

Caesars Rheinbrücke.

Von

Karl Saatmann †, Emil Jüngst und Paul Thielscher.

Hierzu Tafel 24—31.

Vorbemerkung.

Die vorliegende Bearbeitung von Caesars Rheinbrücke verdankt ihre Entstehung unserem verstorbenen Freunde Dipl.-Ing. Karl Saatmann, der uns als Mitarbeiter gewann.

Karl Saatmann wurde am 21. Oktober 1878 in Berlin als Sohn des damaligen Leibjägers des Prinzen Karl von Hohenzollern geboren. Seine Eltern stammten aus Born auf dem Darß (Pommern, Bez. Stralsund). Der Vater kam bald als Revierförster nach Greifenberg in Pommern. Hier verlebte Saatmann seine Jugend. Als Schüler des dortigen Gymnasiums machte er seine erste Bekanntschaft mit Caesars Rheinbrücke. Schon damals mißfiel ihm die Art, wie man sich die Gestalt der Brücke zurechtlegte. Und das wiederholte sich, als er auf der Technischen Hochschule zu Hannover das Bauingenieurwesen studierte. Er schloß seine Studien mit der Prüfung zum Regierungs-Bauführer des Eisenbahnbauwesens ab. Nach kurzer Tätigkeit als Regierungs-Bauführer trat er 1904 in den Schuldienst an der Kgl. Baugewerkschule zu Nienburg an der Weser. Es zog ihn aber nach der Heimat, und so ließ er sich bald nach Stettin versetzen. Während des Weltkrieges war er beim Verwaltungschef des Generalgouvernements Warschau tätig. Unter anderem verwaltete er das Brückenbauamt Dembe, wo ihm der Bau einer großen Pfahljochbrücke über den Narew (nahe an der Mündung des Narew in die Weichsel) oblag. In dieser Zeit ist ihm Caesars Brückenschlag besonders lebendig geworden. Nach Stettin zurückgekehrt, überwachte er den Lateinunterricht seiner Tochter und stieß dabei wieder auf Caesars Rheinbrücke. Da faßte er den Entschluß zu der vorliegenden Untersuchung. Die Arbeit begann im August 1924. Karl Saatmann starb am 4. März 1933.

Der Anteil der drei Bearbeiter im einzelnen ist schwer festzustellen. Wir haben alles gemeinsam durchgearbeitet. Indessen sind zwei Grundgedanken Saatmanns durch alle Wandlungen hindurch unverändert festgehalten worden: die Brücke muß auf lotrechten Jochpfählen ruhen, und die Schrägpfahlpaare dienen nur der erforderlichen Versteifung des Joches. Als endgültige Lösung ergab sich ein Pfahljoch, das, verglichen mit den herkömmlichen Entwürfen, in allen wesentlichen Punkten ganz neuartig gestaltet ist. Nach unserem Entwurf ist Caesars Rheinbrücke eine Pfahljochbrücke. Wie bei jeder Pfahljochbrücke ruht die Fahrbahn auf lotrecht gerammten Jochpfählen (*sublicae*). Der Zweck der Schrägpfahlpaare (*tigna bina*) ist nicht, die Fahrbahn zu tragen — das ist die Aufgabe der *sublicae* —, sondern sie sollen die Schwankungen der Brücke bei der großen Breite, Tiefe und Geschwindigkeit des Rheins verhindern. Zu diesem Zwecke hat sie Caesar räumlich schräg gestellt, während sie bei fast allen Entwurfsbearbeitern paarweise parallel stehen.

Besonders groß war ferner die Zahl der alten Irrtümer, die erst wegzuräumen waren, als wir das wahre Wesen der *fibulae* ergründen wollten. Fast bei jedem Entwurfsbearbeiter sind die *fibulae* etwas anderes, aber immer sind sie tragende Bauglieder, denn überall haben sie die Fahrbahnlast auf die vier *tigna* zu übertragen, die in allen früheren Entwürfen die einzigen Tragpfähle des Brückenjoches sind. Die grundlegenden Irrtümer unserer Vorgänger erklären sich aus einer falschen Auffassung des ganzen Brückenkapitels¹⁾. Man hat geglaubt, Caesar habe eine vollständige Beschreibung seiner Brücke liefern wollen, aber er zählt nur die Besonderheiten seiner Rheinbrücke gegenüber anderen Pfahljochbrücken auf. Daher hat man dem Bauwerk nur das gegeben, was man aus dem Brückenkapitel herauszulesen glaubte, und ihm alles andere Selbstverständliche vorenthalten. So entstanden die vielen Pfahlbrücken ohne lotrechte Jochpfähle, mit einer Fahrbahn ohne Kiesabdeckung und ohne Geländer.

Teil I, der Hauptteil, enthält in 23 Abschnitten eine sprachliche und sachliche Erklärung des Brückenkapitels. Daraus ergibt sich die neue Gestalt der Pfahljochbrücke. — In Teil II behandeln wir wichtige, den Brückenschlag betreffende Einzelheiten. — In Teil III beweisen wir, daß die Statik als Hilfswissenschaft der Technik nicht fehlen darf, daß unsere Brücke unbedingt allen vernünftigerweise zu stellenden Anforderungen genügt, während die Entwürfe unserer Vorgänger, wenn sie überhaupt ausführbar wären, zusammenbrechen würden. — In Teil IV geben wir einen Überblick über die wichtigsten Arbeiten unserer Vorgänger. — Der wenig ergiebige archäologische Quellenstoff ist erst in Teil V behandelt, weil er zum Teil erst selbst gedeutet werden mußte, also nicht als Grundlage unseres Entwurfs, sondern nur vergleichsweise zur Bestätigung herangezogen werden konnte. — Eine Aufzählung der Titel der wichtigsten Schriften zu Caesars Rheinbrücke und ein Verzeichnis der angeführten Stellen aus dem antiken Schrifttum bilden als Teil VI den Schluß.

Unsere Arbeit stellt sich in den Dienst der Wissenschaft überhaupt, aber daneben hat Caesars Rheinbrücke für uns Deutsche noch eine besondere Bedeutung. Caesars 'Gallischer Krieg' ist ja nicht nur die erste Geschichtsquelle für das französische und englische Volk, sondern auch für das deutsche. Denn hinter den gallischen Ereignissen stehen überall mehr oder weniger deutlich die östlich angrenzenden Germanen: die Helvetier wollen nach Gallien, weil die Germanen nachdrängen; Ariovist ist als früher Vorläufer der Burgunder der erste, der Gallien zu germanisieren beginnt; die Usipeter und Tenkterer wollen mit Kind und Kegel neue Wohnsitze in Gallien erobern. Da drängt Caesar noch einmal die germanische Völkerwanderung zurück und staut sie für einige Jahrhunderte auf. Und die eindrucksvollste seiner Drohungen gegen die fast unbekannten, aber um so gefürchteteren Völker östlich des Rheins ist bei seinen beiden Rheinübergängen der Brückenschlag selbst. Hier zeigt sich die Überlegenheit des technischen Könnens einer hochentwickelten, alten Kulturwelt gegenüber einem jungen, unverbrauchten Naturvolke. Diesen Ingenieurbau aus der Frühzeit unseres Volkes richtig zu verstehen, d. h. an die Stelle des herkömmlichen Zerrbildes einer Brücke die wirklich gebaute Pfahljochbrücke zu setzen, das ist der Zweck unserer Arbeit.

Einer Reihe von amtlichen und privaten Stellen haben wir für Rat und Auskunft zu danken; sie sind im Text an den betreffenden Stellen genannt. Hier sei besonders der Thesaurus linguae Latinae und unter seinen Mitarbeitern Herr Dr. Bannier (†) genannt. Herr Dipl.-Ing. Johannes Reuter hat uns dankenswerterweise bei der Anfertigung der Taf. 25 unterstützt. Den Herren Prof. Dr. Konrat Ziegler und Studienrat Dr. Ernst Habenstein danken wir für freundliche Durchsicht unseres Manuskripts.

¹⁾ Caesar, B. G. IV 17.

I. Begründung unseres Entwurfs.

1. Rechtfertigung eines neuen Entwurfs.

‘Die Rekonstruktion der Brücke ist oft versucht worden und wird — leider — noch oft versucht werden; umsonst, denn die Beschreibung Caesars ist einestheils zu laienhaft, andernteils zu lückenhaft. Sollte jemand gelingen, eine derartige Brücke zu konstruieren, so wird es eben seine Konstruktion, nicht die Caesars sein . . . Man möge das dem Übersetzer, der, ehe er studierte, 9 Jahre Tischler war, also doch etwas davon verstehen dürfte, glauben¹⁾.’

Wir glauben es nicht. Die Beschreibung Caesars ist nicht laienhaft. Im Gegenteil: sie ist in der römischen Fachsprache abgefaßt; das werden wir an den wichtigsten Fachausdrücken der Beschreibung nachweisen²⁾. Sie ist auch nicht lückenhaft. ‘Lückenhaft’ ist sie nur für einen Deutschen unserer Zeit. Caesar hat für Römer seiner Zeit geschrieben. Er setzt daher voraus, daß seine Leser wissen, wie eine Pfahlbrücke im allgemeinen aussah, die ein römisches Heer für den Kriegsbedarf baute. Diese römischen Pfahlbrücken vor der Caesarbrücke werden einander geglichen haben wie ein Ei dem andern, genau so, wie ein römisches Kriegslager im allgemeinen immer ein und dasselbe war, wie wir besonders aus den Resten von Polybios’ VI. Buch, aus Iosephos, Geschichte des Jüdischen Krieges III 5, und aus den Funden wissen.

Caesar beschreibt also nur die Besonderheiten seiner Rheinbrücken. Wer sich also ein Bild von Caesars Rheinbrücken machen will, muß sich das Allgemeine ergänzen, das Caesar bei seinen römischen Lesern als bekannt voraussetzt. Dazu sind zwei Dinge notwendig: Erfahrung im Holzbrückenbau und Kenntnis des römischen Holzbaus³⁾. Wir glauben, beiden Anforderungen einigermaßen zu genügen.

Trotz der vielen Versuche einer Rekonstruktion der Brücke⁴⁾ unternehmen wir es, einen neuen Entwurf aufzustellen. Denn alle bisherigen Versuche sind im Grunde nur einer: es sind alles nur Abwandlungen des ersten Versuchs von Giocondo; fast alle wiederholen daher dessen grundlegende Fehler⁵⁾. Daher ist

¹⁾ Dr. Gelbe, Denkwürdigkeiten über den Gallischen Krieg (1883).

²⁾ Daß Caesar tatsächlich die römische Fachsprache redet, hat zuerst Rondelet erkannt. Er hat daher in seiner Übersetzung die französische Fachsprache angewandt und bemerkt, er habe sich bemüht, ‘à rendre le sens propre du langage technique, si judicieusement employé par l’auteur’. Daher haben auch wir uns bemüht, in unserer Übersetzung die Fachsprache Caesars durch die entsprechenden deutschen Fachausdrücke wiederzugeben. Wir vermuten, daß Caesar seine Beschreibung des Brückenbaus einem Bericht entnommen hat, den ihm ein Sachverständiger vorgelegt hatte.

³⁾ Das grundlegende Werk über den antiken Holzbau ist W. Sackur, Vitruv und die Poliorketiker (1925).

⁴⁾ Den ersten Entwurf machte Fra Giovanni Giocondo aus Verona, erstmals veröffentlicht 1513. Wir geben S. 183 ff. eine Geschichte der wichtigsten Versuche. Vollständiger ist die Übersicht, die wir im Literaturverzeichnis S. 204 ff. geben, aber auch da haben wir Unwesentliches fortgelassen.

⁵⁾ Bisher ist die vernichtende Kritik wirklicher Fachleute, die gelegentlich auf die technische Unmöglichkeit der bisherigen Gestalt der Brückenjoche hinwiesen, unwirksam geblieben. Und auch von seiten der Philologen hat man es ruhig hingenommen, daß entscheidende Fachausdrücke in Caesars Beschreibung eine Bedeutung haben sollen, die diese teilweise sehr oft vorkommenden Wörter im ganzen römischen Schrifttum sonst nie haben. Am schlimmsten ist man mit dem Worte *jibula* verfahren, das in fast jedem der früheren Entwürfe eine andere Bedeutung bekommen hat.

unser Entwurf eigentlich erst der zweite. Wir suchen in der Reihenfolge, in der Caesar den Brückenbau beschreibt, die richtige Bedeutung der lateinischen Fachausdrücke festzustellen und danach einen Brückenentwurf zu geben, der den Eigenheiten des römischen Brücken- und Holzbaus im besonderen und den Erfordernissen jeder Pfahlbrücke im allgemeinen entspricht, und gelangen so zu einem Ergebnis, das wesentlich von der bisher üblichen Bauart abweicht.

2. Text und Übersetzung.

Caesar, B. G. IV 17, 1—18, 2: (c. 17 § 1) *Caesar his de causis quas commemoravimus Rhenum transire decreverat. sed navibus transire neque satis tutum esse arbitrabatur neque suae neque populi Romani dignitatis esse statuebat. (§ 2) itaque etsi summa difficultas faciendi pontis proponebatur propter latitudinem rapiditatem altitudinemque fluminis, tamen id sibi contendendum aut aliter non traducendum exercitum existimabat. rationem pontis hanc instituit: (§ 3) tigna bina sesquipedalia paulum ab imo praeacuta dimensa ad altitudinem fluminis intervallo pedum duorum inter se iungebat. (§ 4) haec cum machinationibus immissa in flumine defixerat festucisque adegerat, non sublicae modo directe ad perpendicularum, sed prone ac fastigate, ut secundum naturam fluminis procumberent, (§ 5) his item contraria duo ad eundem modum iuncta intervallo pedum quadragenum ab inferiore parte contra vim atque impetum fluminis conversa statuebat. (§ 6) haec utraque insuper bipedalibus trabibus immissis, quantum eorum tignorum iunctura distabat, binis utrimque fibulis ab extrema parte destinabantur. (§ 7) quibus disclusis atque in contrariam partem revinctis tanta erat operis firmitudo atque ea rerum natura, ut quo maior vis aquae se incitavisset, hoc artius inligata tenerentur. (§ 8) haec directa materia iniecta contexebantur et longuriis cratibusque consternebantur. (§ 9) ac nihilo setius sublicae et ad inferiorem partem fluminis oblique agebantur, quae pro anterie subiectae et cum omni opere coniunctae vim fluminis exciperent, (§ 10) et aliae item supra pontem mediocri spatio, ut si arborum trunci sive trabes deiciendi operis essent a barbaris missae, his defensoribus earum rerum vis minueretur neu ponti nocerent. (c. 18 § 1) diebus decem quibus materia coepta erat comportari, omni opere effecto exercitus traducitur. (§ 2) Caesar ad utramque partem pontis firmo praesidio relicto in fines Sugambrorum contendit.*

(c. 17 § 1) Caesar hatte aus den erwähnten Gründen beschlossen, über den Rhein zu gehen. Aber zu Schiff hinüberzugehen, schien ihm nicht sicher genug; und er meinte auch, es sei mit seinem und des römischen Volkes Ansehen nicht vereinbar. (§ 2) Daher war er, obwohl sich wegen der Breite, Schnelligkeit und Tiefe des Flusses die größte Schwierigkeit zeigte, eine Brücke zu bauen, doch der Meinung, er müsse es anstreben, oder er dürfe sonst überhaupt nicht sein Heer hinüberführen. Folgende Bauweise war an der Brücke neu. (§ 3) Immer zwei Schrägpfähle von $1\frac{1}{2}'$ Durchmesser wurden unten etwas angespitzt, je nach der Tiefe des Flusses bemessen und mit $2'$ Abstand voneinander abgebunden. (§ 4) Wenn sie an die Rammrüstung getriezt waren, dann an den Löfferruten bis in die Flußsohle hinabgeglitten waren und sich dort eingebohrt hatten und dann mit den Rammklötzen eingerammt waren, aber nicht wie die Jochpfähle senkrecht nach dem Lot, sondern vornübergeneigt und nach oben sich nähernd, so daß sie mit der Strömung des Flusses geneigt waren, (§ 5) dann wurden ihnen gegenüber in gleicher Weise zwei andere ebenso abgebundene in einer Entfernung von $40'$ stromabwärts gegen die Strömung und die Richtung des Flusses gestellt. (§ 6) Diese beiden Paare von Schrägpfählen wurden, nachdem oben $2'$ dicke Holme eingeschoben waren — denn in dieser Entfernung voneinander waren diese Schrägpfähle abgebunden —, an beiden Enden (des Holmes) durch je zwei Bolzen an

ihrem obersten Ende festgemacht. (§ 7) Nachdem also diese Paare von Schrägpfählen (durch den eingeschobenen Holm) voneinander getrennt und in entgegengesetzter Richtung verkämmt und verbolzt waren, war die Festigkeit des Baues so groß und brachte es die Natur der Dinge so mit sich, daß die Schrägpfahlpaare in um so engerer Verbindung miteinander festgehalten wurden, je mehr die Strömung des Wassers darauf drückte. (§ 8) Diese Brückenjoche wurden dadurch, daß Brückenbalken in der Längsrichtung der Brücke darauf gelegt wurden, miteinander in Verbindung gebracht und mit Belaghölzern und Reisig belegt. (§ 9) Und trotzdem wurden noch Jochpfähle sowohl stromab schräg eingerammt, die als Strebepfähle von unten eingebaut und mit dem ganzen Bau verbunden waren, um der Strömung des Flusses entgegenzuwirken, (§ 10) als auch andere in gleicher Weise oberhalb der Brücke in geringem Abstand, damit für den Fall, daß Baumstämme oder Balken zur Zerstörung des Baues von den Barbaren abgelassen würden, durch diese Prellpfähle sich ihre Wucht mindere und sie der Brücke nicht schadeten. (c. 18 § 1) Zehn Tage nachdem man angefangen hatte, das Bauholz herbeizuschaffen, war der ganze Bau fertig, und das Heer wurde hinübergeführt. (§ 2) Caesar ließ an den beiden Brückenköpfen einen starken Brückenschutz zurück und eilte in das Land der Sugambren.

3. Der Rhein bei km 162,6.

Wahl eines bestimmten Querschnitts. Die Beantwortung der Frage, wo die Rheinübergänge stattfanden, überlassen wir der Geschichtsforschung, da das für die technische Untersuchung ziemlich gleichgültig ist. Um aber mit tatsächlich vorhandenen Verhältnissen zu rechnen, legen wir unserer Untersuchung eine bestimmte Stelle des Mittelrheins zugrunde, auf die Caesars Beschreibung des Flußlaufes zutrifft, breit, reißend und tief zu sein.

Auf unsere Bitte sandte uns die Rheinstrombauverwaltung in Koblenz zwei Querschnitte durch den Rhein von Stellen, die für einen Brückenschlag geeignet sind. Sie liegen etwa 11 km unterhalb Bonn. Der von uns gewählte Querschnitt liegt zwischen Widdig und Urfeld in km 162,6 des Rheins (vgl. Abb. 1). Der gezeichnete Querschnitt ist, hydrotechnisch gesprochen, ein Regelquerschnitt für den Mittelrhein an einer Stelle, wo sich der Übergang von einer konkaven Stromkrümmung zu einer konvexen vollzieht.

Der Lauf eines Flusses im Naturzustande setzt sich aus gekrümmten und geraden Abschnitten zusammen. Zwischen den Tiefen zweier aufeinander folgender Gegenkrümmungen liegt ein Übergang (auch Schwelle oder Furt genannt). Der Querschnitt auf Abb. 1 ist ein solcher Übergangsquerschnitt, wie aus seiner schalenförmigen Gestalt zu entnehmen ist, d. h. die größten Tiefen liegen weitab vom Ufer nach der Mitte zu.

In einer Krümmung des Flußlaufes verschieben sich die größten Wassertiefen nach dem einbiegenden Ufer, und der Querschnitt nimmt eine fast dreieckige Gestalt an. Da durch den dreieckigen Querschnitt dieselbe Wassermenge fließen muß wie durch den schalenförmigen, ergeben sich in der Nähe des einbiegenden Ufers größere Wassertiefen und damit größere Wassergeschwindigkeiten als beim Übergangsquerschnitt. Bei einem Strom, wie es der Mittelrhein ist, kann die größte Wassertiefe in der Krümmung um 3—5 m mehr betragen als im Übergang. Die Rammarbeiten werden bei außerordentlich langen Rammpfählen besonders schwierig und das Joch schwankend.

Den Brückenzug über eine Insel führen — wovon Caesar nichts sagt —, heißt, die Schwierigkeiten für den Brückenbau eher erhöhen als herabmindern. Die größere

Wasserspiegelbreite in dem gespaltenen Strom bedingt mehr Joche, also mehr Rammarbeit. Außerdem wächst der Bedarf an Bauholz für die Brückenbalken und die Fahrbahn in demselben Maße, wie die Länge der Brücke zunimmt.

Roms älteste und lange Zeit einzige Brücke, der *pons sublicius*, führte über das rund 90 m breite Tiberbett, obwohl nur wenige hundert Meter stromauf die Tiberinsel lag. Wenn die *pontifices* beim Wiederaufbau der durch Hochwasser zerstörten oder vor Alter baufällig gewordenen Brücke niemals den Brückenzug nach der Insel verlegten, sondern die einmal gewählte Stelle stets beibehielten, so glauben wir, daß einzig und allein richtig erkannte wasser- und brückenbautechnische Gründe bestimmend gewesen sind¹⁾. Dieselben Gründe bestanden für Caesar, keine Rheininsel

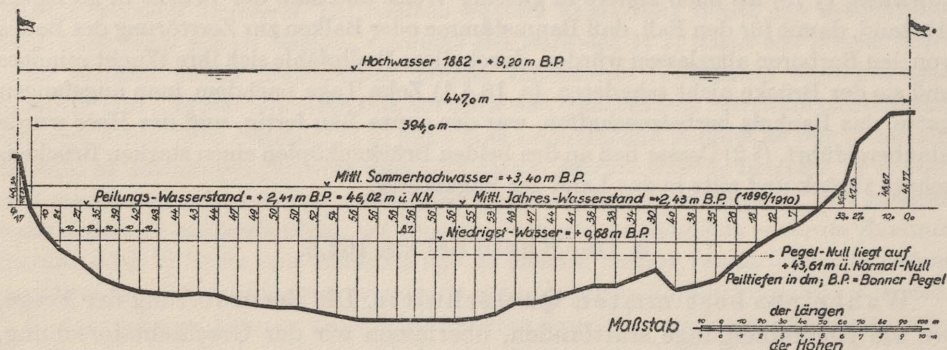


Abb. 1. Querschnitt des Rheins bei km 162,6.

zu wählen, und bestehen heute noch. Man wird für eine Pfahlbrücke über den Rhein immer eine Stelle am ungeteilten Strom aussuchen, die bei einer Peilung ähnliche Tiefenverhältnisse zeigen muß wie Abb. 1. Denn in einem sog. Übergangsquerschnitt treten die geringsten Schwierigkeiten bei Rammarbeiten quer durch das Strombett auf.

Veränderungen durch den Wasserbau. Wir sind uns darüber klar, daß die heutigen Flußquerschnitte nicht mit solchen zu Caesars Zeit übereinstimmen können. In früheren Jahrhunderten ging der Strom frei und ungehindert seinen Weg. Diesen alten Zustand zeigt ein Bild auf Wiebekings hydrographisch-hyrotechnischer Stromkarte vom Rhein, die seiner 'Allgemeinen Wasserbaukunst' beigegeben ist²⁾. Hiernach fließt schon damals der Rhein zwischen Widdig und Urfeld in einem einheitlichen Stromschlauch für mittlere, aber auch für höhere Wasserstände. Bald darauf setzten, seit jetzt knapp hundert Jahren, am Rhein die Regulierungsbauten ein, die zunächst nur an einzelnen kurzen Stromstrecken Vorflut und Fahrrinne vergrößern, Lage und Richtung der Fahrrinne verbessern und die Hochwassergefahren vermindern sollten. Mit der Einrichtung der Rheinstrombauverwaltung am 1. Januar 1851 beginnt die eigentliche planmäßige Regulierung des Rheinstroms. Die Stromkarten der Rheinstrombauverwaltung zeigen, daß unser Querschnitt in einer Stromstrecke liegt, auf der der Rhein seine Natur seit Jahrhunderten erhalten hat. Der Wasserbau hat sich hier auf den Uferschutz beschränkt, und die Stromkarte verzeichnet den ersten Uferausbau zwischen Widdig und Urfeld am linken Ufer in den Jahren 1839—1842. Das

¹⁾ Vgl. Urlichs, SB. Akad. München I, 1870, 496: '... ein heiliges Werk, welches die kundigen Brückenbauer mit richtiger Kenntnis des Flußbettes und der Strömungen an derjenigen Stelle anlegten, welche die Festung des Janiculus mit der bewohnten Stadt auf dem nächsten Wege und zugleich da, wo der Strom ruhiger floß, verband ...'

²⁾ C. F. Wiebeking, Allgemeine theoretisch-praktische Wasserbaukunst. Neue Ausgabe I (1798).

rechte Ufer wich infolge dieses künstlichen Eingriffs langsam zurück. Daher wurde bereits im Jahre 1853 mit Rücksicht auf die aufkommende Dampfschleppschiffahrt die Uferlinie des rechten Ufers durch verhältnismäßig leichte Buhnen festgelegt. Seit dieser Zeit hat der Wasserbau nicht mehr in den Lauf des Rheins bei km 162,6 eingegriffen, sondern nur für die Erhaltung dieser Uferbefestigung Sorge getragen.

Diese kurzen geschichtlichen Hinweise kennzeichnen die Geringfügigkeit des Eingriffs der Wasserbauverwaltung, die sich lediglich auf die Erhaltung des Stromschlauches durch Uferschutz beschränkte, aber von jeder Verlegung oder Vertiefung der Fahrrinne absah¹⁾.

Hydrographie des Querschnitts. Am Bonner Pegel werden die Wasserstände eines Niederschlagsgebietes von 141 162 qkm abgelesen. Dieses große Gebiet — es entspricht ungefähr dem Einzugsgebiet der Elbe bis zum Elbe-Trave-Kanal — ist in bezug auf die Wasserführung in zwei verschieden geartete Teilgebiete zu zerlegen. Zu dem einen Gebiet gehört das Quellgebiet des Rheins mit allen Alpenflüssen, die ihn speisen (rd. 40 000 qkm); daran schließt sich das große Gebiet der links- und rechtsseitig zuströmenden Mittelgebirgsflüsse. Davon sind am größten die Einzugsgebiete von Main und Mosel (rd. 35 000 und rd. 30 000 qkm).

Der Oberrhein steht ganz unter dem Einfluß der Wasserführung aus den Alpenländern und hat daher seine Hochflut zur Zeit der Gletscherschmelze im Hochsommer. Dem Umstande, daß diese Hochwasser selbst im Hochsommer den Niederrhein speisen, verdankt der Rhein seine Bedeutung als leistungsfähigste Wasserstraße Deutschlands. Nach dem Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands²⁾ ist z. B. das Juli-Hochwasser 1913 durch die Oberrheinische Tiefebene hindurch an Mannheim und Mainz vorbei bis zum Pegel bei Bingen als der höchste Wasserstand des Abflußjahres verzeichnet. Bei dieser Juli-Anschwellung stieg der Bonner Pegel auf + 3,80 m, so daß der Wasserstand 1,37 m höher stieg als der mittlere Jahreswasserstand der Jahresreihe 1896—1910, der nach Abb. 1 und 2 von uns als Wasserstand zur Zeit des Brückenschlags mit + 2,43 m angenommen worden ist³⁾.

Für die Niederschlagsgebiete der Mittelgebirgsflüsse des Rheins gilt dasselbe, was auch die norddeutschen Flachlandströme (Weser, Elbe, Oder) kennzeichnet: für sie ist der trockene Sommer die Zeit des Niedrigwassers; in den Wintermonaten wird jedoch nicht aller Niederschlag so festgehalten wie im Hochgebirge, so daß die Hochfluten in die Zeit vom Spätherbst bis zum Frühjahr fallen, wenn — durch das Klima bedingt — gewaltige Regenmassen mit rascher Schneeschmelze zeitlich zusammenfallen. So war dem bis Bingen maßgebenden Juli-Hochwasser des Abflußjahres 1913 bereits eine Flutwelle im Februar vorausgegangen, die am Bonner Pegel mit + 5,08 m den höchsten Wasserstand des Jahres brachte. Dieses Hochwasser des Mittelrheins wurde hauptsächlich aus dem Einzugsgebiet der Mosel gespeist.

Auf Abb. 2 haben wir die Wasserstandsbewegung des Rheins am Bonner Pegel für die Abflußjahre 1912—1915 dargestellt. Das Abflußjahr beginnt mit dem 1. November und zerfällt in das Winterhalbjahr (November—April) und in das Sommerhalbjahr (Mai—Oktober). Vom Abflußjahr 1912 ist nur das Sommerhalbjahr

¹⁾ Bei der Betrachtung von Abb. 1 lasse man sich nicht durch die verzerrte Darstellung des Querschnittes irreführen: die Stromtiefen sind zehnmal größer als die Breiten gezeichnet, während auf Abb. 11 Tiefen und Breiten in dem gleichen Maßstab eingetragen sind.

²⁾ Jahrb. f. d. Gewässerkunde Norddeutschlands, Abflußjahre 1912—1915 (Preußische Landesanstalt für Gewässerkunde, Berlin).

³⁾ Mittel-Wasser (MW) der Jahresreihe 1896—1910 liegt auf + 2,43 m am Bonner Pegel, d. h. auf + 46,04 NN.

aufgetragen worden; die übrigen Jahre bringen den vollständigen Jahresabfluß. In waagerechter Richtung führt die Abb. durch sämtliche Tage des Jahres; zu jedem Tage ist dann als Lotlinie die Pegelablesung (Wasserstandshöhe) über dem Nullpunkt des Bonner Pegels (+ 43,61 m über NN) aufgetragen. Die Verbindung der Endpunkte

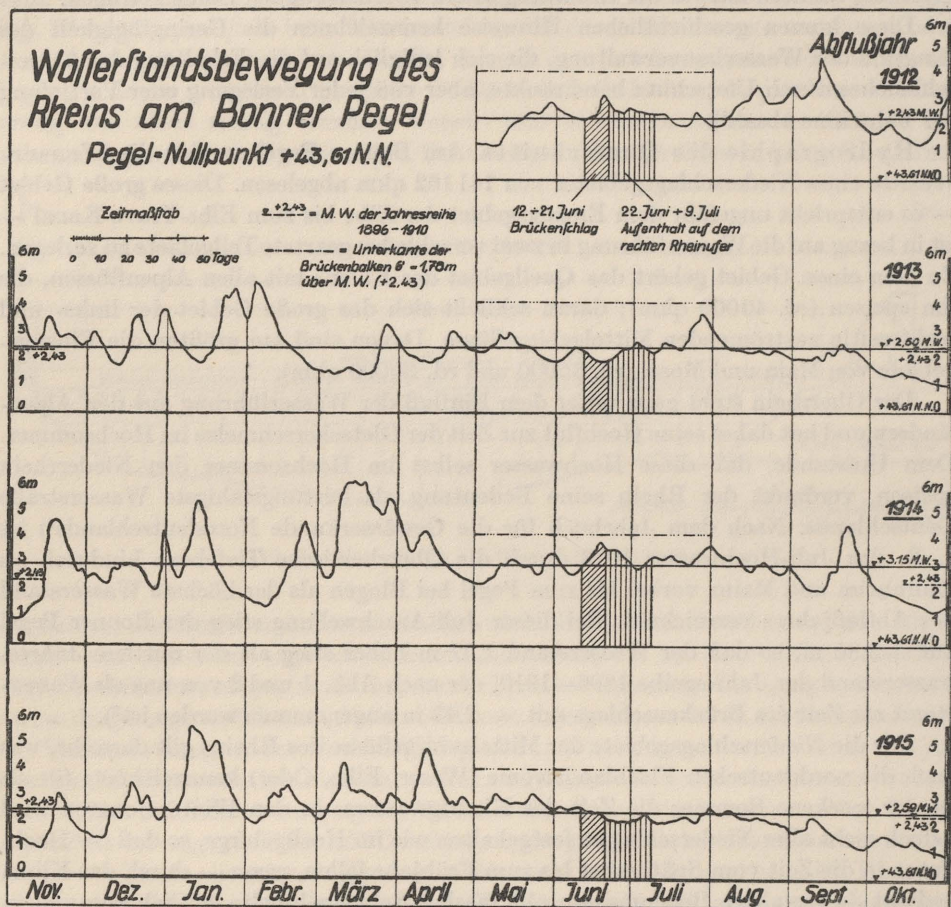


Abb. 2. Wasserstandsbewegung des Rheins am Bonner Pegel.

der Wasserstandshöhen gibt das Bild des Abflußvorgangs mit seinem ständigen Wechsel und starken Unterschied zwischen dem Winter- und Sommerhalbjahr.

Das Bild der Wasserstandsbewegung des Jahres 1913 möge als Beispiel durch Eingehen auf die meteorologischen und klimatischen Verhältnisse der einzelnen Zuflußgebiete an Hand des Berichtes im Jahrb. f. d. Gewässerkunde Norddeutschlands, Abflußjahr 1913, kurz besprochen werden, so daß uns Ursache und Wirkung beim Wechsel der Wasserstände bewußt werden¹⁾. Hiernach ist das Abflußjahr 1913 als ein Durchschnittsjahr zu betrachten. Im Oktober 1912 zeigten die beiden ersten Monatsdrittel noch ein unbedeutendes Sinken der Wasserstände; gegen Schluß des Monats folgte die erste winterliche Hebung der Mittelgebirgszuflüsse. Am 11. November setzte durch reichliche Niederschläge im Maingebiet und nördlich davon eine

¹⁾ Der Gesamtabfluß während des Berichtsjahres ist im Rheingebiete von dem durchschnittlichen Betrage der Jahre 1896—1910 wenig abgewichen.

langdauernde Anschwellung ein, so daß der Wasserabfluß für November ungewöhnlich groß war: das Monatsmittel der Jahre 1896—1910 wurde um 1,50 m überschritten. Im Dezember ließ der Abfluß im allgemeinen zunächst nach; aber dann brachte der Niederschlag im gesamten Mittelgebirge zwei Flutwellen, deren Spitzen am 21. und 31. Dezember am Bonner Pegel vorbeizogen. Der Januar brachte wieder ein allgemeines Sinken der Zuflüsse und an seinem Ende nur eine mäßige Fluterscheinung. Der 3. Februar aber sah mit 5,08 m den höchsten Pegelstand des Jahres infolge einer zweiten Hochflutwelle, die besonders durch Zuflüsse aus dem Moselgebiet bedingt war, worauf aber bei Frostwetter die Wasserstände rasch fielen. Im März beharrten die Wasserstände fast unverändert auf ihrer anfänglichen Höhe, und nur gegen Ende des Monats kam es zu einer mäßigen Anschwellung, die sich in der ersten Aprilhälfte gleichmäßig verlief. In der zweiten Aprilhälfte wiederholte sich die Anschwellung. Der Main war beide Male in Ruhe verblieben. Die Wasserstandsbewegung der Sommermonate vollzog sich ungewöhnlich ruhig. Die schon im April einsetzenden Alpenzuflüsse erreichten in ziemlich regelmäßiger Zunahme gegen Ende Juli ihr Höchstmaß, um dann, mit einer kurzen Unterbrechung im September, bis zum Schlusse des Jahres (Ende Oktober) ziemlich gleichmäßig wieder zu fallen. Auch die Wasserstände der Nebenflüsse entfernten sich meist wenig von den durchschnittlich der Jahreszeit entsprechenden Höhen: im Juli, August und September lagen die Monatsmittel etwa auf der gewöhnlichen Höhe, aber der Oktober brachte nur schwache Zuflüsse, so daß am 31. Oktober der niedrigste Wasserstand verzeichnet wurde.

Die Wasserstandsschwankungen des ganzen Jahres 1913 wie auch seiner beiden Halbjahre bleiben etwa 1 m unter dem Regelmaß. Man bezeichnet den Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Pegelstand eines Zeitraums als 'Spielraum'. Der für die einzelnen Abflußjahre aus den Pegellisten ermittelte Spielraum ist: 1912: 4,69 m; 1913: 4,03 m; 1914: 5,37 m; 1915: 4,95 m. Der gemittelte Wert des Spielraums der Jahre 1910—1915 beträgt genau 5,00 m.

Das Ergebnis aus der bildlichen Darstellung der Wasserstandsbewegung ist folgendes: Man kann damit rechnen, daß die Frühjahrshochwasser des Rheins bis Mitte April zu mittleren Wasserständen abgeflossen sind und daß anschließend eine 7 Monate dauernde Zeitspanne der mittleren und niedrigen Wasserstände folgt. Die in fast gleichmäßiger Höhe sich haltenden Wasserstände der ersten Sommermonate (Mai, Juni, Juli) werden von bedeutenderen Anschwellungen überhaupt nicht unterbrochen; frühestens gegen Ende Juli treten zeitweilige Anschwellungen auf, die das mittlere Sommerhochwasser übersteigen. Aber der Abfluß im Sommer kann auch ohne jede Hochwasseranschwellung vor sich gehen (vgl. Abflußjahr 1915).

Das Abflußjahr 1914 bildet eine Ausnahme: sein Jahresmittel liegt 0,72 m über dem Durchschnitt der Jahre 1896—1910, und in den Sommermonaten 1914 wird das für uns maßgebende mittlere Sommerhochwasser sechsmal überschritten. Aber solche außerordentlichen Wasserstände konnten für uns nicht bestimmend sein. Im Gegensatz zu dem wasserreichen Sommer 1914 bringt der Abfluß des auf Abb. 2 nicht aufgetragenen Sommerhalbjahres 1911 durchweg niedrige Wasserstände. Der höchste Pegelstand im Sommer 1911 beträgt + 2,88 m, übersteigt also das Mittelwasser der Jahresreihe 1896—1910 nur um 0,45 m; vom 8. Juli ab bleiben alle Wasserstände bis zum Schluß des Abflußjahres unter + 2,43 m, d. h. unter dem Durchschnitt der Jahre 1896—1910.

Der Niedrigstwasserstand einer mehrjährigen Beobachtung liegt 1,75 m niedriger als Mittelwasser. Bei diesem ganz außergewöhnlichen Wasserstande ist aber

immer noch eine mittlere Wassertiefe von 2,60 m vorhanden. Gerade dieser Zahlenwert zeigt, daß ein Übergang über den Rhein nur zu Schiff oder auf einer festen Brücke möglich ist. Die niedrigsten Wasserstände des Rheins scheiden überhaupt aus unserer Betrachtung aus, da sie erst in die Monate Oktober und November, vereinzelt auch in den September, zu fallen pflegen, wie die Pegelaufzeichnungen zeigen und aus unserer Auftragung der Wasserstände auf Abb. 2 ersichtlich ist¹⁾.

Bei MW beträgt die größte Wassertiefe 5,60 m; sie ist auf 50 m Breite vorhanden, so daß das größte Brückenjoch bei einem Jochabstand von 8 m mindestens siebenmal ausgeführt werden muß (vgl. Abb. 11). Eine Tiefe von 5 m und mehr ist auf 100 m Breite festzustellen. Die mittlere Tiefe des Querschnitts ist zu 4,05 m errechnet; sie ist auf Abb. 3 zwischen Joch 6 und 7 erreicht, also in einer Entfernung von rd. 50 m vom linken Ufer. Der Rhein beansprucht demnach bei mittleren Wasserständen einen Durchflußquerschnitt von 1600 m².

Dem Staatlichen Wasserbauamt Köln verdanken wir folgende Gefällsangabe zwischen km 162 und km 163 des Rheins. Das Spiegel-Nivellement vom 19. September 1927 ergab bei einem Wasserstande von +2,98 m am Kölner Pegel (= rd. 0,50 m über MW) ein Gefälle von 1:3520; das Spiegel-Nivellement vom 12. Dezember 1927 ergab bei einem Wasserstande von +1,47 m am Kölner Pegel (= rd. 1,00 m unter MW) ein Gefälle von 1:4150. Die von Jasmund²⁾ eingetragenen Längsnivellements ergeben bei ähnlichen Wasserständen wie oben die Gefälle 1:4760 und 1:5210. Das durchschnittliche Gefälle der Rheinstrecke zwischen Bonn und Köln ist bei MW rd. 1:5000.

Auf unsere Anfrage teilt uns die Rheinstrombauverwaltung die Ergebnisse von Messungen mit, die sie bei Sürth (km 173,4) vorgenommen hat, wo sich eine Meßstelle für regelmäßig wiederkehrende Wassergeschwindigkeitsmessungen befindet:

Wassergeschwindigkeiten des Rheins bei km 173,4

Tag der Messung	Pegelstand am Kölner Pegel	Wasser- tiefe m	Wassergeschwindigkeiten		
			V _{max} * m/sek	V _m ** m/sek	V _s *** m/sek
a) Messung etwa 40 m vom Ufer entfernt					
5. 8. 1909	+2,68	3,67	1,05	0,88	0,58
26. 11. 1910	+3,46	4,65	0,98	0,88	0,53
16. 3. 1906	+4,65	5,47	1,15	1,01	0,70
b) Messung in Strommitte					
5. 8. 1909	+2,68	5,70	1,41	1,25	0,88
26. 11. 1910	+3,46	6,55	1,70	1,50	0,94
16. 3. 1906	+4,65	7,48	1,89	1,57	1,00

*V_{max} = größte Geschwindigkeit in einer Lotrechten des Querschnitts; sie liegt im Wasserspiegel und entspricht der Oberflächengeschwindigkeit.

**V_m = mittlere Geschwindigkeit in einer Lotrechten des Querschnitts.

***V_s = Geschwindigkeit unmittelbar über der Flußsohle.

¹⁾ Das Höchsthochwasser 1882 ist der Vollständigkeit halber auch noch in den Querschnitt Abb. 1 eingetragen. Die Wassermassen strömen dann in einer größten Tiefe von 12,37 m talwärts. Da die Kriegsbrücken Caesars nur für einen Sommerfeldzug gebaut worden sind, brauchte selbstverständlich auf die höchsten Hochwasser des Rheins keine Rücksicht genommen zu werden.

²⁾ R. Jasmund, Die Arbeiten der Rheinstrombauverwaltung 1851—1900, 110 Abb. 98.

