von Menschenhand!“

Als die Brücke 1878 feierlich eröffnet wurde, galt sie mit 3155 Metern als die längste der Welt. 86 Pfeiler aus je sechs gußeisernen Säulen auf steinernen Fundamenten stützten die Stahlfachwerktröhre mit dem eingleisigen Schienenstrang, die sich in weitem Bogen über das Wasser zog.







*Der Einsturz der schottischen Tay-Brücke in einer Orkannacht riß einen ganzen Zug mit in die Tiefe – keiner der 75 Reisenden überlebte. Die 3155 Meter lange Brücke war bei ihrer Eröffnung die längste der Welt.*



Am 28. Dezember 1879, einem Sonntag, war nachmittags ein Orkan aufgekommen. Abends fuhr der aus Edinburgh kommende, mit 75 Personen besetzte Zug auf die Brücke. Plötzlich konnte der Brückenwärter die roten Schlußlichter nicht mehr sehen. Sofort versuchte er, beim Stellwerk am anderen Ufer telegrafisch anzufragen, ob der Zug durchgefahren sei – aber er bekam keine Antwort. Dies war das deutlichste Anzeichen, das für eine Katastrophe sprach, denn der Sturm konnte das Telegrafenkabel nicht zerrissen haben; es lag geschützt innerhalb der Brückenkonstruktion. Noch in der Sturmnacht tastete er sich ins Dunkel der Brücke hinaus – und stand plötzlich vor dem Nichts! Verschwunden war der gewaltige, nahezu ein Kilometer lange Hohlkasten des Mittelteils, ungehindert wogte die schaumbedeckte See und nur eine Reihe weißer Flecken zeichnete die Spur der Brücke nach – Brandung an den Resten der Fundamente. Verschwunden war auch der Zug, von der einstürzenden Brücke in die Tiefe gerissen, als ihre Pfeiler unter der doppelten Last des Zuges und des Orkans brachen. Keiner der Reisenden überlebte.





In jener Zeit waren viele Menschen in Europa vom festen Glauben an den Fortschritt und an den Sieg der Technik über die Natur erfüllt. Daher wirkte diese Katastrophe wie ein gewaltiger Schock, ähnlich wie einige Jahrzehnte später der Untergang der Titanic. Sofort begann eine ausführliche Untersuchung des Unglücks. Es stellte sich heraus, daß mehrere Ursachen zusammengekommen waren. Der verantwortliche Ingenieur, Sir Thomas Bouch, hatte bei weitem die Kräfte unterschätzt, die bei einem Orkan auf das Bauwerk einwirkten. Dazu kamen Konstruktionsfehler und Nachlässigkeiten beim Bau, die Folgen des Bestrebens, die Brücke möglichst schnell und billig zu vollenden. Bouch entzog man daraufhin alle Aufträge, und er grämte sich im folgenden Jahr im Alter von nur 58 Jahren zu Tode.

Ein ähnliches Schicksal erlitt wenige Jahre später ein deutscher Brückeningenieur. Die Münstener Brücke führt bei Solingen 107 Meter hoch über die Wupper. Diese höchste Eisenbahn-Bogenbrücke wurde erstmals im „freien Vorbau“ von den Pfei-

*Die Münstener Eisenbahn-Bogenbrücke, die höchste Deutschlands, überspannt bei Solingen in 107 Meter Höhe das Tal der Wupper.*

lern her zur Mitte, also ohne zusätzliches Gerüst, in Rekordzeit gebaut. Nur ein halbes Jahr dauerte die Montage des gewaltigen stählernen Bogens. Doch kurz vor der feierlichen Einweihung im Juli 1897 mit bekränzter Lokomotive und in Anwesenheit eines Preußenprinzen meinte der Chefingenieur, einen verhängnisvollen Rechenfehler entdeckt zu haben und stürzte sich voller Angst von der Brücke. Ein tragischer Tod – der heute fast hundertjährige Bau hält selbst den gegenwärtigen Verkehrsanforderungen stand.

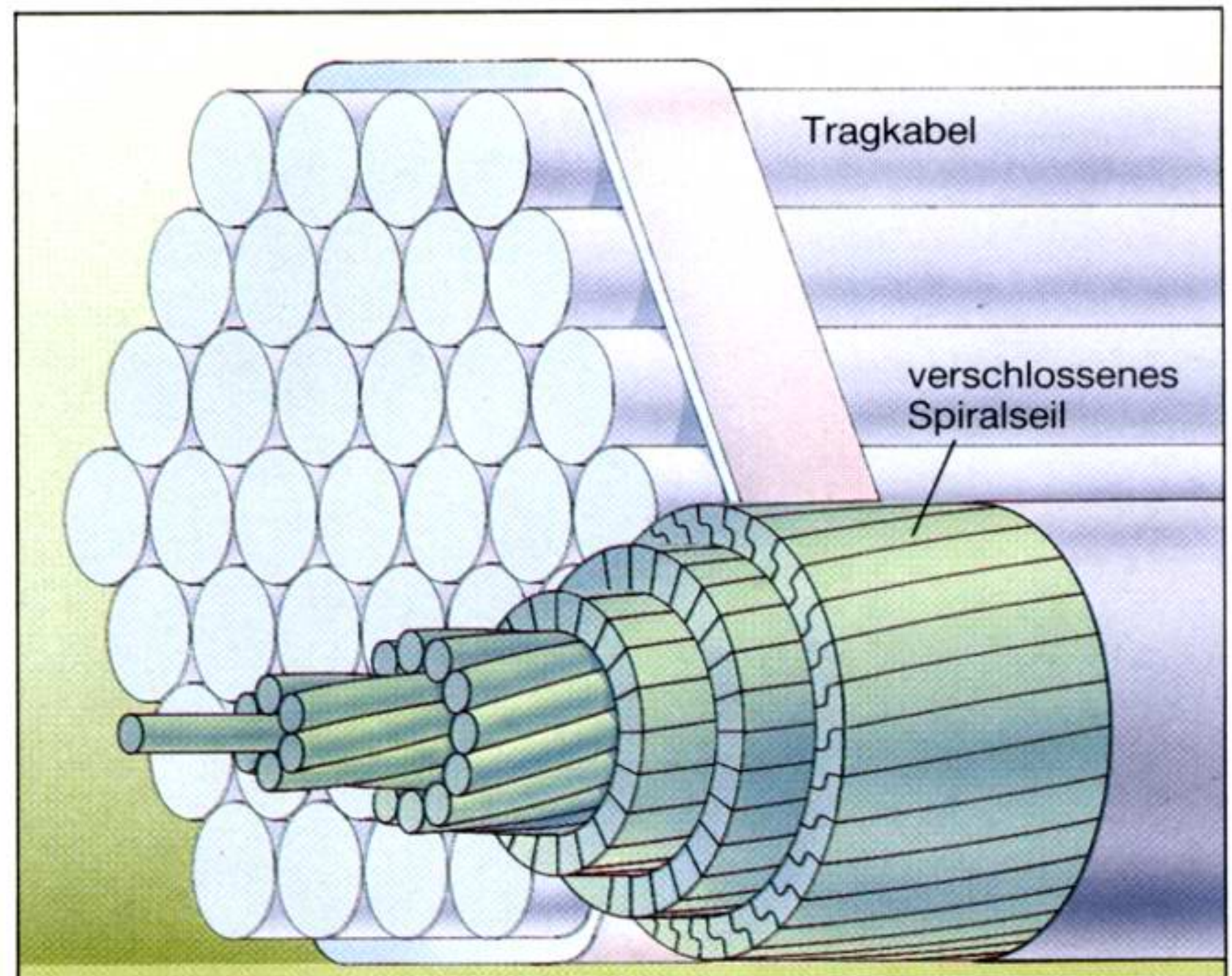
Spannweitenrekorde halten in aller Regel weder Stein- noch Betonbrücken, weder Balken- noch Bogenbrücken. Sie sind der „Königin der Brücken“ vorbehalten, der Hängebrücke mit Stahlseilen. Schon vor fast 2000 Jahren hängten die

**Wer baute die Brooklyn-brücke in New York?**



Chinesen Brücken von ansehnlichen Spannweiten an schmiedeeiserne Ketten. Die Lu-Ding-Brücke über den Dadu-Fluß in der Provinz Sichuan zum Beispiel ist 101 Meter lang. Allerdings folgt die Fahrbahn dem durchhängenden Verlauf der Kette. Bei den modernen Hängebrücken dagegen ist die Fahrbahn mit unterschiedlich langen Stangen oder Drahtseilen an den Tragketten oder -kabeln aufgehängt, so daß sie waagerecht verläuft. Die erste Kettenbrücke dieser Bauart erstellte der Amerikaner James Finley schon 1801 im US-Bundesstaat Pennsylvania. Sie hatte zwar nur 21 Meter Spannweite, fand aber bald Nachfolger. Zu den mit 175 Meter Spannweite größten gehört eine noch heute stehende Straßenbrücke über die Menai-Meerenge, über die 1826 feierlich die erste Postkutsche fuhr. Konstruiert hatte sie der englische Ingenieur Thomas Telford, der ursprünglich Schafhüter gewesen war und sich die Brückenbaukunst selbst beigebracht hatte.

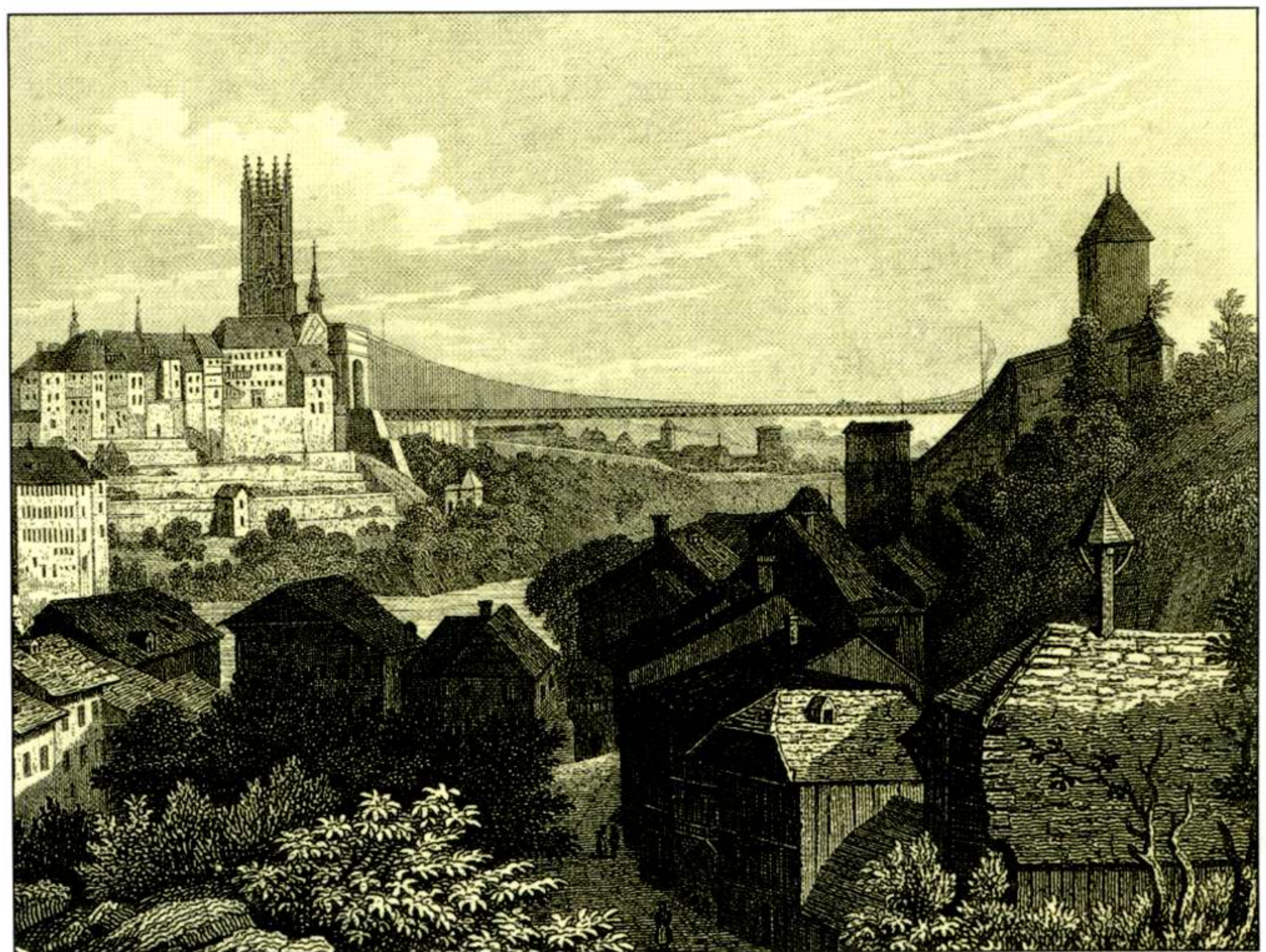
Die modernen Hängebrücken verwenden jedoch keine Ketten, sondern Drahtkabel,