Wir haben uns bisher immer auf den Bonner Pegel bezogen. Da aber die Sürther Meßstelle im Bereich des Kölner Pegels liegt, ist hier der Kölner Pegelstand maßgebend. Um Wasserstände der Pegel zu Bonn und zu Köln vergleichen zu können, teilen wir nach den Angaben der Rheinstrombauverwaltung folgende Beziehungen zwischen beiden Pegeln mit:

Nullpunkt	Bonn	+43,61 NN	Köln	+35,93 NN
km	Bonn	152,74	Köln	186,00
MW	Bonn	+ 2,45 m ¹⁾	Köln	+ 2,52 m

Der Rhein bei km 162,6 hat, wie oben erwähnt, bei Mittelwasser in Strommitte eine Wassertiefe von 5,60 m und bei mittlerem Sommerhochwasser eine Wassertiefe von 6,60 m. Der Querschnitt der Meßstelle (km 173,4) hat fast die gleiche Wassertiefe. Da beide Querschnitte in bezug auf Wasserspiegelbreite, Gefälle und Wasserführung annähernd gleichwertig sind, können wir auch bei dem Rheinquerschnitt auf Abb. 1 mit einer größten Wassergeschwindigkeit V_{\max} , die gleich der Oberflächengeschwindigkeit ist, von 1,41 m/sek rechnen. Selbst unmittelbar über der Flußsohle treten dann noch Wassergeschwindigkeiten von 0,88 m/sek und 0,94 m/sek auf. Bemerkenswert ist auch die Feststellung, daß in der Nähe der Uferlinie die Fließgeschwindigkeit immer noch 1,0 m/sek beträgt.

Während Caesar, B. G. IV 17, 2 nur ganz allgemein berichtet, daß sich 'wegen der Breite, Schnelligkeit und Tiefe des Flusses die größte Schwierigkeit zeigte', haben wir nach den vorausgehenden wasserbautechnischen Untersuchungen am Mittelrhein, wie er heute ist, eine deutliche Vorstellung von dem Strom gewonnen, den er überbrückt hat: seine Breite (*latitudo*) ist zu rd. 400 m (415 m) anzunehmen; seine Fließgeschwindigkeit (*rapiditas*) in Strommitte ist mehr als 1,4 m/sek (1,70 m/sek), seine Tiefe (*altitudo*) mißt im Talweg 5,60 m (6,60 m)²⁾.

Die Zeit des Brückenschlages. Wenn die Berechnungen Napoleons III. ungefähr stimmen (II 181), so baute Caesar die erste Brücke vom 12. bis 21. Juni 55 v. Chr. und war vom 22. Juni bis zum 9. Juli auf dem rechten Ufer. Somit kommen die Anschwellungen des Rheins in der zweiten Hälfte des Sommers (August, September, Oktober) für ihn nicht in Frage. Der zweite Übergang 53 v. Chr. muß noch früher stattgefunden haben: als das Getreide zu reifen anfängt (*cum maturescere frumenta inciperent*), ist Caesar schon zurück und zieht gegen Ambiorix. Somit sind beide Brücken in der günstigsten Jahreszeit gebaut worden, was vermutlich kein Zufall ist: man wird die Wasserstandsbeobachtungen der befreundeten Ubier zu Rate gezogen haben³⁾.

Höhenlage der Fahrbahn. Der Querschnitt in Abb. 1 gibt einen Einblick in Breite und Tiefe des Rheins zwischen Neuwied und Köln. Der wichtigste Wasserstand ist das Mittelwasser (MW der Jahresreihe 1896—1910), ermittelt zu +2,43 m am

¹⁾ Auf Abb. 1 und 2 ist als MW am Bonner Pegel +2,43 m eingetragen (aus den Wasserständen der Jahresreihe 1896—1910 errechnet). Das MW +2,45 m ist aus einem wesentlich längeren Zeitraum ermittelt.

²⁾ Die Angaben in Klammern beziehen sich auf einen Wasserstand, der dem mittleren Sommerhochwasser entspricht.

³⁾ Um die Aufmerksamkeit auf die Wasserstandsbewegung während der von Napoleon III. angegebenen Zeitspanne zu lenken, haben wir in Abb. 2 die Tage des Brückenschlages vom 12. bis zum 21. Juni durch Schrägstrichelung und die Tage des Aufenthalts in Germanien vom 22. Juni bis zum 9. Juli durch lotrechte Strichelung hervorgehoben.

Bonner Pegel (= +45,04 NN). Diesen Wasserstand nehmen wir als maßgebend für den Brückenschlag an. Wir rechnen aber während des Baues und Bestandes der Brücke mit Schwankungen des Wasserstandes, die sich bis zur Höhe des mittleren Sommerhochwassers erheben können. Das mittlere Sommerhochwasser liegt $3\frac{1}{4}'$ (genau 0,97 m) höher als Mittelwasser.

Die Unterkante der Brückenbalken (*derecta materia*) legen wir $2\frac{3}{4}'$ über diesen erreichbaren Höchstwasserstand, damit Treibholz ohne Gefahr für die Brücke darunter hindurchschwimmen kann (*si arborum trunci sive trabes deiciendi operis essent a barbaris missae*). Wenn man für Brückenbalken und Fahrbahndecke eine Bauhöhe von $2\frac{1}{2}'$ rechnet, liegt die Oberkante der Fahrbahn ($3\frac{1}{4}' + 2\frac{3}{4}' + 2\frac{1}{2}'$) = $8\frac{1}{2}'$ (rd. 2,50 m) über MW¹⁾.

Zwei Gründe sind also bestimmend für die Höhenlage der Fahrbahn über dem Wasserspiegel: erstens die Möglichkeit von Wasserstandsschwankungen bis zur Höhe des mittleren Sommerhochwassers (*quo maior vis aquae se incitavisset*), und zweitens das Erfordernis, daß bei diesem angenommenen Höchstwasserstande Gegenstände von angemessener Höhe unter der Brücke hindurchschwimmen können. So ergab sich zwischen Bauwasserstand (MW) und Unterkante der Brückenbalken (*derecta materia*) ein Spielraum von ($3\frac{1}{4}' + 2\frac{3}{4}'$) = 6' (1,80 m) (vgl. Abb. 3, 5 u. 11).

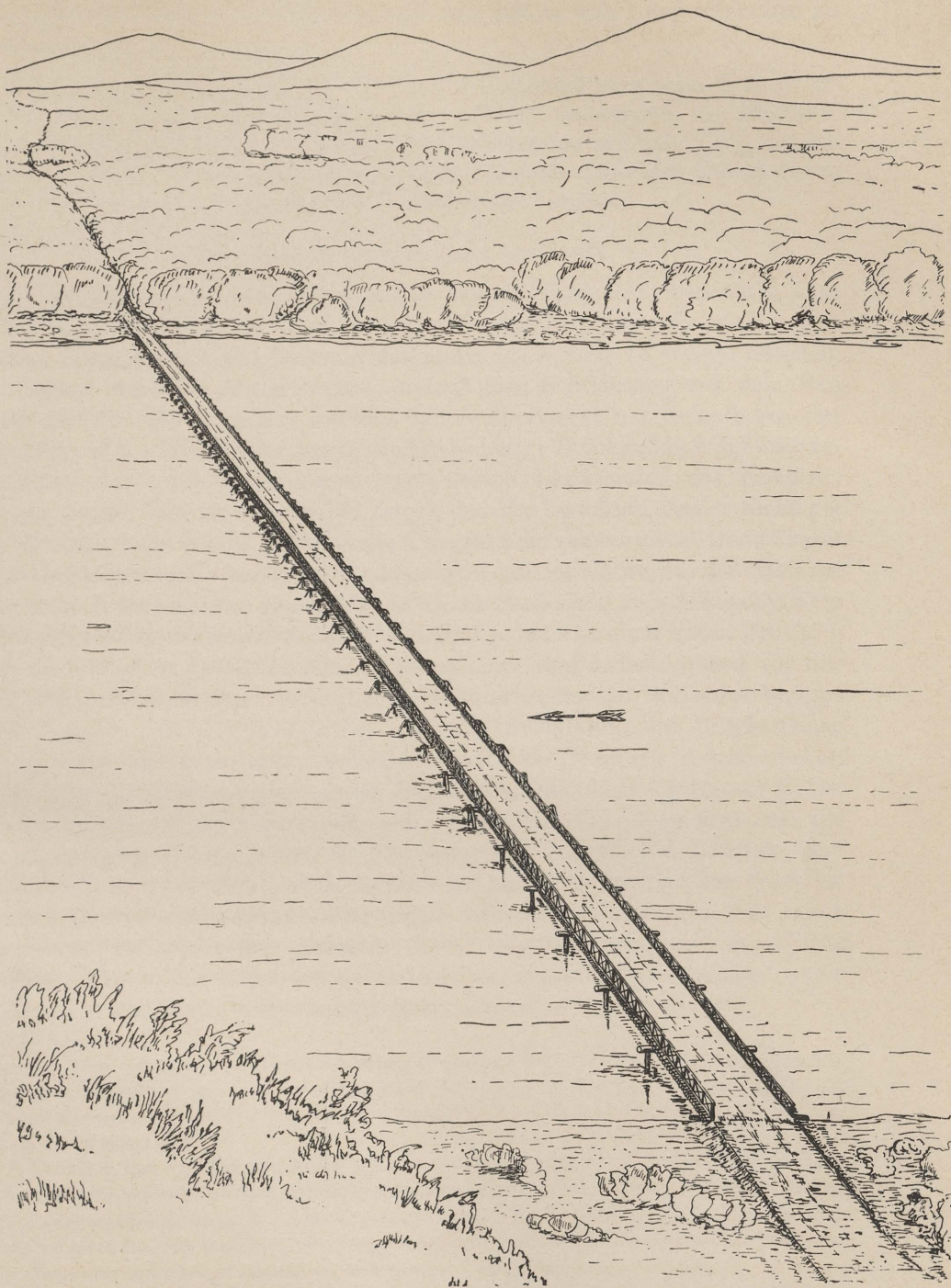
Für diese verhältnismäßig niedrige Lage der Fahrbahn über dem Wasserspiegel spricht auch, was Caesar über die beiden Brücken des Fabius über den Segre (Sicoris) berichtet²⁾. Der Legat hat die beiden Brücken ganz sicher in der Art seines Oberbefehlshabers gebaut. Die eine Brücke wird plötzlich durch Sturm und Hochwasser zerstört (*subito vi ventorum et aquae magnitudine pons est interruptus*). Sie wird rasch wiederhergestellt (c. 41, 1 *pons, qui fuerat tempestate interruptus, paene erat refectus: hunc nocte perfici iussit*). Aber bald darauf zerstört ein neues Hochwasser infolge der Schneeschmelze beide Brücken (c. 48, 1—2 *tanta enim tempestas cooritur, ut numquam illis locis maiores aquas fuisse constaret; tum autem ex omnibus montibus nives proluuit ac summas ripas fluminis superavit pontesque ambos, quos C. Fabius fecerat, uno die interrupti*). Daraus muß man also schließen, daß die Fahrbahn nicht sehr hoch über dem Wasserspiegel gelegen hat und daß die Brückenbalken, die ohne Befestigung auf den Holmen lagen, durch die steigende Hochwasserwelle von den Holmen abgehoben und samt ihnen mitgerissen wurden.

Länge der Fahrbahn. In der 'Hydrographischen Beschreibung des Rheinstroms und seiner wichtigsten Nebenflüsse' (1889) sind S. 101—103 in Liste IX die wichtigsten Abmessungen einer größeren Anzahl von charakteristischen Rheinquerschnitten zusammengestellt, darunter auch die Wasserspiegelbreiten bei Mittelwasser (d. h. bei mittlerem Jahreswasserstand von 1851 bis 1886) von 13 Querschnitten auf der 100 km langen Stromstrecke zwischen den festen Brücken bei Koblenz und Köln. Wenn man die beiden Brückenquerschnitte nicht einbezieht — im Jahre 1889 waren dies die einzigen festen Rheinbrücken zwischen Koblenz und Köln —, ergibt sich für das Mittelwasser eine durchschnittliche Wasserspiegelbreite von 352 m. Demnach ist es zulässig, mit einer Wasserspiegelbreite von 350—400 m an der Brückenbaustelle zu rechnen³⁾.

¹⁾ Wir rechnen 1' röm. = 0,296 m.

²⁾ B. C. I 40, 3.

³⁾ Wenn E. Schramm eine Brückenlänge von 525 m zugrunde legt und mit 70 Jochfeldern von je 7,5 m Länge rechnet, hat er dem Mittelrhein eine Breite zugesprochen, die der Strom erst an der deutsch-niederländischen Grenze bei mittleren Wasserständen erreicht.



Caesars Rheinbrücke.

In dem von uns gewählten Rheinquerschnitt ist die Wasserspiegelbreite bei MW = 394 m (vgl. Abb. 1). Bei der angenommenen Höhenlage der Fahrbahn über MW ergibt sich eine Brückenlänge von 400 m von Landwiderlager zu Landwiderlager.

Wie aus Abb. 3 ersichtlich ist, beträgt der Jochabstand bei unserm Entwurf 27' (8,0 m). Für den ganzen Brückenzug sind also 49 Joche zu rammen. Den Eindruck, den ein so langer Brückenzug, der erste große Ingenieurbau in Deutschland, auf den Beschauer machen mußte, wenn er vom linken Rheinufer über den breiten Strom hinweg hinübersah, haben wir auf Taf. 24 darzustellen versucht.

4. *rationem pontis hanc instituit.*

Diesen Satz haben zwar schon unsere Vorgänger richtig übersetzt¹⁾, aber sie haben es versäumt, aus ihrem richtigen Verständnis dieses Einzelsatzes die richtige Folgerung für das Gesamtverständnis der Brücke zu ziehen, nämlich, daß Caesar nicht die Absicht hatte, einfach eine Schilderung von dem Bau seiner Rheinbrücke zu geben, sondern daß er überhaupt nur deshalb von der Brücke spricht, weil er Neuerungen, die der bisherige Brückenbau nicht kannte, eingeführt hatte und diese Neuerungen seinen Landsleuten zur Kenntnis bringen wollte. Das ist der einzige Zweck des Bauberichtes, den er nicht gebracht hätte, wenn er eine gewöhnliche Kriegsbrücke gebaut hätte. Denn Caesar mußte bei jedem römischen Leser voraussetzen, daß der wußte, wie das römische Heer seine Kriegsbrücken baute. Man baute sie nach alten, festen Regeln. Kein anderer Schriftsteller schildert daher ausführlich den Bau einer festen Brücke²⁾. Und an bildlichen Darstellungen des Baus einer Pfahlbrücke haben wir nur Bild XIX der Trajanssäule. Aber die Darstellung beschränkt sich auf so knappe Andeutungen, daß das Bild nichts über die Ausbildung der Brückenjoche bringt. Es ist auch nicht nötig. Jedermann weiß: ein Pfahljoch besteht zu allen Zeiten aus zwei lotrecht gerammten Jochpfählen mit darauf gelegtem Holm. Die Jochpfähle heißen gewöhnlich *sublicae*, bei Vegetius allgemeiner *stili*, die darauf gelegten Holme *trabes*. So die einfachste Bauart. Bei Brücken über größere Flüsse ist die Zahl der Jochpfähle am einzelnen Joch größer. Auch bei Caesars Rheinbrücken konnten die Joche nicht anders aussehen. Wir haben dem Joch fünf Jochpfähle gegeben. Caesar gibt die Zahl nicht an. Nichts anderes zeigen in unserem Entwurf die Joche in der Nähe der Uferlinie, wo die Wassertiefe und damit die Strömung gering ist (vgl. Abb. 3)³⁾.

¹⁾ Bei Kraner-Dittenberger-Meusel ist richtig übersetzt: 'Das neue, eigenartige Verfahren, das er bei dem Brückenbau anwandte, war folgendes.' Neuburger sagt dafür: 'Die Konstruktion, die er der Brücke gab, war neu und folgender Art.' Man könnte auch übersetzen: 'Folgende Bauweise war an der Brücke neu.'

²⁾ Über den Bau von Schiffsbrücken vgl. u. S. 160 ff. — Außer Caesars Brückenbeschreibung haben wir nicht einmal bei Vegetius III 7 mehr als die paar dürftigen Worte: *navigari vero amnes stilis fixis ac superimpositis tabulatis pervii fiunt* ('schiffbare Flüsse dagegen werden dadurch überschreitbar gemacht, daß man Ständer [Jochpfähle] einrammt und Bohlen darauf legt'). Hier ist nicht einmal ein so wichtiger Bauteil am Brückenjoch wie der Holm (*trabs*) erwähnt.

³⁾ In Abb. 3 zeigt der Längsschnitt fünf einfache Pfahljoche von der Gestalt, wie im Querschnitt das Pfahljoch 4 gezeichnet ist.

Aber gegenüber solchen selbstverständlichen und jedermann bekannten einfachen Pfahljochen brachte Caesars Brückenjoch in den größeren Tiefen des Stromes bauliche Einzelheiten, die neu und eigenartig und daher bemerkenswert waren. Lediglich sie sind der Grund, weshalb Caesar überhaupt eine Schilderung seiner Brücke gibt. Hätte er diese Neuerungen nicht eingeführt, dann hätte er überhaupt keinen Baubericht zu bringen Anlaß gehabt. Das besagen also die einleitenden Worte: *rationem pontis hanc instituit*. Man darf sich also auf keine vollständige Schilderung des Baues gefaßt machen, sondern nur

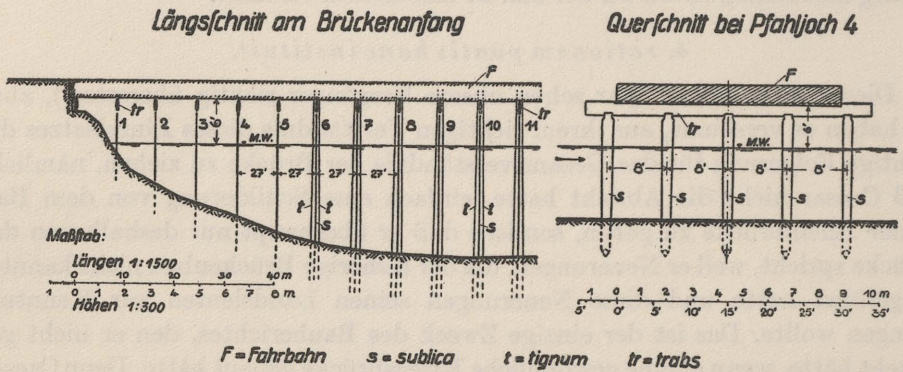


Abb. 3. Längsschnitt am Brückenanfang und Querschnitt bei Pfahljoch 4.

erwarten, daß ein Bericht über das Neue an der Brücke folgt. Wenn Caesar dahinter sofort von den *tigna* spricht, die er an seiner Brücke anwandte, so müssen sie das Neue gewesen sein, das er zu schildern hatte. Das hat man allgemein bisher verkannt. Aus dieser Verkennung der Absicht von Caesars Baubeschreibung erklärt es sich, daß man dem Worte *tignum* nur für das Brückenskapitel eine Bedeutung gegeben hat, die dieses häufig vorkommende Wort im ganzen Latein aller Zeiten nie gehabt hat: man hat für das Brückenskapitel dem Worte *tignum* die Bedeutung zugesprochen, die das Wort *sublica* hat.

Da die Berichtigung dieses jahrhundertealten Irrtums der Kern unserer Abhandlung über Caesars Rheinbrücken ist, so geben wir zuerst eine ausführliche Untersuchung über die Bedeutung der Wörter *sublica* und *tignum* und des von *tignum* nicht zu trennenden Wortes *trabs*. Wir fußen hierbei auf den noch unveröffentlichten Sammlungen des Thesaurus linguae Latinae.

5. *sublica*.

Im Brücken- und Wasserbau. Eine Holzbrücke über einen Strom von der gewaltigen Breite, Strömung und Tiefe des Rheins (*propter latitudinem, rapiditatem altitudinemque fluminis*) muß auf Pfählen ruhen, die in das Flußbett eingerammt sind. Fra Giovanni Giocondo aber und alle anderen nach ihm entwerfen ein dachstuhlartiges Gebilde, das sie als Joch der Caesarbrücke ausgeben. Der Grund dafür liegt in einem Mißverständnis des Caesartextes, das Giocondo als Techniker und anderen als Kennern der lateinischen Sprache nicht unterlaufen durfte.

Diese Rammpfähle, die eine Holzbrücke zu tragen haben, heißen lat. *sublicae* oder *sublices*, deutsch allgemein 'Jochpfähle'. Da sie die Last der Brückenfahrbahn zu tragen (stützen) haben, ist der schärfere Ausdruck 'Tragpfähle' ('Stützpfähle'). Sie sind meist lotrecht gerammt und heißen daher auch 'Lotpfähle'. Bei vielen Pfahljochen sind die äußersten Jochpfähle schräg gestellt, um Schubkräfte aufzunehmen; sie heißen dann 'Strebeppfähle'. Für diese *sublicae* findet man in den lateinisch-deutschen Wörterbüchern den im Holzbrückenbau fast unbekannten Ausdruck 'Brückenpfähle'.

Nach ihren *sublicae* hieß im alten Rom die alte Tiberbrücke *pons sublicius* ('Pfahljochbrücke') im Gegensatz zu den Steinbrücken.

Livius I 37, 1 läßt im Sabinerkrieg die Römer eine Brücke durch treibende brennende Flöße in Brand stecken; die Jochpfähle, gegen die die Flöße treiben, nennt er *sublicae*. — Caesar selbst stellt B. G. VII 35, 4 eine von Vercingetorix zerstörte Brücke mit Hilfe der noch stehenden Jochpfahlstümpfe wieder her, und wieder heißt es *sublicae*¹). — Um *sublicae* handelt es sich auch bei Caesar, B. C. III 49, 4. Während des Stellungskrieges gegen Pompeius in der Küstenebene von Dyrrhachium (Durazzo) sucht Caesar seine Gegner durch Wassermangel mürbe zu machen. Er schreibt darüber: *omnia enim flumina atque omnes rivos, qui ad mare pertinebant, Caesar aut averterat aut magnis operibus obstruxerat, atque ut erant loca montuosa et asperae angustiae vallium, has sublicis in terram demissis praesaepserat terramque adgesserat, ut aquam contineret* ('Denn alle Flüsse und alle Bäche, die zum Meere flossen, hatte Caesar entweder ableiten oder durch große Bauten versperren lassen, und zwar hatte er, da die Gegend gebirgig und die engen Täler mit Geröll erfüllt waren, die Täler durch Pfähle, die er in die Erde rammen ließ, versperren und Erde anschütten lassen, um das Wasser abzudämmen'). Es handelt sich um Staudämme, die das zu Tal fließende Wasser zurückhalten sollten, und die *sublicae* bilden einen wesentlichen Bestandteil der Anlagen. Vermutlich wurde zuerst eine Pfahlreihe dicht an dicht oder möglichst dicht quer durch das Flußtal hindurch eingerammt und dann mit Erde umschüttet. Sie bildete also im fertigen Staudamm eine unsichtbare Wand quer durch das Tal²).

Vielleicht war bei Dyrrhachium die Strömung zu stark, so daß eine einfache Erdschüttung allein nicht gehalten hätte. Aber wenn man wie im Kaukasus wirklich alles Wasser zurückhalten wollte, so mußte auch der unsichtbare Grundwasserstrom, der in einer mit Schotter und Gerölle angefüllten Erosionsrinne ziemlich viel Wasser führt, abgesperrt werden. Der Zweck der Rammung der Pfähle war also, eine Verdichtung der Bodenmassen des Talgrundes herbeizuführen, so daß der Grundwasserstrom, der dem meerwärts lagernden Feinde Wasser liefern konnte, abgeschnitten wurde. Diese als *sublicae* bezeichneten Pfähle haben zwar keine Brücke zu tragen, aber sie haben mit den Jochpfählen einer Brücke das gemeinsam, daß sie ebenfalls lotrecht in das Bett eines Flusses gerammt sind.

¹) Die Joche solcher Pfahlbrücken müssen etwa so ausgesehen haben, wie wir uns nach Abb. 3 die Pfahljoche von Caesars Rheinbrücken in der Nähe des Ufers (Joch 1—5) denken.

²) Zur Erklärung verweisen wir auf Dipl.-Ing. G. Deubner, der im Januarheft 1933 der Zeitschrift 'Deutsches Bauwesen' über den Bau einer Reihe ähnlicher kleiner Stauanlagen in den engen Tälern des Kaukasus schreibt: 'Wenn der Aushub und das Ausbetonieren der Erosionsrinne — besonders in abgelegenen Gegenden — unverhältnismäßig hohe Kosten verursacht, so kann man sich darauf beschränken, die Erosionsrinne durch Spundwände, Pfahlreihen, Einpressungen u. dgl. möglichst abzudichten, um dabei zugleich auch ein eventuelles Ausspülen zu verhindern.'

Im Hoch- und Tiefbau. *sublicae* sind auch die stützenden Bauglieder bei brückenähnlichen Hochbauten. Bei Livius XXIII 37, 2 wird in der Höhe der Mauerkrone eine Plattform gebaut, die einen Holzturm tragen soll. Die Stützen der Plattform heißen *sublicae*. Hier wurden also für den Unterbau des Turmes nach Art der Jochpfähle eines Brückenjoches Tragpfähle auf festen Boden gestellt.

Unerläßlich für das Verständnis des Brückenkapitels bei Caesar ist Vitruv. III 4, 1—2 über Baugrund und Grundbau. Vitruv hat hier Tempelbauten im Auge und unterscheidet zwischen gutem und schlechtem Baugrund. Über die Gründungen auf schlechtem Baugrund sagt er: *sin autem solidum non invenietur, sed locus erit congesticius ad imum aut paluster* ('wenn sich aber kein tragfähiger Boden findet, sondern wenn der Baugrund Schutt bis unten hin oder Sumpf ist'), *tunc is locus fodiatur exinaniaturque* ('dann soll ein solcher Baugrund abgegraben und der Schutt abgeräumt werden') *et palis alneis aut oleagineis aut robusteis ustilatis configatur* ('im anderen Falle soll der Baugrund mit angekohlten Pfählen aus Erlen-, Ölbaum- oder Eichenholz vollgerammt werden') *sublicaque machinis adigatur quam creberrime* ('und man soll Tragpfähle mit Rammen möglichst dicht einrammen').

Man rammt Pfähle (*pali*) aus den genannten Holzarten ein, die zum Schutz gegen Fäulnis etwas angebrannt sind. Diese *pali*, die nicht den tragfähigen Boden der tieferen Schichten erreichen, werden nur zu dem Zwecke eingeschlagen, um das Erdreich zu verdichten. Rings um diese *pali* genannten Pfähle herum rammt man da, wo die Säulen und die Cellawände des Tempels zu tragen sind, *sublica* (kollektiver Singular) genannte Tragpfähle möglichst dicht so tief ein, daß sie in größerer Tiefe den tragfähigen Boden erreichen, und zwar in Reihen, wie sie der Grundriß des auszuführenden Hochbaus verlangt. Diese Grundpfähle (*sublica*) sind Tragpfähle für die Gebäudelast, denn sie haben auf den von ihnen abgefangenen Stereobaten die Säulen der Peristasis und die Wände der Cella zu tragen. Sie haben eine ähnliche Aufgabe zu erfüllen wie die Jochpfähle eines Brückenjoches, die die Last der Brückenfahrbahn zu tragen haben¹).

sublica ist also der Grundpfahl im Hochbau (Vitruv) und der Jochpfahl im Holzbrückenbau (Caesar). Für beide Arten Pfähle paßt der Ausdruck Tragpfahl. Ein Tragpfahl ist immer ein Rundpfahl.

Wenn *sublica* auch als Ganzes etymologisch nicht zu deuten ist, so ist es doch sein erster Bestandteil, das *sub-*. Die *sublica* steht immer unter ihrer Last, die von oben darauf drückt. Das erklärt den Unterschied gegenüber den *pali* bei Vitruv, die nur der Verdichtung des Erdreichs dienen, ohne eine Last zu tragen.

Schwierigere Stellen. Bei Ammian. XXIV 4, 21 erhält Julian die Meldung, daß die für diesen Zweck ausgebildeten Legionare einen Stollen vorgetrieben und *sublicibus* abgestützt hätten. Es handelt sich um eine Belagerung; der Stollen führt unter der Mauer hindurch ins Innere der Stadt. Ein Ausbau einfachster Art, der allerdings nur bei einigermaßen standfestem Boden möglich ist, besteht darin, daß das Hangende (das Dach) durch Rundhölzer unterstützt wird, die senkrecht zwischen das Liegende (die Sohle) und das Hangende gestellt werden. Diese Rundhölzer heißen Stempel, lat. hier *sublices*. Sie werden in der Richtung ihrer Achse auf Druck beansprucht, genau so, wie bei der Pfahlbrücke der mit *sublica* bezeichnete Jochpfahl die Auflast des Holms nach der Pfahlspitze und damit nach der Flußsohle überträgt. Auf den Kopf des Stempels wird meist ein Bohlenstück gelegt, damit eine größere

¹) Eingehender haben wir diese Vitruvstelle behandelt in unserm Aufsatz 'Vitruv über Baugrube, Baugrund und Grundbau' in den Mitt. Arch. Inst., Röm. Abt. 51, 1936.

Fläche des Erdreichs unterstützt wird; entsprechend erhält der Fuß des Stempels eine Schwelle zur besseren Druckverteilung. Diese mehr untergeordneten Teile der Zimmerung des Stollens, wozu auch eine unter Umständen notwendige Verschalung der Seitenwände des Stollens rechnet, sind von Ammian nicht besonders erwähnt. War dann der Stollen weit genug vorgetrieben, so konnte durch einen oder mehrere Schächte die Verbindung mit dem Stadttinnern hergestellt werden. So weit muß die Arbeit gediehen gewesen sein, als Julian die oben erwähnte Meldung erhält: die Legionare hätten sich unter den Grundmauern durchgearbeitet und würden jetzt, wenn er es befehle, heraussteigen (*nuntiatur imperatori . . . legionarios milites, quibus cuniculorum erant fodinae mandatae, cavatis tramitibus subterraneis subcubicisque suspensis ima penetrasse fundamentorum; iam, si ipse disposuerit, evasuros*).

Von dem 18 Zeilen umfassenden Abschnitt SVBLICIVM PONTEM des Festus sind immer nur die ersten Worte jeder Zeile erhalten. Die letzten vier Zeilen bildet ein Zitat aus Sallust (*Sallustius libro qua . . .*), dessen vorletzte Zeile lautet: *subcubicus cavata*. Wir weisen darauf hin, daß dieselben beiden Worte bei Ammian in umgekehrter Reihenfolge einander dicht folgen: *cavatis . . . subcubicus*. Vielleicht hat es sich auch bei Sallust um einen Stollen gehandelt, der mit Stempeln abgestützt war.

Am schwierigsten ist *sublica* bei Apuleius, Metam. IV 13, zu erklären: *confixilis machinae sublicae, turres structae tabularum nexibus ad instar circumforaneae domus, floridae picturae, decora futurae venationis receptacula*. Es handelt sich um eine Volksbelustigung in Plataeae in Form eines Gladiatorenspiels und eines Kampfes von Jägern mit wilden Tieren. Dazu werden in dem angeführten Satze die Vorbereitungen beschrieben, wie der Schluß besagt: *decora futurae venationis receptacula* ('wo die geplante Jagd eine schöne Aufnahmestätte finden soll'). Die *floridae picturae* sind bunte Malereien um die Arena herum. *turres* sind in allgemeinsten Bedeutung irgendwelche hohen Bauten. Hier ergibt sich ihre Bedeutung aus dem Vergleich *ad instar circumforaneae domus*. Sie sollten also Forumsbauten ähnlich gewesen sein. Karl Sittl stellt darüber fest¹): 'Man brachte nämlich für den Fall, daß auf dem Forum . . . Spiele aufgeführt werden sollten, an den Porticus maeniana superioribus coaxationibus (Oberstock) an.' Die Balkons (*maeniana*) in den oberen Stockwerken sollen nach Festus ihren Namen von dem Censor Maenius haben, der als erster auf dem Forum vor die Flucht der Säulen vorspringende Balkons habe herstellen lassen, um oben den Raum für die Zuschauer zu erweitern (*MAENIANA appellata sunt a Maenio censore, qui primus in foro ultra columnas tigna proiecit, quo ampliarentur superiora spectacula*). *turres structae tabularum nexibus ad instar circumforaneae domus* sind somit die Zuschauertribünen, 'hohe Bauten, aus Brettern errichtet, nach dem Vorbild von Häusern um einen Markt'. Die *confixilis machina* setzen wir der gleichfalls rätselhaften Maschine gleich, die Vitruv. X 1 als *genus scansorium quod Graece ἀρροπακτὸν vocatur* und als *scansoria ratio* bezeichnet und zweimal dicht hintereinander erwähnt. Es wird wohl kaum jemals möglich sein, sich von dieser Maschine eine klare Vorstellung zu machen. Jedenfalls aber dürften die *sublicae* der *confixilis machina* des Apuleius ihr Gegenstück in den Baugliedern finden, die Vitruv bei seiner Maschine mit den Worten *ad altitudinem tignis statutis* und *erismatum futuris* bezeichnet; denn das griechische ἔρεισμα ist dasselbe wie das lateinische *sublica*²). Setzt man also bei

¹ K. Sittl, Solarium und Maenianum. Archiv für lateinische Lexikographie und Grammatik 5, 1888, 292.

² Dionys. Hal., Ant. Rom. V 24, 3 sagt ὑπέρεισμα für *sublica* bei der Beschreibung des *pons sublicius*. Ähnlich sagt Plutarch, Caesar 22 bei der Erwähnung der Stöße des Treibholzes gegen die Joehpfähle der Rheinbrücke κατὰ τῶν ἐρειδόντων τὴν γέφυραν.

Vitruv für das griechische *erismatum* das lateinische *sublicarum* ein, so stützt Vitruv seine Maschine *sublicarum fulturis* (= *tignis ad altitudinem statutis*), wie Apuleius *sublicae* bei der seinigen hat. *confixilis machinae sublicae* sind somit die Ständer oder Pfosten der 'kunstvoll zusammengezimmerten' Maschine.

Sollten wir die dunkle Apuleius-Stelle annähernd richtig gedeutet haben, dann sind die *sublicae* auch hier hölzerne, senkrecht stehende und auf Druck von oben beanspruchte Bauglieder.

Schließlich erklärt das Glossar II 190, 46 richtig, *sublices* seien Rammpfähle, die unten im Flusse die Brücke tragen: *subliges* (zu verbessern in *sublices*) *καταπήγες οἱ ἐν ποταμῷ τὴν γέφυραν ὑποβαστάζοντες*¹).

6. *tignum* und *trabs*.

Im Hausbau. *tignum* und *trabs* sind ursprünglich Fachausdrücke für Teile von Decke und Dach, wobei zu bedenken ist, daß im Altertum Decke und Dach nicht so scharf zu trennen sind wie bei uns heutzutage, wie Sackur richtig bemerkt hat²).

Die Schwalbe hängt ihr Nest bei Verg., Georg. IV 307 an die *tigna*, bei Ovid., Fast. I 158 *celsa sub trabe*, bei Ovid., Trist. III 12, 10 *sub trabibus*. Die Spinnenweben hängen bei Ovid., Metam. IV 179 *summo . . . tigno*, bei Ovid., Am. I 14, 8 *deserta sub trabe*, bei Plin., Nat. XXX 27 *in trabibus*. Philemon und Baucis holen bei Ovid., Metam. VIII 648 Schinken herunter *nigro pendentia tigno*. Amata erhängt sich in Verg., Aen. XII 603 *trabe . . . ab alta*, mancher Liebhaber bei Ovid., Rem. 18 *a trabe sublimi*. Gleichzeitige Erwähnung der Dachziegel beweist, daß die *tigna* oder *trabes* zum Holzwerk des Daches gehören. Bei Livius XXXIV 39, 11 stürzen die brennenden Dächer der Stadt, und zwar außer Bruchstücken von Dachziegeln auch angebrannte *tigna*, auf die angreifenden Römer. Bei Tac., Hist. III 30 wehrt man die Verteidiger mit Balken, Dachziegeln und Feuerbränden ab (*trabibus tegulisque et facibus*). Bei Ammian. XXIII 2, 6 fällt plötzlich eine Halle ein und erschlägt 50 darunter lagernde Soldaten durch das große Gewicht der Balken und Dachziegel (*tignorum tegularumque pondere magno*). Hor., Carm. III 2, 27 wünscht, daß ein Gottloser nicht *sub isdem sit trabibus*; in Carm. IV 1, 20 soll ein Venusbild aufgestellt werden *sub trabe citrea*. Zedernbalken als Tempeldecke begegnen ebenso in Plin., Nat. XVI 213 beim Diana-tempel in Ephesus (*convenit tectum eius esse e cedrinis trabibus*), in Nat. XVI 216 beim

¹) Nicht hierher gehört Gloss. III 323, 9 *ἐπενδύτης sublica* und 518, 63 *ependites sublica*. In beiden Fällen ist *sublica* Schreibfehler für *subligar*. *subligar* ist die Badehose (vgl. Mart. III 87, 4). Dazu paßt Ev. Iohannis 21, 7 *τὸν ἐπενδύτην*. Petrus ist beim Fischen nackt. Er zieht eine kurze Hose an und schwimmt ans Ufer. Die Vulgata übersetzt unrichtig: *tunica succinxit se*.

²) W. Sackur, Vitruv und die Poliorketiker (1925) 123 u. 165. Lehrreich für diese Tatsache ist Pausanias V 20, 4 über die Auffindung eines menschlichen Gerippes auf dem Dachboden des Hera-tempels in Olympia. Pausanias meint den Raum zwischen Decke und Dach. Da er für Decke und Dach aber nur das eine Wort *στέγη* hat, drückt er sich folgendermaßen umständlich aus: *μεταξὺ ἀμφοτέρων . . . τῆς τε εἰς εὐπρέπειαν στέγης καὶ τῆς ἀνεχούσης τὸν κέραμον*. Joh. Heinrich Chr. Schubart übersetzt: 'zwischen dem Doppeldache . . . , nemlich zwischen dem Dache, welches zur Zierde dient, und dem, welches die Ziegel trägt'. Richtiger ist die lateinische Übersetzung des Amaseus: *inter tabulatum, quod ad speciem expositum est, et scandulare tectum*. J. G. Frazer vereinfacht allzusehr: 'between the ceiling and the roof'. Da sich im Deutschen 'Decke' und 'Dach' nicht zu einem einzigen Begriff zusammenfassen lassen, könnte man etwa folgendermaßen übersetzen: 'In dem Raume zwischen Decke und Dach, nämlich der Decke, die zur Zierde des Innenraumes des Tempels dient, und dem Dache, das die Ziegel trägt.'

Apollotempel in Utica (*ubi cedro Numidica trabes durant*). Ähnlich behauptet Silius III 17f. vom Burgtempel in Sagunt: *ab origine fani impositas durare trabes*. In einem Gleichnis sagt Seneca, Phaedra 644 *ut agilis altas flamma percurrit trabes*. Bei Dessau, ILS. 5531 hat jemand die Balken des Dachstuhls mit Eisen verstärkt (*trabes tecti ferro suffixit*). *tigna* sind sicher auch Teile von Decke und Dach bei Cato, De agr. 14, wenn er unter den für den Bau eines Gutshofes nötigen Dingen auch nennt *tigna omnia quae opus sunt*. Als Baustoffe, die man alten Häusern für die Errichtung von neuen entnimmt, erscheinen *tigna* bei Livius XXXVI 22, 11 sowie bei Rufin., Apol. II 40. Nach CIL. VI 1585b baut sich der Aufseher der Markussäule in Rom ein Haus und erhält dazu vom Fiskus zum Selbstkostenpreis zehn *tigna* vom Baugerüst (*pons*) der Säule. Bei Plaut., Most. 112 und 146 vergleicht sich der junge liederliche Philolaches mit einem sorgfältig gebauten, aber durch die Schuld des Besitzers vernachlässigten Hause, dessen *tigna* verfaulen, weil das Wasser eindringt. Hier werden es morsche Balkenköpfe oder Sparrenfüße sein, die an einer undichten Stelle der Traufe in Fäulnis übergegangen sind (vgl. Vitruv. VI 3, 2)¹). Sicher stellt sich Horaz einen Neubau in einer Straße Roms vor, wenn er sich Epist. II 2, 73 gestört fühlt, weil eine ungeheure Hebemaschine bald einen Stein, bald einen Balken (*tignum*) emporwindet, was Juven. 3, 246 übertreibend nachahmt, wenn er sagt, daß er den Balken an den Kopf bekomme (*at hic tignum capiti incutit*). An Teile von Decke und Dach ist sicher auch gedacht bei Lucr. VI 564 (*trabes*), Livius V 54, 2 (*in superficie tignisque caritas nobis patriae pendet*²), Festus unter ASSERES (*parieti trabibusque*), Ammian. XXV 10, 2 (*sonuerunt . . . trabes*, als Wunderzeichen). Bei Properz IV 3, 59 *sive in finitimo gemuit stans noctua tigno* bezeichnet *tignum* das Dach des Nachbarhauses, wie sich aus den von M. Rothstein zur Stelle angeführten Vergilversen Georg. I 402—403 *solis et occasum servans de culmine summo nequiquam seros exercet noctua cantus* ergibt. Ebenso sagt Paulinus Nolanus, Carm. 16, 158 *propter in adtiguīs habitabat femina tignis* in Nachahmung der Properzstelle *tigna* für das ganze Nachbarhaus.

tignum und *trabs* sind in den folgenden Fällen als zwei verschiedene Teile von Decke und Dach zu deuten.

Bei Lucr. II 192 züngelt das Feuer vom Dach empor und verzehrt *tigna trabesque*, wie vier Verse weiter allerdings für Holz überhaupt gesagt wird, aber offenbar nur infolge einer Nachwirkung der ersten Stelle. Bei Lucr. VI 241 sind es wieder Teile des Daches, die der Blitz losreißt (*disturbare domos, avellere tigna trabesque*). Aber welche besondere Bedeutung die mit *tignum* und *trabs* bezeichneten Bauglieder haben, sagt allgemein Vitruv. IV 2, 1: *trabes enim supra columnas et parastaticas et antas ponuntur, in contignationibus tigna et axes*. Demnach ruhen die *trabes* auf Säulen, Pfeilern und Mauervorlagen; die *tigna* bilden mit den Dielen zusammen die Decken. Folglich sind *trabes* die Architrave³) oder bei Decken die Unterzüge der Decken und *tigna* die Balken der Decken³). Daraus folgt, daß die *trabes* stärker sein müssen als die *tigna*. Das trifft auch auf Caesars Beschreibung im Brückenkapitel zu, wo die *trabes* 2' und die *tigna* 1½' stark sind.

¹) Ein guter Hausverwalter wie der alte Cato geht zu Beginn der Regenzeit im Hause herum, und wo das Wasser durch das Dach dringt, macht er mit Holzkohle ein Zeichen. Wenn der Regen vorüber ist, wird der schadhafte Dachziegel ausgewechselt (vgl. Cato, De agr. 155 *in villa, cum pluet, circumire oportet, sicubi perpluat, et signare carbone, cum desierit pluere, uti tegula mutetur*).

²) Zu *trabs* in der Bedeutung Architrav, worauf wir hier nicht weiter eingehen wollen, vgl. unseren Aufsatz 'Der Junotempel in Karthago nach Vergil, Aeneis I 446—506' in der Philol. Wochenschr. 53, 1933, 813—816 und 54, 1934, 622—624.

³) Vgl. Sackur a. a. O. 124.

Noch schärfer tritt der Unterschied zwischen *tignum* und *trabs* hervor, wenn man den Holzverband des Daches eines römischen Atriums nach Vitruv. VI 3, 1—2 ins Auge faßt.

Von den fünf Arten von Atrien sind die tuscanischen die, in quibus *trabes* in atrii latitudine *traiectae habeant interpensiva et collicias ab angulis parietum ad angulos tignorum intercurrentes*. Es liegen also zwei starke Balken (*trabes*) als Unterzüge quer von Längswand zu Längswand. In der Längsrichtung des Atriums liegen zwei kürzere Balken (*interpensiva*) so zwischen den *trabes*, daß sie mit den rechtwinklig anstoßenden Mittelstücken der *trabes* die rechteckige Öffnung in der Decke (*compluvium*) auf allen Seiten begrenzen¹⁾. Die vier *colliciae* sind die Kehlsparrn, die von den höher gelegenen vier Ecken der Atriumswände (*ab angulis parietum*) nach den vier Winkeln herunterreichen, die durch je eine *trabs* und je ein *interpensivum* gebildet werden (*ad angulos tignorum*). Man sieht, Vitruv faßt die *trabes* und die *interpensiva* unter dem Begriff *tigna* zusammen. Das Dach ist in diesem Falle nach innen geneigt: es hat vier Kehlen.

Ist es nach außen geneigt, so daß das Regenwasser nach den Atriumswänden hinfließt, so heißen die den *colliciae* entsprechenden Bauglieder *deliciae*, und es entsteht das *atrium displuviatum*. Vitruv erklärt: *displuviata autem sunt, in quibus deliquiae arcam* (die vier nach außen geneigten Dachflächen) *sustinentes stillicidia* (das Regenwasser) *reiciunt*. Festus erklärt entsprechend: *DELICIA est tignum, quod a culmine ad tegulas angulares infimas versus fastigatum collocatur* ('*delicia* ist ein Bauholz, das vom First nach den untersten Eckziegeln hin geneigt gelegt wird'). Demnach sind *deliciae* die Gratsparren. Das Dach ist in diesem Falle nach außen geneigt: es hat vier Grate.

Die *trabes* dieser beiden Arten von Atrien sind also tatsächlich die am stärksten belasteten Balken des ganzen Hauses, die die gesamte Dachlast mit allem Zimmerwerk, soweit es nicht von den den Hof begrenzenden Mauern unterstützt ist, tragen müssen. Es sind waagerecht liegende, auf Biegung beanspruchte Hölzer, die der Fachmann als Balken bezeichnet²⁾.

¹⁾ Anders F. Mazois, Les Ruines de Pompéi II (1824) 23. Bei ihm ruhen die *interpensiva* auf den *trabes*. Um ein gleichhohes Auflager für sämtliche Sparrenfüße zu erhalten, ist er gezwungen, zwischen den *interpensiva* auf den *trabes* Füllhölzer hinzuzufügen, die er *tigilli sive trabeculae* nennt. Aber davon ist bei Vitruv mit keinem Worte die Rede. Nach unserer Ansicht sind die *interpensiva* als 'Wechsel' zwischen den *trabes* eingezogen, so daß für sämtliche Sparrenfüße ein gleichhohes Auflager vorhanden ist und die von Mazois erfundenen Füllhölzer überflüssig sind. In dem Wort *interpensiva* liegt u. E., daß diese Bauteile zwischen den *trabes* hängen.

²⁾ Um den Fachausdruck 'Balken' noch weiter zu klären, führen wir Luegers Lexikon der gesamten Technik³ (1926) an: 'Balken, als statischer Begriff ein Träger, bei dem im Gegensatz zum Bogen durch vertikale Belastungen vertikale Auflagerkräfte hervorgerufen werden; als Holzkonstruktionsteil (auch Tram genannt) in die Kategorie 'Verbandholz' gehörig, ein waagerechter, entweder an den beiden Enden oder in anderen Punkten unterstützter prismatischer Holzstamm, im Querschnitt meist rechteckig oder quadratisch (Dimensionen 12/15—26/41 cm). Er dient entweder als Deckenbalken zur Unterstützung der Dielung und Deckenlattung oder als Unterzug für Decken und Wände und wird dementsprechend auf Biegung beansprucht.' Was also heutzutage im technischen Sinne ein Balken ist, das ist im Altertum eine *trabs* gewesen. *tignum* bedeutet manchmal dasselbe (vgl. *contignatio* = Decke), aber auch im Gegensatz zu *trabs* das, was der Fachmann heutzutage mit Stiel oder Ständer (bei lotrechter Stellung, vgl. Vitruv. X 1, 1 *ad altitudinem tignis statutis*) oder mit Strebe oder Schräge (bei geneigter Stellung, vgl. die *tigna* bei Caesars Rheinbrücke) bezeichnet. Ein *tignum* ist als Strebe oder als Schräge da einzubauen, wo ein Schub aus waagerechter Richtung von dem Holzverband aufzunehmen ist. Diesem Zweck dienen, wie weiterhin noch genauer gezeigt werden soll, die *tigna* an Caesars Jochbrücke. Dagegen werden in den *trabes* der Brücke 'durch vertikale Belastungen vertikale Auflagerkräfte hervorgerufen'.

Um übermäßig starke Bauhölzer zu vermeiden, stellte man auch an den vier Ecken des *compluvium* manchmal vier Säulen auf und gelangte so zu der Form des *atrium tetrastylum*: *tetrastyla sunt, quae subiectis sub trabibus angularibus columnis et utilitatem trabibus et firmitatem praestant, quod neque ipsae magnum impetum coguntur habere neque ab interpensivis onerantur*. Oder man griff auch zu dem Mittel der Kuppelung, d.h. der Zusammenfügung mehrerer Balken zu einem einzigen Balken.

So hat es Vitruv selbst beim Bau der Basilika in Fanum gemacht, die er V 1, 6—10 genau beschreibt. Er hat darin vier Lagen von *trabes* (Architraven) verwendet. Eine kam auf die 50' hohen durchgehenden Säulen des Mittelschiffes (*testudo*) zu liegen, die aus drei Hölzern von je 2' Stärke zusammengesetzt war (V 1, 8 *supra columnas ex tribus tignis bipedalibus compactis trabes sunt circa conlocatae*). Darüber, durch niedrige Pfeiler getrennt, lagen *trabes quercaneae*¹⁾, die aus zwei 2' starken Hölzern bestanden (V 1, 9 *supra eas ex duobus tignis bipedalibus trabes quercaneae circa sunt conlocatae*). In den Seitenschiffen (*porticus*), die ein unteres und ein oberes Stockwerk hatten, ruhte die Decke des unteren und das Dach des oberen Stockwerks an der Mittelschiffseite auf zwei einfachen Lagen von *trabes*.

Daß die Kuppelung der Balken auch sonst üblich war, ersieht man auch aus Cato, De agr. 18, 5, der für die Ölpresse einen Flachbalken (*trabs plana*) von 2' Breite und 1' Höhe verlangt oder rät, einen Doppelbalken zu nehmen, wenn man keinen so schweren Einzelbalken habe (*vel duplices indito, si solidas non habebis*), und ebenso vier Zeilen später für einen schwächeren Balken (*trabecula* genannt) *aut binas pro singulis eo supponito*.

Im Hinblick auf diese Verhältnisse versteht man erst Isidor., Orig. XIX 19, 5 *TRABES vocatae, quod in transverso posita utrosque parietes contineant. aliud autem sunt tigna, aliud trabes. tigna enim iuncta trabem faciunt. trabes autem sunt, cum sunt dolatae*. Diese Erklärung ist von einem *atrium Tuscanicum* abgelesen (vielleicht nach Vitruv). Die *trabes* gehen quer (*in transverso*) von Seitenwand zu Seitenwand, was zu der falschen Ableitung *trabs* von *transverso* geführt hat. Wenn es dann weiter heißt, miteinander verbundene *tigna* bildeten eine *trabs*, so zeigt das nur, wie oft in den Atrien gekuppelte Unterzüge verwendet worden sind. Denn die Behauptung, daß *trabs* von vornherein einen gekuppelten Balken bezeichnet habe, ist falsch. Der Irrtum fällt schon Isidors Quelle zur Last. Denn auch bei Festus steht: *TRABS proprie dicitur duo ligna compacta* ('*trabs* heißt eigentlich zwei verbundene Hölzer'). Bei Festus muß aber *tigna* für *ligna* gesetzt werden. *lignum* ist das Brennholz ('Leseholz' von *legere*). Hier handelt es sich um Nutzholz²⁾.

Vergleicht man die römischen Begriffsbestimmungen, so erklärte Festus *delicia* als eine bestimmte Art von *tignum* (*DELICIA est tignum etc.*). Vitruv. VI 3, 1 faßte *trabes* und *interpensiva* unter dem höheren Begriff *tigna* zusammen (*ad angulos tignorum intercurrentes*). Festus erklärt: *TRANSTRA et tabulae navium et tigna, quae ex pariete ad parietem porriguntur* ('*transtra* sind Bohlen auf Schiffen — Duchten — und *tigna*, die von Wand zu Wand gehen').

¹⁾ Die Handschriften haben *euerganeae*. Zu der Verbesserung vgl. unsern Aufsatz 'Zur Erklärung von Vitruvs Basilika in Fanum' in der Philol. Wochensch. 54, 1934, 1295f.

²⁾ Umgekehrt ist bei Seneca, Nat. III 25, 6 *ligna* für *tigna* einzusetzen, wo es sich um die Schwimmfähigkeit verschiedener Holzsorten handelt. Ähnlich ist es bei Seneca, Nat. II 52, 1, wo es sich um den Gegensatz zwischen Holz und Metall handelt und bereits *ligno* für *tigno* vorgeschlagen ist. Ferner ist in der Erklärung des Wortes *plaustrum* bei Varro, L. L. V 140 *lignum* = Holz für *tignum* einzusetzen, das neben Steinen und Stangen für eine offen (*palam*) im Wagen (*plaustrum*) zu befördernde Last steht.

Daraus ergibt sich, daß *tignum* der allgemeinere Begriff ist, unter den *delicia*, *interpensivum*, *transtrum* und sogar *trabs* fallen¹⁾. Somit sind für *tignum* in der Hauptsache zwei Bedeutungen gewonnen: Es bezeichnet zunächst im besonderen die Deckenbalken, die von den Unterzügen (*trabes*) getragen werden und ihrerseits die Dielen der Decke tragen; zweitens ist es der allgemeinste Ausdruck für alle möglichen Arten von Verbandholz.

Auf die besondere Bedeutung als eines Teils der Decke oder des Daches weist die Herkunft des Wortes; denn *tignum* gehört zu *tegere* wie *lignum* zu *legere*, *dignus* zu *decere*, *signum* zu *secare*. Auch für *trabs* führt die Etymologie zu der Annahme, daß das Wort ursprünglich einen Teil des Hauses bezeichnet hat, da es mit nhd. Dorf verwandt ist.

Zu diesem allgemeinen Bilde fügen wir noch die wichtigsten Einzelzüge hinzu, ohne den Stoff erschöpfend behandeln zu wollen. Wie schon bemerkt, ist das Merkmal der Stärke ein wichtiger Bestandteil des Begriffes *trabs*. Daher nennt Caesar, B. G. III 13, 4 die Duchten (*transtra*) auf den Schiffen der Veneter nicht mit Festus *tigna*, sondern, da sie 1' stark sind, *trabes* (*transtra ex pedalibus in altitudinem trabibus*), ebenso B. C. I 27, 4 ungeheure, oben angespitzte Palisaden (*maximis defixis trabibus atque eis praeacutis*). Plin., Nat. XXXVI 64 gebraucht *trabs* zur Beschreibung der ägyptischen Obeliskten (Steinbalken, obwohl sie senkrecht stehen). Scherzhaft übertreibend nennt Catull 28, 10 das Glied des Memmius eine *trabs*. *trabs* heißt bei Plaut., Asin. 304 als ein starkes Holz das Kreuz für einen Sklaven. Zu Verg., Aen. XII 294 heißt es Claud. Donat., Interpr. Verg. II 588, 12 TRABALE TELVM *est forte, ut sunt trabes*. Im Gegensatz dazu besagen die Horaz-Scholien zu Ars 279 MODICIS TIGNIS: *ostendit scenas antea non fuisse grandes*. Horaz erklärt nämlich, Aeschylus habe die Bretter seiner Bühne auf ein bescheidenes Gerüst gelegt (*modicis instravit pulpita tignis*). Außer *modicis* bezeichnet also auch *tignis* die Kleinheit.

Schiffe werden bekanntlich unendlich oft als *trabes* bezeichnet. Nur einmal im ganzen lateinischen Schrifttum, bei Properz IV 6, 50 heißen sie *tigna*; M. Rothstein macht uns darauf aufmerksam, daß das verächtlich gemeint ist. Dem Begriff *tignum* haftet also auch hier im Gegensatz zu *trabs* der Begriff der Kleinheit an.

Das Merkmal der Länge betont bei *trabs* Plin., Nat. XVI 184 *trabis quamvis praelongae*. Caesar, B. C. II 9 unterscheidet bei der Beschreibung des Belagerungsturmes vor Massilia zwischen kürzeren *tigna*, deren Länge zwischen 20' (5,9 m) und 30' (8,9 m) liegt, und den längeren *trabes*, deren Länge über 30' beträgt. Bei der Rheinbrücke sind die *trabes* nach unserm Entwurf 44' (13,0 m) lang, während die Länge der *tigna*, die je nach der Tiefe des Flusses bemessen sein muß (*dimensa ad altitudinem fluminis*), zwischen 26' und 36' (7,7 m und 10,7 m) schwankt²⁾.

Nach Isidor war es ein Merkmal des Begriffes *trabs* (und somit auch *tignum*), irgendwie bearbeitet zu sein (*trabes autem sunt, cum sunt dolatae*). Das zeigt auch Lucr. V 1267f., der die Menschen nach der Erfindung des Eisens das Holz bearbeiten läßt: *materiemque dolare et levia radere tigna et terebrare etiam ac pertundere perque forare* ('das Bauholz für das Haus beschlagen und die Balken behobeln und auch durchbohren und durchstemmen und durchlochen'). Danach begegnet *levare trabes*

¹⁾ Das stimmt zu Gaius, Dig. L 16, 62 TIGNI *appellatione in lege XII tabularum omne genus materiae, ex qua aedificia constant, significantur* ('mit dem Worte *tignum* bezeichnet das Zwölftafelgesetz jede Art Bauholz, woraus Gebäude bestehen').

²⁾ Vgl. S. 139.

auch bei Stat., Silv. III 1, 119 und ähnlich IV 3, 51. Seneca, Epist. 90, 9 zählt folgende Erfindungen auf: *in quadratum tigna decidere et serra per designata corrente certa manu trabem scindere, nam 'primi cuneis scindebant fissile lignum'*. Es handelt sich hier nur um einfache Zimmermannsarbeiten: durch Beschlagen *tigna* mit quadratischem Querschnitt herzustellen und, wenn die Säge auf der vorgezeichneten Linie dahineilt, mit sicherer Hand eine *trabs* zurechtzusägen, während die Urmenschen (nach Verg., Georg. I 144) 'das spaltbare Holz nur mit Keilen spalteten'. Sehr deutlich betont eine antike Vergilerklärung gegen Vergil das Merkmal der Bearbeitung an dem Begriffe *trabs*: Servius zu Verg., Aen. IX 87: Freilich müsse man anmerken, daß er Bäume als *trabes* bezeichnet habe, obwohl man so nicht sage, außer wenn sie schon gefällt und eingebaut seien; Vergil treibe daher Mißbrauch, weil bei ihm der spätere Zustand für den früheren gesetzt sei (*sane notandum trabes eum dixisse de arboribus, cum non dicantur trabes nisi iam caesae et compositae; abutitur ergo eo, quod posterius est pro eo, quod est prius*). Dieses 'Mißbrauches' haben sich die römischen Dichter seit der Medea-Übersetzung des Ennius (fr. 1) so oft schuldig gemacht, daß es zu weit führen würde, alle Fälle aufzuzählen.

trabs bezeichnet oft eine Lichterscheinung am Himmel. Hier geht uns nur Manil. I 841 an: *quadratamve trabem fingit teretemve columnam*. Weder Balken noch Säule sind als Lichterscheinung quadratisch oder rund. Aber der Dichter gibt hier der *trabs* ein 'schmückendes Beiwort', das ihm für bearbeitete *trabes* geläufig und bezeichnend war.

Im sonstigen Holzbau und bei der Rheinbrücke. Wie *tignum* und *trabs* ursprünglich Werkstücke des Zimmermanns beim Bau des Hauses sind, so haben sie ursprünglich auch einen quadratischen oder rechteckigen Querschnitt. Aber daneben finden sich *tignum* und *trabs* unendlich oft in den Beschreibungen technischer Arbeiten bei allen möglichen Bauten und Maschinen, und dann hing es von den jedesmaligen Bedingungen ab, welcher Art in jedem Falle die Bearbeitung war und wie weit sie ging.

Unsere Vorgänger haben das gewöhnlich nicht beachtet, sondern im Banne der Anschauung, daß *tignum* und *trabs* Kanthölzer bezeichnen müssen, haben sie dem Bauholz der Brücke meist einen quadratischen oder rechteckigen Querschnitt gegeben. Sackur hat das sogar noch ausdrücklich begründet¹⁾. Seine Auffassung erklärt sich daraus, daß er von den antiken Kriegsmaschinen ausgeht, wie sie bei Vitruv. X sowie bei den griechischen Poliorketikern beschrieben werden. Auf diesem Gebiete hat er recht. Kriegsmaschinen sind kunstgerecht gezimmerte Hallen oder turmartige Bauten, deren *tigna* und *trabes* zimmermannsgerecht bearbeitet und zusammengefügt sein müssen, schon aus dem Grunde, weil sie Stöße und Erschütterungen der eigentlichen Belagerungsmaschinen, der Widder, ohne Nachteil aufnehmen müssen. Aber was hier richtig ist, darf nicht auf ganz anders geartete Holzbauten ausgedehnt werden.

Gegen die angeführten Ansichten von Sackur hat bereits E. Schramm Stellung genommen²⁾. Er ist der Meinung, daß, wie noch heutzutage, zum Bau von Kriegsbrücken

¹⁾ Sackur a. a. O. 41: 'Es ist eine sehr entwickelte, auf genaue Arbeit berechnete Technik, die nichts 'Urwüchsiges' hat; für diese Technik kommen die von den Rekonstrukteuren so gern zugrunde gelegten Rundholzbalken und Stangenhölzer gar nicht in Frage. Eine derartig 'barbarische' Bauweise ist der Bautechnik der ganzen antiken Poliorketik völlig fremd.' — Dazu Sackurs Anmerkung: 'vgl. z. B. die zahlreichen Rekonstruktionen von Caesars Rheinbrücke, die alle an diesem Fehler krankten, indem sie die Vorbedingung jeder antiken Bautechnik von vornherein verkennen.'

²⁾ E. Schramm, Germania 6, 1922, 19ff.

nur Rundpfähle als Rammpfähle Verwendung gefunden haben. Auch E. Kitson Clark will die Hölzer der Brücke nur da bearbeiten, wo es unbedingt notwendig ist¹⁾.

Genau so sagen wir, daß Caesar zum Brückenbau Rundholz verwendet hat, das nur da bearbeitet wurde (bei zehntägiger Bauzeit!), wo es für Anschlüsse oder Auflager nötig war.

Bei seinem einseitigen Urteil kann sich Sackur allerdings auf die Abbildung eines Hebezeugs auf dem Relief vom Grabe der Haterier im Lateran-Museum in Rom berufen, das zwei vierkantig beschlagene Richtbäume zeigt (nicht einen, wie Sackur fälschlich glaubt). Dagegen bestand sicher aus einem Rundholz die auch von Livius XXIV 34, 10—11 erwähnte und *tolleno* genannte Hebemaschine, wenigstens nach der Beschreibung des Silius XIV 320—322, die Archimedes bei der Belagerung von Syrakus erfunden hat: 'Ein Richtbaum, kunstgerecht gerundet und nach Abhobeln der Aststellen ringsherum dem Mastbaum eines Schiffes ähnlich, trug an seiner Spitze einen Greifer in Form einer gekrümmten Hand' (*trabs fabre teres atque erasis undique nodis navali similis malo praefixa gerebat uncae tela manus*). Zweimal sagt Silius, daß der Baum einen runden Querschnitt hatte: *teres* und *navali similis malo*.

Diese von Silius beschriebene Vorrichtung haben wir uns so zu denken wie die von Vitruv. X 2, 8—10 beschriebene und *polyspastos* genannte Hebemaschine, die unserm Schwenkkran entspricht. Dem Richtbaum muß unbedingt ein Kreisquerschnitt zugrunde gelegt werden, denn nur der Kreisquerschnitt bietet in jeder beliebig gerichteten Kraftebene die gleiche Sicherheit gegen Knicken. Wenn man einen Richtbaum aus einem Rundholz durch vierseitiges Beschlagen herstellt, wird der Querschnitt bedeutend geschwächt. Die Flächenteilchen an dem Umfang sind die wertvollsten bei Bauteilen, die auf Biegen und Knicken beansprucht werden. Durch das Behauen eines Rundholzes von beispielsweise 0,60 m Dm. zu einem scharfkantigen Kantholz von quadratischem Querschnitt verringert sich die Querschnittsfläche von 2827 cm² auf 1800 cm², d. h. die Kreisfläche verhält sich zur Quadratfläche ungefähr wie 3:2. Durch das Beschlagen eines Stammes entsteht also $\frac{1}{3}$ Verlust an Querschnittsfläche. Die Trägheitsmomente der genannten Querschnitte sind $J_{\bigcirc} = 636172 \text{ cm}^4$ und $J_{\square} = 270000 \text{ cm}^4$; die beiden Trägheitsmomente verhalten sich also zueinander ungefähr wie 7:4. Das zum Vierkantholz geschlagene Rundholz büßt daher ungefähr 43% seines Trägheitsmomentes ein. Rusconi²⁾ bringt eine Beschreibung und Zeichnung des eben erwähnten Hebezeugs, das Vitruv unter dem Namen *polyspastos* schildert. Der Richtbaum dieses gewaltigen Hebezeugs, das in der Lage ist, ganze Säulen für Tempelbauten zu heben und zu versetzen, ist von Rusconi als zusammengesetzter Querschnitt in kreisförmiger Gestalt entworfen. Aus den statischen Gründen, die wir soeben erörtert haben, kommt Rusconi gefühlsmäßig auf den Kreisquerschnitt, der auch von der Natur dem frei wachsenden Baum unter Beachtung statischer Gesetze gegeben wird.

Vitruv. II 1, 4 verwendet bei der Beschreibung der Blockhäuser der Kolcher für dieselbe Sache abwechselnd *arbor* und *trabs*. Reber übersetzt: 'Bei dem Volke der Kolcher in Pontus werden wegen des Überflusses an Waldungen ganze Baumstämme (*arboribus perpetuis*) zur Rechten und Linken flach auf die Erde gelegt, indem man einen Zwischenraum zwischen ihnen läßt, der so groß ist, als es die Länge der Baum-

¹⁾ H. Jacobi sagt bei der Erläuterung des Caesarkapitels über die Stadtmauern in Gallien (B. G. VII 23): 'Für die Stadtmauer haben *trabes*, denen z. T. noch die Rinde anhaftet, vollauf genügt, sie waren noch besser wie die vollständig geglätteten (siehe Bibracte, wo ebenfalls nur die eingemauerten Balkenenden vierkantig beschlagen waren).'

²⁾ G. A. Rusconi, *I dieci libri d'architettura* (1590) 134f.

stämme (*arborum*) zuläßt, dann werden an den Enden dieser andere quer darüber gelegt, wodurch der Innenraum der Wohnung umschlossen wird, indem sie dann (auf je zwei Seiten) abwechselnd, die Balken (*alternis trabibus*) auf den vier Seiten weiter auflegen. Die Enden verbindend, und so mit den senkrecht auf den untersten aufgeschichteten Baumstämmen (*arboribus*) Wände errichtend, führen sie Thürme in die Höhe und füllen die Zwischenräume (*intervalla*), welche wegen der Dicke des Bauholzes (*materiae*) offen bleiben, mit Holzspänen und Lehm aus. Das Dach ferner legen sie darüber, indem sie die Querbalken (*transtra*) am Ende immer mehr abschneiden, es stufenweise zusammenziehend; und so führen sie von den vier Seiten her in der Mitte eine pyramidale Spitze in die Höhe, welche sie mit Laub und Lehm bedecken und so auf rohe Art ein vierseitiges Dach ihrer Thürme zu Stande bringen¹⁾.)

Diese Stelle läßt keinen Zweifel zu, daß der Fachmann Vitruv *trabs* gleichbedeutend mit *arbor* für Rundhölzer gebraucht, die nur so weit bearbeitet sind, als es für das Blockhaus unbedingt notwendig ist.

Ebenso hat man bei dem von Vitruv. II 9, 15 beschriebenen Turm aus Lärchenholz, der wie ein Scheiterhaufen *alternis trabibus transversis* aufgeschichtet ist, an gerade gewachsene, runde, dicke Baumstämmen, denen Zweige und Äste abgehauen sind, zu denken. Rundhölzer aber sind hier deshalb anzunehmen, weil von dem Turm behauptet wird, daß er nicht leicht anzuzünden war, und der Rundstamm schwerer Feuer fängt als das kantig bearbeitete Holz. *trabs*=Rundholz entspricht auch dem Sprachgebrauch des Plinius, Nat. hist. XVI 200 *fuít autem trabs ea e larice, longa pedes CXX, bipedali crassitudine aequalis* ('es war der Stamm aus Lärchenholz, 120' lang und gleichmäßig 2' dick'). XVI 125 *cerasus etiam in XL cubitorum trabes aequali per totam duum cubitorum crassitudine reperitur* ('Kirschbäume finden sich auch von 40 Ellen Stammlänge, die überall einen gleichen Durchmesser von zwei Ellen haben'). III 53 erzählt er, der Tiber sei in seinem Oberlaufe kaum für Flöße befahrbar, eigentlich nur für einzelne Stämme; die Stämme aber nennt er *trabes*. Ebenso läßt auch Silius III 460f. die mit Erde bedeckten Flöße, worauf Hannibal seine Elefanten über die Rhone schafft, aus *trabes* bestehen (*nam trabibus vada et iniecta tellure repertum conexas operire trabes*). Ebenso heißen bei Lucan. IV 424 die das Floß bildenden Stämme aus Eichenholz *trabes*. Vermutlich waren auch die Stoßbalken der Widder (*aries*), die *trabes* genannt werden, Rundhölzer; jedenfalls verlangt ein römischer Feldherr bei Gellius I 13, 11 von zwei Mastbäumen den stärkeren zu diesem Zwecke.

Wie *trabs* konnte auch *tignum* gelegentlich ein Rundholz bezeichnen. Vitruv. X 6, 1 beschreibt ein schraubenförmiges Wasserhebewerk. Dazu wird ein Baumstamm (Rundholz) am Stammende so weit an seinem ganzen Mantel bearbeitet, daß eine walzenförmige Spindel entsteht: *tignum sumitur, cuius tigni, quanta paratur pedum longitudo, tanta digitorum expeditur crassitudo. id ad circinum rotundatur* ('Man nimmt einen Balken von so viel Fuß Länge, als er Zoll in der Dicke mißt, und behaut ihn nach dem Zirkel walzenförmig')²⁾. Da es sich hier um die Herstellung der Spindel für

¹⁾ F. Reber, Des Vitruvius zehn Bücher über Architektur, übersetzt und durch Anmerkungen und Risse erläutert (1865) 39. Dazu bemerkt Reber, den wir als unbefangenen Zeugen anführen: 'Es ist dieß der Blockhausbau, aus unbehauenen, alternirt nach der Breite und Länge gelegten Baumstämmen, wie er noch in den Alpen für Heumagazine üblich ist, für welche es überdieß des Verstreichens mit Lehm nicht bedarf. Die Dachconstruction ist jedoch von der gegebenen verschieden.' Ebenso wie Reber denkt sich auch Jean Rondelet (*Traité théorique et pratique de l'art de bâtir* III [1829] 3 u. Taf. LXXI, 3) diese Blockhäuser aus Rundhölzern erbaut, wie das auch die zugehörige Zeichnung zeigt.

²⁾ Reber a. a. O. 313.

das Schöpfwerk handelt, müssen wir unbedingt *tignum* im unbearbeiteten Zustande die Bedeutung von Baum (Baumstamm) oder Rundholz geben. Nach der Bearbeitung ist dieses *tignum* eine Walze, Welle oder Spindel geworden, und in dieser Bedeutung begegnet uns das Wort in der weiteren Beschreibung der Maschine, z. B. zwei Zeilen weiter *plano posito tigno* ('wenn man die Walze flach auf den Boden legt').

Ergebnisse. Wir haben die beiden Wörter *tignum* und *trabs* nach ihrer Bedeutung im gesamten lateinischen Schrifttum untersucht, wie wir es S. 96 ff. für das Wort *sublica* getan haben. Für *sublica* haben wir alle Stellen besprochen, für *tignum* und *trabs* haben wir nur eine Auswahl besonders bezeichnender Fälle herangezogen. Bei der Auswertung von *tignum* war es unser Ziel, festzustellen, ob sich irgendwo ein Beispiel dafür findet, daß *tigna* tragende Bauteile in dem Sinne sind, wie sie am Pfahljoch der Rheinbrücke von früheren Entwurfsbearbeitern aufgefaßt worden sind. Es hat sich gezeigt, daß die *tigna* nirgends in dieser oder ähnlicher Anordnung und Belastung vorkommen. Das oft vorkommende Wort hat somit in den Entwürfen unserer Vorgänger eine Bedeutung erhalten, die sich sonst nirgends nachweisen läßt, nämlich die Bedeutung, die sonst überall das Wort *sublica* hat.

Ferner war es unsere Aufgabe, im gesamten lateinischen Schrifttum festzustellen, ob sich aus dem Gebrauch der Wörter *tignum* und *trabs* ein Anhalt dafür ergibt, daß in diesen beiden Bauteilen am Brückenjoch Kanthölzer zu sehen sind. Es hat sich gezeigt, daß *tignum* und *trabs* immer irgendwie bearbeitete Bauhölzer bezeichnen, daß aber damit ebensogut Rundhölzer wie Kanthölzer bezeichnet werden können. Lediglich die Art der Verwendung der Hölzer am Bauwerk ist für die Art und das Maß der Bearbeitung maßgebend, nicht die den Wörtern an sich anhaftende Bedeutung. Damit können wir als sicheres Ergebnis für unseren Brückenentwurf feststellen, daß die Bedeutung und die Art der Bearbeitung, die wir diesen Hölzern am Brückenjoch gegeben haben, zu dem sonstigen Sprachgebrauch stimmen.

Überblickt man noch einmal das über *sublica* und das über *tignum* und *trabs* Gesagte, so ergibt sich ein himmelweiter Unterschied zwischen *sublica* = Tragpfahl einerseits und *tignum* und *trabs* = Verbandholz andererseits. Folglich können die *tigna* aus sprachlichen Gründen an der Caesarbrücke nicht die Aufgabe gehabt haben, die man ihnen seit Giocondo zugewiesen hat, die tragenden Pfähle der Brücke gewesen zu sein.

7. Caesars Rheinbrücke war ein *pons sublicius*, eine Pfahljochbrücke.

Caesar sagt nicht ausdrücklich, daß Jochpfähle (*sublicae*) für jedes Brückenjoch gerammt wurden. Das war damals wie heute selbstverständlich und brauchte nicht besonders gesagt zu werden. Wenn also Caesar auch das Einrammen der *sublicae* nicht besonders erwähnt, so erwähnt er doch die *sublicae* wenigstens mittelbar in den Worten: *non sublicae modo directe ad perpendicularum*. Das hat man bisher folgendermaßen verstanden: 'Nicht lotrecht, wie man Jochpfähle einzurammen pflegt.' Der Sinn ist aber: 'Nicht lotrecht, wie es die Jochpfähle der Brücke waren.'

sublica ist zwar der Form nach singularisch. Seiner Bedeutung nach ist es aber pluralisch, da es kollektiv steht wie bei Vitruv. III 4, 2 *sublicaeque machinis adigatur quam creberrime* (vgl. S. 98), wo wohl niemand an der pluralischen Bedeutung der Singularform zweifeln wird. Ferner faßte man bisher das Wort, da man den kollektiven Singular verkannte, generell ('wie Jochpfähle überhaupt'); es ist aber individuell ('wie die Lotpfähle des Joches der Rheinbrücke'). Wenn *sublica* als Singular mit pluralischer Bedeutung zweimal, bei Caesar wie bei Vitruv, vorkommt, so wird man annehmen dürfen, daß diese Ausdrucksweise die römische Fachsprache darstellt.

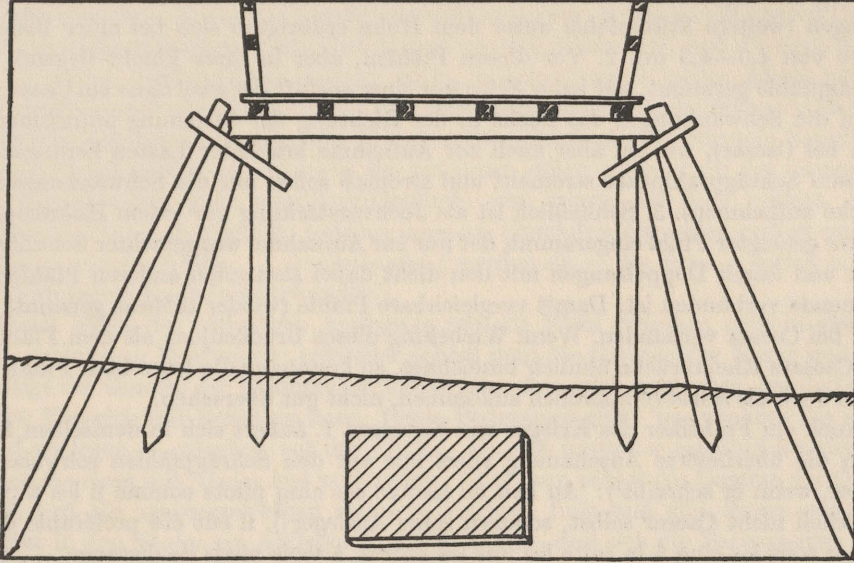


Abb. 4. Brücke bei Neustadt in Bayern (1808).

Dazu kommt, daß auch die Redewendung *derecte ad perpendiculum* offenbar ein Fachausdruck ist. Apollodor von Damaskos bezeichnet nämlich lotrecht stehende Balken genau ebenso: ξύλοις ὀρθοῖς κατὰ κάθετον, so daß der lateinische Ausdruck Caesars wie eine Übersetzung aus der griechischen Fachsprache anmutet¹⁾.

Wichtiger noch als diese mittelbare Erwähnung der *sublicae* im Caesartext ist die in der Sache begründete Notwendigkeit ihres Vorhandenseins. So hat ein Mann der Praxis wie der große bayrische Brückenbaumeister Wiebeking sie als selbstverständlich vorausgesetzt, wenn er eine Holzbrücke in Neustadt in Bayern, deren Holme auf je zwei Jochpfählen ruhten, als Caesars Brücke ähnlich bezeichnet. Da sie unserer Wiederherstellung der Caesarbrücke in manchen Punkten entspricht, so bringen wir sie in Abb. 4²⁾.

Wiebeking bemerkt dazu: 'Profil du vieux pont de Neustadt rompu par les glaçons en 1808. N. B. La palée (= das Brückenjoch) fig. VII b ressemble au pont sur le Rhin, fait par César suivant sa description.' Ferner sagt Wiebeking in seiner

¹⁾ Apollodoros von Damaskos, Poliorketik p. 155, 8 (übers. von R. Schneider).

²⁾ Nach Wiebeking Taf. 119 Nr. VII b; die Abbildung ist allerdings in den Einzelheiten notgedrungen ungenau, da wir die sehr kleine Vorlage auf das Fünffache vergrößert haben. Die ursprüngliche Größe der Wiebekingschen Zeichnung ist durch die Größe des gestrichelten Rechtecks dargestellt.

Wasserbaukunst Abt. 10 (Brückenbaukunde): 'Das Profil einer aus 6 Pfählen bestehenden Pfahlbrücke, wie sie über die Donau bei Vilshofen, Deggendorf und anderen Orten von Communen erbaut sind (Brücken, die vor Eintritt des Eisganges abgetragen werden), ist in Fig. VII b Tab. 119 dargestellt. Eine Construction, welche der von Caesar gewählten, wonach er über den Rhein eine Brücke baute, sehr ähnlich ist, so, daß dies Profil von der so oft von den Schriftstellern angeführten Brücke eine Vorstellung gibt.'

Das Pfahljoch ('palée'), das Wiebeking als der Caesarbrücke ähnlich bezeichnet, hat folgende Eigentümlichkeiten. 1. Der Holm wird von zwei lotrechten Jochpfählen getragen (weitere Stützpfähle unter dem Holm erübrigten sich bei einer Brückenbreite von 4,0—4,5 m). 2. Vor diesen Pfählen, aber in ihrer Flucht liegend, sind Schrägpfähle gerammt, auf jeder Seite nur einer anstatt der zwei *tigna* bei Caesar. Sie sollen die Schwankungen des Jochs in der Richtung der Strömung aufnehmen (so auch bei Caesar), werden aber auch zur Aufnahme lotrechter Lasten herangezogen (Caesars Schrägpfahlpaare stromauf und stromab sollen nur die Schwankungen der Brücke aufnehmen). 3. Schließlich ist als Jochverstärkung vor jedem Holmkopf ein stärker geneigter Pfahl eingerammt, der nur zur Aufnahme waagerechter Schubkräfte dient und durch Doppelzangen mit den dicht dabei stehenden anderen Pfählen am Holmende verbunden ist. Damit vergleichbare Pfähle (wieder *sublicae* genannt) sind auch bei Caesar vorhanden. Wenn Wiebeking dieses Brückenjoch als dem Pfahljoch von Caesars Rheinbrücke ähnlich bezeichnet, so konnte er die lotrechten Pfähle, die jedem Joch als selbstverständlich zukommen, nicht gut übersehen.

Auch ein Praktiker des Krieges wie Napoleon I. äußert sich in demselben Sinne gegen die überlieferte Anschauung eines nur auf den Schrägpfählen schwebenden Joches, wenn er schreibt¹⁾: 'Au lieu de mettre ces cinq pilots comme il les a placés (natürlich nicht Caesar selbst, sondern seine Ausleger!), il eût été préférable de les planter tous les cinq à la suite les uns les autres, à trois pieds de distance . . . Cette manière a l'avantage que si un des pilots est emporté, les quatre autres résistent et soutiennent les travées.' Napoleon vermißt also in den Wiederherstellungen der Caesarbrücke, die er vor Augen hatte und die er für richtige Wiederherstellungen hielt, ebenfalls die lotrechten Jochpfähle. Zum Vergleich mit dem von ihm für echt gehaltenen Zerrbild zieht er seine natürlich auf lotrechten Jochpfählen ruhende Donaubrücke heran, die 1809 Graf Bertrand für Napoleon vom rechten Donauufer aus nach der Insel Lobau schlug.

Wie unmöglich die von Giovanni Giocondo stammende und durch die Jahrhunderte immer weiter fortgeschleppte Wiederherstellung der Rheinbrücke war, hat in neuester Zeit ein Kenner der Praxis und der Theorie wie Erwin Schramm richtig erkannt und unmißverständlich ausgesprochen, wie lange vor ihm schon Turnèbe. Schramm sagt: 'Die trabes einer derart breiten Brücke können nicht freitragend sein, sie müssen eine Mittelunterstützung haben.'

Wir erbringen später (S. 177 f.) den statischen Nachweis, daß ein Holm von 2' mittlerem Stammdurchmesser unter dem Gewicht der Fahrbahn und der Verkehrslast zusammenbrechen muß, wenn er auf 32' (9,50 m) frei gelagert ist.

Zu demselben Ergebnis wie die sachliche Prüfung führt die sprachliche, wobei wir von der bisher üblichen Gestaltung des Brückenjoches ausgehen. Der Holm (*trabs*) brauchte ein Auflager. Lotrecht gerammte Jochpfähle (*sublicae*) wollte man ihm nicht geben, weil die vermeintlich von Caesar nicht

¹⁾ Précis de guerres de César (1836) 61.

erwähnt wurden und vermeintlich auch nicht vorhanden gewesen seien. Auf den Schrägpfählen (*tigna*) konnte der Holm nicht liegen; denn er liegt dazwischen. In der Luft konnte er nicht schweben. Man legte ihn daher auf Querhölzer, durch die man je zwei zusammengehörige Schrägpfähle miteinander verband.

Hier beginnen die sprachlichen Schwierigkeiten. Als Querhölzer mußten gewöhnlich die *fibulae* herhalten. Aber niemand gab sich ernstlich Mühe festzustellen, was *fibula* im technischen Sinne eigentlich heißt. Wir stellen an anderer Stelle fest, daß *fibula* in der römischen Technik der Keilbolzen ist. Ein Bolzen ist kein tragendes, sondern ein verbindendes Glied. Hätte man Caesar sorgfältiger gelesen, so hätte man das aus Caesar selbst herauslesen können; denn Caesar sagt von den *fibulae* nur, daß die *tigna* damit fest verbunden wurden (*destinabantur*), nicht, daß sie etwas zu tragen gehabt hätten.

Aber lassen wir die *fibulae* einmal dem Sprachgebrauch zuwider tragende Balkenstücke sein, auf denen die *trabs* ruht. Dann mußten die *fibulae* als tragende Bauglieder eher eingebaut werden als die *trabs*, die auf ihnen ruhen sollte. Aber der Caesartext sagt demgegenüber ganz unmißverständlich: erst wurde die *trabs* verlegt, dann wurden die *fibulae* angebracht: *trabibus immissis* ('nachdem die *trabes* verlegt waren') . . . *binis utrimque fibulis* . . . *destinabantur* ('wurden sie — die *tigna* — durch je zwei *fibulae* an jedem Ende fest verbunden').

Somit bleibt der bisherigen Auslegung nur die Wahl zwischen zwei in gleicher Weise unsinnigen Deutungen: entweder achtet man die Gesetze der Natur und vergewaltigt die Gesetze der Grammatik, indem man dem part. perf. pass. *immissis*, das nur die Vorzeitigkeit bedeuten kann, finale Bedeutung gibt: 'um nachher die *trabes* darauf zu legen — nämlich auf die *fibulae*, die erst hinterher erwähnt werden —, wurden die *tigna* mit *fibulae* fest verbunden'. Oder man achtet die Gesetze der Grammatik, legt die zentnerschweren *trabes* in die freie Luft und gibt ihnen erst nach Stunden in den *fibulae* ein Auflager in der Annahme, daß sich die Naturgesetze auch einmal eine Weile ausschalten lassen.