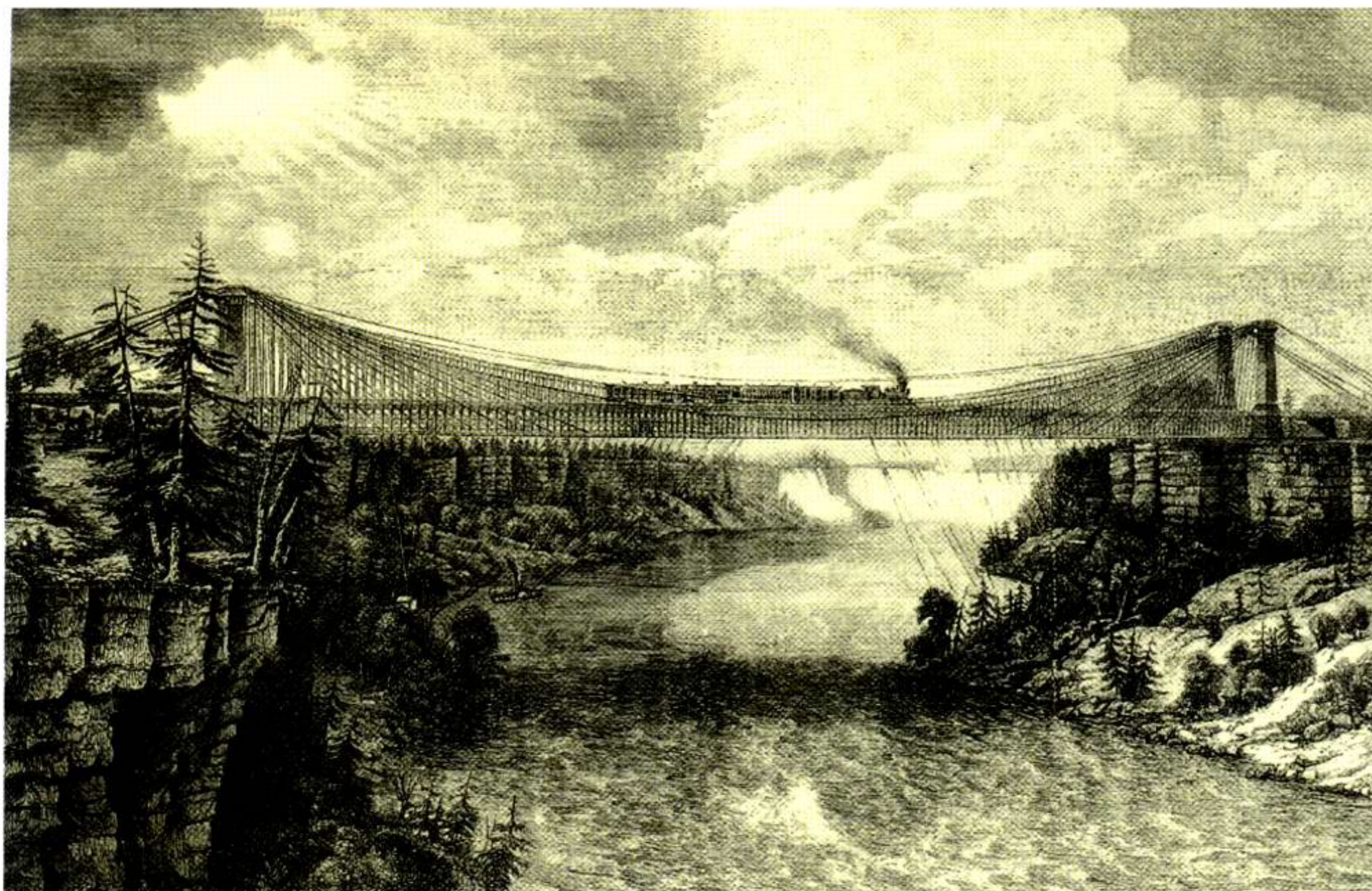
*Der Tragkabelstrang der Severinsbrücke in Köln. Er setzt sich aus 37 Seilen zusammen, die ihrerseits aus einer Vielzahl von verdrehten Stahldrähten bestehen.*

die aus Tausenden von dünnen, parallel-liegenden Stahldrähten (verdreht oder verflochten) zusammengesetzt sind. Das Drahtkabel hat der Schweizer Henri Dufour um 1820 erfunden. Schon 1834 überspannte eine Drahtkabelbrücke das 273 Meter breite Saanetal bei Fribourg.

*Eine der ersten Drahtkabel-Hängebrücken war die Saanetalbrücke bei Fribourg in der Schweiz – hier auf einem Stahlstich von 1850.*







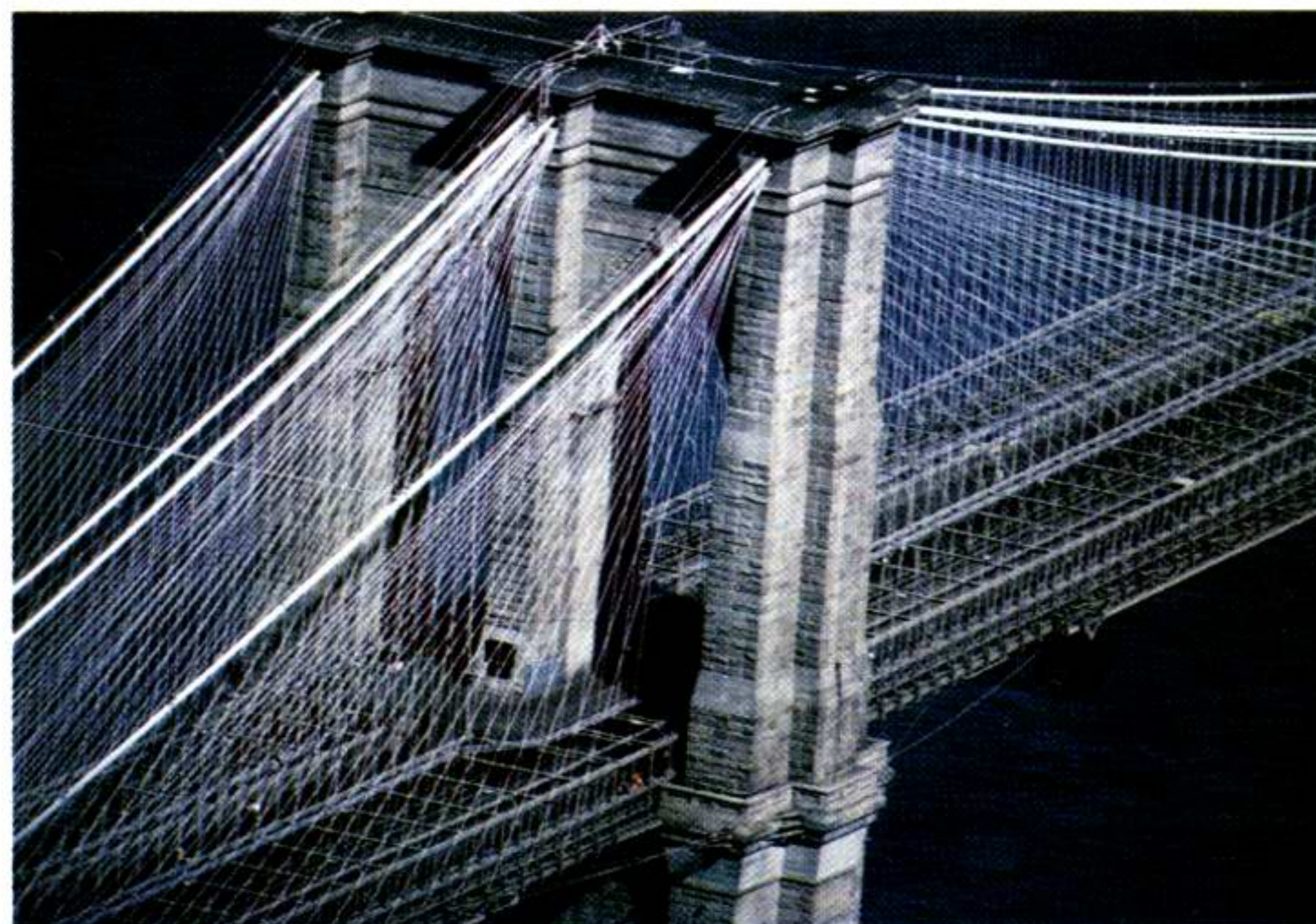
*Die erste große Brücke des Ingenieurs Johann August Roebling, eine zweistöckige Hängebrücke für Straßen- und Schienenverkehr über den Niagara.*

Doch die größten Hängebrücken entstanden bald darauf in Amerika, wo die vielen breiten Ströme besonders große Spannweiten forderten. Der berühmteste nordamerikanische Brückenbauer stammte ursprünglich aus Deutschland. Johann August Roebling wurde 1806 in Thüringen geboren, studierte in Berlin Architektur und Ingenieurwesen und wanderte 1831 in die Vereinigten Staaten aus. Dort gründete er erst eine Farmerkolonie, wurde dann Vermessungsingenieur beim Kanalbau, baute schließlich eine Drahtkabelfabrik auf und beschäftigte sich mit dem Brückenbau. Damals waren bereits mehrere Hängebrücken dem Wind zum Opfer gefallen. Seine Hauptsorge galt daher besonderen Versteifungen und Verspannungen, die seine Bauwerke windsicher machen sollten. Sein erster großer Erfolg war eine Hängebrücke etwas unterhalb der Niagarafälle, die 246 Meter Spannweite besaß und in zwei Stockwerken Straßen- und Eisenbahnverkehr trug. Berühmt aber wurde er durch die Brooklynbrücke in New York, die über den East River hinweg die Stadtteile Brooklyn und Manhattan verbindet. Ein gewaltiger Bau: Schon die Spannweite von 486 Metern war für die damalige Zeit unglaublich, und die aus Granitblöcken gemauerten Portale, die die bis zu 40 Zentimeter dicken Stahldrahtkabel tragen,

sind höher als die Türme der Münchner Frauenkirche.