Der Caesartext ist, richtig verstanden, in bester Ordnung, und sachlich ist auch alles in bester Ordnung: erst wurden wie bei jeder Pfahlbrücke die *sublicae* und dann als Besonderheit die *tigna* gerammt, dann wurden die *trabes* auf die *sublicae* und zwischen die *tigna* gelegt, dann wurden die *tigna*-Paare miteinander und mit der *trabs* durch die *fibulae* fest verbolzt.

Aus den dargelegten Tatsachen ist also nur folgender Schluß zu ziehen: Die Caesarbrücke war eine Pfahljochbrücke und ruhte wie jede Pfahljochbrücke auf lotrecht gerammten Pfählen, auf *sublicae*; sie war kein Dachstuhl, keine Bockbrücke und überhaupt nichts Besonderes und Widernatürliches; sie war ein *pons sublicius* mit der Besonderheit an jedem Pfahljoch, daß zu den lotrechten Jochpfählen des Joches noch die Schrägpfähle als etwas Neues hinzugefügt waren: *rationem pontis hanc instituit: tigna bina* . . . ('folgende Bauweise war an der Brücke neu: immer zwei Schrägpfähle . . .'). Wie viele Jochpfähle (*sublicae*) jedes Joch gehabt hat, darüber sind bei dem Fehlen jeder Andeutung bei Caesar nur Vermutungen möglich. Aus Gründen der Wahrscheinlichkeit haben wir uns zu der Annahme von fünf Jochpfählen (*sublicae*) für jedes Joch entschlossen. Auf Grund dieser Annahme schien es uns weiterhin angemessen, uns diese Jochpfähle (*sublicae*) in Abständen von 8' (2,40 m) gerammt vorzustellen. (Vgl. Abb. 3 Pfahljoch 4 am Brückenanfang, und Abb. 8 Rammplan a.)

8. *prone ac fastigate*.

Aus Vorstehendem ergibt sich, daß die *tigna* nicht zu dem Zwecke eingerammt waren, den Holm (*trabs*) und damit die Brückenfahrbahn zu tragen. Das war vielmehr, wie eben gezeigt, die Aufgabe der *sublicae*. Die *tigna* waren *prone ac fastigate* gerammt.

Was das bedeutet, hat zuerst Jean Rondelet erkannt. Aber trotzdem Rondelets 'L'art de bâtir' als Leistung eines überragenden Fachmanns überall Beachtung gefunden hat, ist diese Erkenntnis doch nicht zu den Herausgebern und Erklärern von Caesars Commentarien durchgedrungen. Dieser berühmte Architekt vertritt den gleichen Standpunkt wie wir: 'Il reste cependant une expression du texte qui n'est pas rendue (von den früheren Bearbeitern). Il est dit que les pieux (*tigna*) n'étaient pas enfoncés directement selon la perpendiculaire, sed *prona ac fastigiata*. Ces mots paraissent indiquer une double inclination, l'une désignée par *prona* selon le courant du fleuve, l'autre par *fastigiata*, en sens contraire l'une de l'autre, comme les pentes d'un fronton (*fastigium*). Cette disposition . . . donnerait à cet assemblage de pieux plus de force et de solidité.'

Von Rondelets Brückenentwurf bekommt man erst eine richtige Vorstellung, wenn man Gauthays vollständigere Zeichnungen zum Vergleich heranzieht. Dann bemerkt man, daß der Entwurf Rondelet-Gauthay dem unsrigen schon sehr ähnlich ist, nur daß die *sublicae* noch fehlen¹⁾. Unabhängig von Rondelet ist Eberz auf eine merkwürdige Weise zu demselben Ergebnis gekommen. Er übersetzt: '. . . jedoch nicht senkrecht, nach Art eines gewöhnlichen Brückenpfahls, sondern vorwärts gebeugt und in schräger Richtung sich nach oben nähernd (*fastigata*), so daß sie sich nach dem Laufe des Flusses neigten', und erläutert das: 'In diesem Satze sind besonders die Adjektiva *prona* und *fastigata* zu bemerken. Jenes bezeichnet die Lage der *tigna* nach der Wasserfläche, dieses ihre Lage gegeneinander. Sie sind vorwärts gebeugt, so daß sie mit der Linie des fließenden Wassers einen spitzen Winkel bilden, zugleich aber sich oben einander nähern, so daß sie nach Art eines Dachgiebels (*fastigium*) zusammenlaufen würden, wären sie nicht oben in einem Zwischenraum von zwei Fuß miteinander verbunden.' Er weist ferner darauf hin, daß bei den anderen, bei denen die *tigna* parallel angeordnet seien, sie nur *prona* (wie er sagt) gestellt seien, nicht zugleich auch *fastigata*. Nur Hotomann habe diese Balken richtig als *fastigata* gezeichnet, während Jucundus, Scaliger, Oudendorp u. a. parallele Balken zeichnen. Tatsächlich hat auch François Hotman die *tigna* parallel gestellt. Aber in der Caesarausgabe von Jungermann (Frankfurt 1606 und 1669) ist Hotmans Zeichnung in einem verkleinerten Holzschnitt so wiedergegeben, wie es Eberz angibt.

Daß *prone* und *fastigate* nicht gleichbedeutend sind, hat auch Taylor erkannt. Nach seiner Meinung beschreibt Caesar von zwei verschiedenen Standpunkten aus dieselbe Neigung (einmal weitab von der Brücke mit dem Blick in der Stromachse, einmal in der Richtung der Brückenachse mit dem Blick über die Brücke) mit zwei

¹⁾ Die Pfahlspitzen der ein Paar bildenden *tigna* sind bei Gauthay auf die Hälfte der Jochweite — also auf $4\frac{1}{2}$ m — auseinandergezogen. Unmittelbar über der von Gauthay angenommenen Flußsohle ist daher die Durchflußweite von Joch zu Joch genau ebenso groß wie zwischen den *tigna* eines Paares. In unserm Entwurf (vgl. Abb. 11) sind die zwei Pfähle eines Pfahlpaares in der Flußsohle 10' (= 3,0 m) auseinandergespreizt, so daß zwischen zwei benachbarten Jochen eine geringste Durchflußbreite von 17' (= 5,0 m) bleibt (die Maße sind auf die Pfahlachsen bezogen; eine Vertiefung der Sohle, die nach dem Einrammen der Pfähle eintreten wird, ist unberücksichtigt geblieben).

verschiedenen Worten. Nach unserer Meinung bezeichnet Caesar von demselben Standpunkt aus zwei verschiedene Neigungen mit zwei verschiedenen Worten.

prone ist von *pro* abgeleitet, wodurch seine Bedeutung gegeben ist: nach vorn, d. h. in der Richtung, in der ein Mensch fällt, der auf die Nase fällt. Die Bedeutung von *fastigate* = 'schräg' ergibt sich aus seiner Verwandtschaft mit *fastigium* = 'Giebel'. Daraus ergibt sich in bezug auf die räumliche Stellung der *tigna*, wie in Abb. 5 in Aufriß, Grundriß und Seitenriß dargestellt ist, daß jeder

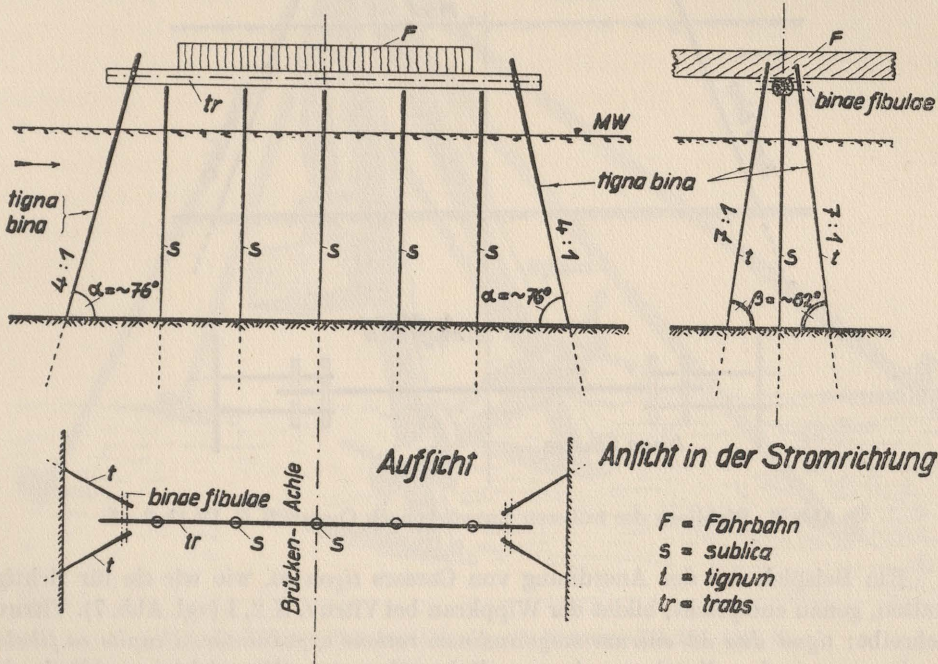


Abb. 5. Pfahljoch des neuen Entwurfs nach Caesar, B. G. IV 17, 3—8.

Schrägpfahl, einzeln genommen, in doppeltem Sinne schräg ist, nämlich *prone* = Neigung der Ebene eines Pfahlpaares zur Wasserspiegelebene; diese Neigung ist in unserm Entwurf dargestellt durch $\sphericalangle \alpha$; es ist $\text{tg } \alpha = 4,04:1$, $\alpha = 76^\circ 7'$. *fastigate* = Neigung der von zwei Schrägpfählen, die auf einer Seite des Holmes liegen, gebildeten Ebene mit der Wasserspiegelebene; diese Neigung ist in unserm Entwurf dargestellt durch $\sphericalangle \beta$; es ist $\text{tg } \beta = 7:1$, $\beta = 81^\circ 52'$. *prone ac fastigate* = 'wahre Neigung' der Achse des Einzelpfahls des Schrägpfahlpaares mit der Wasserspiegelebene; es ist $\text{tg } \gamma = 7:2$ ($= 3,5:1$), $\gamma = 74^\circ 3'1''$.

¹⁾ Die wahre Neigung eines Schrägpfahls ist in perspektivischer Darstellung auf Taf. 25 zu erkennen. Man sieht erstens, daß für das Rammen des ersten Schrägpfahls eines Joches der Pfosten der Ramme (samt den Läuferuten) in diesem Sinne schräg gestellt ist. Lenken wir zweitens unseren Blick auf das fertig gerammte Pfahljoch links vom Floß, so tritt an den Pfählen T_1 und T_2 des Schrägpfahlpaares stromauf und an den Pfählen T_3 und T_4 des Schrägpfahlpaares stromab die von Caesar durch *prone ac fastigate* bezeichnete Neigung um so deutlicher in Erscheinung, als die zwischen den beiden Schrägpfahlpaaren gerammten Lotpfähle (*sublicae*) die Lotlinie festlegen, die Caesar durch *directe ad perpendiculum* bezeichnet hat.

In Abb. 6 haben wir ein Joch dargestellt, wie man es sich ohne die von uns für notwendig gehaltenen *sublicae* gewöhnlich vorgestellt hat. Es ist ein Joch nach v. Cohausen. Die beiden ein Paar bildenden Schrägpfähle laufen parallel. Es ist also jeder Schrägpfahl, für sich betrachtet, nur *prone* gestellt.

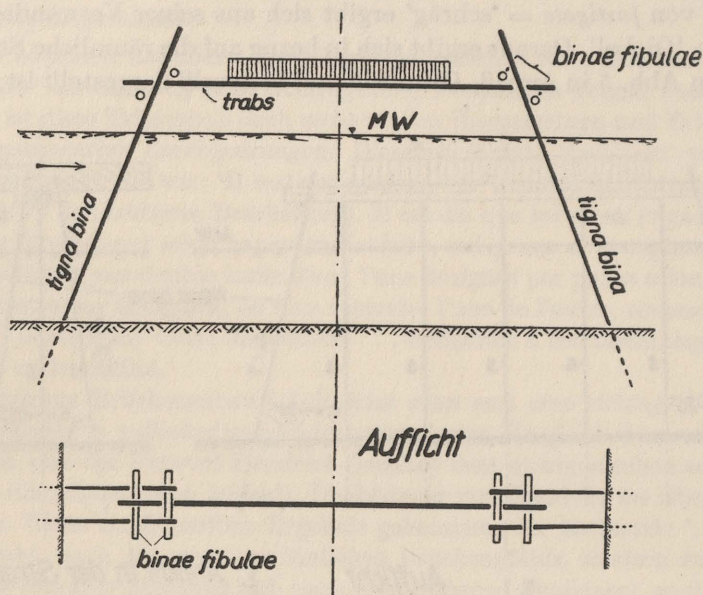


Abb. 6. Pfahljoch der früheren Entwürfe nach Caesar, B. G. IV 17, 3—8.

Ein Beispiel, das der Anordnung von Caesars *tigna* so, wie wir sie für richtig halten, genau entspricht, bildet der Wippkran bei Vitruv. X 2, 1 (vgl. Abb. 7). Vitruv schreibt: *tigna duo ad onerum magnitudinem ratione expediuntur. a capite ea fibula coniuncta et in imo divaricata eriguntur*. Reber übersetzt: 'Man richtet zwei Balken¹⁾ von einer der Größe der Lasten entsprechenden Stärke zu, verbindet sie am oberen Ende mit einem Bolzen und stellt sie so auf, daß sie nach unten auseinandergespreizt sind.' Die Beschreibung dieses Wippkrans zeigt sachlich wie sprachlich eine so merkwürdige Übereinstimmung mit der als *prone ac fastigate* bezeichneten Stellung der *tigna* des Pfahljoches der Rheinbrücke, daß wir es uns nicht versagen können, den Vergleich im einzelnen genauer durchzuführen.

Vitruv	Caesar
<i>tigna duo</i>	<i>tigna bina</i>
<i>ad onerum magnitudinem</i>	<i>ad altitudinem fluminis</i>
<i>ratione expediuntur</i>	<i>dimensa</i>
<i>a capite</i>	<i>ab extrema parte</i>
<i>ea</i>	<i>haec utraque</i>
<i>fibula</i>	<i>binis utrimque fibulis</i>
<i>coniuncta</i>	<i>destinabantur</i>
<i>et in imo divaricata eriguntur</i>	<i>prone ac fastigate</i>

Die Reihenfolge ist bei Caesar etwas anders und von uns nach Vitruv gestaltet; auch ist Caesar ausführlicher und von uns gekürzt. Vitruv schildert nur ein Hebezeug:

¹⁾ Fachmännisch richtiger würde man die 'Balken' Rebers als Rüstbäume, Richtbäume oder Ausleger bezeichnen.

daher die Grundzahl *duo*; Caesar schildert viele Joche: daher die Distributivzahl *bina*. Aber sonst ist die Übereinstimmung zu auffallend, um zufällig zu sein. Hier kommt es uns aber auf die Stellung der *tigna* zueinander an.

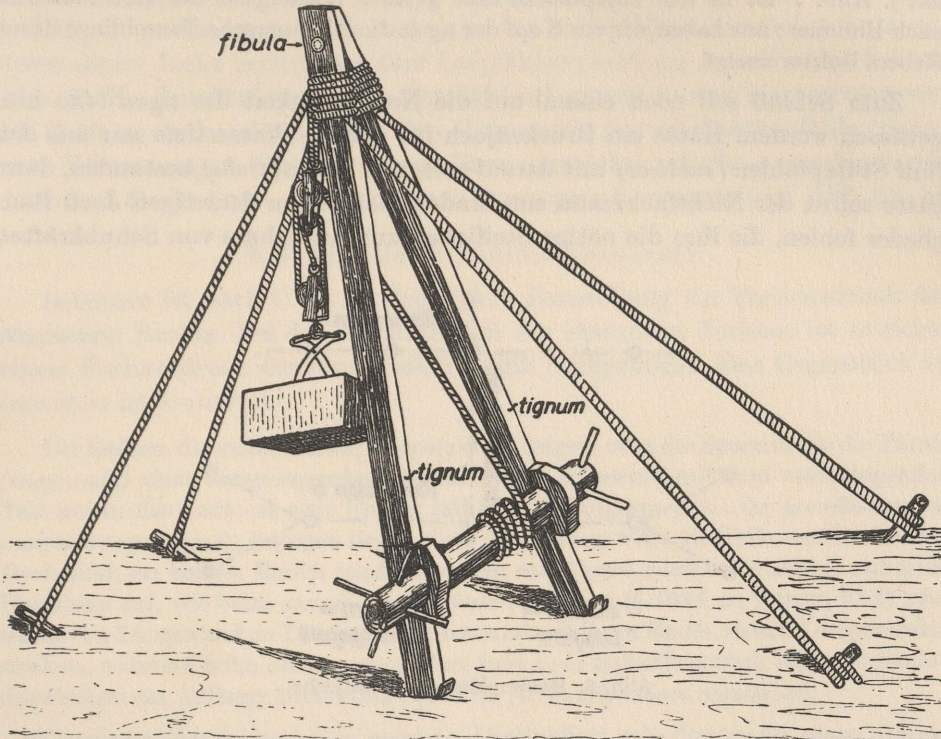


Abb. 7. Vitruvs Hebemaschine (nach Blümner III 113 Abb. 8).

1. Wie die *tigna duo* des Wippkrans am Fußende auseinandergespreizt (*divaricata*) sind, so werden die *tigna bina* des Pfahljoches *fastigate* gestellt; die beiden Begriffe *in imo divaricata* und *fastigate* bedeuten dasselbe¹⁾.

2. Wie den beiden Richtbäumen des gebrauchsfertigen Wippkrans (durch Halte-
taue) eine gewünschte Neigung gegeben wird (*eriguntur*), so ist das Schrägpfahlpaar am Pfahljoch der Brücke unter einem bestimmten Winkel vornübergeneigt (*prone*).

Zu Abb. 7 bemerken wir folgendes: Blümner hat die *fibula* fälschlich als Taubund um die sich berührenden Köpfe der beiden *tigna* dargestellt. Nach unserer Auffassung

¹⁾ Die beiden lateinischen Fachausdrücke *fastigatus* und *divaricatus* verhalten sich zueinander genau so wie die beiden Begriffe der Planimetrie konvergent (konvergierend) und divergent (divergierend). Konvergent sind zwei sich schneidende (oder bei genügender Verlängerung sich schneidende) gerade Linien, die in den nach dem Schnittpunkt hinführenden Richtungen sich nähern (zusammenlaufen); divergent heißen dieselben Geraden, weil sie in den vom Schnittpunkt abgewandten Richtungen auseinanderlaufen. Die *tigna bina* des Brückenjoches werden als *fastigate* gerammt bezeichnet, weil die Achsen der beiden Jochpfähle von der Pfahlspitze nach dem Holm zu sich nähern (konvergieren); dagegen heißen die *tigna duo* des Hebezeugs *in imo divaricata*, weil ihre Achsen von dem gemeinsamen Schnittpunkte, der etwas über der Bolzenverbindung am Kopfe liegt, nach den Fußpunkten zu auseinandergehen (divergieren). Wie also in der Planimetrie konvergent und divergent dasselbe bezeichnet und nur der Blickpunkt verschieden ist, so *fastigatus* bei Caesar und *divaricatus* bei Vitruv.

(vgl. unten S. 118 ff.) ist die *fibula* ein Bolzen, der durch die äußersten Enden der *tigna* gesteckt ist und sie so zusammenhält. Unsere Auffassung deckt sich mit der schon von Reber vertretenen, der die *fibula* an Vitruvs Hebemaschine als Bolzen gezeichnet hat¹). Abb. 7 ist in der Hauptsache eine genaue Wiedergabe der Hebemaschine nach Blümner; nur haben wir am Kopf der *tigna* die Blümnersche Tauschlinge durch Rebers Bolzen ersetzt.

Zum Schluß soll noch einmal auf die Notwendigkeit der *tigna bina* hingewiesen werden. Hätte ein Brückenjoch für 5,60 m Wassertiefe nur aus den fünf Stützpfehlern (*sublicae*) mit darauf gelegtem Holm (*trabs*) bestanden, dann hätte selbst der Nichtfachmann empfunden, daß einem derartigen Joch Bauglieder fehlen, die ihm die nötige Steifigkeit zur Aufnahme von Schubkräften

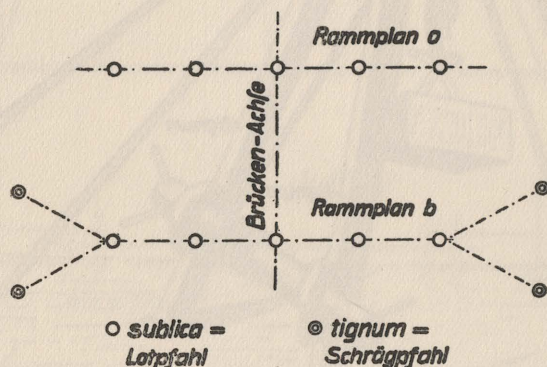


Abb. 8. Rammpläne der Pfahljoche.

in Richtung des Stromes und senkrecht dazu geben. Das Joch braucht vor allen Dingen in der Ebene der Pfahlachsen einen sog. Querverband, der bei einem neuzeitlichen hölzernen Brückenjoch durch Gurthölzer (Zangen) und Schwerter (Andreaskreuze, gekreuzte Zangen) gebildet wird. Caesar bzw. sein Brückenbaumeister ließ daher an den beiden Holmenden je zwei *tigna* als räumlich schräg gestellte Pfeile einrammen. Sie standen *prone*, um die Schwankungen quer zur Brücke, und *fastigate*, um die Schwankungen längs der Brücke aufzunehmen. Die *tigna* sind also keine tragenden Jochpfähle (*sublicae*), sondern Bauglieder (Verbandhölzer), die das Joch gegen seitliche Schwankungen jeder Art sichern. Diese gespreizt stehenden *tigna* an einem hohen Pfahljoch sind erstmalig von Caesar beim Brückenschlag über den Rhein in den Holzbrückenbau aufgenommen worden (einen so breiten, reißenden und tiefen Strom hatte vorher kein römisches Heer zu überschreiten gehabt). Sie sind seitdem ein Bestandteil der römischen Pionierwissenschaft geblieben²), wie unsere Untersuchung über die Pfahlbrücken auf der Trajanssäule zeigt (vgl. S. 196).

Die *tigna* sind also eine notwendige Verstärkung des Joches. Sie sind aber nur in den größeren Tiefen mit stärkerer Strömung erforderlich. Daher haben

¹) Reber a. a. O. 298 Abb. 30.

²) Vgl. Guischard a. a. O. 30: 'Il paraît que du temps de César on les construisoit tous dans l'esprit & dans le goût du Pont, que ce grand homme bâtit sur le rhin.'

wir die in der Nähe des Ufers befindlichen fünf Joche ohne *tigna* angenommen und *tigna* nur den übrigen in den größeren Tiefen stehenden Jochen gegeben.

Unter dieser Voraussetzung ergeben sich für die Joche der Rheinbrücke zwei Rammpläne, die Abb. 8 zeigt: Nach Rammplan a sind die Joche 1—5 und 45—49 gerammt, d. h. die Joche, die den beiden Ufern am nächsten stehen. Jedes dieser Joche besteht aus fünf Lotpfählen (*sublicae*) (vgl. Pfahljoch 4 auf Abb. 3). Zu den fünf tragenden Lotpfählen kommen in den Wassertiefen von 12' (3,50 m) und mehr noch an den Holmenden je zwei Schrägpfähle (*tigna*) zum Schutze gegen Schwankungen. Diese verstärkten Joche — nach unserer Annahme die Joche 6—44 — sind nach Rammplan b gerammt (vgl. Abb. 5 u. 8).

9. *bipedalibus trabibus immissis.*

immittere ist nach C. E. C. Schneiders Feststellung ein Fachausdruck des römischen Rechts. Bei der Gründlichkeit der römischen Juristen ist er sicher einem Fachausdruck der römischen Technik nachgebildet. Das Gegenstück zu *immittere* ist *proicere*¹).

Die Balken, die einen Balkon (*maenianum*) tragen, oder die Sparren, die die Traufe (*suggrunda*) eines vorspringenden Daches bilden, schweben mit dem vorspringenden Teil frei in der Luft; es sind Träger mit einem Kragarm (lat.: *ita provehantur, ut nusquam requiescant*); dagegen liegen *tigna* und *trabes*, wenn sie Teile von Decke und Dach sind, an beiden Enden (und außerdem manchmal noch dazwischen) auf einer Unterlage auf, wie beim *atrium Tuscanicum* (vgl. oben S. 102 f. zu Vitruv. VI 3) zwei *trabes* von Längswand zu Längswand gehen und mit ihren Enden in den Längswänden stecken, während beim *atrium tetrastylum* jede *trabs* außerdem noch auf zwei Säulen dazwischen ein Auflager findet (lat.: *quod ita fit, ut aliquo loco requiescat*).

Caesars *trabes* weisen eine gewisse Ähnlichkeit mit den *trabes* eines *atrium tetrastylum* auf. Die *trabs* (der Unterzug), die im Hause die Decke oder das Dach trägt, ist an vier Punkten unterstützt, an den Enden von den zwei Mauern und dazwischen von zwei Säulen. Dem entspricht bei unserem Entwurfe die Unterstützung des Holmes durch fünf lotrechte Tragpfähle. Ferner: wie der Unterzug an seinen Enden seitlich ummauert und damit gegen waagerechte Verschiebungen gesichert ist, so ist der Jochholm an seinen Enden zwischen den Schrägpfahlpaaren eingeschoben zu dem Zwecke, den Holm und damit das ganze Joch gegen Schwankungen in Richtung der Brückenachse zu versteifen. *trabem immittere* bedeutet also, daß der Balken im Hausbau oder der Holm im Holzbrückenbau ein sicheres Auflager haben muß.

Das ist auch der Sinn von *immittere* im *ius tigni immittendi*, im 'Balkenrecht', das erst 1900 mit der Einführung des Bürgerlichen Gesetzbuches aus dem deutschen Recht verschwunden ist²). Der älteste Niederschlag dieses Rechtes liegt im Zwölftafelgesetz vor. Es war schon den römischen Juristen der Kaiserzeit unverständlich

¹) Den Unterschied hat Labeo festgestellt (Dig. 50, 16, 24, 242): *inter proiectum et immissum hoc interesse ait Labeo, quod proiectum esset id, quod ita proveheretur, ut nusquam requiesceret, qualia maeniana et suggrundae essent; immissum autem, quod ita fieret, ut aliquo loco requiesceret, veluti tigna trabesque, quae immitterentur.*

²) Vgl. Allgemeines Landrecht I 22 § 55.

geworden, wie Eduard Huschke festgestellt hat¹⁾: *duae nobis doctrinae de hac actione a Iustiniano traditae sunt, eaeque non male, sed ne omnino quidem inter se conciliatae, altera Gaii et Pauli altera Ulpiani.*

Das Gesetz lautet nach Festus: *tignum iunctum aedibus vineave et concapit ne solvito*. Neuere Gelehrte pflegen an diesem Wortlaut starke Änderungen vorzunehmen, um ihm so einen Sinn abzugewinnen. Wir nehmen nur eine einzige Verschreibung an: *vineave* steht fälschlich für *vineaeve*, und erklären die Gesetzesbestimmung folgendermaßen: Nachbarhäuser durften früher eine gemeinsame Wand haben (was jetzt in Deutschland verboten ist). Der Nichteigentümer dieser Wand hatte das Recht, die Balken der Decke oder des Daches seines Hauses in die Wand des Nachbarhauses einzuschieben. Das durfte er nicht nur bei der Wand eines benachbarten Hauses, sondern auch bei der Mauer eines benachbarten Weingartens (*aedibus vineaeve*). Der Eigentümer der Wand oder Mauer darf einen solchen Balken seines Nachbarn nicht hinauswerfen (*ne solvito*). Der Kopf eines solchen eingeschobenen Balkens konnte an einer beliebigen Stelle der Wand oder der Mauer sitzen und hieß dann ein *tignum iunctum aedibus vineaeve*. Er konnte aber auch mit einem vorstehenden Balkenkopf des Nachbargrundstücks zusammenstoßen, und das ergab zweckmäßig eine Verbindung von Balkenkopf mit Balkenkopf, ein *concapit*. Wir nehmen also an, daß *concapit* ein altertümliches, später verschollenes und nur im Zwölftafelgesetz fortlebendes Wort ist, vergleichbar der Bildung von *sinciput*, nur daß *concapit* und *sinciput* die Aussprache weit getrennter Jahrhunderte darstellen und daher andere Vokale haben (*-capit* gegen *-ciput*). Der Sinn des alten Gesetzes wäre somit: 'Wenn dein Nachbar einen Balken seines Hauses in die Wand deines Hauses oder in die Mauer deines Weingartens einbaut oder an den Balkenkopf deiner Balkenlage anschließt, darfst du die Verbindung nicht lösen.'

Das Gesetz gebraucht das Wort *tignum*. Caesar nahm für das Brückenjoch 2' starke Holme, die als *trabes* zu bezeichnen waren. So kam er in Anlehnung an das *ius tigni immittendi* zu dem Ausdruck *bipedalibus trabibus immisis*, der juristisch und fachmännisch zugleich ist. Wenn wir das lateinische *immittere* im Deutschen dem Sinne nach genau wiedergeben wollen, so müssen wir zwei Verba dafür gebrauchen: 'nachdem 2' starke Holme zwischen die *tigna* eingeschoben und auf die *sublicae* gelagert waren'.

10. *binis utrimque fibulis.*

Die *tigna* oder Schrägpfahlpaare verband Caesar *binis utrimque fibulis*. Man hat sich in 400 Jahren nicht darüber einigen können, was Caesar mit *fibula* meinte, und man hat bisweilen Bedeutungen erfunden, die das oft vorkommende Wort sonst nie hat²⁾.

Die jedermann geläufige Bedeutung von *fibula* ist 'die Gewandnadel', 'die Fibel', wie man ja auch heutzutage noch sagt. Freilich gibt es eine kaum zu übersehende Fülle von Formen der Gewandnadel³⁾, und *fibula* bedeutet gelegentlich auch 'die Schnalle'

¹⁾ E. Huschke, Ad legem XII tab. de tigno iuncto commentatio (1837) 7.

²⁾ *fibula* findet sich im lateinischen Schrifttum so häufig, daß der Thesaurus linguae Latinae darauf verzichtet, alle vorkommenden Stellen anzuführen. Wir haben uns ein vollständiges Verzeichnis ausgeben und festgestellt, daß die fortgelassenen Stellen nichts anderes ergeben, als was im Thesaurus steht.

³⁾ Vgl. Ebert, RL. III 283—315.

(beim Gürtel)¹⁾. Aber eins haben alle Formen gemeinsam: sie haben alle als Hauptbestandteil einen Dorn aus Metall mit irgendeiner Vorrichtung (und darin bestehen die Unterschiede der einzelnen Formen), um diesen Dorn im Gewande festzuhalten²⁾.

Die lateinischen Ärzte belehren uns darüber, daß man *fibulae* zum Schließen von Wunden gebraucht hat und daß dieser Ausdruck die Übersetzung des griechischen Fachausdruckes ἀγκυρή ist. Es kann sich hierbei nur um Vorrichtungen handeln, die den Gewandnadeln sehr ähnlich waren, so daß die lateinischen Ärzte in Ermangelung eines passenderen Ausdruckes für ἀγκυρή den etwas unbestimmteren Ausdruck *fibula* wählten, weil ihnen der bei den griechischen Ärzten übliche Gegenstand zum Schließen der Wunden einer Gewandnadel ähnlich schien. Vgl. Celsus V 26, 23: *si vero in carne vulnus est hiatque neque in unum orae facile attrahuntur, sutura quidem aliena est, imponendae vero fibulae sunt* (ἀγκυτῆρας Graeci nominant), *quae oras, paulum tamen, contrahant, quo minus lata postea cicatrix sit.* ('Wenn es sich um eine klaffende Fleischwunde handelt und die Ränder sich nicht leicht zusammenziehen lassen, ist Nähen unangebracht, und es müssen *fibulae* (griechisch ἀγκυτῆρες) angelegt werden, um die Ränder, freilich nur wenig, zusammenzuziehen, damit später die Narbe nicht so breit ist.' Das entspricht Galen. ad Glauco. 2: ἐὰν δὲ εἰς βάθος διήκη τὸ τραῦμα, καὶ ῥαφαῖς καὶ ἀγκυτῆροι εἰώθαμεν αὐτὰ τὰ χεῖλη συνάγειν. ('Wenn die Wunde in die Tiefe geht, pflegen wir teils durch Nähen, teils durch ἀγκυτῆρες die Ränder zusammenzuziehen.') Wir bleiben also auch hier bei der bekannten Bedeutung: Nadel oder Dorn zum Zusammenhalten von auseinanderstrebenden Teilen.

Dieselbe Grundbedeutung behält *fibula* als Fachausdruck auf einem anderen medizinischen Gebiet, nämlich bei der sog. Infibulation. Der Thesaurus verweist hierfür auf eine Abhandlung von L. Stieda³⁾, der nebeneinander eine griechische und eine römische Sitte behandelt, die aber nur wenig miteinander zu tun haben und daher zu Unrecht die gleiche Bezeichnung 'Infibulation' tragen. Die fälschlich so bezeichnete griechische Sitte geht uns hier nichts an. Gemeint ist die Abschnürung der Vorhaut mit einem Faden, griech. κυνοδέσμη, die man vorzunehmen pflegte, wenn man sich in der Öffentlichkeit nackt zu zeigen hatte, eine Sitte, die durch das Schrifttum belegt ist und an griechischen Bronzeplastiken beobachtet werden kann. Dieser mit κυνοδέσμη bezeichnete Faden wäre besser mit 'Hundehalsband' wiederzugeben, als daß man das unpassende lateinische Fremdwort 'Infibulation' anwendet, da hier von einer *fibula*, wie sie die Römer kannten, nicht die Rede ist. Demgegenüber wird die römische Sitte der 'Infibulation' mit Recht so genannt. Es handelt sich hierbei darum, daß durch zwei in die Vorhaut gestochene Löcher ein Draht (*fibula*) gezogen wird, dessen Enden man zusammenbiegt und verlötet, um eine Entblößung der Eichel durch Zurückweichen der Vorhaut zu hindern. Die Ähnlichkeit dieses Drahtes mit einer Gewandnadel ist handgreiflich und ebenso mit dem Fachausdruck ἀγκυρή. Man hat später auch andere Vorrichtungen zum Verbergen des männlichen Gliedes als *fibula* bezeichnet⁴⁾.

Wir stellen zusammenfassend fest, daß der Gebrauch des Wortes *fibula* in der Medizin sowohl beim Schließen von Wunden wie beim Schließen der

¹⁾ Vgl. S. Reinach in Daremberg-Saglio, Dict. II 1101—1112.

²⁾ Vgl. Isidor, Origines XIX 31, 17: *fibulae sunt, quibus pectus feminarum ornatur vel pallium tenetur a viris in humeris seu cingulum in lumbis.* ('*fibulae* sind Broschen, womit die Frauen ihre Brust schmücken, oder Spangen, womit bei den Männern der Mantel auf der Schulter, oder Schnallen, womit der Gürtel um die Hüften festgehalten wird.')

³⁾ L. Stieda, Anatomische Hefte 19, 1902, 240 ff.

⁴⁾ Vgl. Stieda a. a. O.

Vorhaut (künstliche Phimose) nicht über die geläufige Bedeutung des Wortes zur Bezeichnung der 'Gewandnadel' hinausführt: es ist immer ein Metallstift oder Draht, der durch etwas hindurchgeht (Gewand oder Haut) und irgendwie in seiner Lage festgehalten wird.

Da *fibula* in übertragener Bedeutung ausscheidet¹⁾, bleiben die vier Fälle übrig, in denen *fibula* als Fachausdruck der Technik vorkommt. In allen vier Fällen ist die Bedeutung umstritten. Und doch kann die richtige Bedeutung nur die sein, die in allen vier Fällen paßt und zu den bisher besprochenen Bedeutungen stimmt. Das ist die Bedeutung 'Bolzen'. Was versteht man in der Technik unter einem Bolzen? Ein Bolzen ist ein Stab von meist kreisrundem Querschnitt, der durch zwei oder mehr zu verbindende Teile hindurchgesteckt wird; er hat in der Regel an dem einen Ende einen festen Kopf; die Ausbildung des anderen Endes richtet sich nach dem Zweck, dem der Bolzen dienen soll. Die heutige Technik unterscheidet Schraubenbolzen, Nietbolzen, Stehbolzen, Splintbolzen und Keilbolzen.

Im lateinischen Schrifttum handelt es sich bei den vier Fällen des Vorkommens der *fibula* um 1. die Öl- und Weinpresse bei Cato, De agricultura, 2. die Druckpumpe des Ktesibios bei Vitruv. X 7, 1—3, 3. die Hebezeuge bei Vitruv. X 2 und 4. das Joch von Caesars Rheinbrücken bei Caesar, B. G. IV 17, 6²⁾.

¹⁾ Vgl. Thes. VI 1, Sp. 645, 27—56.

²⁾ Einen vermeintlichen fünften Fall haben wir als nicht hierher gehörig bereits ausgeschieden in unserem Aufsatz 'Caesar, B. G. VII 23 und Vitruv. I 5, 3' in der Philol. Wochensch. 51, 1931, 1596—1600. Vitruv vergleicht hier nämlich die Wirkung der Querschwellen (*taleae*) in Wehrmauern mit der Wirkung von *fibulae*. Das hat man dahin ausgelegt, daß diese Schwellen von Vitruv als *fibulae* bezeichnet werden. Geschichtlich ist dieser Irrtum wichtig, da man bei den Wiederherstellungsversuchen der Brücke die *fibulae* am Holmkopf des Brückenjochs oft als kurze Balkenstücke aufgefaßt hat und dann bei Vitruv eine Stütze für diese Auffassung zu haben vermeinte. Der Thesaurus linguae Latinae geht noch von dieser Stelle aus, um eine vermeintliche Grundbedeutung für *fibula* zu gewinnen. Sachlich ist beides abzulehnen. — Vitruvs Vergleich fußt auf folgenden Ähnlichkeiten zwischen den Querschwellen in Wehrmauern und Bolzen. Der Bolzen besteht aus einem Schaft mit je einer Sperrvorrichtung an seinen beiden Enden (der Keilbolzen z. B. besteht aus Kopf, Schaft und Keil). Sein Schaft geht durch einen mehrteiligen (zerlegbaren, zusammengesetzten) Gegenstand hindurch und hält ihn durch seine Sperrvorrichtungen zusammen. Ähnlich gehen die Querschwellen des Schwellenwerks der Mauern durch den Mauerkörper hindurch und halten seinen Kern zwischen den aufgekämmten und festgenagelten Längsschwellen zusammen. Die beiden Längsschwellen entsprechen also den beiden Sperrvorrichtungen eines Bolzens, und der Teil der Querschwellen zwischen zwei Längsschwellen entspricht dem Bolzenschaft. Es ist daher begreiflich, wenn Vitruv die Querschwellen zwar nicht selbst als Bolzen (*fibulae*) bezeichnet, wohl aber die Wirkung der Querschwellen (*taleae*) mit der Wirkung einer Bolzenverbindung vergleicht (*quemadmodum fibulis*). Da bei einem Keilbolzen der Schaft immer auf Zug beansprucht ist, können die Querschwellen der Wehrmauer nur dann — Bolzen vergleichbar — zusammenhaltend wirken, wenn sie aus einem einzigen Stück bestehen. Sie dürfen also nicht der Länge nach aus zwei oder mehr Hölzern zusammengesetzt ('gestoßen') sein. Daher schreiben Caesar wie Vitruv gleich zu Anfang ihrer Schilderung vor, daß die Querschwellen, bei Caesar allgemeiner *trabes*, bei Vitruv genauer *taleae* genannt, ungestoßene Hölzer sein sollen. Beide bezeichnen sie nämlich als *perpetuae*, d. h. als aus einem Stück bestehend. Diese Hölzer brauchten nicht übermäßig lang zu sein, entsprechend den jedesmaligen Mauerstärken. Das Wort *perpetuus* als Fachausdruck der Technik bedeutet, daß ein Gegenstand ohne Unterbrechung aus einem einzigen Stück besteht. Ein Beispiel möge das erläutern. Vitruv hat in seiner Basilika in

Das Vorkommen der *fibulae* bei Cato müssen wir, da es hier zu weit führen würde, an anderer Stelle besonders behandeln¹⁾. — Bei der Saug- und Druckpumpe des Ktesibios in der Ausführung, die Vitruv. X 7, 1—3 im Auge hat, setzen wir Bekanntschaft mit der an sich einfachen Maschine voraus. Die Stelle, auf die es uns hier ankommt, lautet: *supra catinum paenula ut infundibulum inversum est attemperata et per fibulam cum catino cuneo traiecto continetur, ne vis inflationis aquae eam cogat elevari* ('Auf den Windkessel wird ein Deckel passend eingeschliffen, der wie ein umgekehrter Trichter aussieht, und er wird auf den Windkessel durch Bolzen mit Vorsteckkeilen aufgesetzt, damit der durch das Eindringen des Wassers hervorgerufene Luftdruck ihn nicht abhebt'). *attemperare* heißt an sich nur 'passend machen'. Da die gegossenen Bronzestücke nach dem Guß an der Oberfläche rauh sind, so muß der Sitz zwischen Kessel und Deckel mit besonderer Sorgfalt bearbeitet werden, damit ein dichter Schluß erzielt wird. Das geschieht durch Schleifen, wie ein ähnliches Nacharbeiten bei antiken Bronzeplastiken bekannt ist. *per fibulam . . . cuneo traiecto* = durch Bolzen mit Vorsteckkeilen, durch Keilbolzenverbindung. *fibula* und *cuneus* sind kollektivische Singulare. Es verteilen sich also auf den Rand des Kessels (Flansch) mehrere Bolzen (sechs ?) mit Vorsteckkeilen, die aus demselben Metall wie Kessel und Deckel (Bronze) zu denken sind. Im einzelnen ist folgende Ausführung anzunehmen. Am Ende des Keilbolzens befindet sich rechtwinklig zur Bolzenachse ein länglicher Schlitz, in den der prismatisch gestaltete Keil hineingetrieben wird. Damit ein weiteres Anziehen möglich ist, muß der Schlitz etwas länger sein, als der Keil hoch ist. Dieser Keilbolzenverschluß zwischen Kessel und Deckel stellt eine lösliche Verbindung dar, die hier nötig ist, da die im Innern des Kessels befindlichen Klappen zum Reinigen zugänglich bleiben müssen (Flanschrohrverbindung durch Bolzen mit Vorsteckkeilen).

Die *fibulae* bei Vitruvs Hebezeugen (vgl. Abb. 7) und bei Caesars Schrägpfahlpaaren müssen gemeinsam betrachtet werden; denn alles, was wir darüber hören, entspricht sich so genau, daß eins das andere erklärt und die *fibulae* in beiden Fällen

Fanum im Hauptschiff Säulen verwendet, die ohne Unterbrechung vom Fußboden bis zur Decke durchgehen. Diese 50' hohen Säulen heißen bei ihm *columnae altitudinibus perpetuis . . . pedum L* (Vitr. V 1, 6; vgl. PhW. 54 [1934] 1295f.). Dagegen stehen z. B. im sog. Neptunstempel in Paestum im Hauptschiff als Träger der Decke zwei Säulenreihen übereinander. Obwohl die Achsen der übereinander stehenden Säulen in dieselbe Gerade fallen, wären sie doch nicht als *columnae perpetuae* zu bezeichnen, weil ein Gebälk sie trennt. Die Längsschwellen in den Wehrmauern dagegen müssen gestoßen sein (die Mauer von Murcens hat z. B. eine Gesamtlänge von 2 km). Je weniger Stöße vorhanden sind, desto fester werden die Mauern in ihrem Längsverbande sein; aber auch der Querschnitt der Längsschwellen ist von größter Bedeutung für die Widerstandsfähigkeit der Mauern. Da man aus gewachsenen Waldbäumen Längsschwellen von bedeutendem Querschnitt nur in einer bestimmten Länge aus dem Stamme gewinnen kann, muß sich diese Länge innerhalb gewisser Grenzen halten. Caesar gibt als Regel 40' an (*pedes quadragenos plerumque*). Die einzelnen Bauhölzer, aus denen sich die durchlaufenden Längsschwellen zusammensetzen, heißen bei Caesar *perpetuae trabes*. *perpetuus* bezeichnet, wie oben schon erläutert, die Einheit (das Ununterbrochene) eines Gegenstandes von einem Ende bis zum andern, d. h. eine ununterbrochene Längenausdehnung. Daher kann Caesar zu *perpetuus* die Länge der Einzelhölzer für die Längsschwellen im Akkusativ angeben und schreiben: *perpetuis trabibus pedes quadragenos plerumque introrsus revincta* ('mit Längsschwellen im Innern verkämmt und vernagelt, die aus Einzelschwellen von meist 40' Länge gestoßen sind').

¹⁾ Unsere Ansichten über die *fibulae* an Catos Öl- und Weinpressen haben wir in der Sitzung des Philologischen Vereins zu Berlin vom 22. Oktober 1934 vorgetragen; vgl. Bericht über die Sitzungen des Philol. Vereins Berlin (1934) 6.

dasselbe sein müssen. Beim Hebezeug nehmen wir mit Reber eiserne Bolzen an; Blümner glaubt an Taubunde, Sackur an hölzerne 'Klammerstücke'. Die Taubunde geben eine technisch sehr wohl mögliche und haltbare Verbindung, nur daß *fibula* keine Seilschlinge bezeichnen kann. Sackurs 'Klammerstücke' sind sprachlich wie sachlich unmöglich.

Sackurs Abhandlung gibt zwar die wertvolle Anregung, die vorausgehende und gleichzeitige griechische und die aus der antiken erwachsene italienische Holzbautechnik vergleichend heranzuziehen; er geht aber einen falschen Weg. Er setzt lat. *fibula* mit griech. περιστομῆς gleich, obwohl jedes Wörterbuch besagt, daß *fibula* gleich περόνη ist¹⁾. Die beiden Wörter entsprechen sich in ihren Hauptbedeutungen genau. Wie *fibula* ist auch περόνη zunächst die Gewandnadel; und zweitens kommen beide Wörter als Fachausdrücke der Technik in derselben Bedeutung als Bolzen oder Durchstecker vor²⁾. Bei Sackur vermißt man eine klare Beweisführung, daß *fibula* hingegen gleich περιστομῆς sein soll. Er behauptet nur S. 42: 'Für die περιστομῆς hat der römische Techniker den Ausdruck *fibula*, der Form und Funktion treffend wiedergibt; denn *fibula* heißt Spange oder Klammer.' Hier liegt ein circulus vitiosus vor. Jemand hat angenommen, *fibula* heiße 'Klammer'. Folglich kommt das ins Wörterbuch. Sackur sieht im Wörterbuch nach (z. B. Georges, 7. Aufl. 1879) und vermeint, sicheren Boden zu haben, kommt aber tatsächlich nur auf die willkürliche, durch nichts bewiesene und durch nichts zu beweisende Annahme jenes zum Anonymus gewordenen Gelehrten zurück, der einmal angenommen hat, daß *fibula* = 'Klammer' sei. Daraus machte dann Sackur seine hölzernen 'Klammerstücke'.

Ebenso mißlungen ist Sackurs Versuch, die antike *fibula* im italienischen Holzbau im allgemeinen und bei Palladio im besonderen wiederzufinden. Er sagt selbst S. 44 Anm. 3: 'die fibulae sind das einzige Konstruktionsmittel, das in der italienischen Technik nicht mehr nachweisbar scheint. Sollte Palladio sie im damaligen Zimmergewerbe doch noch gefunden haben?' Sackur begnügt sich mit der in diesen zwei Sätzen ausgesprochenen zweifelhaften Grundlage und glaubt, die *fibulae* seien im Altertum das gewesen, als was sie Palladio am Joch seiner Caesarbrücke gestaltet hat, in der Annahme, der Strom der technischen Überlieferungen sei von der Antike bis Palladio geflossen. In Wahrheit steht Palladio bei seinem Brückenentwurf (1570) mitten in einem Strome, der seinen falschen Ausgangspunkt bei Fra Giovanni Giocondo da Verona genommen hat (um 1513) und bis in unsere Zeit fließt. Die Italiener haben ihre Holzbautechnik aus der Antike übernommen. Dies hat Sackur schlagend nachgewiesen. So beruhen die alten Dachbinder der altchristlichen Kirchen Roms auf antiker Bauweise. Sackur dürfte übrigens unbekannt geblieben sein, daß man dieselbe Bauweise, wie wir selbst durch den Augenschein feststellen konnten, noch heute auch in Griechenland auf dem Festlande wie auf den Inseln findet; es scheint aber bisher niemand auf diese Zusammenhänge geachtet zu haben. Auf Grund dieser unzweifelhaften Tatsache sucht nun Sackur auch bei den altchristlichen Kirchen einen Beweis für seine *fibulae*. Er findet sie unglücklicherweise in den profilierten Sattelhölzern der alten Dachbinder von St. Paul vor den Mauern wieder und sieht in ihnen aufgekämmte 'Klammerstücke'. Er legt die Zeichnungen Rondelets zugrunde (die Kirche brannte 1823 ab), die aber keine Kämme zeigen. Sackur erklärt deshalb S. 132 Anm. 1: 'Ich halte das für Ungenauigkeit seines (Rondelets) Zeichners, denn

¹⁾ Vgl. die Stellen im Thesaurus.

²⁾ Für *fibula* = Bolzen erbringen wir oben den Beweis; für περόνη = Bolzen vgl. z. B. die Bedeutungen des Wortes in der Poliorketik des Apollodor an Hand des Wörterverzeichnisses der Ausgabe von Rudolf Schneider.

der richtig angegebene Zweck kann auf andere Weise als durch Einlassen ja gar nicht erreicht werden.' Wir können diese Beweisführung nicht gelten lassen.

Sackurs 'Klammerstücke' an Vitruvs Hebezeug würden nicht halten. Hätte Sackur, wie es sonst sein Verdienst ist, auch hier auf den lebendigen Gebrauch geachtet, so hätte er gesehen, daß man noch heute die Richtbäume solcher Hebezeuge im Süden wie bei uns durch eiserne Bolzen verbindet. Nur Bolzen (heutzutage gewöhnlich Schraubbolzen, für Vitruv Keilbolzen) halten die Richtbäume ohne sonstige Hilfsmittel so zusammen, daß eine Verschiebung der Köpfe gegeneinander unmöglich wird. Sackurs 'Klammerstück' umfaßt die Bäume nur halbseitig; es ist gebrechlich und muß erst durch besondere Holzkeile in Spannung gebracht werden, um überhaupt wirksam zu werden. Daß es nicht halten würde, hat Sackur als Fachmann der Technik gesehen. Daher legt er um die beiden Köpfe der Richtbäume außerdem noch eine Tauschlinge. Das ist vertretbar, nur daß auch eine Tauschlinge eine Verschiebung der Richtbäume und damit die Gefahr eines Zusammenbruches des ganzen Hebezeuges nicht hindern würde. Zu diesen technischen Unmöglichkeiten kommt hinzu, daß auch rein sprachlich betrachtet *fibula* nicht 'Klammerstück' bedeuten kann.

Auch am Joch der Rheinbrücke traut Sackur seinen hölzernen Klammerstücken nicht, denn auch hier legt er trotz seiner zwei Klammerstücke (*binæ fibulae*) um die *tigna* noch eine Seilumschnürung herum, der tatsächlich die größere Bedeutung für die Haltbarkeit der Verbindung zukommt. Aber diese Hinzufügung der Taubunde ist eine eigenmächtige Ergänzung zu Caesars Baubeschreibung, die wir nicht zugestehen können.

Mit der Einführung der *prone ac fastigate* gestellten *tigna*, die das Joch gegen Schwankungen sichern sollten, war auch die Frage ihrer Befestigung am Holmkopf aufgeworfen. Man entschied sich für ein Befestigungsmittel, das aus dem Hebezeugbau in ähnlicher Anordnung bei den beiden ebenfalls *prone ac fastigate* gestellten *tigna* bekannt war: für den Bolzen mit Vorsteckkeil. Diese eisernen Bolzen sind also für das Brückenjoch ebenso neu wie die *tigna* selbst. Der alte *pons sublicius* war ohne Eisen gebaut. Wo die zwei Eisenbolzen gesessen haben, geht aus Caesars Angabe *ab extrema parte* unzweifelhaft hervor. Diese Angabe bezieht sich auf die Schrägpfahlpaaire, *haec utraque*. Folglich saßen die *fibulae* am Ende der Schrägpfahlpaaire, natürlich am oberen, da das untere im Flußbett steckte. Ebenso scheint uns die Zahl der *fibulae* unzweifelhaft angegeben zu sein. Von demselben Subjekt *haec utraque* wird nämlich ferner gesagt, sie wurden *binis utrimque fibulis* befestigt. Das *utrimque* nimmt das *utraque* wieder auf: es ist sachlich dasselbe. Folglich waren es an jedem Holmkopf zwei Bolzen¹⁾.

Die Keilbolzen (*fibulae*), wie sie für Caesars Rheinbrücken anzunehmen sind, stellen wir uns als Rundeisenstäbe von etwa 1'' Dm. vor. Ihre Länge ist im Höchsfalle auf 5' anzunehmen. Sie müssen nämlich durch ein *tignum*, die *trabs* und wieder durch ein *tignum* hindurchgehen, d. h. durch Hölzer von rd. 1½', 2' und wieder 1½' Stärke, wovon die vier Abarbeitungen an den Berührungsflächen der genannten drei

¹⁾ An einer vergleichbaren Stelle schreibt Tacitus, Hist. II 34: *naves pari inter se spatio, validis utrimque trabibus conexas, adversum in flumen dirigebantur*. Es handelt sich um eine Schiffsbrücke, auf die wir S. 159 zurückkommen. Die einzelnen Brückenschiffe (Pontons) sind in gleichen Abständen voneinander gegen die Strömung des Flusses (des Po) verankert. Starke Balken bilden rechts und links die Verbindung von Schiff zu Schiff. Es ist nur ein Brückenstummel mit einem Festungsturm am freien Ende, wie Caesar seine zweite Brücke nach der Rückkehr aus Germanien gestaltete, also vielleicht nach Caesars Vorbild erbaut.

Rundstämme abzuziehen sind (vgl. Abb. 9 und 10)¹⁾. An dem einen Ende haben die Keilbolzen einen flachen Kopf von vielleicht 5" Dm. Aber statt des runden Kopfes konnte man auch das eine Ende des Rundeisenstabes aufspalten, die Enden flach ausschmieden und nach vorn und hinten klammerartig umbiegen und in den Schrägpfehl wie eine Bauklammer eintreiben. Das andere Ende des Keilbolzens ist geschlitzt. Hier wird der eiserne Keil hindurchgetrieben. Es ist anzunehmen, daß man zwischen Keil und Schrägpfehl eine eiserne Unterlagscheibe eingelegt hat, damit sich der Keil nicht nach und nach in das Holz einfrißt, was eine Lockerung der Verbindung nach sich zieht. Man wird ohnehin in den ersten Tagen nach der Vollendung des Joches die Keile öfter haben nachziehen müssen, da grünes Holz durch Eintrocknen bedeutend schwindet.

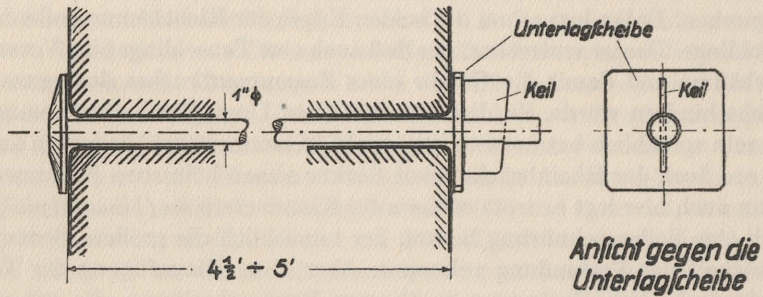


Abb. 9. Der Keilbolzen (*fibula*).

Die Herstellung der schmiedeeisernen Keilbolzen kann nur in den Feldschmieden erfolgt sein, wo man für die Herstellung und Instandhaltung der Eisenwaffen, insbesondere der Hauptwaffe der Fußtruppen, des Pilums, stets genügende Eisenvorräte und genügend geübte Leute haben mußte. Es handelt sich bei unserem Entwurfe um die Herstellung von 156 Keilbolzen. Die Durchbohrung für den Schaft der Bolzen konnte vermittels eines Bohrers geschehen, wenn man genug passende Bohrer zur Hand hatte. Sonst bekam man das Loch in der gerade gewünschten Weite auch fertig, wenn man es nach und nach mit einem im Schmiedefeuere glühend gemachten Rundeisenstab ausbrannte. Kopf und Unterlagscheibe erfordern als Widerlager an den Außenseiten der Schrägpfähle ebene Flächen, die einander parallel sein und senkrecht zur Achse der Bolzen stehen müssen. Solche Flächen waren leicht und rasch durch ein paar Schläge mit der Axt herzustellen (vgl. auf Abb. 10 den Schrägpfehl in der Stromrichtung gesehen).

11. *destinabantur. quibus disclusis atque in contrariam partem revinctis.*

In den Worten *quibus disclusis atque in contrariam partem revinctis* sehen wir eine zusammenfassende Wiederholung des Inhalts des vorhergehenden Satzes. *quibus* bezieht sich auf die *tigna*, die voneinander getrennt worden sind (*disclusis*). Das Trennende ist die *trabs*, die zwischen die *tigna* eingeschoben,

¹⁾ Unter der großen Zahl von Bedeutungen, die man dem Worte *fibula* am Joche der Rheinbrücke gegeben hat, finden sich Deutungen, die der Wahrheit nahekommen. Rusconi hat als erster in den *fibulae* Bolzen gesehen, die vor und hinter jedem Schrägpfehlpaar durch den Holm gesteckt sind. — Maggis Auffassung deckt sich mit der unserigen am meisten; allerdings sind seine *fibulae* aus Holz. Näheres hierüber s. unten S. 185 f.

d. h. dazwischen gelegt worden ist (*trabibus . . . immissis*). Die *trabs* trennt also die *tigna*, sie läßt sie nicht zusammenkommen (*quibus disclusis*). Wenn es dann weiter heißt *atque in contrariam partem revinctis*, so sind das Verbindende die *fibulae*, von denen vorher gesagt worden ist, daß mit ihnen die *tigna* fest zusammengehalten worden seien (wir lesen *destinabantur*). Bei dieser Auffassung erklärt sich auch leicht der Zusatz *in contrariam partem*. Die zwischen die *tigna* gelegte *trabs* hält die *tigna* auseinander. Die *fibulae* halten die *tigna* mit entgegengesetzter Kraftwirkung (*in contrariam partem*) wie die trennende *trabs* zusammen.

Die häufige Spracherscheinung, daß am Anfang eines Satzes der Inhalt des vorhergehenden Satzes noch einmal kurz zusammengefaßt wird, hat eine Verunstaltung des Textes durch das Eindringen von *distinebantur* für *destinabantur* hervorgerufen. Man übersah, daß der abl. abs. zwei Partizipien hat, *disclusis* und *revinctis*, und hielt sich nur an das erste, *disclusis*. Man suchte also im vorhergehenden Satze nach etwas Trennendem und gewann das Trennende durch Veränderung von *destinabantur* in *distinebantur*, was alle Handschriften haben. Man hat sich damals schon damit abgefunden, daß Caesar sagen sollte, die *fibulae*, etwas Bindendes, seien etwas Trennendes. Übrigens ist die Veränderung der Lesart *destinabantur* in *distinebantur* so gering, wie schon Menge gezeigt hat, daß eine Umwandlung der einen Form in die andere auch sonst vorkommt. Es wäre also auch denkbar, daß nur eine versehentliche Vertauschung vorliegt¹⁾.

Bei *revincire* haben wir es mit einem Fachausdruck des römischen Holzbaus zu tun. Das Wort begegnet auch bei Caesar, B. G. VII 23 bei der Beschreibung der gallischen Wehrmauer. In einer besonderen Untersuchung darüber²⁾ haben wir es als 'verkämmen und vernageln' erklärt³⁾.

Die Verkämmung am Kopf der Rheinbrücke stellen wir uns folgendermaßen vor (vgl. Abb. 10): Jeder Holmkopf des Pfahljoches ist beiderseits mit ebenflächigen Ausschnitten versehen, deren Neigung der Neigung der Schrägpfähle entspricht. Die beiden Schrägpfähle sitzen mit einem entsprechend bearbeiteten Ausschnitt in diesen Ausschnitten des Holms und sind durch je zwei Bolzen an den beiden Enden des Holms (*binis utrimque fibulis*) damit verbolzt.

Wie also zu der oben erwähnten Verkämmung der Wehrmauern die Vernagelung der sich kreuzenden Längs- und Querschwellen gehört, so gehört hier zu der Verkämmung der beiden ein Paar bildenden Schrägpfähle mit dem Holm die Verbolzung. *revincire* hat somit für uns Deutsche die Bedeutung zweier Verben: bei der Wehrmauer 'verkämmen und vernageln', bei der Rheinbrücke 'verkämmen und verbolzen'.

¹⁾ Der Thesaurus linguae Latinae bemerkt unter *destino*: *persaepe in libris legitur dist.*. Im Spätlatein werden bekanntlich viele mit *e* auslautende Vorsilben mit einem *i* versehen: *dirigere* für *derigere*, *fistuca* für *jestuca* usw. War man erst bei *destinabantur* für *destinabantur*, so war der Schritt zu *distinebantur* leicht.

²⁾ Vgl. 'Caesar, B. G. VII 23 und Vitruv. I 5, 3' in der Philol. Wochensch. 52, 1932, 1596—1600.

³⁾ 'Verkämmen' ('aufkämmen') nennt man in der Zimmermannssprache die Herstellung eines Verbandes von sich (meist rechtwinklig) kreuzenden Hölzern, wobei das eine Holz in das andere durch einen Ausschnitt eingelassen ist; es können auch beide sich kreuzenden Hölzer entsprechende Ausschnitte haben.

Die Eisennägel der Wehrmauern sind durch die Funde gesichert, ohne von Caesar oder Vitruv besonders erwähnt zu werden; bei der Rheinbrücke werden die Bolzen von Caesar ausdrücklich erwähnt. Die Einzelheiten der baulichen Durchbildung dieser Verbindung sind unten S. 138 ff. beschrieben.

12. *tigna bina inter se iungebat.*

(Gleichzeitiges Rammen zweier Pfähle ist unmöglich.)

Nach unserer Auffassung werden die beiden ein Paar bildenden *tigna* erst nach dem Rammen durch die *fibulae* (Keilbolzen) miteinander verbunden. Bisher hat man sich die *tigna*, die ein Paar bilden, meist parallel gestellt und schon vor dem Rammen durch Sprossen (wie bei einer Leiter) miteinander verbunden gedacht; so verbunden sollten sie dann in den Strom gestellt und unter den Schlägen eines Schlegels oder Rammklotzes eingerammt werden. Es ist aber technisch unmöglich, zwei fest miteinander verbundene Pfähle gleichzeitig einzurammen.

Da wir in diesem Punkte ein besonders fest eingewurzeltes Vorurteil der reinen Buchgelehrsamkeit auszurotten haben¹⁾, glaubten wir unsere Ansicht am besten durch folgende Urteile von unparteiischen Fachleuten erhärten zu können, die wir um ihre Meinung gefragt haben, ohne anzudeuten, wie wir über die Sache denken. Wir richteten unsere Anfragen an staatliche Behörden des See-, Hafen- und Wasserbaus, die Neubauten und Unterhaltungsarbeiten an Ostseebuhnen, Seestegen, Kai-mauern usw. jährlich auszuschreiben und zu überwachen haben, sowie an private Unternehmer und erhielten folgende Gutachten mit der Erlaubnis zur Veröffentlichung:

Das Staatliche Wasserbauamt Stettin schreibt, daß beim dortigen Wasserbauamte zwei in einem Abstand von 0,60 m l. W. durch sprossenähnliche Querhölzer gekuppelte 0,45 m starke Pfähle gleichzeitig unter den Schlägen eines Rammbärs noch nicht eingerammt worden sind. Auch ist es dort nicht bekannt geworden, daß derartige Rammarbeiten, die in der Praxis kaum durchführbar erscheinen, anderwärts ausgeführt worden sind.

Das Hafenbauamt Pillau antwortet: 'Im Bezirk des Hafenbauamtes ist es, soweit hier bekannt, noch nicht vorgekommen, daß zwei miteinander gekuppelte Pfähle gleichzeitig eingerammt worden sind. Dieses Verfahren ist nur bei ganz geringer Rammtiefe und bei vollständig gleichmäßigem Untergrund denkbar.'

Das Staatliche Hafenbauamt Kolberg teilt mit: 'Im hiesigen Bauamtsbezirk wird jeder Pfahl einzeln für sich gerammt. Es ist nicht bekannt, daß irgendwo zwei Pfähle zusammen gerammt werden. Hierzu sind die heutigen Rammen nicht eingerichtet.'

¹⁾ Unsere Anschauung, daß es unmöglich ist, zwei fest miteinander verbundene Rammpfähle gleichzeitig zu rammen, hat auch schon vor uns Verfechter gefunden. Schon 1708 hat der Kölner Professor der Rechte Stephan Broelmann seinem Kupferstich mit dem Bilde der zweiten Rheinbrücke Caesars im linken oberen Zwickel die Abbildung einer Ramme beigegeben, die richtig nur einen Schrägpfahl rammt, und in neuerer Zeit hat sich Prévost mit Recht gegen den Glauben gewendet, daß es möglich sein soll, zwei Pfähle gleichzeitig zu rammen. Hierbei darf man nicht vergessen, daß man sich früher die beiden Schrägpfähle desselben Paares gewöhnlich parallel gestellt dachte. Wir haben aber oben S. 112 ff. nachgewiesen, daß sie nicht parallel, sondern gespreizt (divergierend) anzunehmen sind. Denkt man sich also zwei gespreizte Pfähle fest durch Sprossen (Querriegel) verbunden und dann zum Rammen in den Rhein gestellt, so bedarf es keiner weiteren Worte, um die Unmöglichkeit darzutun, ein solches Gebilde zu rammen: die beiden *tigna* können also unmöglich schon vor dem Rammen mit 2' Abstand fest miteinander verbunden gewesen sein.

Das Staatliche Hafenbauamt Swinemünde schreibt, 'daß im dortigen Bezirk nirgends zwei miteinander gekuppelte Pfähle gleichzeitig eingerammt werden. Auch ist nicht bekannt, daß ein derartiges Verfahren irgendwo sonst zur Anwendung kommt. Es erscheint sehr fraglich, ob ein gleichzeitiges Einrammen besonders derartig starker Pfähle überhaupt möglich ist. Falls einer der Pfähle durch irgendwelche geringfügigen Verschiedenheiten des Bodens auch nur etwas schwerer eindringt wie der andere, muß es zu einem Kanten des Joches und zu einem Brechen der Verbindungshölzer kommen. Erfahrungsgemäß dringen in ganz seltenen Ausnahmefällen zwei Pfähle ganz gleichmäßig in den Boden. Eine Ausführung in der angenommenen Art wird für sehr unwahrscheinlich gehalten'.

Die Firma Menck & Hambrock G.m.b.H. in Altona-Hamburg, eine der bekanntesten und ältesten Firmen für den Bau von Zug- und Dampfrahmen, schreibt: 'Zwei gekuppelte Pfähle wird man im allgemeinen nicht gleichzeitig rammen, denn wenn der eine auf einen Widerstand stoßen würde, müßte ja die Rammung auch des anderen Pfahles unterbrochen werden.'

Diese Äußerungen von Fachleuten in amtlicher und privater Stellung werden hoffentlich sogar den nichtfachmännischen Lesern genügen. Wir bringen so viele Äußerungen, weil noch Sackur¹⁾ die beiden *tigna* gleichzeitig einrammt, wenn er auch die starre Verbindung der *tigna* gegenüber seinen Vorgängern zu einer elastischen umgeändert hat.

Die technisch unmögliche Anschauung von dem gleichzeitigen Einrammen zweier Pfähle ist daher gekommen, daß man den Worten Caesars *iungebat*, *iuncta* und *iunctura*, die alle dasselbe bedeuten²⁾, eine zu scharfe Bedeutung gegeben hat. Man glaubte, daß diese Worte die Herstellung einer festen Verbindung bezeichnen. Wir sind aber der Ansicht, daß sie nur das bedeuten, was man im Deutschen zimmermannstechnisch mit 'abbinden' bezeichnet.

Es ist ein alter Zimmermannsbrauch, daß alle Einzelteile eines Holzverbandes zunächst auf der 'Zulage' — daheim auf dem Werkplatz oder auch in der Nähe der Baustelle — ausgesucht, zurechtgelegt, angezeichnet und zugeschnitten, dann zimmermannsgerecht verarbeitet und zur Holzverbindung zusammengefügt und mit Bundzeichen versehen werden. Alle diese Tätigkeiten, die dem 'Richten' vorausgehen, bezeichnet der Zimmermann als 'abbinden'. In vielen Fachwerkbauten sieht man heute noch 'Bundzeichen', die das Aufstellen ('Richten') der abgebundenen Hölzer erleichtern. Bei jedem Holzbau, einerlei ob es sich um einen Dachstuhl oder um eine Pfahlbrücke handelt, muß man also unterscheiden zwischen dem vorhergehenden Bearbeiten ('Abbinden') der Bauhölzer auf dem Werkplatz und dem späteren Richten des Bauwerks auf der Baustelle.

¹⁾ Sackur a. a. O. 42.

²⁾ Wir schreiben die drei Stellen gekürzt untereinander:

1. *tigna bina . . . intervallo pedum duorum inter se iungebat*

2. *contraria duo ad eundem modum iuncta*

3. *bipedalibus . . . quantum eorum tignorum iunctura distabat.*

Man sieht, alle drei Ausdrücke enthalten denselben Subjekts-, denselben Prädikats- und denselben Zahlbegriff: das Subjekt sind immer die ein Paar bildenden Schrägpfähle: *tigna bina*, *contraria duo*, *eorum tignorum*. Der Prädikatsbegriff ist immer das Abbinden: *iungebat*, *iuncta*, *iunctura*. Der Zahlbegriff ist immer dieselbe Maßangabe, nämlich ein Abstand von 2' zwischen den Köpfen zweier Schrägpfähle, die ein Paar bilden: *intervallo pedum duorum*, *ad eundem modum*, *quantum . . . distabat*.

So muß es auch bei der Rheinbrücke gewesen sein. Auf dem Werkplatz am Ufer wurden die für eine gepeilte Wassertiefe bestimmten Lot- und Schrägpfähle ausgesucht, auf die richtige Länge zugeschnitten, entrindet, am Zopfende angespitzt, am Stammende abgefast, kurz, für das Rammen vorbereitet. Ebenso wurde ein passender Holm ausgesucht und ebenfalls so weit bearbeitet, wie es für die spätere endgültige Verbindung mit den gerammten Jochpfählen erforderlich war. Diese vorbereitende Arbeit nennt der deutsche Zimmermann also 'abbinden', und wir glauben, daß Caesar mit *iungere*, *iuncta* und *iunctura* dasselbe meint. Es handelt sich dabei also nicht um die Herstellung einer festen, dauernden Verbindung, sondern nur um eine notwendige Zusammenstellung und Bearbeitung der Bauteile, die erst später am Bauwerk selbst fest verbunden ('gerichtet') werden sollen¹).

13. *machinatio* und *festuca*.

Die Rammfähigkeit des Bodens. Wie die fünf Lotpfähle (*sublicae*) konnten auch die vier Schrägpfähle (*tigna*) jedes Joches nur mit einem schweren Rammklotz, der an einem starken Rammgerüst auf und nieder bewegt wurde, eingerammt werden. Daß es nicht genügt, 'Böcke' in die gewaltigen, rasenden Wassermassen des Rheins als Brückenjochs hineinzustellen und eine Fahrbahn

¹) Allerdings kann *iungere* an sich auch die Herstellung einer festen Verbindung bezeichnen wie bei Isidor., Orig. XIX 19, 5 *tigna enim iuncta trabem faciunt* (vgl. oben S. 103). Aber z. B. bei Tacitus, Germania 18 bedeutet *iuncti boves* nicht, daß die beiden Zugochsen fest miteinander verbunden sind, sondern nur, daß sie zu einem Gespann ('Paar') zusammengehören, also dasselbe wie *bini boves*, ohne Rücksicht darauf, ob sie gerade auf der Weide frei herumlaufen (wie bei Cato, De agr. 149, 2) oder eingespannt sind. In demselben Brückenskapitel bezeichnet Caesar späterhin die Herstellung einer dauernden Holzverbindung durch *coniungere* (*et cum omni opere coniunctae*). Über die Bedeutung von *iungere* haben wir oft untereinander und mit anderen gesprochen. Wir wollen daher die Bedenken anfügen, die sich gegen die Bedeutung 'abbinden' geltend machen lassen. Zum Abbinden gehören alle vorbereitenden Maßnahmen, also auch das Zuschneiden der *tigna* auf die gehörige Länge (*dimensa ad altitudinem*) und das Anspitzen (*paulum ab imo praecuta*). Wenn *iungere* 'abbinden' heißt und diese beiden vorbereitenden Maßnahmen darinnen schon einbegriffen sind, warum hat Caesar bei der sonstigen Knappheit seines Berichtes diese beiden Maßnahmen noch besonders erwähnt? Ferner hat die Maßangabe von 2' als Breite des Zwischenraumes zwischen den beiden *tigna* eines Paares nur dann Sinn, wenn man sich die *tigna* bereits gerammt vorstellt. Auf dem Werkplatze ist es gleichgültig, in welchem Abstände man die beiden *tigna* eines Paares nebeneinander legt. Da die alte Meinung, daß man die beiden *tigna* schon auf dem Werkplatze irgendwie in eine feste Verbindung gebracht habe, nach dem Obigen ausgeschlossen ist, bliebe vielleicht noch der Ausweg, anzunehmen, daß *iungere* nur die Herstellung der Zusammengehörigkeit zu einem Paare bedeutet (wie bei Tacitus in dem Ausdruck *boves iuncti* gleich *bini boves*). Aber dann wäre die Verbundenheit zu einem Paare doppelt ausgedrückt, durch *bina* und durch *iungere*; und schließlich besteht die Herstellung der Zusammengehörigkeit zu einem Paare doch eben in den vorbereitenden Arbeiten, die der deutsche Zimmermann als 'abbinden' bezeichnet. Wir wollen auch noch hinzufügen, daß wir *iungere* in der Bedeutung 'abbinden' sonst nicht gefunden haben, was weder für noch gegen unsere Erklärung spricht. In Anbetracht dieser Schwierigkeiten glauben wir bei der Auffassung bleiben zu müssen, die uns gleich zu Anfang unserer Arbeit gekommen ist, daß nämlich *iungere* dem deutschen 'abbinden' entspricht, nur daß bei Caesar dieser Begriff nicht so weit und umfassend ist, wie wir ihn heutzutage anwenden, so daß Caesar einerseits zwei handwerkliche Maßnahmen zu *iungere* nebenbei noch hinzufügt, die in unserer Übersetzung 'abbinden' schon mit enthalten sind, und andererseits eine Angabe macht, die erst zutrifft, wenn das Schrägpfahlpaar schon gerammt ist.

daraufzulegen, und daß es auch nicht angeht, die Tragpfähle der Brücke allenfalls mit einem hölzernen Schlegel etwas in die Flußsohle hineinzuklopfen, was man beides tatsächlich allen Ernstes behauptet hat, brauchen wir wohl nicht zu beweisen¹⁾).

Da man aber auch gezweifelt hat, ob sich im Rhein an den in Frage kommenden Stellen überhaupt rammen läßt, haben wir zuständige Stellen um Gutachten gebeten und vom Eisenbahnbetriebsamt I Koblenz der Deutschen Reichsbahngesellschaft unter dem 8. März 1927 folgende Antwort erhalten: 'Die Bohrergergebnisse von den Bodenuntersuchungen anlässlich des Baues der Rheinbrücken bei Engers und Remagen sind während der Ruhr-Aktion in Verlust geraten. Ich kann Ihnen daher leider damit nicht dienen. Soweit erinnerlich, fand sich bei der Rheinbrücke bei Engers eine etwa 4—5 m tiefe Kiesschicht und darunter Ton vor. Bei der Rheinbrücke bei Remagen fand sich teils Fels, teils Kies vor. Ähnliche Bodenverhältnisse können auch bei den in der Nähe von Koblenz sich befindenden älteren Rheinbrücken als vorhanden angenommen werden.'

Der Oberbürgermeister von Bonn verweist auf die Festschrift über die Bonner Rheinbrücke²⁾, wonach der Untergrund aus Flußkies besteht, der in jeder Beziehung rammfähig ist, und fügt hinzu: '... im übrigen ist im und in der Nähe des Rheines in der Gegend von Bonn bisher bei den vorgenommenen Brunnenbohrungen und Rammarbeiten niemals felsiger Untergrund angetroffen worden.'

Die Preußische Geologische Landesanstalt schreibt uns: 'Das Flußbett und seine Ufer bestehen bis zu beträchtlicher Tiefe in jenem Gebiet aus Kies und sandigem Kies mit Sandlagen. Im Bereich der im Kriege gebauten Eisenbahnbrücke bei Engers folgt in einiger Tiefe unter dem Kies der Flußsohle Ton. An der Rammfähigkeit ist hier und im allgemeinen nicht zu zweifeln. Eine Ausnahme ist es, daß beim Bau der Eisenbahnbrücke über den Rhein oberhalb Remagen, ebenfalls im Kriege, die Caissons bei der Gründung auf Basalt gestoßen sind, der sichtlich im ursächlichen Zusammenhang steht mit den am Ufer hoch aufragenden Felsen der Erpeler Ley.'

Das Rammgerät. Gottlieb Hagen schreibt über die Rammen³⁾: 'Der wesentlichste Theil derselben ist der hölzerne oder eiserne Rammklotz, auch der Bär genannt. Dieser wird abwechselnd gehoben und übt beim jedesmaligen Herabfallen auf den Pfahl den Stoß aus, wodurch letzterer tiefer in den Grund eindringt. Das Heben des Klotzes erfolgt entweder aus freier Hand; alsdann ist keine weitere Vorrichtung erforderlich und die ganze Ramme besteht nur aus dem Klotze. Man nennt eine solche die Handramme. Hat der Klotz dagegen ein größeres Gewicht, so daß er nicht mehr unmittelbar gefaßt werden kann, so hängt er an einem Tau, das über eine Rolle gezogen und am hintern Ende mit den Zugleinen verbunden ist, von denen jede durch einen Arbeiter gefaßt und bei jedem Hube angezogen wird. Diese Ramme, welche eine feste Rüstung erfordert, heißt Zugramme.'

Für leichte Rammarbeiten ist auch in der Antike ein leichter Rammklotz anzunehmen, der aus freier Hand gehoben wurde. Diese einfache, nur aus Holz gefertigte Handramme heißt lat. *festuca*⁴⁾. Es liegt nicht der mindeste Grund vor, daran zu zweifeln, daß man im Altertum auch das Einrammen dicker und langer Pfähle verstand und daher auch die nötigen Vorrichtungen dazu, die Zugramme, besaß. Diese Fähigkeit ist seit uralten Zeiten verbreitet, wie die noch vorhandenen Pfahlbaureste

¹⁾ Vgl. unten S. 186 die Äußerungen von François Hotman.

²⁾ Die Bonner Rheinbrücke. Festschrift zur Eröffnungsfeier am 17. 12. 1898.

³⁾ G. Hagen, Handbuch der Wasserbaukunst³ I 2 (1870) Abschnitt V § 35, 81. Man vergleiche damit unsere Taf. 25 nebst den Erläuterungen im Schriftfeld.

⁴⁾ Vgl. Mau, RE. VI 2224.

aus vorgeschichtlicher Zeit beweisen¹⁾. Wie weit die antike Technik vorgeschritten war, lehrt Thukydides VII 25, 6—7, wonach die Athener die Pfähle, die die Syrakusaner vor ihren Schiffshäusern am Großen Hafen zum Schutze gegen athenische Angriffe im Meere eingerammt hatten, von kleinen Fahrzeugen aus mit Winden wieder emporzogen und herausrissen oder unter Wasser von Tauchern absägen ließen. In Rom erforderte umfangreiche Rammarbeiten die älteste Tiberbrücke, der *pons sublicius*, ein ausgesprochener Holzbau, bei dem nach unserer Annahme für jedes Joch drei *sublicae* gerammt werden mußten²⁾. Bezeugt wird das Rammen mit der Zugamme für die Antike von Vitruv. III 4, 2, wenn er empfiehlt, für Bauten auf sumpfigem Boden reichlich Pfähle einzurammen: *sublica . . . machinis adigatur quam creberrime*³⁾. Er bezeichnet also die Rammpfähle durch den kollektiven Singular *sublica*, die Rammvorrichtung (Rüstung) mit *machina* und das Rammen mit *adigere*.

Auch das Rammen von Schrägpfählen konnte den Römern zu Caesars Zeiten keine Schwierigkeiten bieten, ebensowenig das Rammen von schwimmenden Gerüsten aus. Das war den Griechen längst geläufig, wie aus der angeführten Thukydides-Stelle zu schließen ist. Die hierfür erforderliche Zugamme beschreibt Hagen⁴⁾: 'Bei der Zugamme wird der Klotz nicht aus freier Hand, sondern mittelst eines Taues gehoben. Seine Führung geschieht zuweilen durch ein unmittelbares Anfassen; die gewöhnliche Anordnung ist aber diese, daß an der Rüstung besondere Ruthen angebracht sind, welche den Klotz sicher führen. Es sind dieses die Läufer oder Läufer-ruthen, auch Mäkler genannt, die entweder einfach oder doppelt sind und von den Armen des Klotzes umfaßt werden, oder einen Schlitz bilden, durch welchen die Arme hindurchgreifen . . . In die Läufer-ruthe ist über den Streben die Rammscheibe eingelassen, welche das Rammtau vom Klotze nach der sogenannten Stube oder dem Raume über der Verschwellung führt. Hier stehn die Arbeiter auf einem losen Dielenboden und ziehn mittelst der angesteckten Zugleinen das hintere Ende des Rammtaues stoßweise herab, wodurch sie den Klotz heben, der beim plötzlichen Nachlassen des Zuges auf den Pfahl fällt und denselben eintreibt . . . Derselbe (gemeint ist der Rammklotz!) besteht aus Holz oder Gußeisen. Sein Gewicht beträgt nach Maßgabe des Widerstandes, den die Pfähle dem Eindringen entgegensetzen, 6 bis 12 Centner, doch werden beide Grenzen zuweilen überschritten. Der hölzerne Rammklotz besteht aus einem gesunden und starken Stücke, gewöhnlich dem Stammende einer Eiche.'

Die Rammtechnik an der Zugamme hat in den 100 Jahren von Perronet (1750) bis Hagen (1850) keine Änderung erfahren. Sie war althergebracht und muß so auch schon in der Antike in Übung gewesen sein. Erst im Maschinenzeitalter nahmen die Bärgegewichte gewaltig zu: leichtere von 500 bis 2000 kg werden heute bei den Dampf-rammen für hölzerne Rammpfähle benutzt, schwerere von 4000 bis 6000 kg für Eisenbetonpfähle und Eisenbetonspundpfähle. Das Bärgegewicht muß in einem bestimmten Verhältnis zum Pfahlgewicht stehen.

¹⁾ F. M. Feldhaus, Die Technik der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker (1914) 856 unter 'Ramme': 'Auf welche Weise man z. B. in der Pfahlbauzeit oder beim antiken Brückenbau die schweren Holzpfähle in die Erde eingetrieben hat, wissen wir nicht. Die beliebte Darstellung, auf der man sieht, wie die Ureinwohner mit riesigen Handhämmern auf die Pfähle losschlagen, ist unsinnig. Man muß also schon für die älteste Zeit eine primitive Zugamme mit schwerem Fallbär annehmen.'

²⁾ Vgl. unten S. 200 ff. und unsere Abhandlung 'Der pons sublicius auf einem Medaillon des Antoninus Pius' in den Berliner Münzblättern 50, 1930 Nr. 333.

³⁾ Vgl. oben S. 98.

⁴⁾ G. Hagen a. a. O. 84ff.

Perronet¹⁾ verwandte im Baujahr 1768 Bärgegewichte von 525, 640 und 690 kg und besetzte die Rammen entsprechend mit 36, 44 und 47 Mann. Im Baujahr 1751 arbeitete er mit einem Bärgegewicht von 440 kg und 26 Mann.

Wiebeking²⁾ hatte im Baujahr 1807 bei der Neu-Örtinger Innbrücke Bärgegewichte von 685 kg und 50 Mann, an der Landsberger Lechbrücke dieselben Bärgegewichte und 54 Mann, bei der Augsburgsberger Lechbrücke Bärgegewichte von 670 kg und 60 Mann.

Hagen³⁾ setzte beim Bollwerk in Pillau bei einem Bärgegewicht von 515 kg 36 Mann an.

Napoleon I.⁴⁾ rammte die Pfahljoche seiner Donaubrücke nach der Insel Lobau bei Wien mit Bärgegewichten von 290 kg⁵⁾.

Am höchsten Teil der Rammrüstung ist der sog. Triezkopf angebracht. Damit bezeichnet man den Bauteil an der äußersten Spitze der Rammrüstung, der gewöhnlich galgenartig vor die Läufer hervorkragt und Rollen oder Scheiben (Triezen) trägt, über die das Trieztau führt, das zum Hochziehen oder Hochwinden des Pfahles dient.