Johann August Roebling kam schon kurz nach Beginn der Arbeiten (1869) durch einen Unfall ums Leben. Er hatte aber die Pläne fertig ausgearbeitet, und sein Sohn Washington übernahm den Bau der Brücke. Doch auch ihn traf ein tragisches Schicksal. Für die Gründung der Pfeiler wandte er das damals neue „Druckluftkammervverfahren“ an: Eine abgedichtete, nur unten offene Holzkammer wurde zum Flußgrund hinabgelassen und das Wasser durch Druckluft aus ihr herausgepreßt;

*Gewaltige, aus Ziegelsteinen gemauerte Pfeiler tragen die Drahtkabel, an denen die Brooklynbrücke hängt.*



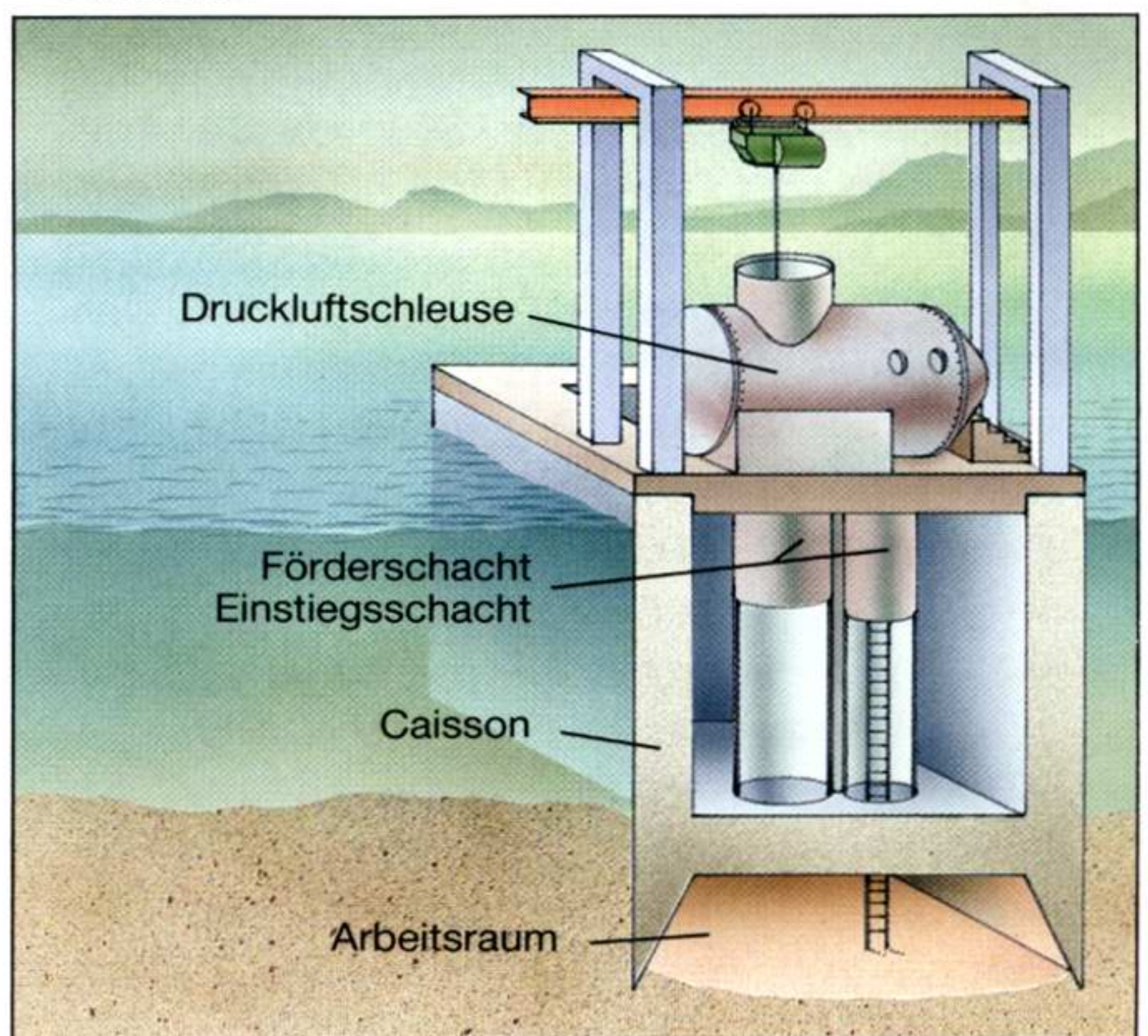




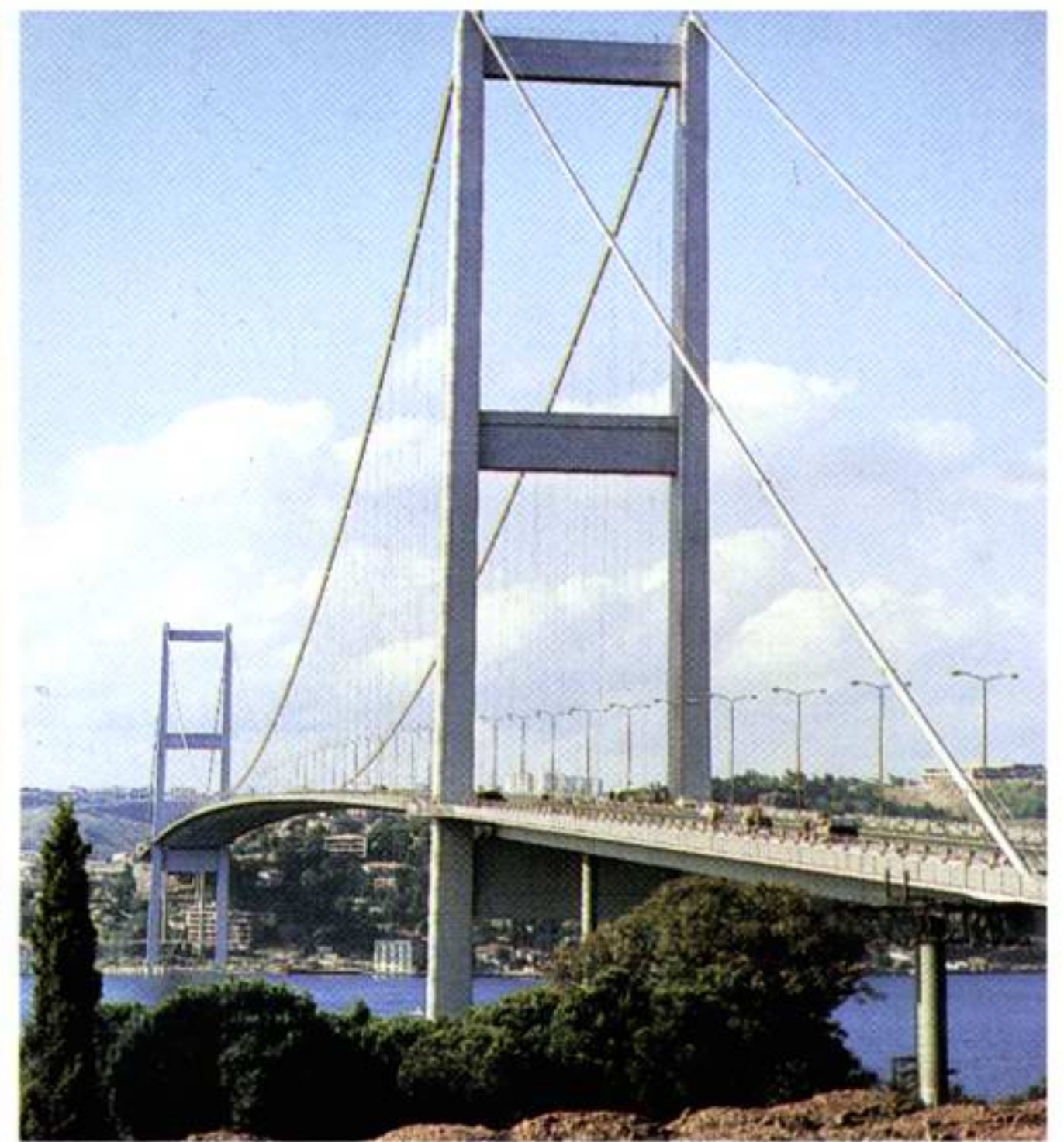
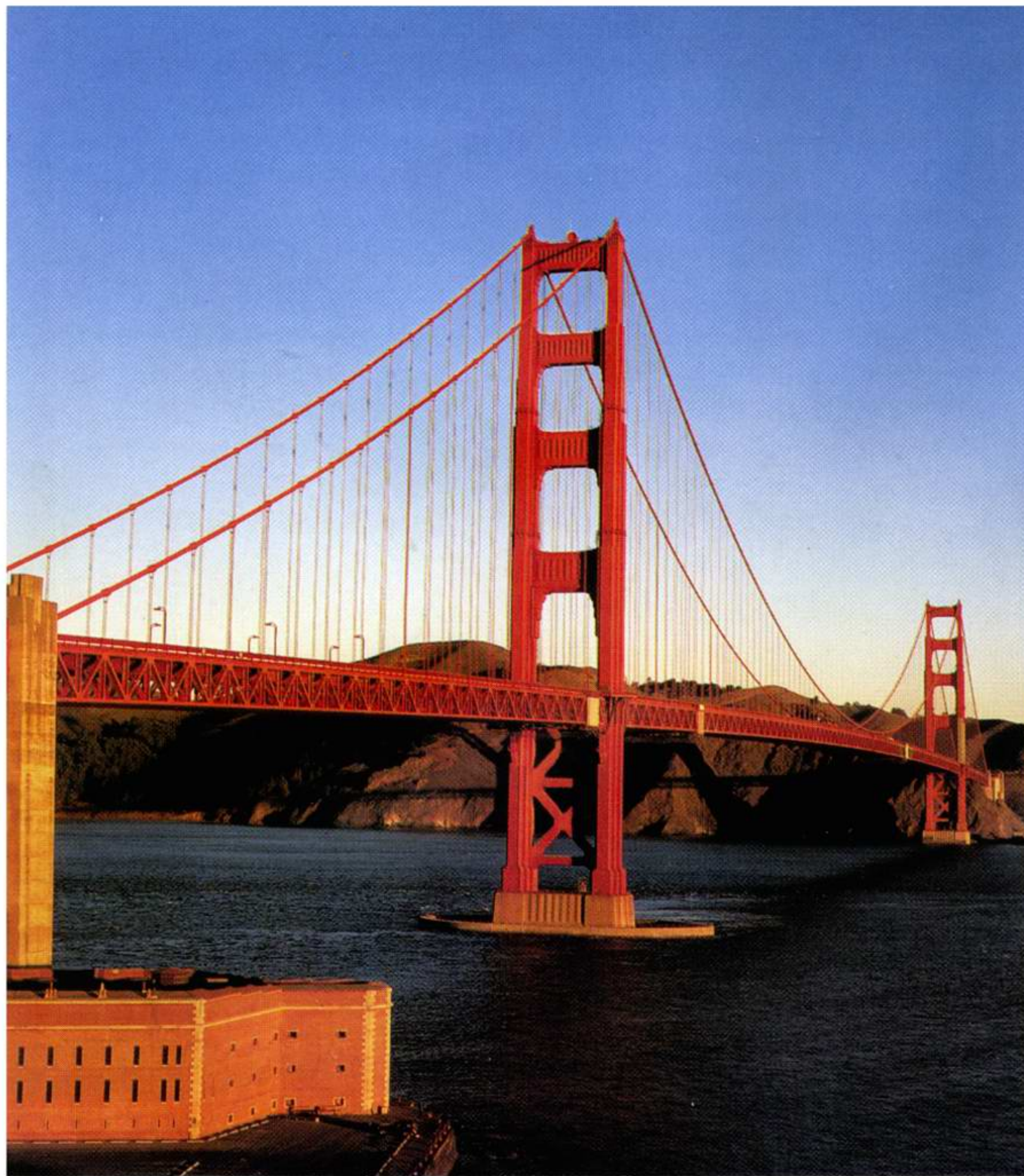
über einen senkrechten Einstiegsschacht mit Luftschleuse konnten die Arbeiter diesen „Caisson“ betreten. Sie mußten allerdings bei Petroleumlicht in dem erhöhten Luftdruck arbeiten, und das war nicht ungefährlich. Wurden sie zu rasch ausgeschleust, litten sie unter Atemnot, Blutungen aus Mund und Nase, Bewußtlosigkeit und Lähmungen. Viele starben sogar an dieser „Caissonkrankheit“. Auch Roebling wurde ihr Opfer und war seitdem – erst 35jährig – gelähmt. An den Rollstuhl gefesselt, leitete er dennoch weiterhin den Bau und verfolgte die Fortschritte per Fernrohr von seinem Fenster aus. Seine Frau pendelte ständig zwischen ihm und der Baustelle hin und her und überbrachte seine Anweisungen. Seine Willenskraft war bewundernswert – und von Erfolg gekrönt: Nach 14 Jahren Bauzeit eröffnete 1883 der amerikanische Präsident die Brücke. Sie blieb für 20 Jahre die längste Hängebrücke der Welt und galt als achtes Weltwunder.

*Die inzwischen über 120 Jahre alte Brooklyn-Hängebrücke über den East River vor den Wolkenkratzern New Yorks.*

*Querschnitt durch einen „Caisson“. Über einen senkrechten Schacht mit Luftschleuse können Arbeiter den unter Druck stehenden Raum erreichen.*







Viele amerikanische Brückenbauer übernahmen die Bauweise Roeblings, und die USA waren bald das Land der Hängebrücken. In New York überschritt 1931 die George-Washington-Brücke über den Hudson River mit ihrer Spannweite erstmals die 1000-Meter-Marke. 1937 entstand die Golden-Gate-Brücke bei San Francisco mit ihren 210 Meter hohen, vierfach abgestuften Stahlpylonen; sie ist für viele die schönste Brücke der Welt. Die Verrazano-Narrows-Brücke verbindet seit 1964 mit 1300 Meter Spannweite Brooklyn und Staten Island.