Caesars Beschreibung des Rammvorganges. Die Worte, mit denen Caesar, B. G. IV 17, 4 den Rammvorgang beschreibt, lauten: *haec cum machinationibus immissa in flumine defixerat festucisque adegerat*⁶⁾. Zu übersetzen ist: 'Wenn sie (die *tigna*, die Schrägpfähle) an die Rammrüstung getriezt waren, dann an den Läuferferruten bis in die Flußsohle hinabgeglitten waren und sich dort eingebohrt hatten und dann mit den Rammklötzen eingerammt waren . . .'

Die richtige Bedeutung von *machinationibus* und *festucis* hat man meist nicht erkannt. *festuca* sollte die Zugramme heißen, obwohl es das nie bedeutet. Freilich hat schon Maggi 1563 *festuca* richtig mit ital. *mazzacastello* übersetzt, aber ohne die richtige Bedeutung von *machinatio* zu finden. Ebenso hat Walther H. Riff *festuca* richtig verstanden, wenn er schreibt⁷⁾: 'Wo aber solcher satter grundt / wie Vitruvius zu anfang dieses Capitels meldet nicht vorhanden / lernet er auch wie in solchem sich zuhalten / nemlichen Pfahl einzuschlagen . . . dann werden solche Pfahl mit dem Pfahlstößer / wie er hernach in volgender Figur fürgemalet wirt / hart angetriben und tieff eingestoßen / mit einem sonderlichen Hebzeug aufgezogen un schnell darauff fallen lassen / und wirt solcher Stößer von den Alten *Fistuca* genannt.'

Bei *machinationibus* ist Prévost auf das Richtige gekommen: 'Il devient impossible de voir dans les machinationibus et les fistucis autre chose que des sonnettes (Rammen) armées de forts moutons (Rammklötze); il est même aisé de démontrer que le poids de chaque mouton ne devait pas être inférieur à 400 kilogrammes.'

Vielleicht hat auch schon Palladio das Richtige gemeint: 'Havendo con machine affermate queste travi nel fondo del fiume, le ficcava in quello co'l battipalo.' Wenn er unter *machine* die Rammgerüste und unter *battipalo* den Rammbar verstanden hat, so ist das ganz unsere Meinung. Im Text hat er richtig *in flumine*.

Wir behaupten also nicht als erste, daß *festuca* den Rammklotz und *machinatio* das Rammgerüst bezeichnet. Ein besonderes Wort für Ramme gibt es im Lateinischen nicht; das Rammgerüst heißt einfach *machina* oder *machinatio*. Zufällig liegt, soweit

¹⁾ J. R. Perronet, Description des Ponts de Neuilly, de Mantes etc. I (1782) 40 und II (1783) 3.

²⁾ C. F. Wiebeking, Beyträge zur Brückenbaukunde (1809).

³⁾ G. Hagen a. a. O. 129.

⁴⁾ Napoléon I., Précis des guerres de César (1836).

⁵⁾ Bei der Ermittlung obiger Bärgegewichte rechneten wir: 1 Pfd. preuß. = 467,4 g; 1 Pfd. bayr. = 561,2 g; 1 Pfd. franz. = 489,5 g.

⁶⁾ In diesen Worten hat die Handschriftenklasse β richtig *in flumine* bewahrt, während die Klasse α fälschlich *in flumen* bietet.

⁷⁾ W. H. Riff (Rivius), Vitruv-Übersetzung (1575) 256 zu Vitruv. III 4, 2.

uns bekannt, außer bei Caesar nur noch ein einziger Fall vor, wo *machina* diese besondere Bedeutung 'Ramme' hat, nämlich die bereits angeführte und auch von Riff (Rivius) besprochene Stelle Vitruv. III 4, 2 *sublica . . . machinis adigatur quam creberrime*. Bei Caesar wie bei Vitruv heißt 'einrammen' übereinstimmend *adigere*, und ebenso werden die Pfähle übereinstimmend durch den kollektivischen Singular *sublica* bezeichnet.

Bisher sah man in der Form *machinationibus* gewöhnlich den instrumental Ablativ und übersetzte: 'Nachdem die Pfähle durch Vorrichtungen in den Fluß gebracht waren.' Daher gab man der Handschriftenklasse α den Vorzug (*in flumen*), deren Urheber offenbar demselben Irrtum zum Opfer gefallen war. *machinationibus* ist aber Dativ, abhängig von *immissa*, und *in flumine*, wie die Klasse β richtig überliefert, hängt von *defixerat* ab. Der durch das Compositum *defixerat* bezeichnete Teilvorgang beim Rammen läßt sich in zwei Einzelvorgänge zerlegen, von denen der erste durch die Präposition und der zweite durch das Verbum bezeichnet wird und die sich zeitlich folgen: in dem *de-* liegt, daß der Rammpfahl zwischen den Mäklern bis auf die Flußsohle hinabgleitet, und in dem *-fixerat* liegt, daß sich die Spitze des Pfahles dabei etwas einbohrt.

Der Rammvorgang ist also folgender. Der in doppelter Neigung (*prone ac fastigate*) einzurammende Pfahl (*tignum*) wird irgendwie in den Spalt zwischen den Läufertruten der Zugramme, die auf die gewünschte Neigung eingestellt sind, getriezt — das besagt *machinationibus immissa*. Sodann läßt man den Pfahl an den Läufertruten in der dadurch gewiesenen Richtung bis auf die Flußsohle hinabgleiten — das besagt *de-*, wo sich die Pfahlspitze infolge der Wucht des Hinabgleitens mehr oder weniger tief einbohrt — das besagt *-fixerat*. Dann beginnt die eigentliche Rammarbeit, das Einrammen mit dem Rammklotz, das Caesar durch *festucisque adegerat* beschreibt. Er schildert also, wenn man den Wortlaut so auffaßt, mit aller wünschenswerten Anschaulichkeit den Rammvorgang an der Zugramme, wie er sich heutzutage noch abspielt, und zwar mit den lateinischen Fachausdrücken, die zum Teil durch Vitruv belegt sind. Der Vorwurf, daß Caesar laienhaft schildert, trifft nicht zu.

Sprachlich hat unsere Deutung vor der bisherigen den Vorzug, daß die drei adverbialen Bestimmungen ihren zugehörigen Verbalformen vorausgehen: *machinationibus* gehört zu *immissa*, *in flumine* gehört zu *defixerat*, *festucis* gehört zu *adegerat*. Bei der bisherigen Auffassung ('mit Hubvorrichtungen in den Fluß gebracht') mußte man erstens annehmen, daß die Verbalform *immissa* zwischen ihren adverbialen Bestimmungen *machinationibus* und *in flumen* (wofür man sich dann entscheiden mußte) stand. Zweitens war *defixerat* neben *adegerat* überflüssig, denn beide Verbalformen mußten dasselbe besagen. Für unsere Erklärung spricht auch, daß *immissa* bei uns denselben Sinn hat wie wenige Zeilen später in den Worten *bipedalibus trabibus immissis*; denn wie beim Brückenjoch die Holme (*trabes*) zwischen die Schrägpfahlpaare (*tigna*) eingeschoben werden, so werden bei der Ramme die Rammpfähle (*tigna*) vor der eigentlichen Rammarbeit zwischen die Läufertruten getriezt.

Aus dem Gebrauch der Wendung *machinationibus immissa* schließen wir, daß der Rammklotz zwischen zwei Läufertruten lief, die gleichzeitig zur Führung des Rammpfahls beim Setzen und Rammen dienten. Die beim Bau der Pfahljoche benutzten Rammen waren also doppelläufige Rammen. Da ferner das Bärge wicht in einem bestimmten Verhältnis zum Pfahlgewicht stehen muß, nehmen wir mit Prévost Bärge wichte von etwa 400 kg und dementsprechend Rammans chaften von etwa 30 Mann für eine Ramme an.

Aus unserer Untersuchung hat sich ergeben: *machinatio* und *festuca* sind Fachausdrücke, und es ist *machinatio* das Rammgerüst, ein auf einer Schwelle ruhender, aus Pfosten und Streben gezimmerter Aufbau, der für die Ausführung der Rammarbeiten in der gewünschten Lage gehalten wird, und es ist *festuca* der Rammklotz, der daran, durch die Läufertruten geführt, auf und nieder bewegt wird¹⁾.

Unsere Ramme. Diesen Ergebnissen entsprechend haben wir auf Taf. 25 eine 'antike' Ramme gezeichnet. Sie ruht auf einer waagerechten Schwelle, in deren Mitte als wesentlichster Teil des Rammgerüsts ein Pfosten verzapft und verbolzt ist. Zwei Streben, die von den beiden Enden der Schwelle nach dem oberen Teile des Pfostens führen, stellen einen Dreiecksverband dar, der dem Rammgerüst die nötige Seitensteifigkeit gibt. Um (besonders beim Rammen der Schrägpfähle) ein Ausrutschen der Rammrüstung zu vermeiden, sind paarweise beiderseits neben der Schwelle Pflöcke eingeschlagen. Soweit entspricht unsere Rammrüstung in ihrem Aufbau ganz genau den Sturmleitern, die Apollodor in seiner Poliorketik beschreibt²⁾, nur daß den zwei Holmen bei der Leiter ein Pfosten bei der Ramme entspricht.

Im folgenden bringen wir den griechischen Text Apollodors und die deutsche Übersetzung nach Rudolf Schneider mit Weglassung der dort gegebenen Maße. Schneiders Übersetzung haben wir aber auf Grund der Untersuchungen von W. Sackur berichtigt³⁾.

τῇ οὖν πρώτῃ ὑποκείμενῳ δοκῷ ὑποστρέφυλος, τόρμους καὶ περόνας αὐτὴν δεχομένη . . .

ἀπὸ δὲ τῶν ἄκρων τῆς δοκοῦ χελωνίοις προσηλουμένοις ἀντήρειδες περιτεθεῖσαι ἐπὶ τοὺς κάμακας τῆς κλίμακος κλινέσθωσαν τὴν ἐφ' ἑκάτερα περινευσιν κρατοῦσαι· τοῦτω τῷ ξύλῳ πάσσαλοι δύο καὶ δύο ἐφ' ἑκάτερα πεπήχθωσαν τῇ γῇ, ἵνα δύνωνται αὐτοὶ ἐν στρεφομένην κλίνειν τὴν κλίμακα καὶ μὴ ὑποσύρωνται.

Unter die erste Leiter wird also eine unten abgerundete Schwelle gelegt, in die die Leiterholme verzapft und verbolzt werden. . . Von den Enden der Schwelle ausgehend und durchaufgenagelte Knaggen befestigt, werden beiderseits schräg zu den Leiterholmen emporsteigend Streben angebracht, die das Schwanken nach rechts und links verhindern. Neben dieser Schwelle werden Pflöcke paarweise auf beiden Seiten in den Bodengeschlagen, damit sich Schwelle und Leitergerüst dazwischen drehen und neigen lassen, wobei die Pflöcke Widerstand gegen Ausrutschen leisten sollen⁴⁾.

¹⁾ Wir geben die für die vorliegende Stelle zu wählenden Fachausdrücke in den neueren Sprachen:

<i>machinatio (machina):</i>	deutsch:	Rammgerüst, Ramme
	franz.:	sonette
<i>festuca:</i>	engl.:	pile-driver, ram
	deutsch:	Rammklotz, Bär
	franz.:	mouton
	engl.:	ram-block, monkey
	ital. (Maggi):	mazzacastello
	(Palladio):	battipalo

Vgl. auch E. v. Hoyer und F. Kreuter, Technologisches Wörterbuch⁵ (1902), wo noch andere Bezeichnungen zu finden sind.

²⁾ Apollodor., Poliorketik p. 178, 1—8.

³⁾ Vgl. W. Sackur a. a. O. 30—32 und dazu die Abb. 8 u. 12.

⁴⁾ Etwas wörtlicher: 'Damit sie, die Pflöcke, es ermöglichen, daß Schwelle und Leiter sich drehen und neigen lassen, und damit sie, die Pflöcke, sich dabei nicht unten am Boden fortziehen lassen.'

Für die weitere Ausgestaltung der Zugramme liegen antike Quellen nicht vor, und wir haben sie daher in Anlehnung an Hagens Beschreibung ausgestalten müssen. Dagegen konnten wir bei der Verankerung der Rammrüstung auf dem Floße wieder antikem Brauche folgen. Denn wir haben im Gegensatz zu der bei uns heutzutage üblichen festen Verstrebung der Handzugramme nach rückwärts bei unserer 'antiken' Ramme eine Befestigung durch Haltetaue gewählt.

Hierfür erwähnen wir folgende Vorbilder: So sollen die erwähnten Sturmleitern Apollodors durch vier Haltetaue in ihre richtige Lage gebracht und darin gehalten werden (S. 177, 14—15: *ἔνωθεν λαμβάνουσι τέσσαρα σχοινία*). Ebenso wird das Abb. 7 abgebildete Hebezeug Vitruvs durch Haltetaue verankert (vgl. Vitruv. X 2, 1: *funibus in capitibus conlocatis et circa dispositis erecta retinentur*).

Sogar eine antike Abbildung der Verankerung eines Schwenkkranes liegt uns vor auf dem Haterier-Relief des Lateran-Museums, wo nicht weniger als sieben Haltetaue mit Flaschenzügen angebracht sind, um dem Ausleger jede beliebige Neigung geben und ihn nach jeder Seite verschwenken zu können. Diese antike Gepflogenheit hat sich in der Bautechnik des Südens bis heute erhalten, und wir haben selbst gesehen, wie Herr Balanos mit Hebezeugen, die mit Haltetauen verankert waren, Säulentrommeln und Gebälkstücke des Parthenons versetzen ließ¹⁾.

14. Maßangaben, Jochlänge, Fahrbahnbreite.

Geringe Zahl der Maße. Die Angaben von Maßen und Zahlen sind spärlich. Wir erfahren nicht, wie viele *sublicae* jedes Joch hatte, auch nicht, welches die Abstände der Joche voneinander waren, auch nicht, wieviel Brückenbalken ein Brückenfeld überbrückten. Nur zwei Hauptmaße sind gegeben: die Entfernung der Schrägpfahlpaare zu 40' und die Entfernung der Schrägpfähle zu 2'. Ferner sind gegeben die Holzstärken der Schrägpfähle zu $1\frac{1}{2}$ ' Dm. und der Holme zu 2' Dm.

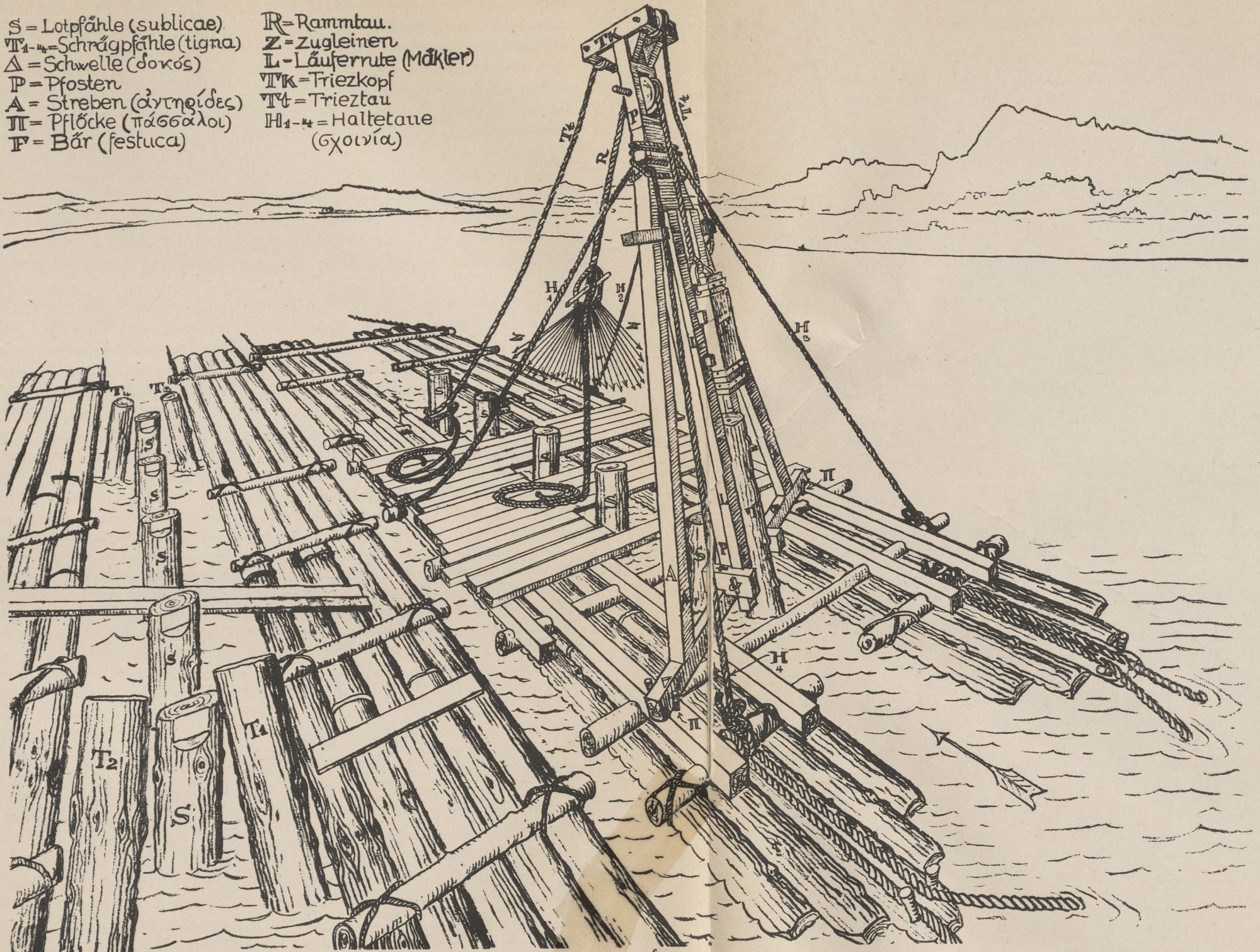
Grund- und Distributivzahlen. Bekanntlich steht die Grundzahl, wenn ein Zahlenwert einmal, die Distributivzahl, wenn er zwei- oder mehrmal auftritt. So erklärt sich im Brückenkapitel der für heutiges Empfinden so auffallende Wechsel zwischen den Grund- und Distributivzahlen, daß man sein Befremden darüber geäußert und Änderungen vorgeschlagen hat. Es ist indes alles in Ordnung.

Caesar bezeichnet die Schrägpfahlpaare zuerst § 3 mit der Distributivzahl *tigna bina* und dann § 5 mit der Grundzahl *contraria duo*. Im ersten Falle steht die Distributivzahl, weil diese Pfahlpaare sehr oft (nach unserem Plane über 40 mal) abgebunden wurden. Die Gegenpaare sind tatsächlich ebenso oft vorhanden. Aber sie werden als das Gegenüber von einem schon gerammten Pfahlpaar aufgefaßt, treten also als Gegenüber nur einmal auf. Daher steht die Grundzahl *contraria duo*. Hätte Caesar *contraria bina* gesagt, so hätte das bedeutet, daß den zwei Pfählen stromauf im ganzen vier Pfähle stromab gegenüberstanden. — Von den *tigna bina* (Distributivzahl) sagt Caesar, sie wurden *intervallo pedum duorum* (Grundzahl) miteinander abgebunden. Die Grundzahl steht, weil der Zahlenwert von 2' innerhalb des Paares nur einmal auftritt. Um-

¹⁾ Weitere Bemerkungen über die Ramme und den Rammetrieb folgen S. 166 ff.

S = Lotpfähle (sublicae)
 T₁₋₄ = Schrägpfähle (tigna)
 Δ = Schwelle (δοκός)
 P = Pfosten
 A = Streben (ἀγτηρίδες)
 Π = Pflöcke (πάσσαλοι)
 F = Bär (festuca)

R = Rammtau.
 Z = Zugleinen
 L = Läuferrute (μάκλις)
 TK = Friez Kopf
 TT = Friezttau
 H₁₋₄ = Haltetaue (σχοινία)



Das Rammen des ersten Schrägpfahls.

gekehrt heißt es von den *contraria duo* (Grundzahl), sie hätten von den Pfählen stromauf *intervallo pedum quadragenum* (Distributivzahl) gestanden. Hier steht ganz richtig die Distributivzahl, weil der Zahlenwert der 40' zweimal auftritt: jeder der beiden Pfähle stromab war von seinem Gegenüber stromauf 40' entfernt. — Endlich heißt es § 6 *binis utrimque fibulis* (Distributivzahl). Caesar hat die zwei Schrägpfahlpaare eines Joches im Auge und will angeben, daß an jedem Jochkopf zwei Bolzen vorhanden waren. Das Distributivum muß stehen, weil der Zahlenwert zweimal auftritt.

Wo sind die Maße gemessen? Da Caesar nicht angibt, an welcher Stelle die 40' gemessen sind, so hat man dieses Maß ganz verschieden aufgefaßt, manchmal als Entfernung auf der Sohle des Flusses, manchmal im Wasserspiegel, manchmal ganz oben in Fahrbahnhöhe. Ferner wußte man nicht, ob von Innenkante zu Innenkante oder von Außenkante zu Außenkante gemessen ist.

Hubo hat einwandfrei nachgewiesen, daß die Entfernung im Wasserspiegel gilt, und wir schließen uns seiner Beweisführung an, ohne sie hier zu wiederholen. Ebenso hat Hubo nachgewiesen, daß es unmöglich ist, daß die 40' von Außenkante zu Außenkante gelten. Er entscheidet sich daher für die Deutung von Innenkante zu Innenkante, die der genauen Übersetzung von *intervallum* = *inter vallos* entspricht¹⁾.

Im Ingenieurbau werden allerdings alle Maße, die sich wie hier auf das Abstecken der Pfähle von Rammplänen beziehen, von Pfahlachse zu Pfahlachse genommen. Aber für die beiden Angaben Caesars *intervallo pedum quadragenum* für die Schrägpfahlpaare und *intervallo pedum duorum* für die Schrägpfähle kann diese Art der Messung nicht in Betracht kommen. Es ist selbstverständlich, daß beide Messungen bei gleichem Wortlaut gleichen Sinn haben müssen: entweder gelten beide von Außenkante zu Außenkante (was Hubo ausgeschlossen hat), oder von Innenkante zu Innenkante (was das Richtige ist), oder beide gelten von Pfahlachse zu Pfahlachse. Für die Entfernung der Schrägpfahlpaare wäre es sogar wünschenswert, von Pfahlachse zu Pfahlachse zu rechnen; denn bei den notwendigerweise verschiedenen Durchmesser der Pfähle ist die Entfernung der Pfahlachsen kleinen Schwankungen unterworfen, wenn man die 40' von Innenkante zu Innenkante mißt. Aber bei den Schrägpfählen desselben Paares ist es unumgänglich notwendig, die 2' von Innenkante zu Innenkante zu messen. Mißt man nämlich von Pfahlachse zu Pfahlachse, dann beträgt der lichte Abstand (*intervallum*!) bei einer Soll-Stärke jedes Pfahles (*tignum*) nur $\frac{1}{2}'$. Und doch soll zwischen diesen Pfählen (*tigna*) der Holm (*trabs*) in einer Soll-Stärke von 2' Dm. Raum haben! Es ist also bei Caesars Worten *intervallo pedum duorum* sicher an den Abstand der Schrägpfähle von Innenkante zu Innenkante gedacht.

Bezüglich der Holzstärken und ihrer Messung kommen folgende Überlegungen in Betracht: wegen der oben S. 125 näher beschriebenen Bearbeitung der Schrägpfähle und der Holme an den Berührungsstellen kann das Maß von $1\frac{1}{2}'$ und 2' Dm. nur ein ungefähres Richtmaß sein. Ferner wird es nicht möglich gewesen sein, die erforderliche Zahl von Holmen und Schrägpfählen genau in

¹⁾ Daß *intervallum* den lichten Abstand zwischen zwei Bauhölzern bezeichnet, ergibt sich einwandfrei aus der Beschreibung des Blockhauses der Kolcher bei Vitruv. II 1, 4; vgl. oben S. 106 f.

den gewünschten Holzstärken zu finden. Endlich ist, um die Holme als Beispiel herauszugreifen, ein Holz von 40' Länge am Stammende viel stärker als am Zopfende. Die 2' Dm. für die Holme und ebenso die $1\frac{1}{2}'$ für die Schrägpfähle können daher nur Richtmaße für den mittleren Durchmesser gewesen sein. Berücksichtigt man beides, die notwendige Bearbeitung und die Unregelmäßigkeiten der Holzstärken, so muß daraus geschlossen werden, daß die beiden Maßangaben von 2' Dm. für die Holme und von $1\frac{1}{2}'$ Dm. für die Schrägpfähle nur runde Maße für die mittleren Holzstärken gewesen sein können. Auch bei den 40' handelt es sich um ein ungefähres Maß. Man rammt vom schwimmenden Floß in der starken Strömung des Rheins. Bei solchen Rammarbeiten kann es auf ein paar Zoll mehr oder weniger nicht ankommen. Die 2' Entfernung zwischen den Schrägpfählen sind da zu messen, wo man sie braucht, d. h. in Höhe des 2' starken Holmes; denn nur in dieser Höhe sind die *prone ac fastigate* geramnten Schrägpfähle einander auf 2' Entfernung nahe gekommen. Die Höhenlage des Holms ergibt sich aus der Höhe der Köpfe der Jochpfähle (*sublicae*), die schon gerammt und in der maßgebenden Höhe abgeschnitten sind, wenn mit dem Rammen der Schrägpfähle begonnen wird.

Wir sehen keinen Anlaß, die von Caesar überlieferten Maße anzuzweifeln. Da aber die Brücke vielen zu breit vorkam, so schlägt Erwin Schramm vor, die Jochlänge von 40' auf 15' herabzusetzen. Er denkt sich die vermeintlich ursprüngliche Zahl 15 in römischen Ziffern geschrieben, also XV, und es sei das V aus Versehen zu L geworden, so daß XL herauskam. Abgesehen von inneren Gründen (vgl. weiter unten) widerspricht dem die Tatsache, daß zwar in der Handschriftenklasse β die Ziffer XL, in der Handschriftenklasse α aber das Zahlwort *quadragenum* steht¹⁾.

Begründung der 40' (Jochlänge). Das Joch ist ungewöhnlich lang. Es hat nach Caesars Angabe zwischen den beiden Schrägpfahlpaaren in Höhe des Wasserspiegels eine lichte Länge von 40'. Daraus ergibt sich wegen der Neigung der Schrägpfähle bei den Jochen in größter Wassertiefe in Höhe der Pfahlspitzen (bei 7' Rammtiefe) eine Jochlänge von rd. 54' (rd. 16 m) und in Höhe des Holms eine Jochlänge von 44' (rd. 13 m). Diese ungewöhnliche Länge des Joches hat in erster Linie statische Gründe. Denn die Standsicherheit eines Joches ist um so größer, je länger die Stützfläche ist, wie eine Kiste um so schwerer umzustoßen ist, je länger (und breiter) die Fläche ist, auf der sie liegt. Große Wassertiefen verlangen immer ein langes Pfahljoch²⁾.

Nun ist vielfach die Anschauung vertreten worden, ein Brückenjoch von 40' (11,8 m) Länge bedinge auch eine fast gleich breite Fahrbahn. Diese Anschauung läßt die Beziehung außer acht, die im praktischen Brückenbau

¹⁾ Kraner-Dittenberger-Meusel bemerken dazu (S. 446): 'Die Distributivzahl rührt sicher von Caesar her; doch ersieht man aus dieser und anderen Stellen, daß auch die Distributiva von den Schreibern manchmal durch das Zahlzeichen wiedergegeben wurden.'

²⁾ Betrachtet man die gewöhnliche Breite römischer Straßen und Brücken, so zeigt sich, daß die Jochlänge der Rheinbrücke etwa das Doppelte der gewöhnlichen Brückenbreite ist. Wir entnehmen v. Cohausen folgende Übersicht:

pons Fabricius	21'	= 6,22 m
pons Cestius	15' 4"	= 4,45 m
Brücken der via Appia	18'	= 5,34 m

zwischen Jochlänge und Fahrbahnbreite besteht¹⁾. Das von Caesar gegebene Maß der Entfernung der äußersten Ramppfähle ist nicht übertrieben groß; wenn man die dem Rhein in seinem Mittellaufe zukommende größte Wassertiefe von 5—6 m in Rechnung zieht, ist das Joch zwar reichlich lang, dafür aber auch standsicher.

Der Fachmann vermißt nämlich an der Caesarbrücke einen sog. Querverband in der Ebene der Brückenfahrbahn. Ein solcher hätte in kreuzweise angebrachten Schrägen unter den Brückenbalken bestehen können. Bei einem solchen Dreiecksverband hätten die Holme die Pfosten und die äußeren Brückenbalken (Ortbalken) die Gurte gebildet. Durch den Querverband würde das einzelne Joch von den benachbarten Jochen in seinem Widerstande gegen äußere Kräfte in Richtung der Strömung wirksam unterstützt worden sein. Daher haben auch aus dem Gedanken heraus, bei zufälligen Schubkräften gegen ein einzelnes Joch die Nachbarjoche zur Mitwirkung heranzuziehen, einige unserer Vorgänger (Palladio, van Oudendorp, Köchly-Rüstow) den Gedanken gehabt, das einzelne Brückenjoch wenigstens dadurch mit seinem Nachbarn zu verbinden, daß sie die Brückenbalken über zwei Jochfelder sich erstrecken lassen. Aber da die Brückenbalken bei einer Jochentfernung von nur 8 m mindestens 17 m lang sein müssen, ergeben sich zwischen Stamm- und Zopfende so große Unterschiede im Durchmesser, daß sie nur durch umfangreiche und zeitraubende Bearbeitung ausgeglichen werden könnten. Da überdies in allen hier in Frage kommenden Entwürfen die Brückenbalken als scharfkantige Hölzer dargestellt sind, wären für die Herstellung so starker Kanthölzer Baumstämme von so großem Durchmesser erforderlich gewesen, daß ihre Beschaffung überhaupt kaum möglich gewesen wäre.

Fahrbahnbreite. Caesar gibt uns kein Maß der Fahrbahnbreite. Die ganze verfügbare Länge des Holms (zwischen den Köpfen der Schrägpfahlpaafe gemessen) beträgt bei unserem Entwurf 36' (10,70 m). So breit wird die Fahrbahn u. E. nicht gewesen sein. Für die Fahrbahnbreite können folgende Gesichtspunkte bestimmend sein:

1. Der brückenbautechnische Gesichtspunkt. Das Pfahljoch der Brücke wurde deshalb so lang gestaltet, weil man es mit einem außerordentlich breiten, tiefen und reißenden Strome zu tun hatte und ein Brückenjoch um so standfester ist, je länger es ist. Die Fahrbahnbreite hängt aber nicht von der Jochlänge, d. h. von der Länge des Holmes, ab. Sie kann die volle Jochlänge restlos ausnutzen, sie kann aber auch bedeutend schmaler sein²⁾. Es kommt noch der Gesichtspunkt in Betracht, daß die Standfestigkeit eines Pfahljoches in einem reißenden Strome um so größer ist, je schwerer die Fahrbahn ist. Trotzdem braucht man vom brückenbautechnischen Standpunkte aus nicht mit einer der großen Länge des Joches entsprechenden Fahrbahnbreite zu rechnen.

¹⁾ Im Hinblick auf den Holzbrückenbau des 18. Jahrhunderts heißt es bei G. L. A. Röder, Praktische Darstellung der Brückenbaukunde II (1821) 29 in einer Fußnote: 'Die Breite einer hölzernen Brücke wird, so wie § 134 und 135 bey steinernen nach Umständen bestimmt, aber ein Joch darf nie unter 20—22' obere Breite haben, wenn die Brückenbahn auch schmaler wäre'.

²⁾ Wir hätten die Fahrbahn auch um die Breite eines Feldes zwischen zwei Brückenbalken ($3\frac{1}{2}' = 1,04$ m) schmaler oder breiter machen können, wodurch sich in technischer Hinsicht nichts geändert hätte; denn es ist, technisch genommen, belanglos, ob die Holme in ihrer ganzen Länge von der Fahrbahn bedeckt sind oder an ihren Enden mehr oder weniger frei bleiben.

2. Der verkehrstechnische Gesichtspunkt. Eine Brücke im Zuge einer Straße von gegebener Breite wie in Rom die Tiberbrücken oder die Brücken der via Appia braucht nur so breit zu sein wie die Straße. Es ist im Gegenteil bei einem langen Brückenzuge bedenklich, die Fahrbahn breiter zu machen als den Fahrdamm der Straße. Denn wenn eine zu breite Brücke bei starkem Verkehr in ganzer Breite besetzt ist, dann kann beim Übergang auf die schmalere Straße eine unerwünschte Verkehrsstauung eintreten. Vom verkehrstechnischen Standpunkt aus mußte also eine zu breite Brückenfahrbahn unerwünscht sein, denn damals waren die Zufahrtsstraßen zum Rhein nur unbedeutende schmale Wege.

3. Der strategische Gesichtspunkt. Die römische Kriegskunst war ein in festen Regeln überliefertes Wissen. Einer ihrer Grundsätze war die Forderung möglicher Sicherheit dem Feinde gegenüber. Das ist auch der erste der beiden von Caesar selbst angegebenen Gründe gewesen, weshalb er nicht zu Schiff über den Rhein gehen wollte (*sed navibus transire neque satis tutum esse arbitrabatur*): im Falle eines germanischen Nachdrängens hinter einem geschlagenen römischen Heere war die Rückbeförderung zu Schiff über den 400 m breiten Strom zu langsam und daher zu gefährlich. Über eine standfest gegründete Pfahljochbrücke hinweg war ein solcher Rückzug sicherer. Bei zu schmaler Fahrbahn konnte sich aber am rechtsrheinischen Ufer die Rückzugsbewegung stauen und für die nachfolgenden Truppenteile gefahrvoll werden. Dagegen bot eine breite Fahrbahn im Falle eines Rückzuges eine um so größere Sicherheit, je breiter sie war.

Die Fahrbahn unseres Entwurfes erstreckt sich, dem strategischen Gesichtspunkte entsprechend, in einer Breite von 30' (8,90 m) über den Holm. Die Nutzbreite der Fahrbahn, d. h. das Lichtmaß zwischen den Geländern, ist um rd. 5' schmaler als die bauliche Breite der Fahrbahn und mißt 25' (7,40 m) (vgl. Abb. 11).

15. Die bauliche Gestaltung des Brückenjoches.

Wir betrachten die Bauglieder des Brückenjoches in der Reihenfolge, wie sie eingebaut wurden: 1. die Jochpfähle (*sublicae*), 2. die Schrägpfahlpaare (*tigna bina*), 3. den Holm (*trabs*).

Die Jochpfähle (*sublicae*). Daß Caesars Rheinbrücke ein *pons sublicius* gewesen ist, haben wir oben S. 108 ff. gezeigt. Wir nehmen an, daß für jedes Joch fünf lotrechte Jochpfähle in gerader Flucht mit 8' (2,43 m) Abstand voneinander gerammt worden sind (vgl. Abb. 3, Querschnitt bei Pfahljoch 4). Über die Stärke dieser Jochpfähle erfahren wir von Caesar nichts. Wir nehmen aber an, daß sie ungefähr ebenso stark wie die Schrägpfähle (*tigna*) gewesen sein werden, d. h. einen mittleren Dm. von $1\frac{1}{2}'$ (0,44 m) hatten. Dabei ist es selbstverständlich, daß bei dem großen Bedarf an Jochpfählen für die 400 m lange Brücke diese Stärke beständig über- oder unterschritten wurde. In geringerer Wassertiefe wird man die schwächeren, in größerer die stärkeren Rundhölzer als Jochpfähle gerammt haben.

Es ist üblich, Rammpfähle mit dem Zopfende nach unten zu rammen und etwas anzuspitzen, wie es Caesar ausdrücklich für die *tigna* bemerkt: *paulum ad imum praeacutus*. Ebenso darf man annehmen, daß sie am Stammende etwas

abgefast waren, um die Schläge des Rammbärs vorwiegend das Kernholz treffen zu lassen und allzuviel Absplitterungen zu vermeiden. Die Länge der Jochpfähle mußte sich nach der jeweiligen Tiefe des Flusses richten, wie es Caesar wiederum ausdrücklich für die *tigna* bemerkt: *dimensa ad altitudinem fluminis*. Im mittleren Teil der Brücke, d. h. in der größten Wassertiefe, muß nach unserem Entwurf der Jochpfahl etwa 33' (9,8 m) lang sein, wobei 2' für Verschnitt eingerechnet sind¹). Nach dem Rammen wurden die Pfahlköpfe, wie wir annehmen, in einer Höhe von $4\frac{3}{4}'$ (1,40 m) über dem Wasserspiegel, waagrecht abgeschnitten. Dann konnte sofort eine Bearbeitung des Pfahlkopfes vorgenommen werden, die für das spätere Auflegen des Holmes nötig war.

Die Schrägpfahlpaare (*tigna bina*). Hier nennt Caesar die genaue Stärke: *tigna bina sesquipedalia*. Wir erfahren, daß sie am unteren Ende (am Zopfende) etwas zugespitzt waren, wahrscheinlich vierseitig, wie es die Rammpfähle (Verdichtungspfähle) unter den steinernen Strompfeilern der Römerbrücken in Deutschland noch heute zeigen (*paulum ad imum praeacuta*), und daß sie in ihrer Länge je nach der Tiefe des Strombettes verschieden waren (*dimensa ad altitudinem fluminis*). Der für die Schrägpfähle in größter Wassertiefe gefällte Baumstamm mußte nach unserem Entwurf eine Länge von etwa 36' (10,70 m) haben, wobei 2' für Verschnitt eingerechnet sind. Sofort nach dem Rammen wurden ihre Köpfe, wie wir annehmen, etwa 8' (2,4 m) über dem Wasserspiegel, winkelrecht zur Pfahlachse abgeschnitten. Die Herstellung der seitlichen Anschlußflächen für die Holme, die erst später erfolgen konnte, besprechen wir unten S. 140 f.

Beim Rammen der Schrägpfähle war im Gegensatz zu den lotrecht gerammten Jochpfählen mit merklichen Abweichungen von dem erstrebten Neigungswinkel zu rechnen. Es konnte sich daher zwischen den Pfählen eines Paares in Höhe des Holms ein größerer oder kleinerer Zwischenraum, als beabsichtigt war, ergeben. In diesem Falle mußten die Pfähle an den eingeschobenen Holm herangeholt oder auseinandergedrückt werden. Das machte trotz einer mittleren Pfahlstärke von $1\frac{1}{2}'$ keine Schwierigkeit, da die Pfähle, wenigstens in größeren Tiefen, von der Flußsohle bis zur Holmhöhe bis zu 25' (7,40 m) lang waren. Bei einer solchen Länge läßt sich ein Einzelpfahl unter geringem Kraftaufwand leicht in jeder gewünschten Richtung um $1—1\frac{1}{2}'$ an seinem Kopfe bewegen.

Der Holm (*trabs*). Der Holm (*trabs*) ist an der ganzen Brücke das Bauholz, das die meiste Bearbeitung schon auf dem Werkplatz und nachher noch im Flusse erfordert. Als Baumstamm von rd. 2' (0,59 m) mittlerem Dm. bei rd. 44' (13,00 m) Länge kann er nicht mehr als Walze (Zylinder) aufgefaßt werden, sondern man muß seiner Verjüngung von fast $\frac{1}{2}'$ vom Stammende bis zum Zopfende Rechnung tragen. Da er das Zwischenglied zwischen den Jochpfählen

¹) Auf Abb. 11 sind die Joche rechts Joche in größter Wassertiefe ($t = 56 \text{ dm} = 5,6 \text{ m}$). Bei dem Joche ganz links auf Abb. 11 ist die Wassertiefe etwa um 2' (rd. 6 dm) geringer; die Jochpfähle sind daher entsprechend kürzer (*dimensa ad altitudinem fluminis*). Diese auf Abb. 11 dargestellten sieben Joche entsprechen auf Abb. 1 dem Teil des Querschnittes des Rheins, der (von links beginnend) die gepeilten Tiefen 50, 52, 54, 56, 56, 56 dm zeigt. Die Flußsohle ist in ihrem wirklichen Verlauf dargestellt; auf Abb. 1 dagegen erscheint sie verzerrt wegen der Wahl verschiedener Maßstäbe für Länge und Tiefe.

und den Schrägpfahlpaaren einerseits und den Brückenbalken anderseits ist, ist er dementsprechend einer dreifachen Bearbeitung zu unterziehen¹⁾).

Der Holm muß auf den fünf Jochpfahlköpfen möglichst waagrecht aufliegen. Diese Verbindung zwischen Jochpfahlkopf und Holm denken wir uns so, daß die waagrecht abgesägten Pfahlköpfe seitlich mit dem Beil so bearbeitet werden, daß zwei parallele Flächen senkrecht zur Jochachse entstehen (vgl. Abb. 10). Entsprechend denken wir uns den Holm an seiner Unterseite für jeden Pfahlkopf durch je zwei Sägeschnitte senkrecht eingeschnitten und das dazwischen befindliche Stück Holm mit der Axt herausgeschlagen. Diese Ausklinkungen können auf dem Werkplatze ausgeführt werden, nachdem vorher die genauen Abstände der Jochpfahlköpfe voneinander aufgemessen sind. Am fertigen Joch sitzen die Jochpfahlköpfe dann fest in den Ausklinkungen der Holmunterseite. Der Holm ist so gegen eine Verschiebung in der Richtung der Holmachse gesichert²⁾. Eine Zapfenverbindung zwischen Pfahl und Holm halten wir für überflüssig und bei der Kürze der Bauzeit für undurchführbar. Auch lehnen wir eine eiserne Verlaschung der Jochköpfe mit dem Holm ab, in dem Gedanken an den stadtrömischen *pons sublicius*, bei dem nach der Überlieferung wenigstens in der älteren Zeit herkömmlicherweise kein Eisen verwendet wurde: ein Beweis, daß die römische Brückenbaukunst ohne Eisen auszukommen verstand³⁾.