Nicht ganz so groß wie diese amerikanischen Bauten ist die 1973 erbaute Hängebrücke über den Bosphorus, die seit der Schiffsbrücke des Darius an dieser Stelle die erste feste Verbindung zwischen Europa und Asien darstellt. Den Rekord aber hält seit 1981 mit 1410 Metern die

*Die „Königin der Brücken“ in vielerlei Gestalt: links die Golden-Gate-Brücke bei San Francisco, rechts oben die Brücke über den Bosphorus, darunter die New Yorker George-Washington-Brücke über den Hudson River.*

Humber-Brücke in Ostengland – ihre Pylonen sind 162 Meter hoch. Die japanischen Inseln Honshu und Shikoku wird ab 1998 die Akashi-Kaikyo-Brücke mit 1990 Meter Spannweite verbinden.

Bevor die Hängebrücke zur „Königin der Brücken“ werden konnte, mußten freilich einige Probleme gelöst werden. Hängebrücken sind recht empfindlich gegen

**Was wurde der Tacoma-Brücke zum Verhängnis?**

Seitenwind; geraten sie ins Schwingen, stürzen sie leicht ein. Etwa ein Dutzend Hängebrücken sind diesem Mechanismus bereits zum Opfer gefallen.



1940 ging der Einsturz der damals fünftgrößten Hängebrücke der USA, der Tacoma Narrows Bridge im US-Bundesstaat Washington, durch alle Zeitungen und Wochenschaun. Von diesem Unglück gibt es sogar einen Film, weil schon zuvor Zweifel an der Stabilität des Bauwerks aufgekommen waren und es deshalb ständig beobachtet wurde. Am 7. November war diese Brücke erst seit vier Monaten eröffnet. Es blies ein kräftiger Wind, und plötzlich begann die über 800 Meter lange Fahrbahn der Hauptöffnung immer stärker hin- und herzuschaukeln. Ein Auto, das gerade die Brücke passierte, wurde gegen das Geländer geschleudert. Die Insassen Joe Arlington und seine Frau sprangen heraus und krochen am Geländer entlang zum rettenden Ufer, wobei sie sich immer wieder anklammern mußten, um nicht von der Brücke zu stürzen. Gerade hatten sie festen Boden erreicht, als die Schwingungen so groß wurden, daß die Hängeseile rissen, und mit einem gewaltigen Krachen alles in die Tiefe stürzte.

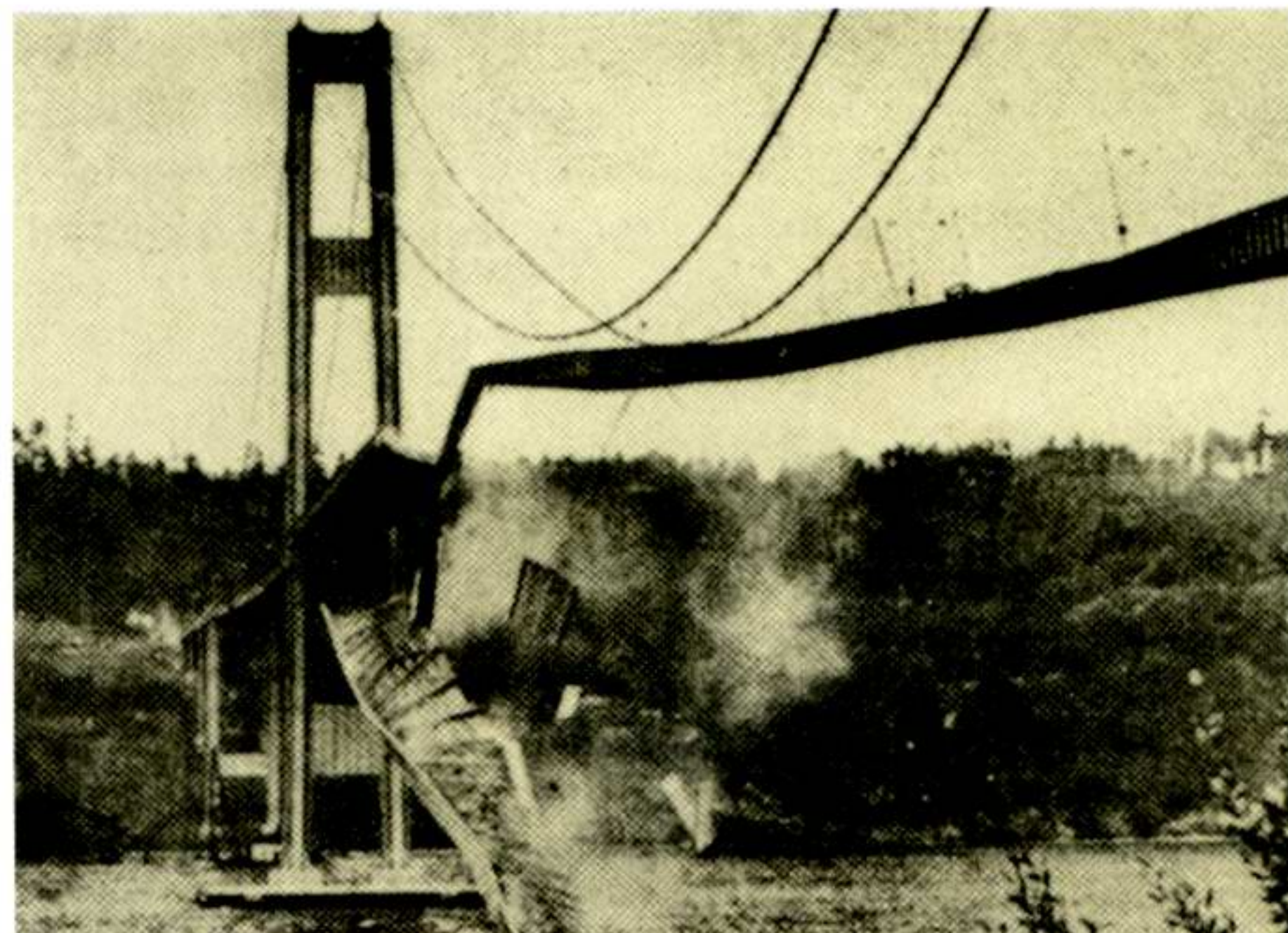
Die Brückeningenieure zogen schnell Konsequenzen aus diesem Einsturz. In Amerika baute man deshalb mächtige, torsionssteife (verdrehungssichere) Fachwerk-Kastenträger. In Europa aber entwickelte man mit Versuchen im Windkanal windschnittige flache Querschnitte, um die Ursache der Schwingungen – nämlich die Windwirbel – zu vermeiden.

Bei einer echten Hängebrücke sind die

**Was ist eine Schrägkabelbrücke?**

Tragkabel jenseits der Pylone im Boden verankert; die Brücke hängt an den bogenförmig geschwungenen Ka-

beln zwischen den Tragfeilern. Daneben gibt es die „Schrägkabelbrücke“, bei der die Fahrbahn mit vielen schrägen Kabeln an hohen Pylonen aufgehängt wird. Die Kabel sind fächer- oder harfenartig ange-

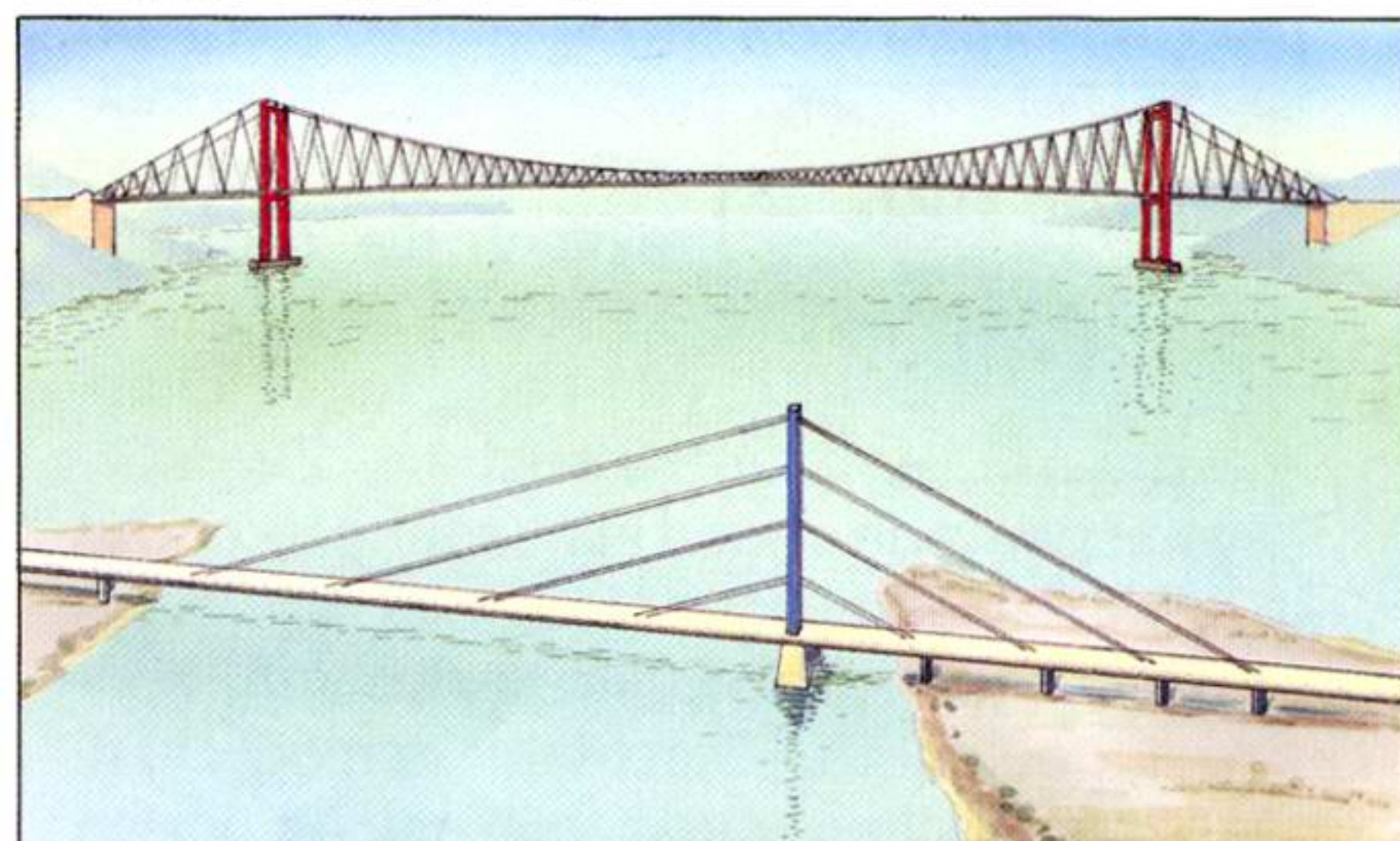


*Der Einsturz der Tacoma-Narrows-Brücke. Ursache war ein Konstruktionsfehler: Die Brücke geriet durch den Wind ins Schwingen.*



*Der Fachwerk-Kastenträger der wiederaufgebauten Tacoma-Narrows-Brücke.*

*Bei einer Schrägkabelbrücke sind die Tragkabel fast gerade, bei der herkömmlichen Hängebrücke dagegen bogenförmig.*





ordnet und stark gespannt, so daß sie fast gerade (also fast nicht durchgebogen) verlaufen. Bei dieser Konstruktion kann der Brückenträger unter der Fahrbahn ungewöhnlich schlank sein.