Die Verbindung von Holm und Schrägpfahlpaaren ist die wichtigste und zugleich schwierigste. Anders als bei der Verbindung zwischen Holm und Jochpfahlköpfen, wo nur eine Bearbeitung der Berührungsflächen, aber kein Holzverbindungs-mittel (wie Eisenlaschen) in Betracht kommt, haben wir es hier mit einer Bearbeitung der Berührungsflächen und mit der Keilbolzenverbindung (*fibulae*) zu tun. Die Keilbolzen sind ihrem Wesen nach als ein reines Verbindungsmittel aufzufassen, und wir haben über ihr Wesen und ihre Anbringung bereits oben S. 118 ff. unsere Auffassung vorgetragen. Sie sind nicht zur Übertragung von Kräften geeignet, sondern haben nur die Aufgabe, die Verbindung zwischen den Schrägpfählen eines Paares und dem dazwischenliegenden Holmende zu sichern. Der Zweck der Schrägpfahlpaare ist aber die Kraftübertragung waagerechter Schubkräfte vom Holm auf die Flußsohle. Da die Keilbolzen als Mittel der Kraftübertragung ihres geringen Durchmessers wegen ausscheiden, so muß die Möglichkeit einer Kraftübertragung vom Holm auf die Schrägpfahlpaare durch eine diesem Zweck gemäße Bearbeitung der Verbindungsstellen zwischen Holm und Schrägpfahlpaaren erfolgen. Wie diese Verbindung technisch zu gestalten ist, darüber macht Caesar keine bestimmte Angabe; sie ergibt sich aber erstens aus der Sache und zweitens aus der Bedeutung des Fachausdruckes *revinctis*, den Caesar zur Kennzeichnung dieser Verbindung gebraucht und den er auch B. G. VII 23 gebraucht, wo wir zum Glück durch archäologische Funde die genaue Bedeutung von *revincire* feststellen können.

Aber ehe wir untersuchen, welcher Art die Bearbeitung der Berührungsstellen zwischen Holm und Schrägpfahlpaaren gewesen sein muß, müssen wir auf die Notwendigkeit einer Bearbeitung der Berührungsflächen überhaupt hinweisen. Der Holm

¹⁾ Dazu kommt später noch eine vierte an den äußersten Holmenden, um den Strebe- und Prellpfahl anzuschließen; vgl. unten S. 150 ff.

²⁾ Verschiebungen senkrecht dazu — in der Richtung der Brückenachse — verhindern die Schrägpfahlpaare (*tigna bina*) und die oben auf den Holm gelegten Brückenbalken (*derecta materia*), worüber weiter unten.

³⁾ Vgl. unsern Aufsatz in den Berliner Münzblättern 50, 1930, 132 ff.

ist nach Caesars ausdrücklicher Angabe ein Rundstamm von rd. 2' Dm., die Schrägpfähle haben rd. 2' Abstand und sind ebenfalls Rundhölzer. Läßt man diese drei Rundhölzer (die zwei *tigna* und dazwischen die *trabs*) sich ohne Bearbeitung kreuzen, so berühren sie sich, theoretisch betrachtet, in zwei Punkten. Werden sie so ohne Bearbeitung durch die Keilbolzen gegeneinandergespreßt, so werden sie sich so lange aneinander scheuern, bis durch Zerstörung der äußeren Holzteile eine genügend große Berührungsfläche geschaffen ist. Die Verbindung ist dann aber gelockert. Caesars Baumeister hat das vorausgesehen und von vornherein die nötigen Berührungsstellen geschaffen, wie aus dem Ausdruck *revinctis* hervorgeht, auf den wir bald näher eingehen werden.

Daß also überhaupt eine Bearbeitung der Berührungspunkte der drei Rundhölzer notwendig ist, wird man nicht gut in Abrede stellen können. Welcher Art sie war, ergibt sich einmal aus der Sache: der Holm soll gegen beliebig gerichtete waagerechte Verschiebungen durch die Schrägpfahlpaare gesichert werden. Eine beliebig gerichtete Verschiebung kann in zwei Seitenverschiebungen zerlegt werden, von denen die eine in die Richtung der Stromachse fällt, während die andere in die Richtung der Brückenachse fällt. Will der Holm eine Verschiebung in der Richtung seiner Achse (gleichlaufend mit der Stromrichtung) ausführen, dann muß jeder einzelne Schrägpfahl durch die Schrägstellung, die Caesar mit *prone* bezeichnet, sich dieser Verschiebung entgegenstemmen können. Das ist aber nur möglich, wenn jeder Schrägpfahl in einer Ausklinkung an der Seite des Holms eingebettet ist, die die Schrägpfähle rechts und links umklammert (vgl. Abb. 10). Will der Holm eine Verschiebung in der Richtung der Brückenachse (senkrecht zur Stromrichtung) ausführen, dann muß jeder einzelne Schrägpfahl durch die Schrägstellung, die Caesar mit *fastigate* bezeichnet, sich dieser Verschiebung entgegenstemmen können. Das ist aber nur möglich, wenn die beiden Holmseiten in eine Ausklinkung der Schrägpfähle eingreifen, die den Holm unten und oben umklammert (vgl. Abb. 10)¹⁾. Die Verhinderung der Verschiebung des Holms wird also durch die gegenseitige Verkämmung der drei Rundhölzer bewirkt, die sich fest umklammert halten, und nicht durch die Keilbolzen, die ihrem Wesen nach als reine Verbindungsmittel nur die Aufgabe haben, die durch die gegenseitige Verkämmung geschaffene Verbindung zwischen Holm und Schrägpfählen aufrechtzuerhalten.

Diese aus dem Wesen der Dinge und aus den technischen Notwendigkeiten gewonnenen Ergebnisse finden eine willkommene Bestätigung durch die Verwendung der Bezeichnung *revincire* für diese Verbindung²⁾. Im Innern der gallischen Wehrmauern liegen waagerechte, sich rechtwinklig kreuzende Schwellen, die durch gegenseitige Verkämmung und Vernagelung fest miteinander verbunden sind, wie die Ausgrabungen gezeigt haben. Bei Caesars Brückenjoch handelt es sich um zwei geneigt stehende Rammpfähle, mit denen sich der waagerecht liegende Holm schiefwinklig kreuzt. Diese drei Rundstämme sind aber nicht durch Vernagelung in ihrer gegenseitigen Verkämmung miteinander verbunden, sondern durch die von Caesar ausdrücklich erwähnten Keilbolzen (*fibulae*).

In beiden Fällen ist von Caesar die Bearbeitung der sich kreuzenden Bauhölzer nicht im einzelnen beschrieben. Aber bei den Wehrmauern ist sie durch die Funde gesichert, und bei der Rheinbrücke ergibt sie sich erstens aus dem Wesen der Dinge und findet zweitens durch einen Rückschluß nach dem Befund bei den Wehrmauern eine willkommene Bestätigung.

¹⁾ Auf Abb. 10 im Querschnitt f_1-f_1 durch den Holm ist rechts in strichpunktierter Umgrenzung die endgültige Lage des Schrägpfahls am Holmkopf dargestellt.

²⁾ Vgl. oben S. 124 ff.

Anficht des Holmkopfes

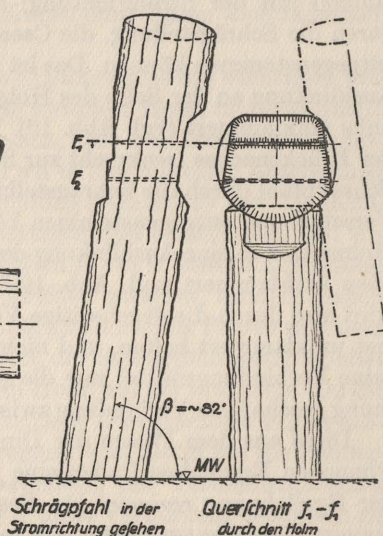
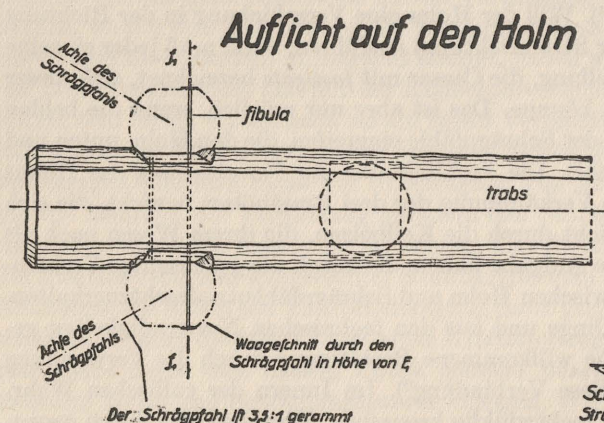
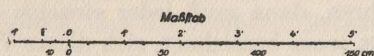
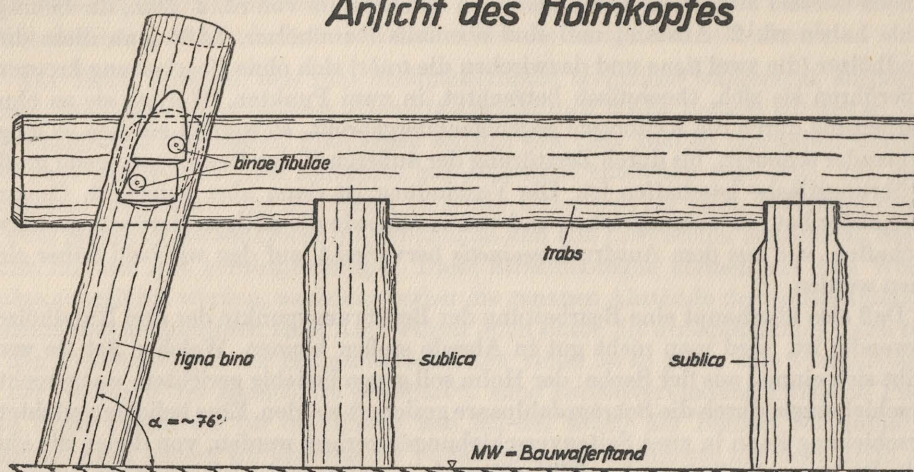


Abb. 10. Der Holmkopf.

In unserer zeichnerischen Darstellung (vgl. Abb. 10, Querschnitt f_1-f_1 durch den Holm) verlaufen die Kämme am Holmkopf in ihren ebenen Grundflächen parallel mit der Holmachse, aber unter demselben Neigungswinkel geneigt wie die Schrägpfähle, die daran ihren Halt finden sollen. Dementsprechend haben die Schrägpfähle an den Innenseiten eine Grundfläche, die in Neigung, Breite und Höhe dem zugehörigen Kamm des Holmes angepaßt ist, so daß beim Zusammenfügen aller drei Hölzer die Kammränder des einen Holzes die anstoßende Rundung des Stammes des anderen Holzes umfassen. Die Tiefe der Kämme wird in jedem Falle eine andere gewesen sein je nach den zufälligen Stärken der zusammengefügte Rundhölzer. Um aber doch bestimmte Maße als Richtmaße anzugeben, nehmen wir an, daß der Kamm an den Schrägpfählen 3—4'' (6—7,5 cm), am Holm 2—3'' (4—6 cm) Tiefe hatte. Aber, wie gesagt, wegen der Unregelmäßigkeiten der zur Verfügung stehenden Bauhölzer mußte

im einzelnen Falle für die praktische Ausführung hinreichend Spielraum für selbstständige Gestaltung gelassen werden. Die Kämme am Holm konnten schon auf dem Werkplatz, die Kämme an den Schrägpfehlern dagegen erst nach dem Rammen nur im Flusse ausgeführt werden.

Für die Verbindung zwischen Holm und Brückenbalken ist es selbstverständlich, daß der Holm oben auf seiner ganzen Länge abgebeilt wurde, damit die Brückenbalken (*derecta materia*), an ihren Auflagerenden ebenfalls bearbeitet, ein Flächenlager vorfanden. Wegen der leicht kegelstumpffartigen Gestalt des Holms wird die Abarbeitung, in Richtung des Durchmessers gemessen, am Stammende etwa 4'' (7,5 cm), am Zopfende etwa 2'' (4 cm) betragen haben. Es ist möglich, daß man in der Reihe der aufeinanderfolgenden Joche dem Jochkopf stromauf umschichtig bald das Stammende und bald das Zopfende des Holms gegeben hat. Waren erst die

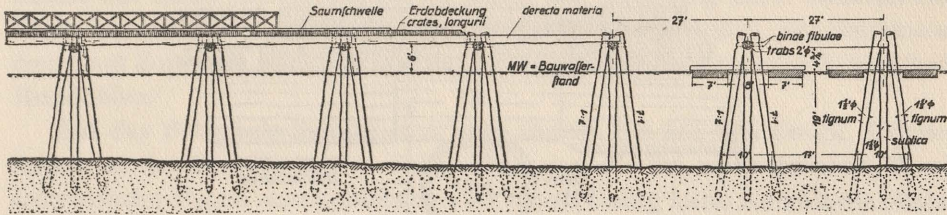


Abb. 11. Längsschnitt in Brückennachse.

Brückenbalken (*derecta materia*) verlegt, so waren die Holme gegen seitliche Verschiebungen in der Brückennachse noch weiter gesichert, und das um so mehr, wenn erst die schwere Fahrbahntafel die Holme belastete (vgl. Taf. 26). Aber auch die Joche in der Nähe des Ufers, denen wir keine Schrägpfehlpaare gegeben haben, waren ungefährdet, da bei geringer Wassertiefe in der Nähe der Uferlinie auch die Strömung gering ist. Zudem konnte man zur Erzielung eines festen Jochabstandes in jedem Brückenfeld die äußersten Brückenbalken (die Ort balken) aufkämmen.

16. Die Fahrbahn.

haec derecta materia iniecta contexebantur. Unter dem *haec* sind die fertigen Joche zu verstehen¹⁾. Zu einem fertigen Joch gehören die *sublicae* (nach unserer Annahme fünf), die *tigna* (nach Caesars Angabe vier) und die *trabs* (der Holm). Das Joch ist somit neunpfählig und in bezug auf den mittleren Tragpfahl gleichmäßig (symmetrisch) gestaltet, nach Länge und Breite (d. h. in Richtung der Holmachse und in Richtung der Brückennachse) (vgl. Taf. 26).

Sobald die Holme verlegt sind, werden die Brückenbalken von dem jeweils fertigen Brückenende aus vorgestreckt (*derecta materia iniecta contexebantur*). Der in unserm Entwurf gewählte Jochabstand beträgt 27' (rd. 8 m). Bei der vorausgesetzten Breite des Rheins an der Übergangsstelle von rd. 400 m sind

¹⁾ Grammatisch genommen bezeichnet *haec* allerdings die *tigna*; sachlich genommen werden die Holme durch die Brückenbalken miteinander verbunden. Aber es kommt weder auf die Verbindung der Holme noch auf die der *tigna* an, sondern darauf, daß zwei fertige Nachbarjoche miteinander verbunden werden. Caesar greift die *tigna* als den Teil der Joche heraus, den er als neuen Bauteil eingeführt hat, der ihm deshalb am wichtigsten erschien und in der Tat für die Standfestigkeit der Joche ausschlaggebend war.

50 Brückenfelder zwischen zwei Landwiderlagern und 49 Jochen vorhanden. Jeder Brückenbalken muß eine Länge von 30' (rd. 8,9 m) erhalten. Wir geben ihm einen mittleren Dm. von $1\frac{1}{2}'$ (0,45 m) (vgl. Abb. 12).

Würde der Jochabstand kleiner gewählt, so müßten mehr Joche gerammt werden. Es wären mehr Arbeiten zu verrichten, und der Zeitaufwand bis zur Benützung der Brücke würde wachsen. Der Stau des Rheins im Zuge der Brücke würde sich vergrößern und die Gefahr sich vermehren, daß Schwimmkörper an den Jochen hängen blieben. Bei dem angenommenen Jochabstand und der angenommenen Stärke der Brückenbalken werden die Brückenbalken allerdings nicht bis zur zulässigen Grenze beansprucht (vgl. S. 175), doch ist es technisch richtig, im Hinblick auf die von Caesar angegebenen bedeutenden Holzstärken auch die in ihrer Stärke nicht angegebenen Fahrbahnträger in entsprechender Stärke, nämlich mit $1\frac{1}{2}'$ Dm., anzunehmen¹⁾.

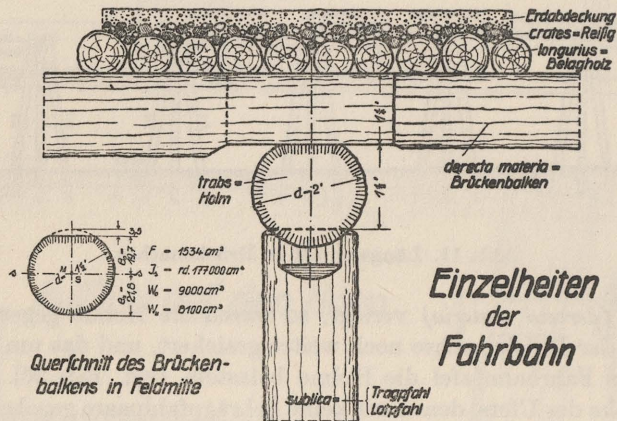


Abb. 12. Einzelheiten der Fahrbahn.

Der einzelne Brückenbalken erhält zweckmäßig unten an seinen beiden Enden auf etwa 3' (0,89 m) Länge durch Abbeilen zwei ebene Auflagerflächen und oben eine solche auf ganzer Länge derart, daß die Oberflächen aller Brückenbalken gleich hoch liegen (vgl. Abb. 12). Einen besonderen Fachausdruck für die Brückenbalken gibt Caesar nicht; er spricht nur von 'Nutzholz' oder 'Bauholz' (*materia*), das 'geradeaus' (*directa*), und zwar rechtwinklig geradeaus, verlegt ist. Daß mit 'geradeaus' die waagerechte Richtung gemeint ist, ergibt der Zusammenhang. (Bei den lotrecht stehenden *sublicae* heißt es dagegen *directe ad perpendicularum*.)

Als Landwiderlager genügt bei dem flachen Ufer eine starke Schwelle in der Gestalt eines Holms, die auf einer abgeglichenen Unterbettung ruht und durch eingerammte starke Pfähle an den Längsseiten und vor den Stirnflächen eine gesicherte Lage erhält.

¹⁾ Aus R. Koldewey, Das wiedererstehende Babylon (1914), entnehmen wir, daß die lichte Weite der Durchflußöffnungen zwischen den sechs gemauerten Pfeilern der alten Euphratbrücke in Babylon, wohl der ältesten bekannten Balkenbrücke, 7 m betrug. Die Pfeiler selbst hatten eine Breite von 9 m. Die Brückenbalken werden auf den Steinpfeilern auf einer Schwelle geruht haben, deren Achse etwa 0,50 m von der Pfeilerkante entfernt gewesen sein mag, so daß die tatsächliche Stützweite der Brückenbalken ebenfalls etwa 8,0 m betragen haben wird.

et longuriis cratibusque consternebantur. Sind die Brückenbalken (*directa materia*) eines Feldes vorgestreckt, dann werden sofort die Belaghölzer (*longurii*) verlegt und darüber Reisig (*crates*) gedeckt (vgl. Abb. 12). Die Belaghölzer sind Rundhölzer, die am Stammende nicht stärker als $\frac{3}{4}'$ und nicht schwächer als $\frac{1}{2}'$ anzunehmen sind. Die Verwandtschaft des Wortes *longurius* mit *longus* besagt, daß sie lang und dünn sind. Man muß sie als 'Stangenholz' ansprechen¹⁾. Wir bezeichnen sie nach der Art ihrer Verwendung. Solche Stangen verjüngen sich mehr oder weniger stark. Daher liegen sie in unserm Entwurf am Fahrbahnrande abwechselnd mit dem Zopf- und mit dem Stammende. Bei dem großen Bedarf an Belaghölzern für die 400 m lange Brücke wird ein Teil gestoßen gewesen sein. Solche Stöße sind versetzt anzuordnen und immer auf einen Brückenbalken zu legen. Zur Erzielung eines besseren Auf-lagers konnte man das Belagholz auf der Unterseite abbeilen, am Stammende mehr, am Zopfende weniger. Technisch gesprochen sind die *longurii* 'lagerhafte Rundhölzer'.

Auf das Belagholz kommt eine Lage Reisig. Sie hat den Zweck, Unebenheiten an der Oberfläche der Belaghölzer und die bei nicht geradem Wuchs auftretenden Fugen auszugleichen. Aber dieses Reisig kann niemals die oberste Fahrbahndecke sein, über die der Verkehr (Fußtruppen, Reiter, Fahrzeuge) hinweggeht. Es bildet vielmehr nur eine nachgiebige Zwischenlage zwischen den Belaghölzern und einer Erdaddeckung, die in ziemlicher Stärke aufgebracht ist, damit die Tiere beim Betreten der Brücke den Eindruck bekommen, als ob sie sich auf dem Lande weiterbewegten²⁾.

Die Erdaddeckung, aus lehmigen und sandigen Bodenarten bestehend, wird von Caesar nicht ausdrücklich erwähnt, aber schon von den älteren Philologen wie Lips als Römerart (*pro Romano more*) für selbstverständlich gehalten³⁾. Neueren ist das unbekannt geblieben. Wir geben daher einige Beispiele: Caesar erzählt B. C. I 40, eine Brücke seiner Legaten sei plötzlich durch die Gewalt der Winde und das Steigen des

¹⁾ Die heutige Forstwirtschaft teilt die Stangenholzsorten ein in schwächeres Stangenholz (bis 10 cm Dm.) und stärkeres Stangenholz (bis 20 cm Dm.).

²⁾ H. Jacobi, Bericht des Saalburgmuseums 4, 1913, behauptet, daß *crates* niemals Reisig oder Faschine bedeute, was doch bisher allgemein angenommen worden ist; er hält die *crates* immer für ein kunstvolles Geflecht wie bei Körben. Das dürfte schwer zu beweisen sein. An zahlreichen Stellen hören wir, daß beim Sturm auf eine Festung der Graben unter anderem mit *crates* ausgefüllt worden sei. Strauchwerk und Erde werden dabei das Gewöhnliche gewesen sein. Tac., Ann. IV 51 füllt man die Gräben *virgultis et cratibus et corporibus exanimis*, ebenda I 68 werfen die Germanen mitten in Deutschland die Gräben des römischen Lagers zu (*proruunt fossas*), und es wird hinzugefügt: *iniciunt crates*, wo *crates* doch offenbar dasselbe ist wie die *virgulta* der ersten Stelle. Livius VI 10, 4 werden zur Vorbereitung auf den Sturm *fascēs sarmentorum* herbeigeschafft, dann wird das Heer an die Mauer geführt, die Gräben ausgefüllt usw. Es kann nicht zweifelhaft sein, daß die Reisigbündel, die als solche diesmal eindeutig bezeichnet sind, zur Ausfüllung der Gräben dienen sollten. Bei Caesar selbst lassen mehrere Stellen gleicher Art keine andere Deutung zu, z. B. B. G. VII 79, 4 heißt es von den Galliern: *proximam fossam cratibus integunt atque aggere explent*: erst wird Reisig in den Graben geworfen, dann kommt Erde darauf. Ganz ähnlich sucht Labienus, B. G. VII 58, 1 einen versumpften Flußlauf *cratibus atque aggere* auszufüllen.

³⁾ Die Fahrbahn einiger Brückenbilder auf der Trajanssäule besteht aus vollkantigen Belaghölzern, die infolge der genauen Bearbeitung oben eine ebene Fahrfläche bilden. Hier sind Strauchwerk und Erdaddeckung überflüssig.

Wassers fortgerissen worden. Das hätten die gegnerischen Pompejaner an der Erde und an dem Reisig gemerkt, die im Flusse angeschwommen kamen (*ex aggere atque cratibus, quae flumine ferebantur*). — Livius XXI 28, 5 berichtet, wie Hannibal beim Überschreiten der Rhone die Elefanten zuerst auf ein am Ufer festgemachtes Floß und von da auf ein bewegliches Floß haben bringen und damit übersetzen lassen. Das feste Floß war wie eine Brücke mit Erde bedeckt (*pontis in modum humo iniecta*). Der Vergleich lehrt, daß es Livius als selbstverständlich ansah, daß sich seine römischen Leser eine Brücke mit Erde bedeckt vorstellten. Dasselbe erzählt nach Livius auch Silius III 460 f. — Von Caesars Soldaten in Ägypten hören wir B. A. 29, 4: 'Daher suchten gleichzeitig die germanischen Reiter hier und da Furten und schwammen zum Teil über den Fluß, wo die Ufer weniger steil waren, und die Legionare fällten so große Bäume, daß sie infolge ihrer Länge von Ufer zu Ufer reichen konnten, legten sie hin, schütteten Erde, wie sie sie zur Hand hatten, darauf und gingen über den Fluß' (*proiectis iis repentinoque aggere iniecto*).

Von den bedeutenderen Brückenbauten des Altertums bietet die Xerxes-Brücke über den Hellespont ebenfalls ein Beispiel dafür, daß die oberste Deckschicht der Fahrbahn eine Erdaddeckung gewesen ist, wie Herodot VII 36 ausdrücklich berichtet. Die von Herodot genannte ὄλη erfüllte dabei denselben Zweck wie bei Caesar die *crates*. — Eine Erdaddeckung erhielt auch die Schiffsbrücke, die der wahnsinnige Caligula in Nachahmung der Xerxesbrücke von Baiae nach Puteoli bauen ließ. (Nach Sueton, Caligula 19 waren es 3600 Passus, rd. 5,3 km, nach Iosephus, Ant. XIX 1, 1 waren es 30 Stadien, nach Cassius Dio LIX 17 waren es 26 Stadien.) Sueton berichtet: *superiniecto aggere terreno ac directo in Appiae viae formam* ('Erde wurde darauf geworfen und in der Art der Decklage der Via Appia aufgebracht').

Saumschwelle. Zur seitlichen Begrenzung der Erdaddeckung dienen in unserm Entwurf zwei Saumschwellen, die gleichzeitig auch dem Brückenbelag (*longurii*) und dem Reisig (*crates*) eine feste Lage geben. Dazu ist eine Verbindung der Saumschwelle mit dem darunter befindlichen äußeren Brückenbalken (Ortbalken) erforderlich, die man sich irgendwie, z. B. durch Taubunde oder Holznägel, hergestellt denken muß (vgl. Taf. 26).

Geländer. Obwohl Caesar nichts davon sagt, halten wir es für selbstverständlich, daß die Rheinbrücke wie jede Brücke ein Geländer gehabt hat, vermutlich so gestaltet, wie es die Brückenbilder der Trajanssäule zeigen. Auf Abb. 11 ist der Längsschnitt der fertigen Brücke mit dem Geländer dargestellt.

Bauliche Ausbildung der Fahrbahn. Der Fahrbahn haben wir mangels bestimmter Angaben bei Caesar folgende bauliche Ausbildung gegeben (vgl. Taf. 26, 1, Aufsicht): In jedem Brückenfeld liegen neun Brückenbalken in einem Abstand von Achse zu Achse von $3\frac{1}{2}'$ (1,04 m). Die Brückenbalkenköpfe des Nachbarfeldes liegen jedesmal genau mitten in der Lücke zwischen den Brückenbalkenköpfen des vorhergehenden Feldes. Eine Ausnahme muß jedoch in jedem Felde mit dem einen der beiden äußersten Brückenbalken, dem sog. Ortbalcken, gemacht werden, nämlich mit dem Ortbalcken, dessen Köpfe außen (nicht zwischen zwei Brückenbalkenköpfen der beiden Nachbarjoche) zu liegen kommen. Diese freiliegenden Ortbalcken müssen zur Erzielung einer möglichst geraden Flucht der äußersten Enden der Belaghölzer (*longurii*) bis auf 3' Achsabstand an ihren Nachbarbalken herangeschoben werden. Die Saumschwelle liegt in jedem Felde auf der einen Seite lotrecht über dem Ortbalcken, der

zwischen zwei Brückenbalkenköpfen seiner Nachbarjoches liegt, dagegen um $1\frac{1}{2}'$ nach innen verschoben über dem oben besprochenen freiliegenden Ort-balken auf der andern Seite. Denn nur so kommt die Saumschwelle in die Flucht der Ort-balken der beiden Nachbarfelder, mit denen sie durch Taubunde oder Holznägel oder sonstwie verbunden wird. Auf diese Weise ergibt sich ein Achs-abstand der Saumschwellen von $26\frac{1}{4}'$ (7,77 m). Damit ist die Nutzbreite der Fahrbahn (d. h. der Teil der Fahrbahn, der begangen und befahren werden darf) auf rd. 25' (7,4 m) festgelegt. Dagegen mißt die bauliche Breite der Fahr-bahn (d. h. die von den Brückenbalken bedeckte Breite) rd. 30' (8,9 m). In der-selben Breite ist auch der Holm von den fünf Tragpfählen (*sublicae*) unterstützt.

17. Die Statik des Brückenjoches.

Allgemeine Betrachtung. Die Kraftwirkungen sämtlicher äußeren Kräfte an einem von der Fahrbahn belasteten Pfahljoch mitten im reißen den Strom lassen sich in folgende Belastungszustände auflösen.

Die Brückenbalken übertragen die Eigenlast der Fahrbahntafel und die Ver-kehrslast auf den Holm, der von fünf lotrechten Ramppfählen (*sublicae*) getragen wird. Bei dieser lotrechten Belastung belastet das Eigengewicht den Holm auf ganzer Länge gleichmäßig. Statt der Auflagerdrücke der einzelnen Brückenbalken ist eine gleichmäßig verteilte Belastung auf eine Belastungsstrecke gleich der Breite der Fahrbahn zugrunde gelegt (vgl. unten S. 175). Da bei einer Kriegsbrücke die Voraussetzungen für einen durchlaufenden Träger auf fünf Stützen nicht gegeben sind, sind die Stützendrücke (die Belastung der Jochpfähle) so berechnet, als ob der Holm über den Stützen durchgeschnitten wäre. Die Belastung aus Eigengewicht und Verkehr ist dann $q = 6,63 \text{ t/m}$. Bei einer Stützweite $l = 8' = 2,4 \text{ m}$ ergibt sich daraus eine Höchstbelastung für jeden der drei inneren Tragpfähle (*sublicae*) von rd. 16,0 t¹⁾.

Der Stoß eines angetriebenen Gegenstandes oder ein Stau, der die Strömung ver-stärkt, trifft in erster Linie die Schrägpfähle stromauf. Diese in der Hauptsache waagerechte Belastung wird durch die Schrägpfähle unten in die Flußsohle über-geleitet und oben am Holm aufgenommen. Waagerechte Kräfte, die die Lotpfähle (*sublicae*) in der Flußrichtung treffen, werden unten ebenfalls in die Flußsohle und oben am Kopfe auf den Holm übertragen. Alle diese auf den Holm übertragenen Schubkräfte pflanzen sich durch den Holm fort und werden schließlich durch das Schrägpfahlpaar stromab, das ja zu diesem Zwecke *prone* (vornüber geneigt) gerammt ist, aufgenommen²⁾. Ein heftiger Stoß gegen das Schrägpfahlpaar stromauf oder gegen einen Tragpfahl (*sublica*) wird sich durch den Holm auch stoßartig bis zum Schräg-pfahlpaar stromab fortpflanzen; dieses Schrägpfahlpaar stromab wird zunächst eine Bewegung in Richtung der Strömung ausführen, dann aber zur Wiederherstellung

¹⁾ Der lotrechte, von unten nach oben wirkende Auftrieb der Ramppfähle und der ihm ent-gegenwirkende Reibungswiderstand, den ein Pfahl dem Ausziehen entgegensetzt, sollen der Voll-ständigkeit halber ebenfalls als lotrechte äußere Kräfte erwähnt werden; für die Tragfähigkeit der Jochpfähle und des Holms kommen sie nicht in Frage.

²⁾ Unter Umständen ist jeder einzelne Lotpfahl imstande, einen Teil der Schubkräfte, die sich im Holm fortpflanzen, aufzunehmen und dadurch das Schrägpfahlpaar stromab zu entlasten; denn er ist ja bei 7' Rammtiefe in der Flußsohle eingespannt. Der Grad der Einspannung in der Fluß-sohle kann bei der Beweglichkeit der kiesigen Flußsohle alle möglichen Werte zwischen der Ein-spannung 'Null' und vollkommener Einspannung annehmen. Bei einer Einspannung gleich Null wird die Schubkraft am Schrägpfahlpaar stromab ihren Größt-wert erreichen.

des früheren Gleichgewichtszustandes zurückschnellen. Aber es wird über die frühere Gleichgewichtslage in Richtung stromauf hinauspendeln. Diese als Schwankung zu bezeichnende Gegenbewegung wird aufgenommen und gedämpft durch das vorn-übergeneigte (*prone*) Schrägpfahlpaar stromauf. Die Bewegung wird nun wieder rückläufig, aber schon bedeutend geschwächt, und endet schließlich nach mehreren immer schwächer werdenden Schwankungen ganz gedämpft in der Gleichgewichtslage.

Waagerechte Schübe in Richtung der Brückenachse und mit ihnen in ursächlichem Zusammenhang stehende Schwankungen werden stets von geringerer Bedeutung sein. Treten solche Schwankungen auf, so werden sie durch die *fastigate* geramnten Pfähle der zwei Pfahlpaare aufgenommen¹⁾. Noch weit wirksamer ist aber der durch die Brückenbalken hergestellte Längsverband, der alle Joche miteinander verbindet.

Das von der Fahrbahn unbelastete Brückenjoch, wie es S. 138 ff. beschrieben ist, besteht aus den fünf lotrechten Tragpfählen, je einem Schrägpfahlpaar stromauf und stromab und dem Holm. In diesem Bauzustand befindet sich das Joch in einer gefährlichen Lage: es ist noch nicht durch die Brückenbalken und die Fahrbahn belastet und somit ohne jede Verbindung mit den Nachbarjochen (vgl. Abb. 11 rechts). Der als waagerechte Kraft wirkende Schub des strömenden Wassers (Wasserdruck) ist groß gegenüber dem Eigengewicht des Joches. Das Joch kann nur durch das statische Zusammenwirken aller Pfähle, die durch den Holm miteinander verbunden sind, Widerstand leisten. Das Joch ist aber nach statischen Gesetzen gebaut und in sich so fest (starr), daß aus beliebiger Richtung das Joch treffende waagerechte Kräfte, von denen Caesar nur die Gewalt des strömenden Wassers (*vis aquae*) erwähnt, ohne Gefahr für die Standsicherheit des Joches aufgenommen werden können. Die im strömenden Wasser stehenden Ramppfähle erhalten infolge der Wirbelbewegung des Wassers Stöße aus jeder beliebigen Richtung. Eine in schräger Richtung wirkende Kraft gibt dem Pfahl einen Stoß, der in zwei Richtungen zerlegt werden kann: in einen Stoß in Richtung der Strömung und in einen Stoß senkrecht dazu. Dementsprechend muß jeder Pfahl, also auch das Joch als Ganzes, gegen Schubkräfte in Richtung der Strömung und in Schubkräfte senkrecht zur Strömung gewappnet sein. Die vier räumlich gestellten *tigna* geben dem Joch die Möglichkeit, Stöße aus jeder beliebigen Richtung aufzunehmen.

Zusammenfassend bemerken wir zur Statik des Pfahljoches, das aus fünf Tragpfählen und zwei Schrägpfahlpaaren besteht: Als wesentlichster Bestandteil des Pfahljoches sind die fünf lotrecht geramnten Jochpfähle (*sublicae*) anzusehen. Dadurch, daß die Schrägpfähle (*tigna*) erstens die beiden Holmköpfe mit bearbeiteten Flächen umfassen und zweitens in den Holm eingreifen, ist mit Hilfe der Keilbolzenverbindung (*binae fibulae*) und durch den Holm (*trabs*) als verbindenden Längsbalken ein Brückenjoch geschaffen, das allen Angriffen gewachsen ist, die ein so tiefer und reißender Strom wie der Rhein auf ein Brückenjoch ausübt.

Caesars Beobachtung. Diese allgemeinen statischen Erörterungen haben wir vorausgeschickt, weil Caesar eine bemerkenswerte Beobachtung mitteilt, die er an einem Brückenjoch als Einzelbauwerk gemacht hat. Er teilt darüber mit, daß 'die Festigkeit des Baues so groß war und die Natur der Dinge es so mit sich brachte, daß die Schrägpfahlpaare in um so engere Verbindung mit-

¹⁾ In Abb. 11 stehen die Pfahlspitzen der Schrägpfähle bei 7' (rd. 2,0 m) Rammtiefe rd. 12' (3,55 m) auseinander.

einander gebracht wurden, je größer die Wassermasse war, die dagegen flutete'. Nach Caesars Beobachtung hat also die Wirkung der Strömung gegen die Schrägpfähle (und gegen die Lotpfähle) des Joches eine sichtbare Gegenwirkung an den Holmköpfen, d. h. an den Stellen, wo die Keilbolzen (*fibulae*) sitzen, hervorgerufen. Der Beschauer hat bei der Beobachtung der aufgekämmten und verbolzten Schrägpfähle den Eindruck gehabt, daß die Verbindung jedesmal fester wurde, wenn sich die Strömung bei steigendem Wasserstande verstärkte¹⁾.

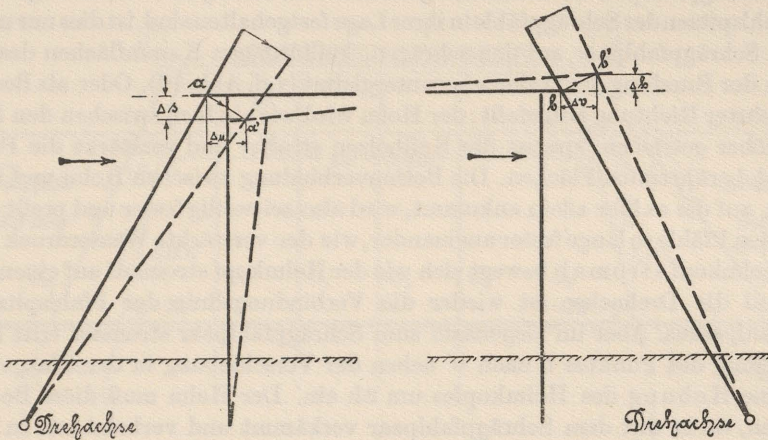


Abb. 13. Holmkopf stromauf (links) und stromab (rechts).

Wie kann eine Bewegung des Holms in der Richtung des fließenden Wassers die Verbindung zwischen den Schrägpfählen und dem Holmkopf fester zusammenschließen? Das Schrägpfahlpaar stromauf wird sich flacher neigen, das Schrägpfahlpaar stromab wird sich jedoch steiler aufrichten.

Die Bewegung des Schrägpfahlpaares stromauf, als ein starres Ganzes betrachtet, geschieht auf einem Kreisbogen, dessen Mittelpunkt auf der Verbindungslinie der Pfahlsitzen als Achse der Drehbewegung liegt. Die in Abb. 13 dargestellte Verschiebung²⁾ des Punktes *a* nach *a'* wird aber durch den Jochpfahl (*sublica*) unter

¹⁾ Wenn die *vis aquae* so deutlich sichtbare Formänderungen hervorgerufen hat, so kann es sich nur um die Jochbecken handeln, die in der größten Wassertiefe standen, weil da die größte Fließgeschwindigkeit auftritt, die die nachhaltigsten Schubwirkungen hervorruft. Gewiß könnten auch bei Jochen in geringerer Wassertiefe dann sichtbare Formänderungen auftreten, wenn in den Begriff der *vis aquae* außer der Strömung auch die Stoßwirkung antreibender Schwimmkörper hineingelegt wird. — Aus der Liste S. 92 sind die Wassergeschwindigkeiten zu ersehen. Wenn der Wasserspiegel des Rheins beispielsweise um 1,0 m steigt, wächst die Oberflächengeschwindigkeit des Wassers von 1,40 m/sek auf 1,70 m/sek. Dieser Geschwindigkeitszuwachs um 0,30 m/sek ist von Bedeutung für die Standfestigkeit des Joches. Die Erhöhung des Wasserdrucks spielt dabei aber eine geringere Rolle als die vergrößerte Stoßkraft antreibender Schwimmkörper. Bei hohen Wasserständen erfolgt der Anprall gegen einen Pfahl in einer Höchstlage, so daß die Stoßkraft in bezug auf den in der Flußsohle verankerten Teil der Jochpfähle den größten Hebelarm hat. Die Stoßkraft und damit die am Joch auftretende Schwankung ist dabei in doppelter Hinsicht vergrößert: 1. Der antreibende Schwimmkörper trifft mit größerer Geschwindigkeit, also vergrößerter Stoßkraft, das Joch. 2. Die bedeutend angewachsene Stoßkraft greift an einem um 3' (0,90 m) längeren Hebelarm an.

²⁾ In Abb. 13 mußten der Deutlichkeit halber die Verschiebungen übertrieben groß gezeichnet werden.

dem Holmkopf verhindert, da er 'bis zum Stehen' gerammt ist, d. h. so tief in der kiesigen Flußsohle sitzt, daß die Pfahlspitze unter den hier auftretenden lotrechten Zusatzkräften nicht tiefer in die Flußsohle eindringen kann. Der geringen waagerechten Verschiebung Δu entspricht auch eine geringfügige lotrechte Verschiebung Δs (vgl. Abb. 13). Wenn am Holmkopfe eine größere waagerechte Verschiebung eintritt — hervorgerufen durch eine bedeutende Schwankung des Holmes in Richtung der Strömung oder durch Setzen (Eindringen) der Pfahlspitze des Jochpfahls (*sublica*) —, muß das Schrägpfahlpaar die in Abb. 13 gezeichnete Drehung in seine Endlage machen. Da die Pfahlspitzen der Schrägpfähle in ihrer Lage festgehalten sind, ist dies nur möglich, wenn das Schrägpfahlpaar auf den schrägen, keilförmigen Kammflächen des Holmkopfes an der Rundung des Holmes heruntergleitet (vgl. Abb. 10). Oder als Bewegung in umgekehrter Richtung aufgefaßt: der Holm wird wie ein Keil zwischen den Schrägpfählen höher getrieben, spannt die Keilbolzen straffer und verstärkt die Pressung an den sich berührenden Flächen. Die Bolzenverbindung zwischen Holm und Schrägpfahlpaar, auf die es hier allein ankommt, wird also zeitweilig fester und preßt die sich berührenden Pfähle so lange fester aneinander, wie der verstärkte Wasserdruck anhält.

Der Holmkopf stromab bewegt sich wie der Holmkopf stromauf auf einem Kreisbogen, und die Drehachse ist wieder die Verbindungslinie der Pfahlspitzen des Schrägpfahlpaares. Aber im Gegensatz zum Schrägpfahlpaar stromauf tritt hier bei der Bewegung des Punktes b nach b' neben der Verschiebung in der Waagerechten um Δv eine Hebung des Holmkopfes um Δh ein. Der Holm muß diese Bewegung mitmachen, da er mit dem Schrägpfahlpaar verkämmt und verbolzt ist. In der gehobenen Lage ist der Holm nur in zwei Punkten unterstützt: stromauf von dem vordersten Lotpfahl, stromab vom Schrägpfahlpaar. Die Hälfte des Holmgewichts ruht also auf den schrägen Kammflächen der Schrägpfähle¹⁾. Beim Abgleiten auf diesen Flächen treibt der Holm wie ein Keil die Schrägpfähle auseinander. Dadurch tritt, ebenso wie am Holmkopf stromauf, eine verstärkte Pressung der von den Keilbolzen zusammengehaltenen drei Rundhölzer ein. Es ist dieselbe Keilwirkung wie am Holmkopf stromauf, mit dem Unterschiede, daß der Holm sich jetzt auf den unteren Kammflächen der Pfähle nach unten schieben will, während es sich stromauf um eine Keilwirkung auf den oberen Kammflächen nach oben handelte.