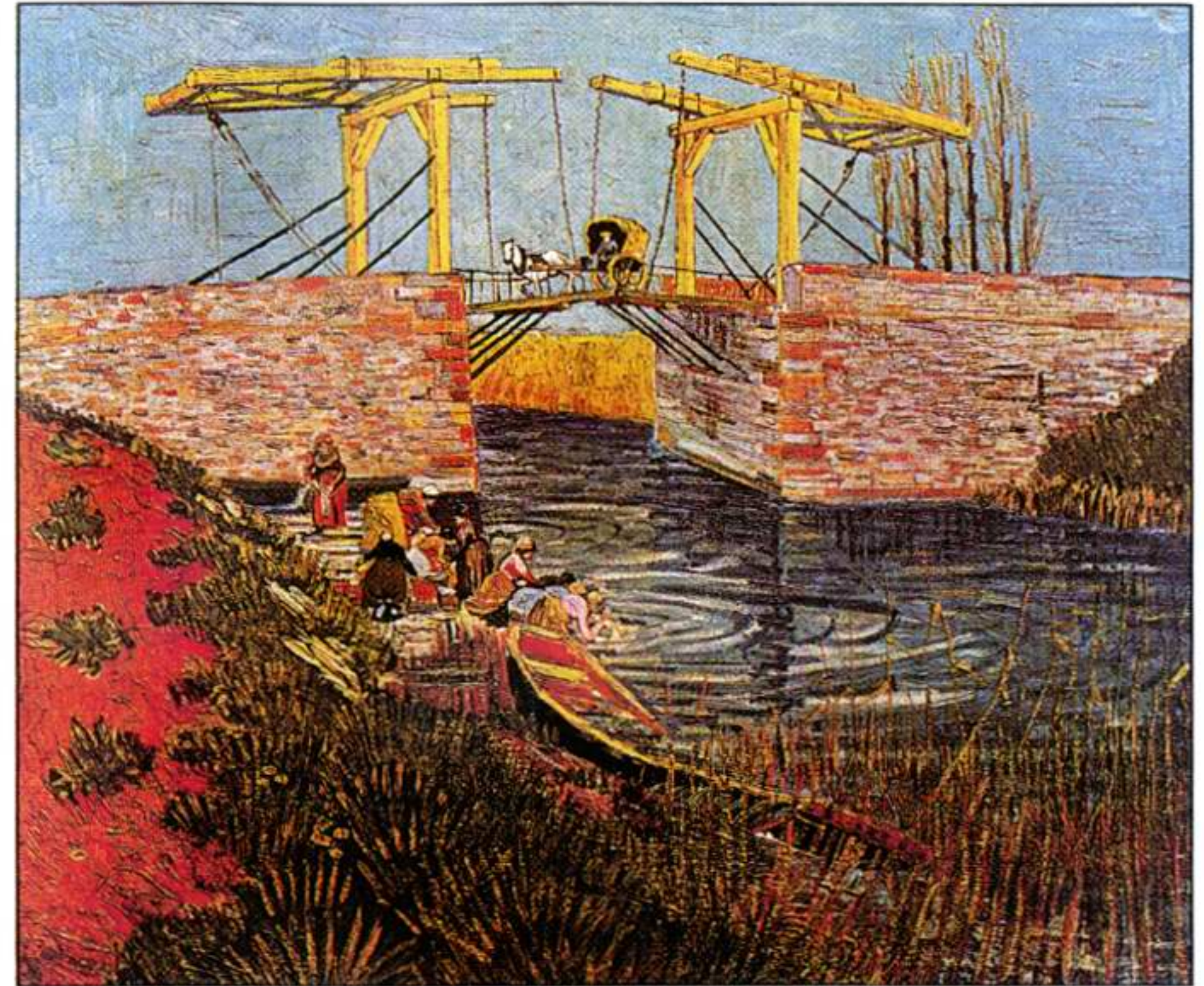
Kurz vor Ende des Zweiten Weltkriegs wurden fast alle Rheinbrücken zerstört. Als sie Anfang der fünfziger Jahre wieder aufgebaut werden sollten, erwies sich die zuvor selten verwendete Schrägkabelbauform als besonders wirtschaftlich. Die erste der vielen Schrägkabelbrücken, die inzwischen die Rheinufer verbinden, war die Theodor-Heuss-Brücke in Düsseldorf. Die zur Zeit größte deutsche Schrägkabelbrücke ist die Rheinbrücke in Düsseldorf-Flehe mit 368 Meter Spannweite. Bei Honfleur an der Mündung der Seine ist sogar eine Schrägkabelbrücke mit 856 Meter Spannweite im Bau.



*Die Autobahnbrücke bei Düsseldorf-Flehe. Sie ist mit 368 Meter Spannweite zur Zeit die größte deutsche Schrägkabelbrücke.*

Wenn sich vor Jahrhunderten ein Burgherr vor Feinden schützen wollte, ließ er einfach die Zugbrücke über den Burggraben hochziehen. Ähnliche Zugbrücken finden sich in den Niederlanden und in Ostfriesland. Hier sollen sie allerdings nicht Feinden den Zutritt verwehren, sondern Booten die Durchfahrt ermöglichen. In dem flachen Land mit seinen vielen

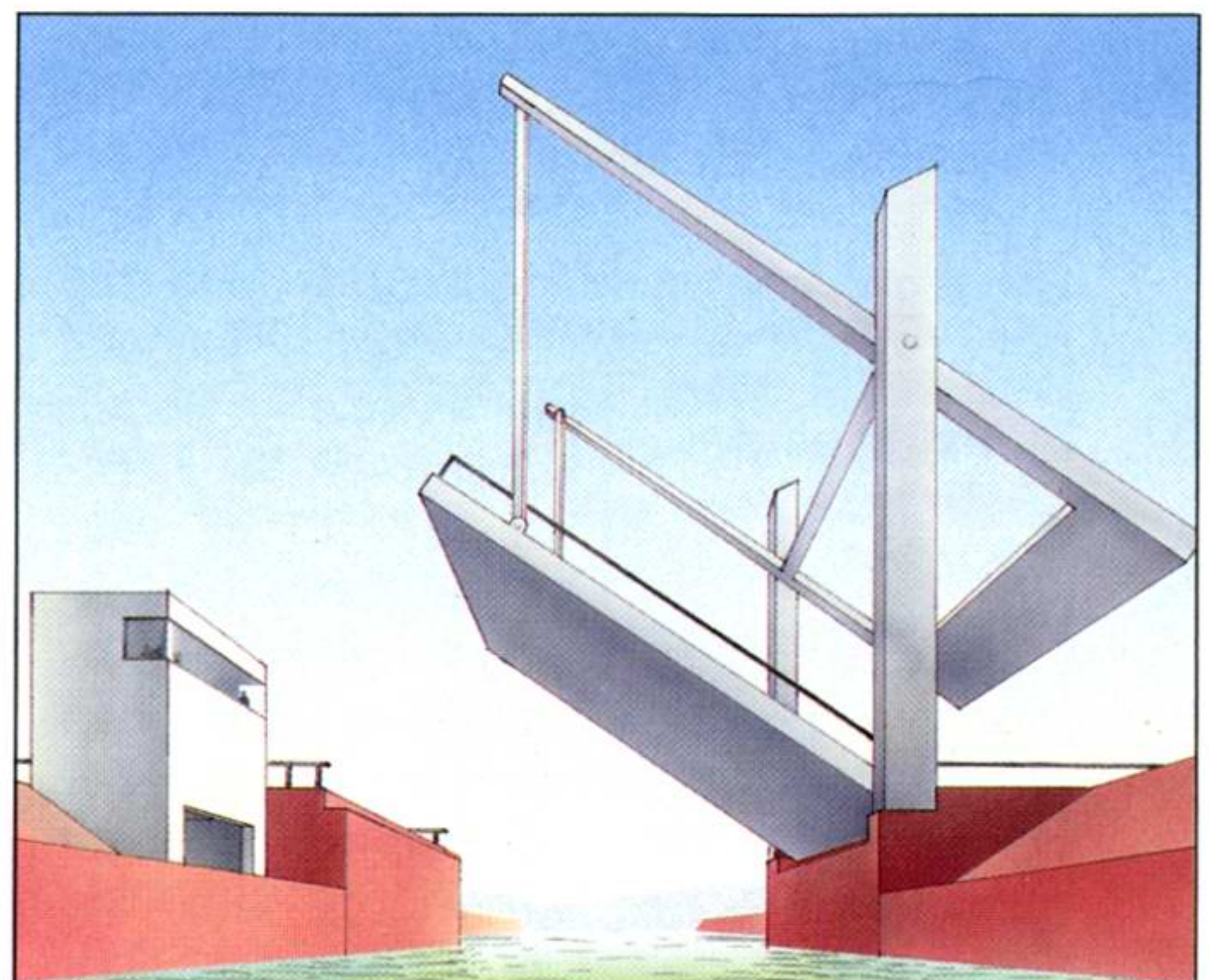
**Gibt es auch bewegliche Brücken?**



*Eines der berühmtesten Gemälde der Welt: Vincent van Gogh malte den Pont de L'Anglais bei Arles in Südfrankreich.*

Kanälen wäre es viel zu umständlich gewesen, die kleinen Brücken so hoch zu bauen, daß Boote samt ihren Masten darunter passen, denn dann hätte man für die Straßen lange Rampen aufschütten müssen. So entschied man sich für die einfache Zugbrücke. Die berühmteste steht allerdings nicht in den Niederlanden, son-

*Klappbrücken aus Holz oder Stahl werden noch heute in Norddeutschland und den Niederlanden benutzt.*





dern in Südfrankreich bei der Stadt Arles. Sie ist deshalb so bekannt, weil sie den Maler Vincent van Gogh zu einem seiner schönsten Gemälde anregte.

Die Zugbrücken gehören zu den beweglichen Brücken, und in Deutschland gibt es mehrere Exemplare dieser Gruppe. Eine moderne Form der Zugbrücke ist die Klappbrücke, wie sie etwa in Lübecks Hafenstraße 1964 gebaut wurde. Kommt ein Schiff, hieven hydraulische Maschinen die vier je 280 Tonnen schweren Fahrbahnen innerhalb von wenigen Minuten hoch. Die Towerbrücke kennt man seit 1895 als Wahrzeichen der Stadt London, aber nur wenige Menschen wissen, daß sie eine Klappbrücke ist. Die untere Fahrbahn besteht aus zwei je 30 Meter langen Teilen, die innerhalb von eineinhalb Minuten hochgeklappt werden können.

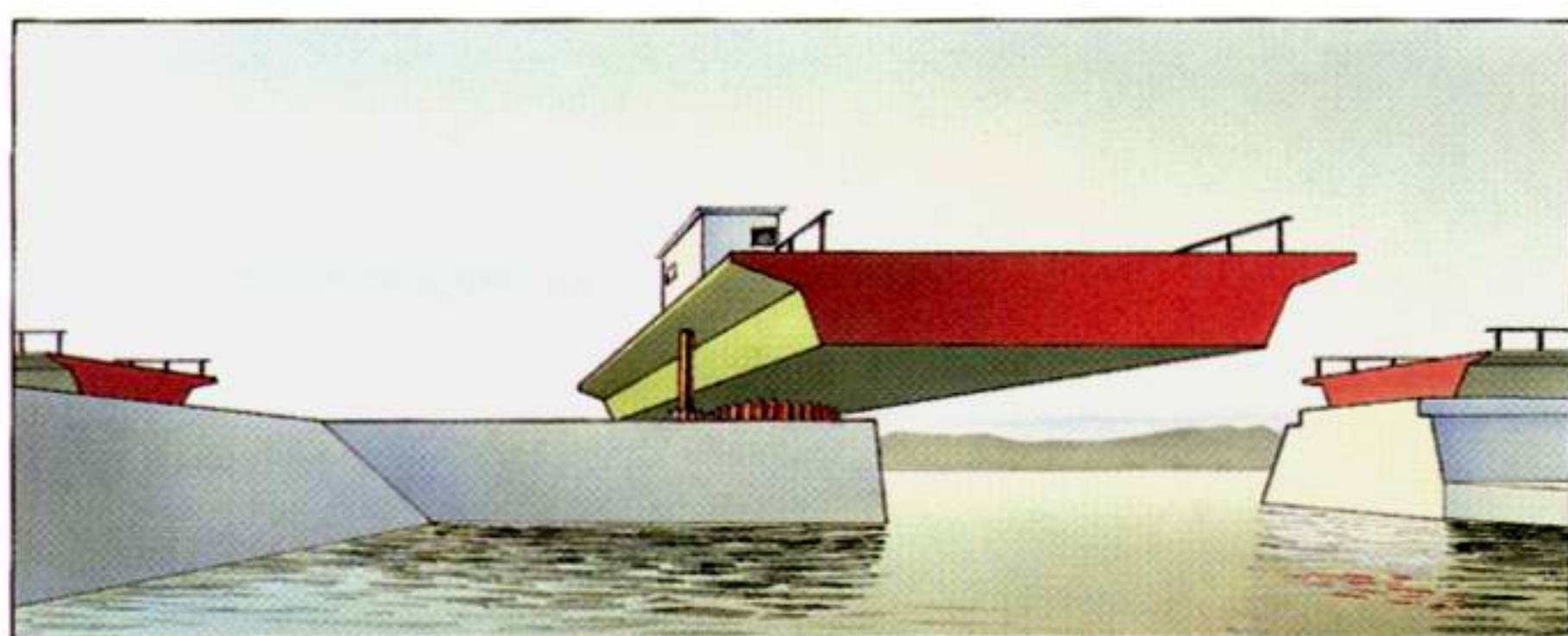
In Lübeck steht noch eine weitere technische Spezialität, eine Hub-Drehbrücke: Innerhalb von drei Minuten kann das 350 Tonnen schwere Bauwerk angehoben und dann um 56 Grad gedreht werden, um einem Schiff den Weg freizugeben. Auch hier sorgt eine Hydraulik für die Kraftübertragung; als Druckmittel dient normales Leitungswasser. Schon seit 1892 verrichtet sie ihren Dienst und verbindet die Innenstadt mit dem Stadtteil St. Lorenz.



*Die Towerbrücke in London. Die untere Fahrbahn kann hochgeklappt werden, oben läuft ein Fußgängersteig.*

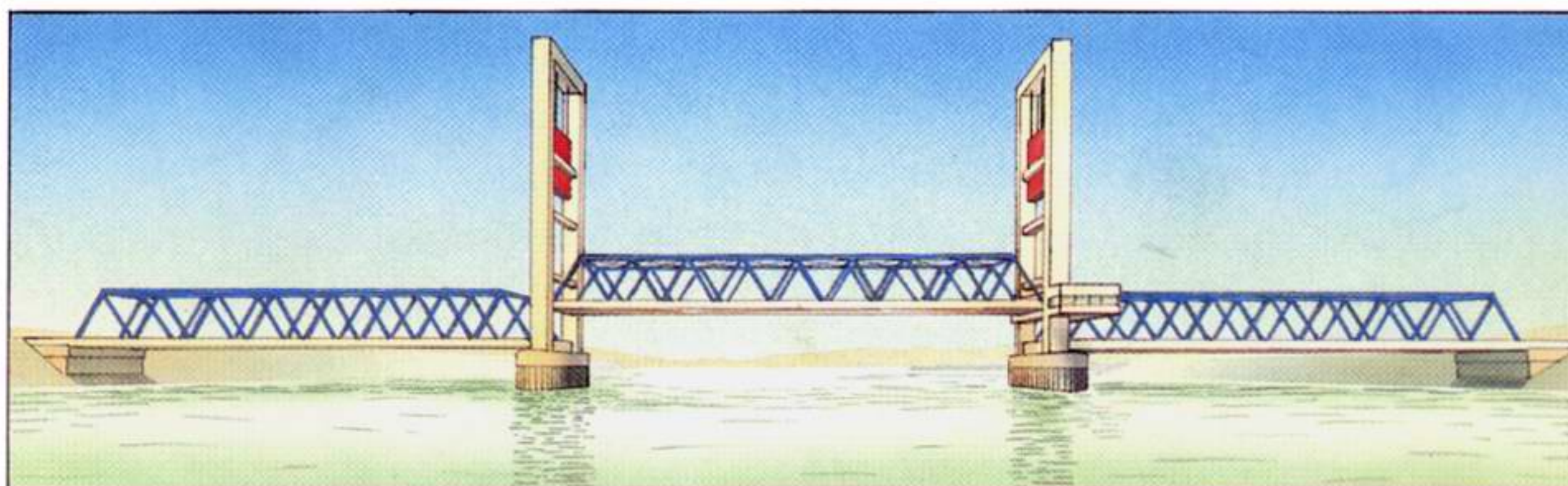
Ein besonderes Problem werfen Eisenbahnen in einem Hafengebiet auf. Einerseits werden durch ihre hohen Aufbauten die Seeschiffe und damit die nötige Brückenhöhe immer größer, andererseits können Eisenbahnen keine starken Steigungen bewältigen, und für lange Rampen fehlt der Platz.

So kam man in Hamburg auf die Idee, für die Hafenbahn eine moderne Hubbrücke über die Süderelbe zu bauen, die an dieser Stelle immerhin 280 Meter breit ist. Nähert sich ein Schiff der Kattwykbrücke, wird das Gleis gesperrt und der 106 Meter lange bewegliche Brückenteil zwischen den beiden je 70 Meter hohen Türmen mit Hilfe von Elektromotoren, Stahlseilen und Gegengewichten um 46 Meter angehoben.



*Drehbrücken schwenken zur Seite, wenn ein Schiff Durchlaß begehrt.*

*Die Kattwykbrücke über die Süderelbe bei Hamburg. Der Mittelteil kann um 46 Meter gehoben werden.*





# Brücken aus Beton

So groß die Bewunderung für die gewaltigen stählernen Fachwerkbogenbrücken und ihre Erbauer ist – heute kommen uns diese Konstruktionen fast schon veraltet vor, als Relikt aus dem vorigen Jahrhundert. Bei den heutigen Brücken zum Beispiel für und über die Autobahnen hat scheinbar der Stein in Form von Beton wieder die Vorherrschaft übernommen. Doch die Zeit des Stahls ist damit im Brückenbau keineswegs vorbei. Moderne Brücken bestehen aus einem Verbundwerkstoff, der die besten Eigenschaften von Stein und Stahl verbindet – Stahlbeton. Denn so ideal der moderne, zähe Stahl für Brücken auch zu sein scheint, so hat er doch zwei wesentliche Nachteile: Er ist sehr teuer, und er verlangt alle paar Jahre einen – ebenfalls nicht gerade billigen – neuen Rostschutzanstrich.

**Wann eignet sich Beton für Brücken besser als Stahl?**

gen stählernen Fachwerkbogenbrücken und ihre Erbauer ist – heute kommen uns diese Konstruktionen fast schon veraltet vor, als Relikt aus dem vorigen Jahrhundert. Bei den heutigen Brücken zum Beispiel für und über die Autobahnen hat scheinbar der Stein in Form von Beton wieder die Vorherrschaft übernommen. Doch die Zeit des Stahls ist damit im Brückenbau keineswegs vorbei. Moderne Brücken bestehen aus einem Verbundwerkstoff, der die besten Eigenschaften von Stein und Stahl verbindet – Stahlbeton. Denn so ideal der moderne, zähe Stahl für Brücken auch zu sein scheint, so hat er doch zwei wesentliche Nachteile: Er ist sehr teuer, und er verlangt alle paar Jahre einen – ebenfalls nicht gerade billigen – neuen Rostschutzanstrich.

Die künstliche Herstellung eines „formbaren Steins“ erfand 1824 der englische Bauunternehmer Joseph Aspdin; er nannte das Bindemittel „Portland cement“. Es wurde mit unterschiedlich großen Stücken aus Natursteinen vermischt, in eine hölzerne Verschalung gefüllt und festgestampft. Dieser „Stampfbeton“ zeigt gute Festigkeitseigenschaften bei Druck. Er diente zum Beispiel als Baustoff für eine 50-Meter-Bogenbrücke über die Donau bei Munderkingen und eine Eisenbahnbrücke über die Iller bei Kempten in Baden-Württemberg.

Doch erst ein erfinderischer Gärtner, der Franzose Joseph Monier, kam 1867 auf die Idee, Betonkonstruktionen widerstandsfähiger zu machen, indem er Eisen-

stäbe darin einbettete. So teilten sich Stein und Metall die Arbeit: Druckkräfte übernahm der Beton, und Zugkräfte fing das Eisen oder der Stahl auf.

*Brückenbau auf neue Art: Die beiden Bogenhälften der Argentalerbrücke im Allgäu wurden zuerst in senkrechter Stellung hochbetoniert und dann, an starken Seilen hängend, zueinander abgesenkt und miteinander verbunden.*



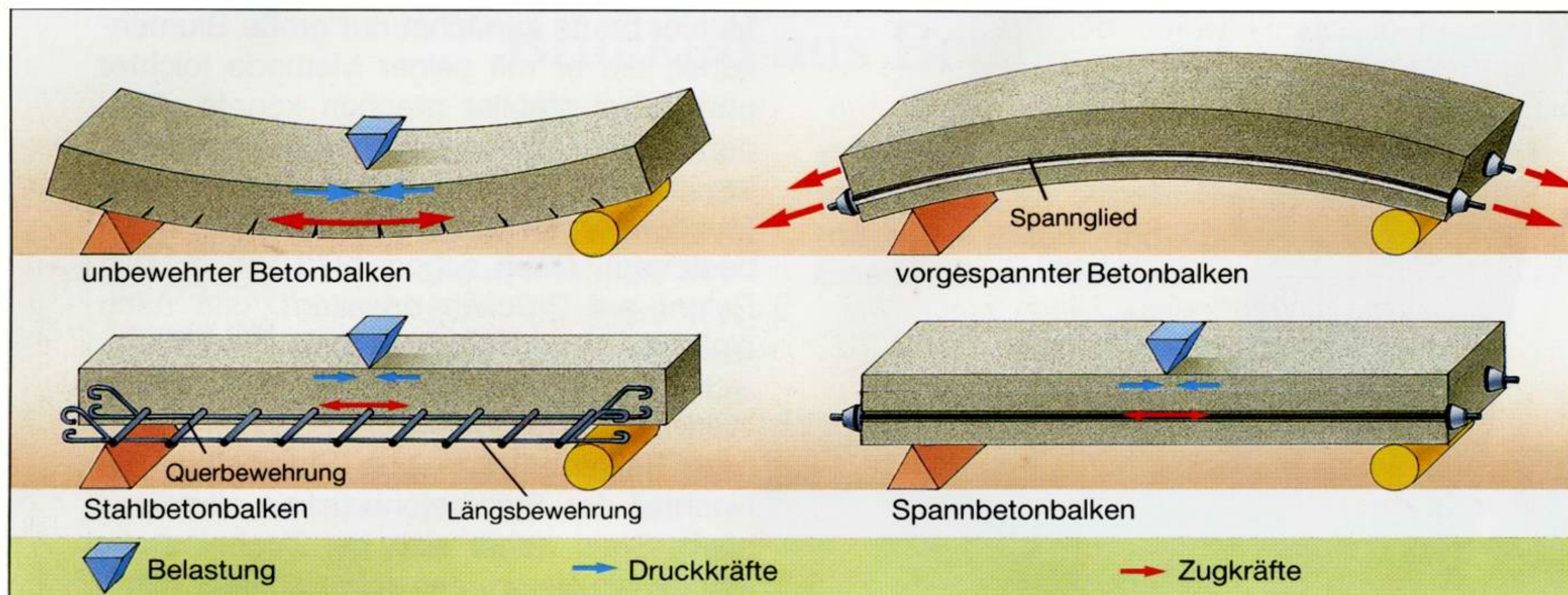




Monier baute zunächst nur große Blumenkübel, die er mit seiner Methode leichter und dabei stabiler machen konnte. Seitdem heißen die in Stahlbeton eingebetteten Eisenstäbe und -gitter „Moniereisen“ (auch wenn sie wie heute stets aus Stahl bestehen). Doch schon 1873 ließ er sein Patent auf Brücken erweitern, und nach einigen Jahren der Skepsis freundeten sich die Brückenbauer mit dem neuen Werkstoff an und bauten Bogen- und kleinere Balkenbrücken aus Stahlbeton. Ein Nachteil der Stahlbetonbrücken allerdings blieb: Stahl dehnt sich bei Zugbelastung stärker als Beton, der daher schnell Risse bekommt. Diese lassen Feuchtigkeit eindringen, die den Stahl zum Rosten bringen kann.

Außerdem war der zum Bau einer großen Betonbrücke nötige Aufwand recht groß. Ähnlich wie bei den Natursteinbrücken mußten Zimmerleute zunächst ein stabiles und damit teures hölzernes Lehrgerüst errichten. Darauf setzten die Bauhandwerker dann die wannenartige Holzverschalung und bauten die Moniereisen ein. Schließlich füllten sie den Beton ein, warteten ab, bis er hart war, und rissen dann das Lehrgerüst wieder ab.





Ein Betonbalken bekommt bei Belastung Risse an der Unterseite. Stahlbewehrungen nehmen die Kräfte auf, besonders dann, wenn sie vorgespannt sind.

Die teuren und zudem nach dem Bau

### Was ist Spannbeton?

überflüssigen Lehrgerüste stellten für die Brückenbauer stets eine Erschwer- nis dar. Zwar hatte schon gegen Ende

des vorigen Jahrhunderts Joseph Melan aus Brunn stählerne Lehrgerüste konstruiert, die mit einbetoniert wurden und dann als Moniereisen dienten. Doch der Traum der Brückenbauer von einer im „freien Vorbau“ ganz ohne Lehrgerüst erstellten Betonbrücke erfüllte sich erst durch eine Erfindung, die der Franzose Eugène Freyssinet auf den Brückenbau anwen- dete: den Spannbeton.

Die Idee ist im Grunde einfach. Wird ein Brückenbalken aus Beton belastet, so biegt er sich zunächst nur geringfügig durch. Aber bald treten an der Unterseite so große Zugspannungen auf, daß der Balken dort Risse bekommt und bricht. Besteht der Balken aus Stahlbeton, so übernimmt in diesem Stadium das eingebettete Stahlgerüst die Zugkräfte.

Die Rißbildung läßt sich aber noch auf andere Weise verhindern: Man setzt den Betonbalken in Längsrichtung unter so

gewaltigen Druck, daß diese Druckkräfte größer sind als die bei Belastung auftre- tenden Zugkräfte. Dazu legen die Arbeiter im unteren Teil des Balkens, wo die auftre- tenden Zugkräfte besonders groß sind, einige Röhren in die Verschalung. Sie enthalten Drähte aus hochfestem Stahl, die zunächst noch locker sind. Erst nach dem Erstarren des Betons spannen die Arbeiter diese „Spannglieder“ mit hydraulischen Pressen und verankern die Drahtenden. So ent- steht Druck im Beton. Dann schließlich füllen sie die Röhren mit Zementmörtel, der die Spanndrähte fest mit dem Beton ver- bindet und gleichzeitig gegen gefährlichen Rost schützt.

Mit dieser Technik lassen sich heute sehr leichte und elegante Brücken bauen. Denn bei gleicher Tragfähigkeit ist ein Spannbetonbalken dünner und leichter als ein Stahlbetonträger.

Eine Blütezeit erlebte der Brückenbau mit der Spannbetontechnik in Deutschland nach dem Zweiten Weltkrieg. Erst baute man die vielen zerstörten Brücken neu auf, dann wuchs das Autobahnnetz mit seinen abertausend Brücken. Ebenso wie die Eisenbahn verlangt die kreuzungsfreie Schnellstraße nicht nur viele kleine Brük- ken für jeden Weg und jeden Bach, son- dern auch gewaltige Viadukte über breite Täler hinweg.



Zum erstenmal wurde der „freie Vorbau“

**Wie baut  
man heute  
Betonbrücken?**

einer Spannbeton-Balkenbrücke in Deutschland 1950 erprobt, als die Münchener Firma Dyckerhoff & Widmann unter

ihrem Chefingenieur Ulrich Finsterwalder die Lahnbrücke Baldenstein mit 62 Meter Spannweite baute. Schon 1965 ließen sich mit diesem Verfahren bei der Rheinbrücke Bendorf 208 Meter überbrücken!

Zu den schönsten der im freien Vorbau errichteten Spannbetonbauwerken zählen die auf hohen Pfeilern stehenden Talbrücken, etwa die 185 Meter hohe Kochertalbrücke der Autobahn Nürnberg–Heilbronn. Sie stellen aber gleichzeitig die höchsten bautechnischen Anforderungen. Zunächst werden stets die Pfeiler errichtet. Dann beginnt der Bau gleichzeitig von beiden Seiten aus. Die Arbeiter schieben zunächst einen stabilen stählernen Balken zum ersten Pfeiler hinüber. Auf diesem Balken fährt der „Vorbauträger“, der die Verschalungen trägt. Hier werden die Betonteile der Brücke gegossen und gespannt. Sind sie tragfähig, fährt der Vorbauträger zum nächsten Abschnitt, und so wächst die Brücke Stück für Stück.

Am günstigsten ist diese Methode, wenn die Pfeiler nicht weiter als etwa 40 bis 50

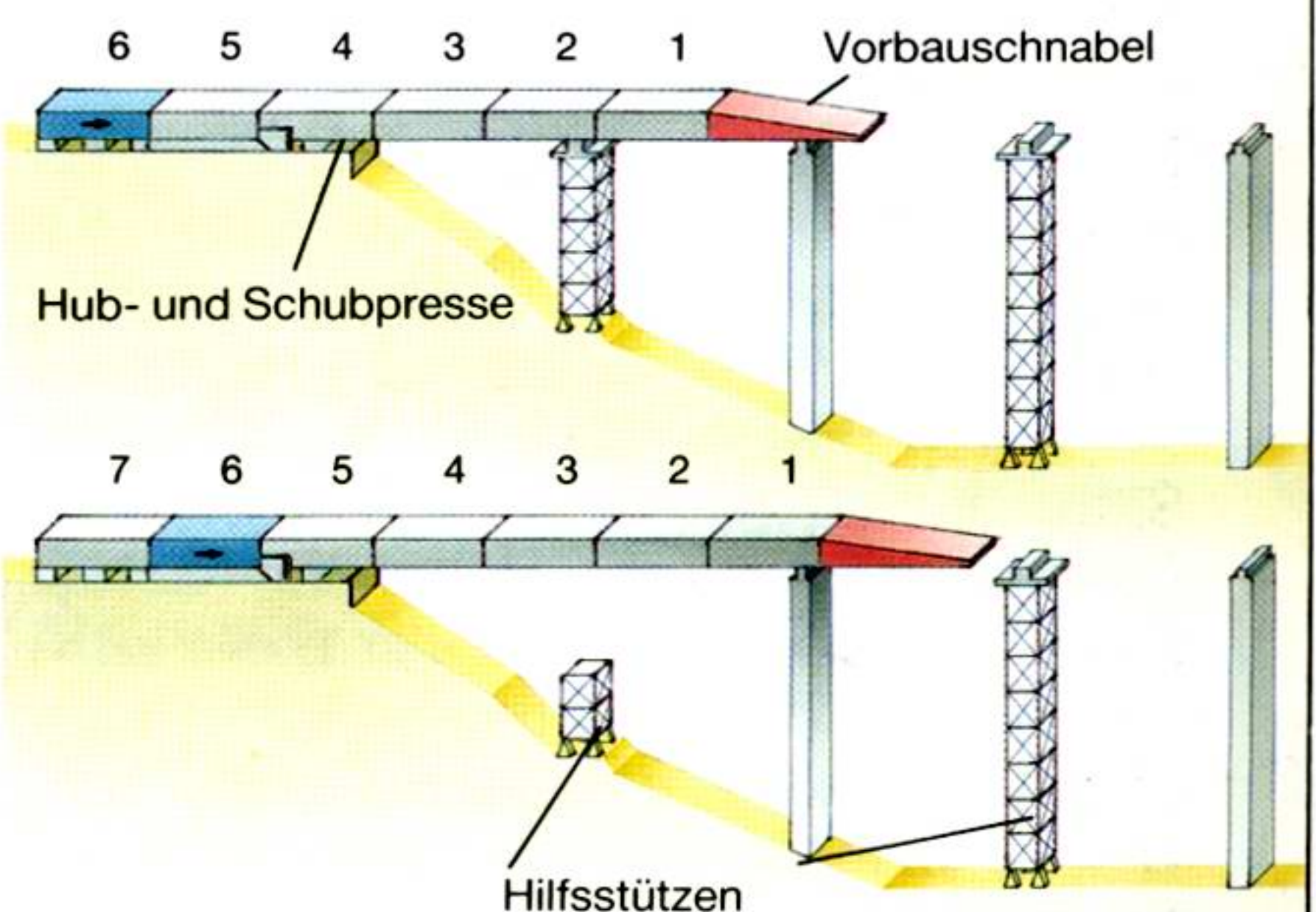
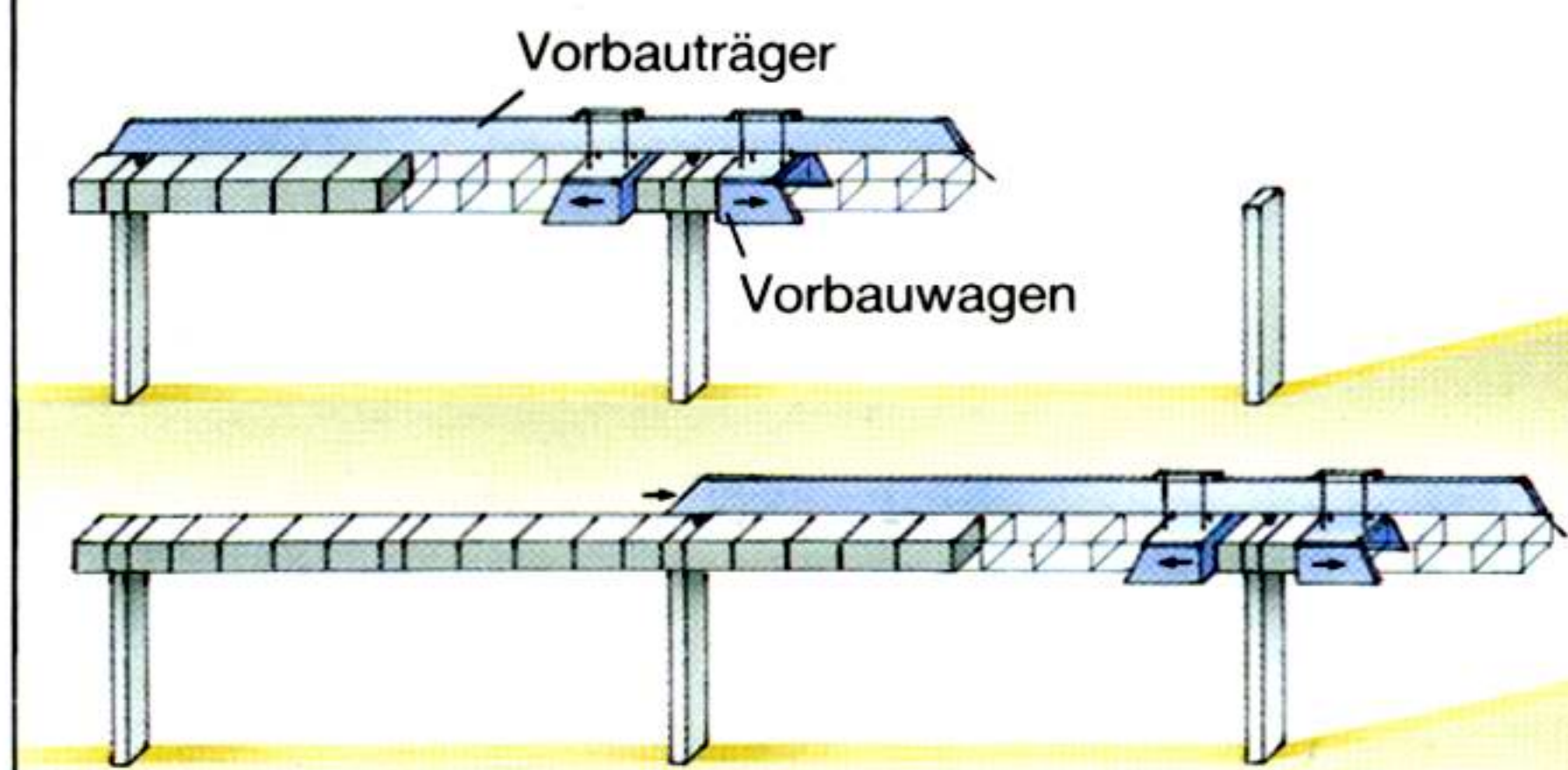


*Schönheit und Kühnheit vereint: Die Kochertalbrücke für die Autobahn Nürnberg–Heilbronn ist mit 185 Metern die höchste deutsche Talbrücke.*

Meter voneinander entfernt stehen. Muß eine größere Strecke überbrückt werden, verlängert man die Pfeiler gelegentlich nach oben zu provisorischen Pylonen, an denen dann der Vorbauträger mit Seilen ähnlich wie die Fahrbahn bei einer Schrägkabelbrücke aufgehängt wird.

Sehr viel bequemer als in luftiger Höhe lassen sich die Spannbetonteile auf festem Boden herstellen, zum Beispiel in einer provisorischen Fabrik an einem Brückende. Pro Woche entsteht üblicherweise ein etwa 20 bis 30 Meter langer Brückenabschnitt. Er wird auf Kunststofflagern vor-

*Moderner Brückenbau: links der freie Vorbau, rechts das Taktschiebeverfahren, bei dem die Betonteile auf festem Boden gegossen werden.*







*Der Bau der Argentobelbrücke, eine Ingenieursleistung ersten Ranges.*

sichtig in Brückenlängsrichtung vorge-schoben und an die vorgesehene Stelle gesetzt, wobei ein stählerner „Vorbau-schnabel“ und Hilfspfeiler den Einbau unterstützen. Dieses vom Stuttgarter Bau-ingenieur Fritz Leonhardt entwickelte „Taktschiebeverfahren“ ist heute in der ganzen Welt verbreitet.

Nicht in jedem Fall ist eine Balkenbrücke die beste Lösung. Auch heute werden noch gelegentlich Bogenbrücken gebaut – zum Beispiel immer dann, wenn die Tal-hänge guten Baugrund haben, um den Bogenschub aufzunehmen. Besonders ungewöhnlich war die Bauweise der Argentobelbrücke im Allgäu, die in einem 145-Meter-Bogen eine 56 Meter tiefe Gebirgsschlucht überspannt.

Ihr Bogen bestand ursprünglich aus zwei Teilen. Diese Halbbogen betonierten die Arbeiter auf den beiden Fundamenten an den Enden der Brücke. Dabei wuchsen aber die Bogen nicht etwa über die Schlucht hinweg aufeinander zu, sondern fast senkrecht in die Höhe! Ein Gerüst brauchte man nicht. An seiner Stelle wan-derte eine „Kletterschalung“ mit dem Fort-schreiten des Baus von unten nach oben. Den Beton füllten die Arbeiter per Kran ein. Schließlich ragten die Bogenhälften, von

armdicken Stahlseilen gehalten, jeweils über 80 Meter in den Himmel!

Erst jetzt senkten die Arbeiter durch Nach-lassen der Seile die Halbbogen ganz lang-sam über die Schlucht ab. Gewaltige Gelenklager an jedem Bogenfuß dienten dabei als Drehpunkte. Nach vier Wochen war es geschafft: Die Bogenhälften trafen sich in ihrer endgültigen Lage. Sie wurden fest verbunden, die Gelenke ausgebaut und schließlich die Spannbetonbalken, die die Straße tragen, hinübergeschoben.

Das letzte Jahrzehnt unseres Jahrhun-

**Welche Brücken-projekte sind für die nächsten Jahre geplant?**

derts wird von eini-gen großen Brücken-bauten bestimmt. In Dänemark begann der Bau einer kombi-nierten Brücken-

Tunnel-Verbindung über den Großen Belt zwischen den Inseln Fünen und Seeland, auf der Kopenhagen liegt. 1993 soll die Eisenbahntrasse, 1996 die Autobahn fertig sein und Kopenhagen mit dem Festland verbinden. Der östliche Teil dieser Brücke ist eine Hängebrücke mit etwa 1800 Meter Spannweite.

In Norwegen werden Schrägkabelbrücken Fjorde überspannen: Die Helgeland-Brücke wird 425 Meter, die Skanssunde-Brücke sogar 530 Meter Spannweite haben. Frankreich baut eine Brücke über die Seine-Mündung mit 856 Meter Spannweite.

Auch Schweden möchte in Zukunft eine bessere Verkehrsverbindung zum euro-päischen Festland. 1993 beginnt der Bau einer Trasse über den Öresund, die Meer-enge zwischen Dänemark und Schweden. Eine vier Kilometer lange Niedrigbrücke und eine sieben Kilometer lange Hoch-brücke werden Eisen- und Autobahn tra-gen und ab 1999 die Fahrzeit von Kopen-hagen nach Malmö von 100 auf 30 Minuten verkürzen.

In der Diskussion ist auch eine Brücke über den etwa 20 Kilometer breiten Fehmarn-



Belt, die „Vogelfluglinie“ von Puttgarden nach Rødby. Zwar wurde schon 1963 die 963 Meter lange Fehmarn-Sund-Brücke zwischen der Insel und dem Festland eröffnet, doch zur Weiterfahrt nach Dänemark und Schweden muß man immer noch auf eine Fähre umsteigen.

Andere Großprojekte werden wohl erst im nächsten Jahrtausend verwirklicht werden. Spanien und Marokko denken zum Beispiel an Hängebrücken über die Straße von Gibraltar. Die Pfeiler müßten allerdings in 300 Meter tiefem Wasser gegründet und gegen den Anprall von Großtankern gesichert werden. Wahrscheinlicher ist daher eine Tunnelverbindung.

Konkrete Planungen gibt es dagegen für eine Brücke über die Straße von Messina. Sie soll Sizilien mit dem italienischen Stiefel verbinden. 3320 Meter wird sie lang sein. Allerdings sind noch viele technische Probleme solcher Brückendimensionen



*Die Akashi-Kaikyo-Brücke in Japan, hier eine Computersimulation, wird nach ihrer Fertigstellung 1998 die längste Hängebrücke der Erde sein.*

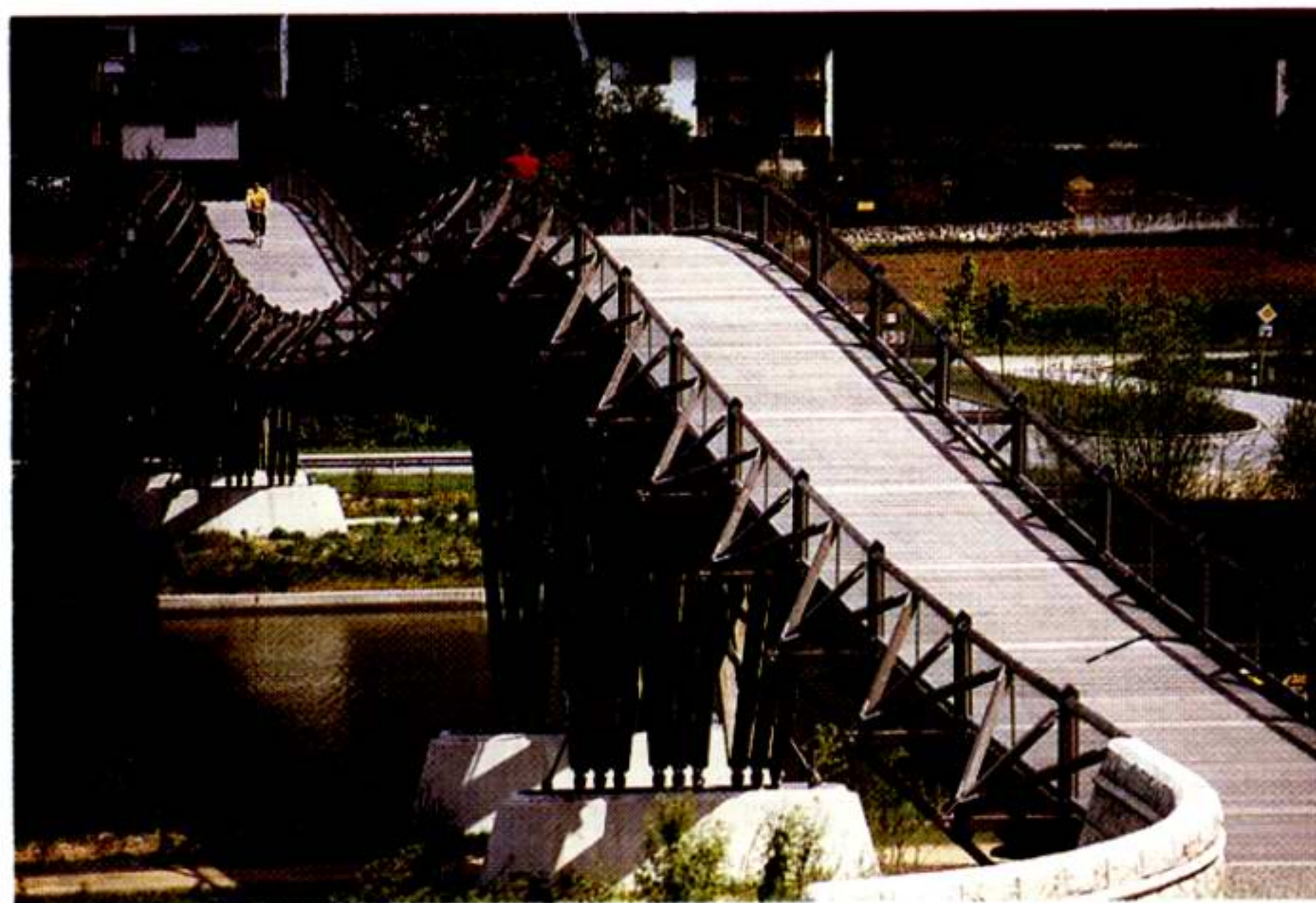
bisher ungelöst. Eines aber ist jetzt schon sicher: Die Kosten werden in Rekordhöhen klettern. Zur Zeit rechnet man mit mindestens 30 Milliarden Mark!

## Brückenrekorde

**Die älteste noch voll genutzte Steinbrücke Deutschlands** ist die Steinerne Donaubrücke in Regensburg.

**Älteste Holzbrücke Europas:** die 200

*Die längste Holzbrücke Europas (210 Meter) führt über den Rhein-Main-Donau-Kanal.*



Meter lange Kapellbrücke in Luzern (Schweiz) über die Reuß.

**Die längste Holzbrücke Europas** ist die 210 Meter lange Brücke in Essing über den Rhein-Main-Donau-Kanal.

**Brückenreichste Stadt Europas** ist nicht etwa Venedig oder Amsterdam, sondern Hamburg mit zur Zeit über 2500 Brücken.

**Die längste Stahlbogenbrücke der Welt:** die New-River-Schluchtbrücke bei Fayetteville im US-Bundesstaat West-Virginia mit einer Spannweite von 518 Metern.

**Längste Stahlbogenbrücke Deutschlands** ist die Rheinbrücke in Duisburg-Rheinhausen mit 256 Meter Spannweite.

**Als größte Steinbogenbrücke der Welt** gilt die Rockville-Brücke bei Harrisburg im US-Bundesstaat Pennsylvania. Sie steht auf 48 Pfeilern, ist 1161 Meter lang und wurde 1901 eingeweiht.



**Längste Ziegelsteinbrücke Deutschlands** ist die 578 Meter lange, 78 Meter hohe Göltzschtal-Eisenbahnbrücke in Sachsen. Sie wurde 1851 aus 26 Millionen Ziegelsteinen errichtet.

**Die größte Spannweite aller Brücken** hat die Humber Estuary Bridge in England. Die Pfeiler dieser Hängebrücke sind 162 Meter hoch, die Gesamtlänge der Brücke beträgt 2220 Meter, davon 1410 Meter Spannweite. In Japan ist zur Zeit eine Straßenbrücke zwischen der Hauptinsel Honshu und der Insel Shikoku im Bau; sie soll 1998 fertig sein und wird bei 1990 Meter Spannweite insgesamt 3560 Meter lang sein.



*Die Rheinbrücke bei Emmerich, mit 500 Meter Spannweite die größte deutsche Hängebrücke.*

**Die größte deutsche Hängebrücke** ist die 500 Meter überspannende Rheinbrücke bei Emmerich nahe der holländischen Grenze.

**Die größte deutsche Schrägkabelbrücke** führt in Düsseldorf-Flehe schräg über den Rhein. Mit nur einem Pylon überspannt sie 368 Meter.

**Die größte Schrägkabel-Hängebrücke Europas** führt bei St. Nazaire (Frankreich) über die Mündung der Loire. Die größte Spannweite der 1975 eingeweihten Brücke beträgt 404 Meter.

**Die höchste Brücke der Welt** überspannt in 321 Meter Höhe die Königsschlucht im US-Bundesstaat Colorado. Es handelt sich um eine Hängebrücke mit 268 Meter Spannweite. Baujahr war 1929.



*Die 820 Meter lange Europabrücke für die Brennerautobahn südlich von Innsbruck.*

**Die höchste Brücke Europas** ist die 820 Meter lange und 190 Meter hohe Europa-Brücke über das Silltal südlich von Innsbruck in Österreich im Zuge der Brennerautobahn. Erbaut wurde sie von 1959 bis 1963; der höchste Kirchturm der Welt, das Ulmer Münster mit 161 Metern, fände bequem unter ihr Platz.

**Höchste deutsche Talbrücke** ist die Kochertalbrücke bei Geislingen nördlich von Schwäbisch-Hall. Sie ist Teil der Autobahn Nürnberg–Heilbronn und führt seit 1980 in 185 Meter Höhe über die Kocher.

**Die höchste Eisenbahnbrücke Deutschlands** ist die Müngstener Brücke, die bei Solingen über die Wupper führt. Der stählerne Bogen hat eine Spannweite von 160 Metern und eine Höhe von 107 Metern.

**Die größte Fachwerk-Eisenbrücke der Welt** führt in Kanada bei Quebec über den Sankt-Lorenz-Strom. Sie hat eine Spannweite von 549 Metern und entstand von 1899 bis 1917. 87 Menschen verloren dabei ihr Leben.