Für beide Holmköpfe gilt also die Beobachtung: *tanta erat operis firmitudo atque ea rerum natura, ut quo maior vis aquae se incitavisset, hoc artius inligata tenerentur.*

18. Die Bedeutung von Strebepfahl und Prellpfahl.

Überschauen wir den Werdegang des Brückenbaus, dann sehen wir folgende Entwicklungsstufen:

1. Das bei römischen Kriegsbrücken übliche, annähernd 20' lange Pfahljoch mit zwei oder mehr Jochpfählen verdoppelte man angesichts der Breite, Geschwindigkeit und Tiefe des Rheins von vornherein auf annähernd 40' Jochlänge mit, wie wir glauben, fünf Jochpfählen (vgl. S. 136).

¹⁾ Von den Lotpfählen abgehoben, hat der Holm infolge seines großen Eigengewichtes (rd. 3000 kg, vgl. S. 176, 1) das Bestreben, die Hebung um Δh und die waagerechte Verschiebung um Δv wieder rückgängig zu machen. Die lotrecht abwärts gerichtete Auflagerkraft am Schrägpfahlpaar läßt sich in zwei Seitenkräfte zerlegen. Die eine Seitenkraft ist bestrebt, die Bewegung des Holmes auf dem Kreisbogen rückgängig zu machen, die andere Seitenkraft wird als Druckkraft durch die Schrägpfähle nach der Flußsohle weitergeleitet. Die zwei *prone* stehenden Schrägpfähle stemmen sich also wie zwei Streben der stromab gerichteten Bewegung des Holmes entgegen.

2. Als dann im tieferen Wasser die Schwankungen des Joches Bedenken erregten, besonders wenn die Fahrbahn noch nicht mit ihrem ganzen Gewicht das Joch belastete, fügte man als wichtigste Neuerung dem Joch die zwei Schrägpfahlpaare (*tigna bina*) hinzu und befestigte sie am Holm mit Keilbolzen (*fibulae*). Oder man hat, was uns ebenso möglich erscheint, die starke Strömung des Rheins sofort in Rechnung gestellt und die Schrägpfahlpaare von vornherein für die größeren Wassertiefen vorgesehen.

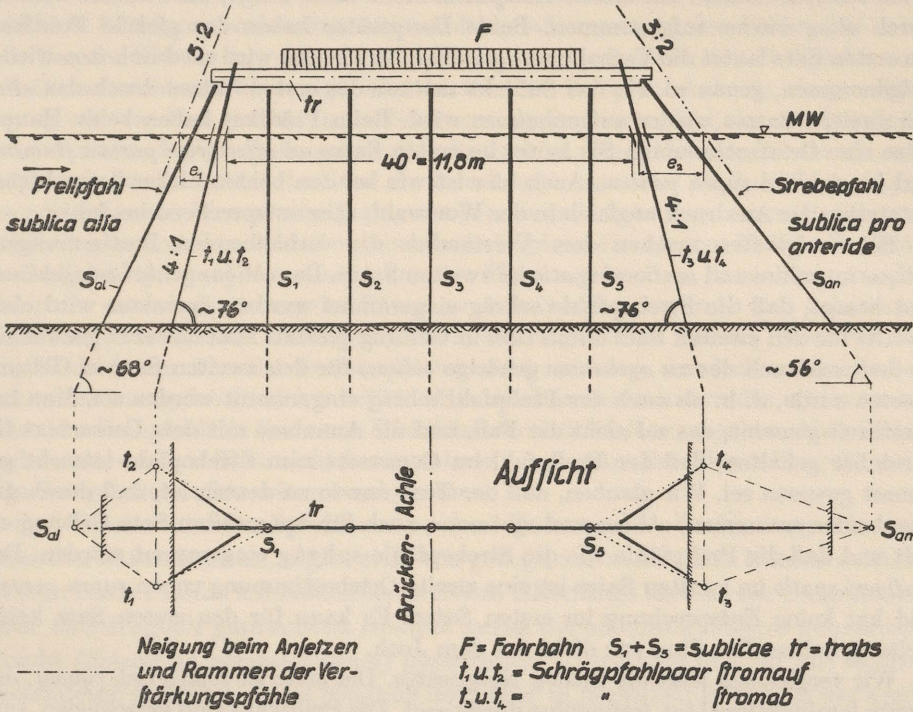


Abb. 14. Das verstärkte Joch nach Caesar, B. G. IV 17, 9—10 (statische Skizze).

3. Zwei Umstände drängten zu einer weiteren Neuerung (vgl. Abb. 14 und Taf. 26,2). Man glaubte einmal, die Gewalt der Strömung immer noch unterschätzt zu haben. Daher verstärkte man das Joch durch einen von uns sog. Strebepfahl stromab (*subliae . . . ad inferiorem partem fluminis*). Sein Zweck war, der Strömung des Flusses entgegenzuwirken (*quae . . . vim fluminis exciperent*). Man befürchtete zweitens, die Germanen könnten Anstalten treffen, die Brücke durch treibende Baumstämme zu zerstören (*si arborum trunci sive trabes deiciendi operis essent a barbaris missae*). Daher sicherte man das Joch durch einen von uns sog. Prellpfahl stromauf (*aliae . . . supra pontem*). Sein Zweck war, den Anprall treibender Schwimmkörper zu mildern und dadurch zu verhindern, daß sie der Brücke schadeten (*ut . . . earum rerum vis minueretur neu ponti nocerent*).

Die beiden Satzgefüge, worin Caesar den Strebe- und den Prellpfahl behandelt, sind einander ähnlich gebaut. Auf jeden Pfahl kommt ein Hauptsatz und ein finaler Nebensatz. Die Hauptsätze sind: 1. *subliae et ad inferiorem partem fluminis oblique agebantur*, 2. *et aliae item supra pontem mediocri spatio*. Die finalen Nebensätze sind:

1. *quae pro anteride subiectae et cum omni opere coniunctae vim fluminis exciperent,*
2. *ut, si arborum trunci sive trabes deiciendi operis essent a barbaris missae, his defensoribus earum rerum vis minueretur neu ponti nocerent.*

Wir vergleichen zuerst die Hauptsätze. Sie sind durch doppeltes *et* verbunden, wodurch die Gleichstellung beider Pfahlbeschreibungen zum Ausdruck kommt. Beide Hauptsätze haben als Subjekt die Pfähle, die wir der Deutlichkeit halber in der Übersetzung als Strebe- und Prellpfahl unterschiedlich bezeichnen, die aber bei Caesar beide *sublicae* heißen. Im ersten Hauptsatz steht diese Form, im zweiten wird sie durch *aliae* wieder aufgenommen. Beide Hauptsätze haben das gleiche Prädikat. Im ersten Satz lautet die Verbalform *agebantur*, im zweiten wird sie durch *item* wieder aufgenommen, genau so wie das Subjekt *sublicae* des ersten Satzes durch das *aliae* des zweiten Satzes wieder aufgenommen wird. Beim Prädikat haben beide Hauptsätze eine Ortsbestimmung. Sie lautet im ersten Satze *ad inferiorem partem fluminis* und im zweiten *supra pontem*. Auch hier ist wie bei den beiden bisher betrachteten Satzteilen der Ausdruck ungleich in der Wortwahl, aber entsprechend im Inhalt.

Schwierigkeiten machen dem Verständnis die verbleibenden Bestimmungen: *oblique* im ersten und *mediocri spatio* im zweiten Satze. Das *oblique* gehört zu *agebantur* und besagt, daß die Strebepfähle schräg eingerammt wurden. *agebantur* wird ohne Zweifel für den zweiten Satz durch *item* in Geltung gesetzt. Man hat aber gezweifelt, ob dadurch auch das zu *agebantur* gehörige *oblique* für den zweiten Satz in Geltung gesetzt werde, d. h. ob auch der Prellpfahl schräg eingerammt worden sei. Man hat vereinzelt gemeint, das sei nicht der Fall, und die Annahme mit dem Caesartext für vereinbar gehalten, daß der Prellpfahl im Gegensatz zum Strebepfahl lotrecht eingerammt gewesen sei. Wir glauben, daß der Text nur so zu deuten ist, daß durch das *item* beides zusammen, *oblique* und *agebantur*, auch für den zweiten Satz Geltung erhält und daß die Prellpfähle wie die Strebepfähle schräg eingerammt wurden. Das *mediocri spatio* im zweiten Satze ist eine zweite Ortsbestimmung neben *supra pontem* und hat keine Entsprechung im ersten Satze. Es kann für den ersten Satz keine Geltung haben. Der Sinn ist: dicht vor dem Joch.

Wir vergleichen jetzt die finalen Nebensätze. Der erste ist relativisch (*quae*), der zweite konjunkional (*ut*, fortgeführt durch *neu*). Die Prädikate sind verschieden, entsprechend den verschiedenen Zwecken der beiden Pfahlarten: 1. *quae . . . vim fluminis exciperent*, 2. *ut . . . earum rerum vis minueretur neu ponti nocerent*. Zu dem zweiten Finalsatze gehört noch ein Bedingungssatz: *si arborum trunci sive trabes deiciendi operis essent a barbaris missae*, der im ersten Satze keine Entsprechung hat. Endlich entsprechen sich in den Nebensätzen zwei Sonderbestimmungen: 1. *pro anteride subiectae et cum omni opere coniunctae*, 2. *his defensoribus*. Den beiden Sonderbestimmungen gemeinsam ist, daß dadurch der Zweck beider Pfahlarten noch einmal angegeben wird: die Strebepfähle werden mit *anterides* (Streben) verglichen, und die Prellpfähle werden als *defensores* bezeichnet¹⁾. Die Bestimmungen sind damit für den Prellpfahl erschöpft.

Die Bestimmungen für den Strebepfahl bestehen erstens noch in dem *subiectae*, das bei *pro anteride* steht. *subiectae* ist eine sprachliche Notwendigkeit, um den präpositionellen Ausdruck *pro anteride* anzuschließen. Es besagt daher nichts Besonderes. Der Strebepfahl ist eine *sublica*. Daraus folgt, daß er unter dem Holm zu stehen hat. Das *subiectae* wiederholt also nur, was schon aus dem *sublicae* zu erschließen ist, nämlich daß der Strebepfahl unter dem Holm eingebaut

¹⁾ *pro anteride* ist eine glückliche Verbesserung von Harder für das handschriftlich überlieferte *pro ariete*. Vgl. Harder, Philol. Wochensch. 39, 1919, 1101—1103 und unsere Ergänzung dazu Philol. Wochensch. 55, 1935, 910—912.

war¹⁾. Daher gibt z. B. Sackur eine verfehlte Anordnung, wenn er die Strebepfähle hinten gegen die *tigna* lehnt; er muß dann außerdem den Strebepfahl verdoppeln, entsprechend der Zahl der *tigna*. Die Bestimmungen für den Strebepfahl bestehen zweitens noch in *et cum omni opere coniunctae*. Das besagt, da diese *publica* unter dem Holm steht, daß eine Verbindung mit der Unterseite des Holmkopfes bestanden hat, wodurch eine Verbindung mit dem ganzen Bau gegeben war.

Man hat die Angabe des ersten Nebensatzes *et cum omni opere coniunctae* für den Strebepfahl und die Angabe des zweiten Hauptsatzes *mediocri spatio* für den Prellpfahl so in Beziehung zueinander setzen wollen, daß man sagte, der Strebepfahl habe nach Caesars Worten mit dem Joch in Verbindung gestanden, der Prellpfahl, von dem Caesar nichts darüber sage, aber nicht. Der Prellpfahl habe in einiger Entfernung vor dem Joch gestanden (*mediocri spatio*); der Strebepfahl, der mit dem Joch verbunden war, dagegen habe zum Joch selbst gehört. Diese Meinung lehnen wir, wie gesagt, mit Rücksicht auf das *item* ab. *item* besagt: auch der Prellpfahl ist *oblique* gerammt gewesen. War er schräg eingerammt, dann konnte er nur unmittelbar vor dem Joch gerammt sein, so daß er mit seinem Kopf am Holm einen Halt fand. Hätte der Prellpfahl getrennt vom Joch allein im Wasser gestanden, dann hätte er sehr bald in der starken Strömung des Rheins gewackelt und wäre, wenn sich Schwimmkörper an ihm festgesetzt hätten, umgerissen und abgetrieben worden. Einen solchen Mißgriff darf man dem Brückenbaumeister nicht zutrauen, der doch mitten in der starken Strömung des Rheins arbeitete. Manche Bearbeiter haben das erkannt und daher dem Prellpfahl die Form von Pfahlbündeln (Dückdalben) gegeben. Aber Pfahlbündel sind aus dem Text nicht herauszulesen; auch wäre ihre Herstellung für eine eilige Kriegsbrücke allzu zeitraubend gewesen.

Daß Strebe- und Prellpfahl unter dem Holm und in Verbindung mit ihm gestanden haben müssen, ergibt sich, wie gesagt, schon aus dem Namen *publica*, mit dem beide Pfahlarten bezeichnet werden. Allerdings besteht ein Unterschied dieser nachträglich gerammten *publicae* gegen die ebenfalls *publicae* genannten lotrecht (*derecte ad perpendiculum*) gerammten Jochpfähle in ihrer mit *oblique* bezeichneten Neigung. Diese Neigung liegt aber in derselben Ebene, in der auch die lotrechten Jochpfähle stehen. Den Gegensatz zu allen diesen mit *publica* bezeichneten Pfählen, mögen sie lotrecht (*derecte ad perpendiculum*) oder schräg (*oblique*) stehen, bilden die *tigna*, die als Verbandhölzer räumlich geneigt (*prone ac fastigate*) gerammt und seitlich an den Holm aufgekämmt und verbolzt sind.

19. *arborum trunci sive trabes.*

In den Handschriften steht *naves*. Aber die Germanen hatten damals auf dem Rhein keine Schiffe, und Plutarch, Caesar 22, 4, umschreibt die Stelle mit den Worten τοῖς καταφερομένοις στελέχεσι καὶ ξύλοις. Daher hat Schneider *naves*

¹⁾ Das 'unter' in *subiectae* darf man nicht so verstehen wie Giocondo, daß die Strebepfähle unter der Fahrbahn gerammt gewesen wären; wie hätte das möglich gemacht werden sollen? Sie konnten nur hinter der Brücke geschlagen werden. Wenn also Caesar angibt, daß sie unter der Brücke gerammt wurden und nur hinter der Brücke gerammt werden konnten, so folgt daraus, daß sie zwar mit ihrem Kopfe unter dem Holm, aber mit ihrem Fuße in der Flucht der lotrechten Jochpfähle dahinter stromab gestanden haben. — Dieselbe Bedeutung wie hier hat *subiectus* an der oben S. 103 angeführten Stelle Vitruv. VI 3, 1 *tetrastyla sunt, quae subiectis sub trabibus angularibus columnis etc.*, wo die Säule unter dem schwer belasteten Unterzug sitzt wie hier der Strebepfahl mit seinem Kopf unter dem Holm.

in *trabes* verbessert. Plin. epist. VIII 17, 4 schreibt, man habe bei einer Tiber-überschwemmung *arborum truncos aut villarum trabes* dahinschwimmen sehen. Folglich ist Schneiders Verbesserung nicht nur durch die indirekte Überlieferung bei Plutarch, sondern auch durch die bewußte oder unbewußte Nachahmung bei Plinius gesichert. Frigell meint, man habe das ursprüngliche *trabes* deshalb durch *naves* ersetzt, weil man in *trabes* einen dichterischen Ausdruck für Schiffe sah, den man durch das prosaisch-deutlichere *naves* verbessern wollte¹⁾.

Es läßt sich noch feststellen, wie Caesar zu der Vermutung kam, die Germanen hätten durch abgelassene *arborum trunci sive trabes* seine Brücke zerstören wollen. Auf dem Brückenbild, das Broelmann 1608 gibt und das Schramm 1735 von ihm übernimmt, ist der Rhein voller Treibholz gezeichnet, und das mit Recht. Im Gegensatz zu den mittleren und niedrigen Wasserständen an der Baustelle am Mittelrhein tritt im ganzen Gebiet des Oberrheins Jahr für Jahr Hochwasser ein, wenn im Alpengebiet die Gletscherbäche infolge der Schnee- und Eisschmelze die höchsten Wasserstände erreichen. Während nun ein Strom in seinem Urzustande bei mittleren Wasserständen in einem abgegrenzten und vertieften Bette dahinfließt, nimmt das Hochwasser oft seinen Weg durch Mulden und Rinnen, die seinen Lauf abkürzen, oder durch Altwasser, die sich als Reste des ehemaligen Flußschlauches erhalten haben. Dem Hochwasser stand im Urzustand des Rheins jeder Weg offen, und er konnte also besonders bei steigendem Wasserstande in den flachen Urwaldgebieten der Oberrheinischen Tiefebene überalterte oder auch kräftige Bäume am Rande eines Steilufers unterwaschen, zu Fall bringen und als Treibholz mitführen. Bei dem damaligen Waldreichtum darf man die Menge des Treibholzes auf dem Rhein nicht unterschätzen.

Aber Treibholz kann nur aus dem Ausdruck *arborum trunci* herausgelesen werden, nicht auch aus *trabes*, denn unter *trabes* ist irgendwie von Menschenhand bearbeitetes Bauholz zu verstehen. Wie kam also bearbeitetes Holz in den Strom hinein? Man wird zum Brückenbau zunächst alle brauchbaren Bäume in der Nähe der Brückenbaustelle gefällt und verarbeitet haben. Aber zum Bau einer Pfahljochbrücke von rd. 400 m Länge wurde eine ungeheure Zahl von gerade gewachsenen Baumstämmen benötigt. Deshalb wird Caesar einen Teil des Heeres stromauf geschickt haben, um Holz zu werben, das auf dem Strom zur Baustelle gefloßt wurde. Da mochten neben dem Treibholz (*arborum trunci*) auch manchmal mehr oder weniger bearbeitete Baumstämme (*trabes*) gegen die beim Rammen benötigten Flöße oder gegen die schon fertigen Joche gestoßen sein und Schaden angerichtet haben.

Wenn Caesar das irrtümlich der Bosheit der Germanen zuschrieb, erinnerte er sich vielleicht eines ähnlichen Erlebnisses der Römer mit den Germanen. Plutarch, Marius 23, erzählt, Catulus, der Mitfeldherr von Caesars Oheim Marius, habe das Etschtal gegen die vordringenden Kimbern durch ein Pfahlwerk und zwei Lager auf beiden Ufern befestigt und dazwischen eine Brücke gebaut. Die Kimbern hätten zuerst

¹⁾ Der Hergang ist wahrscheinlich folgender gewesen. Jemand, der *b* als *v* zu sprechen gewohnt war, verschrieb sich und schrieb *traves* für *trabes* (italienisch heißt es *la trave* für *trabem*). Das wollte ein anderer verbessern und machte aus *traves* das *naves* unserer Handschriften.

vergebens versucht, oberhalb der römischen Befestigungen die Etsch zu überschreiten, und dann als Ersatz für eine Brücke 'wie die Giganten' einen Damm aus Steinblöcken, entwurzelten Bäumen und Erde in das Flußbett hineingebaut. Dadurch wurden die zu Tal stürzenden Wassermassen zusammengedrängt, die Strömung verstärkt und dadurch wieder die äußerste Spitze des Dammes in Bewegung versetzt. Die schwimmfähigen Bestandteile ('schwere Stämme', *βάρη μεγάλα*) wurden so von der Strömung fortgerissen und mußten beim Anprallen an die Joche die Brücke erschüttern (*συρόμενα κατὰ ῥοὴν καὶ τινάττοντα ταῖς πληγαῖς τὴν γέφυραν*). Es handelt sich hierbei um eine nahe-
liegende Kriegslist. So lesen wir in den *Mémoires du général Baron de Marbot II* (1891) 195f., daß ein österreichischer Offizier vor der Schlacht bei Aspern zufällig beobachtete, daß dicke Bäume (*beaucoup de gros arbres*) gegen die französischen Schiffsbrücken trieben und Schaden anrichteten. Darauf ließ er absichtlich eine große Anzahl von Balken (*un grand nombre de poutres*) und mehrere Boote mit brennenden Stoffen (*plusieurs barques chargées de matières enflammées*) und schließlich sogar eine brennende Mühle gegen die Brücken treiben.

Marbots *gros arbres* entsprechen Caesars *arborum trunci* und Marbots *poutres* Caesars *trabes*. Marbots brennende Boote entsprechen den brennenden Flößen, die die Römer nach Livius I 37, 1 im Sabinerkriege gegen eine Pfahljochbrücke antreiben ließen (vgl. S. 97).

20. Die bauliche Gestaltung der Jochverstärkung.

Im Gegensatz zu den lotrechten Jochpfählen (*sublicae*) und zu den Schrägpfahlpaaren (*tigna bina*), die von schwimmenden Flößen aus gerammt werden mußten, konnten Strebe- und Prellpfahl von der fertigen Brücke aus gerammt werden. Aber während die erstgenannten Pfahlarten beim Rammen sofort ihre endgültige Stellung erhielten, mußten Strebe- und Prellpfahl zunächst etwas steiler gerammt und nachher erst in ihre endgültige Stellung gezogen werden, weil beide nur vor dem Holmkopf gerammt werden konnten, aber ihre endgültige Stellung unter dem Holmkopf erhalten mußten (vgl. Abb. 14). Über den Neigungswinkel beider Pfahlarten sagt Caesar nichts Bestimmtes. Aber er läßt sich mit einiger Sicherheit erschließen.

Der Strebepfahl konnte seine Aufgabe dann am besten erfüllen, wenn er ziemlich flach gerammt war. Er durfte daher nicht steiler als 65° gerammt werden, wenn er sich den auftretenden Schubkräften wirksam entgegenstemmen sollte. Andererseits durfte er nicht flacher als 50° gerammt werden, weil Rammschläge auf so flach liegende Hölzer wenig wirksam sind. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, eine zwischen diesen Grenzen liegende Neigung anzunehmen, und wir haben uns für eine Neigung von 3:2 für die Rammung entschieden, was einem Neigungswinkel von $56^{\circ} 20'$ entspricht.

Im Gegensatz zum Strebepfahl konnte der Prellpfahl seiner Aufgabe als Abweiser um so besser genügen, je steiler er stand. Wir haben ihm für die Rammung eine Neigung von 5:2 gegeben, die wesentlich steiler ist als die des Strebepfahls, aber flacher als die mit *prone* bezeichnete Neigung des Schrägpfahlpaares. Die Neigung 5:2 entspricht einem Neigungswinkel von $68^{\circ} 10'$.

Aus dem Neigungswinkel dieser beiden Pfahlarten ergibt sich ihre Entfernung vom Joch und umgekehrt. Die Entfernung ist im Wasserspiegel zu messen wie die $40'$ Entfernung zwischen den Schrägpfahlpaaren. Sie ergab sich

ganz von selbst, wenn die Ramme in der gewünschten Neigung an den Holmenden aufgestellt war¹⁾. Über die Entfernung des Strebepfahls vom Joch sagt Caesar nichts. Dagegen sagt er vom Prellpfahl, daß er *mediocri spatio* vor dem Joche gestanden habe. Da der Prellpfahl steiler steht als der Strebepfahl — nach unserem Entwürfe um rd. 12° —, ergibt sich daraus für ihn eine geringere Entfernung vom Joch als für den Strebepfahl. *mediocri spatio* ist also der Form nach der Positiv, der Bedeutung nach der Komparativ²⁾.

Die Art der Verbindung der beiden Pfahlarten mit dem Joch ist aus dem Caesartext nicht zu entnehmen (*et cum omni opere coniunctae*). Wir nehmen aber an, daß beide in derselben Weise am Holmkopf befestigt waren. Aus der Zahl möglicher Verbindungen haben wir die 'Klaue' gewählt, die eine gewisse Ähnlichkeit mit der Verbindung der Jochpfähle mit dem Holm hat (vgl. S. 140) — denn es sind alles *sublicae*.

Da man — die Richtigkeit unserer Annahmen vorausgesetzt — schon vor dem Rammen wußte, daß sich die Pfähle gegen eine Klaue an jedem Holmende stemmen sollten, konnte zur Herstellung der Klaue von der Unterseite des Holms her ein Sägeschnitt von etwa $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Tiefe geführt und dann das angesägte Holzstück von der Stirnfläche des Holms her mit der Axt herausgeschlagen werden. Waren dann die Pfähle gerammt, dann wurde jeder Pfahl etwas höher als die obere waagerechte Begrenzung der Klaue abgesägt. Dann wurde durch einen dazu lotrechten Sägeschnitt an der dem Joche zugekehrten Seite eine Schmiege hergestellt, die später die Druckfläche gegen die Hirnholzfläche der Klaue wurde. Der so bearbeitete Pfahl konnte nur von der Seite her eingeschoben werden. Federte er dann zurück, so daß zwischen der Schmiege und dem Hirnholz der Klaue eine Lücke klaffte, so konnte sie durch Eintreiben eines Hartholzkeiles von der Stirnfläche des Holms her geschlossen und die Schmiege wieder mit dem Holm in innige Berührung gebracht werden, um so stoßfrei Druckkräfte aufnehmen zu können. Diese innige Berührung der Pfahlköpfe beider Arten von *sublicae* mit den Hirnholzflächen der Klaue an den Holmenden wird man dadurch herbeigeführt haben, daß man die Pfahlköpfe mit Hilfe von Tauen an die Holmenden heranzog und durch einen festen Taubund in ihrer endgültigen Lage festhielt. Der Bund ist so geführt, daß sich die Stränge unter dem Holm kreuzen. Diesen Bauzustand zeigt Taf. 26,2.

Wir lassen die Frage offen, ob man sich mit dieser vorläufigen Verbindung während der kurzen Lebensdauer der Brücke begnügt hat oder ob man sie durch eine anders geartete, dauerhaftere Verbindung (z. B. durch hölzerne Doppelzangen, durch eiserne Bolzen und dgl.) ersetzt hat. Es wären viele Befestigungsarten denkbar; denn man konnte die Pfahlköpfe an den Holmenden, an den Schrägpfahlpaaren oder an dem nächsten Lotpfahl anschließen. Wir finden keinen Anhaltspunkt, die eine Befestigungsart der anderen vorzuziehen, und haben es daher bei der gezeichneten Tauverbindung bewenden lassen. Die gezeichnete Tauverbindung ist auch wieder nur ein Beispiel für viele andere gleichwertige.

¹⁾ Die vorbereitenden Arbeiten für das Rammen der Strebe- und Prellpfähle sind unten S. 170 f. geschildert.

²⁾ Einen Komparativ zu *mediocris* hat es nach dem Zeugnis der alten Grammatiker nie gegeben; in der Grundbedeutung bezeichnet es die Mitte zwischen groß und klein, gewöhnlich aber 'verhältnismäßig klein', d. h. es bezeichnet die Annäherung an den kleineren Wert innerhalb einer Reihe gegebener Größen. — In Abb. 14 bezeichnen e_1 und e_2 die Entfernungen der beiden Pfahlarten in der Rammlage; bei der endgültigen Lage verringern sich beide Entfernungen ein wenig.

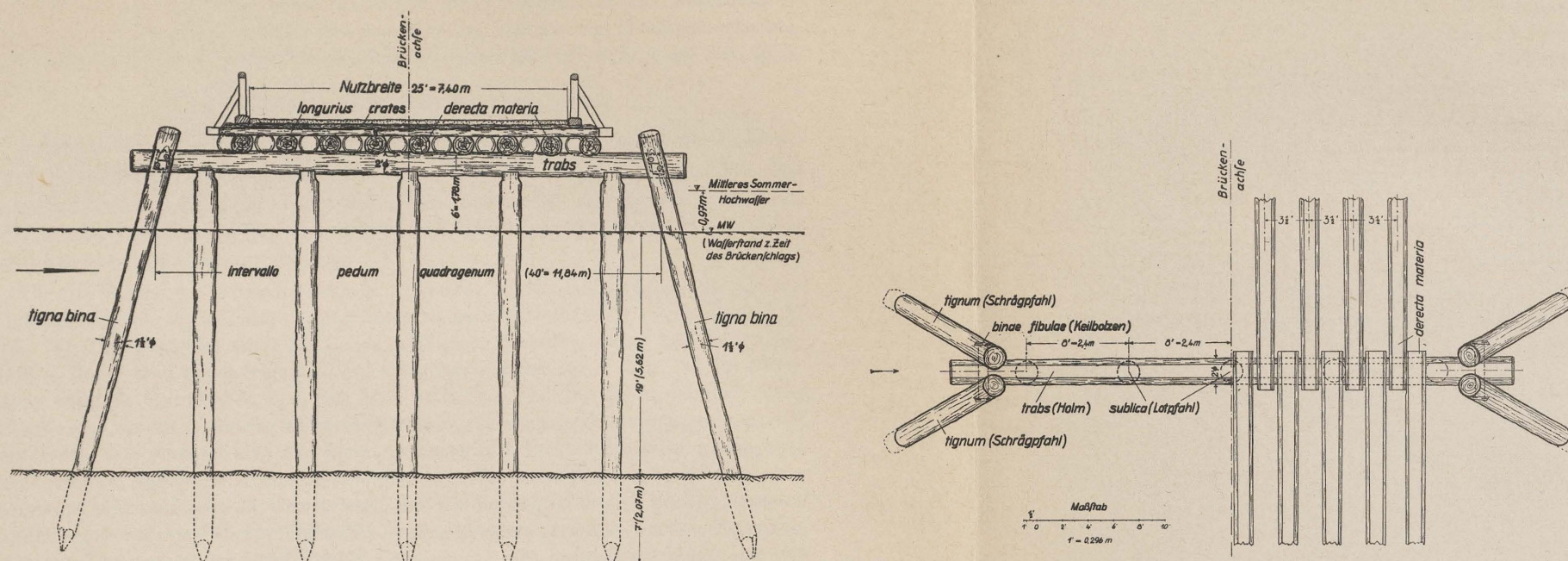


Abb. 1. Pfahljochbrücke nach Caesar, B. G. IV 17, 3—8.

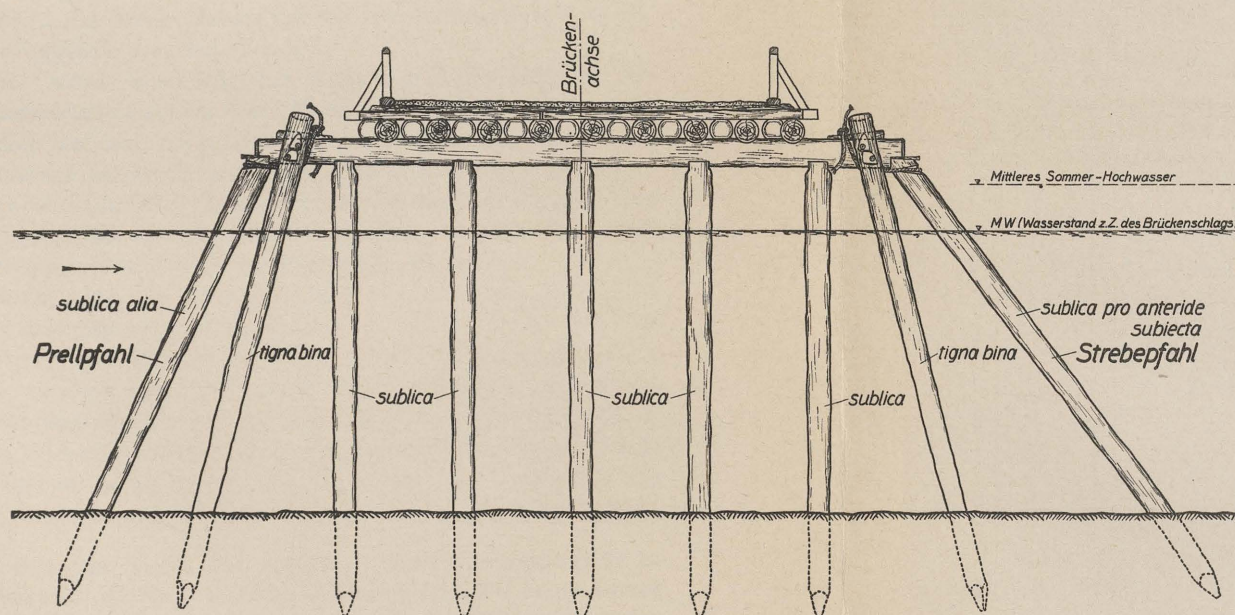


Abb. 2. Das verstärkte Joch nach Caesar, B. G. IV 17, 9—10.

Auf dieser letzten Entwicklungsstufe hat das Joch der Caesarbrücke mit seinen lotrechten Jochpfählen (*sublicae, derecte ad perpendiculum*), mit den Schrägpfahlpaaren (*tigna bina, prone ac fastigate*) und mit dem Strebe- und Prellpfahl (*sublicae, pro anteride — aliae, oblique*) in der Tat ungefähr das Aussehen der Brücke von Neustadt erhalten, die Wiebeking als der Caesarbrücke ähnlich bezeichnet hat (vgl. Abb. 4 mit Taf. 26,2).

21. Die Statik des verstärkten Jochs.

Statisch betrachtet ist jetzt das Joch viel geeigneter, Schubkräfte in Richtung der Strömung aufzunehmen, als das S. 138 ff. beschriebene *tigna*-Joch. Das so verstärkte Brückenjoch war unter allen Umständen standsicher, wenn der Rheinwasserstand so niedrig blieb, daß treibende Gegenstände unter der Fahrbahn hindurchschwimmen konnten.

Um die Wirkung des Strebepfahls in statischer Hinsicht zu erfassen, ist von der Wirkung der Schrägpfahlpaare (*tigna bina*) in statischer Hinsicht auszugehen (vgl. Abb. 14). Das gespreizt stehende Schrägpfahlpaar t_3 und t_4 bildet mit dem Tragpfahl s_5 unter dem zugehörigen Holmkopf einen dreibeinigen Bock, dessen Stützfläche aus dem Grundriß t_3 t_4 s_5 der Abb. 14 hervorgeht. Der Bock stromab allein genügt nicht, da die stoßweise wirkende Strömung pendelnde Schwingungen am Joch hervorruft. Das Joch ist also mit Recht in bezug auf die Brückenachse gegengleich durchgebildet, indem es stromauf eine gleich große Stützfläche t_1 t_2 s_1 unter dem Holmkopf stromauf hat. Ja, Caesar sagt, daß die Schrägpfähle des Bockes stromauf zeitlich sogar vor den Schrägpfählen des Bockes stromab gerammt wurden. Das nachträgliche Einrammen des Strebepfahls (*sublicae . . . pro anteride subiectae*), der sich allen unter den Begriff 'gleichlaufend der Strömung (*vis aquae*)' fallenden waagerechten Schubkräften entgegenstemmt, bewirkt statisch, daß der Bock stromab jetzt noch standsicherer gegen Schubkräfte in der Stromrichtung geworden ist, da seine Stützfläche in der Längsrichtung des Grundrisses in demselben Maße zugenommen hat, wie sich die Pfahlspitze s_{an} des Strebepfahles vor die Verbindungslinie t_3 t_4 der Pfahlspitzen der beiden Schrägpfähle vorgeschoben hat.

Der Prellpfahl hat nach Caesars ausdrücklicher Angabe nur die Aufgabe, die Brücke vor antreibenden Gegenständen zu schützen. Er wird aber wie der Strebepfahl *sublica* genannt (*aliae*, nämlich *sublicae*). Als *sublica* muß er auf seiner Kopffläche eine Kraft aufnehmen, die er in seiner Längsrichtung in die Flußsohle weiterleitet. Somit hat er neben der von Caesar betonten Hauptaufgabe noch eine ähnliche Aufgabe wie der Strebepfahl zu erfüllen: nämlich waagerechte Schubkräfte, die ihm durch den Holm entgegenwirken, aufzunehmen und nach der Flußsohle abzuleiten.

Oben S. 147 f. ist dargestellt, wie durch wechselnde Stärke der Strömung und durch antreibende Gegenstände das Brückenjoch in Richtung der Holmachse hin und her pendelt. Es ist dort auch erklärt, wie ein Rückstoß in erster Linie von dem *tigna*-Paar stromauf abgefangen wird; es wird darin aber durch den nachträglich geramnten Prellpfahl unterstützt¹⁾. Freilich ist der Widerstand, den der Prellpfahl jetzt zu leisten hat, geringer als der Widerstand des Strebepfahls; denn die rückschwingende Pendelbewegung verliert viel an Kraft in der dagegen wirkenden Bewegung des Wassers und durch die Biegespannungen der tief geramnten fünf Jochpfähle

¹⁾ Wie ein Blick auf Taf. 26,2 zeigt, wo ein Joch in größter Wassertiefe dargestellt ist, ist in Höhe der Pfahlspitzen das Joch durch das Rammen des Strebepfahls um rd. 16' (4,8 m) und durch das Rammen des Prellpfahls um rd. 8' (2,4 m) länger geworden. Die Gesamtlänge des Joches ist somit auf rd. 80' (23,7 m) gewachsen; vorher betrug die Länge des *tigna*-Joches rd. 54' (16,0 m).

(*sublicae*), die infolge ihrer starken Durchmesser die Hin- und Herbewegung hemmen und abschwächen. Daher hat Caesar diese Wirkung des Prellpfahls gar nicht erst hervorgehoben; aber sie ist doch vorhanden gewesen.

Der Unterschied in der Beanspruchung von Strebepfahl und Prellpfahl kommt darin zum Ausdruck, daß beide Pfahlarten unter verschiedenen Neigungswinkeln gerammt sind. Der Prellpfahl steht steiler als der Strebepfahl, da, wie gesagt, die rückwirkenden Stöße immer mit geringerer Wucht wirken als die tatsächlich das Joch von vorn treffenden Stoßkräfte; und es konnte die durch das Dreieck $s_{a1} t_1 t_2$ dargestellte Grundfläche des Bockes stromauf kleiner sein als die entsprechende Grundfläche $s_{an} t_3 t_4$ des Bockes stromab.

Wir weisen noch darauf hin, daß das oben S. 147 f. von den Schrägpfählen Gesagte bis zu einem gewissen Grade auch für den Strebe- und Prellpfahl gilt. Hier handelt es sich allerdings um das von der Fahrbahn belastete Joch, dort um das unbelastete.

22. Rückblick.

Entkleidet man die Sätze des Brückenskapitels alles umrankenden Beiwerks, so erhält man folgendes Bild: § 2 *rationem pontis hanc instituit*. §§ 3—4 *tigna bina inter se iungebat*. § 5 *his (tignis) contraria duo (tigna) statuebat*. § 6 *haec utraque (tigna) fibulis destinabantur*. § 7 *quibus (tignis) disclusis et revinctis tanta erat firmitudo* . . . § 8 *haec (tigna) contexebantur*. § 9 *ac nihilo setius sublicae oblique agebantur*.

Das Kapitel hat drei Teile: § 2 ist die Überschrift. Caesar bringt darin zum Ausdruck, er wolle nur das Neue beschreiben, das er in den römischen Kriegsbrückenbau eingeführt habe. §§ 3—8 handeln von den *tigna*. Sie sind die erste Neuerung an einem Pfahljoch und brachten eine bedeutende Verstärkung des Joches mit sich. § 9 behandelt die zweite Neuerung, ebenfalls eine Jochverstärkung, die trotz (*nihilo setius*) der ersten noch hinzugefügt wurde.

Hier wird man vielleicht einwenden, daß doch § 8 deutlich eine Beschreibung der Fahrbahn enthält. Gewiß! Aber die (übrigens sehr knappe) Beschreibung der Fahrbahn geschieht nicht um ihrer selbst willen, sondern nur als Mittel zum Zweck. Es soll nämlich gesagt werden, daß die Joche nach ihrer Verstärkung durch die Schrägpfahlpaare eine weitere Verstärkung ihrer Standfestigkeit erhielten, als sie durch Vorstrecken der Fahrbahn miteinander verbunden wurden. Caesars Leser hätten nun meinen können, jetzt sei genug zur Sicherung der Joche geschehen. Aber die Brücke erhielt noch eine zweite Verstärkung durch die schrägen *sublicae* (Strebe- und Prellpfahl). Das geschah trotz der schon erzielten Standfestigkeit durch *tigna* und Fahrbahn: *ac nihilo setius*. Um also den Gegensatz zu gewinnen, nur daher wird die Fahrbahn überhaupt erwähnt: obwohl die Joche nach ihrer Verstärkung durch die Schrägpfahlpaare mit dem Aufbringen der Fahrbahn eine schwere Auflast und eine gegenseitige Verbindung erhielten, wurde doch noch eine zweite Jochverstärkung gegen die Schubkräfte in Richtung der Strömung zur Erhöhung der Seitensteifigkeit des Joches eingeführt.

Der Inhalt des ganzen Kapitels befaßt sich somit einzig und allein mit einem Mehraufwand an Ramppfählen an einem hochgestelzten Pfahljoch (bei 5—6 m Wassertiefe) zur Erzielung einer notwendigen Seitensteifigkeit: (§ 2) Caesar verstärkte das bis dahin übliche Pfahljoch einer Holzbrücke (§§ 3—8) durch Schrägpfahlpaare (*tigna bina*) an jedem Holmkopf (§ 9) und durch zwei noch flacher geneigte Pfähle (*sublicae*), nämlich durch einen Strebepfahl am Holmkopf stromab und durch einen Prellpfahl am Holmkopf stromauf.

Man hat also bisher unrecht damit getan, in einem Kapitel, das nur von den *tigna* und von den schrägen *publicae* handelt, eine vollständige Beschreibung der ganzen Brücke sehen zu wollen und, weil es sich um keine vollständige Beschreibung der Brücke handelt, unter tadelnden Worten gegen Caesar mit Gewalt eine daraus zu machen. Daraus ergaben sich Schwierigkeiten über Schwierigkeiten. Insbesondere mußte man den beiden römischen Fachausdrücken *tignum* und *fibula* Bedeutungen geben, die die beiden Wörter sonst nie haben, und *immissis* futurisch fassen.

Man machte also aus den *tigna* (Verbandholz) das, was sonst die *publicae* sind (Tragpfähle), und machte aus den *fibulae* (aus Verbindungsmitteln) tragende Bauteile. Die beiläufige Erwähnung der lotrechten Tragpfähle (*publicae*) verstand man falsch und raubte daher der Brücke die damit bezeichneten und so notwendigen Jochpfähle, so daß das dachstuhlartige Gebilde herauskam, das alle Sachverständigen mit wahrem Entsetzen erfüllte.

23. Zerstörung der ersten Rheinbrücke; Bau und Abbau der zweiten Rheinbrücke.

Die erste Rheinbrücke wurde achtzehn Tage nach ihrer Vollendung zerstört. Wie das geschah, wird nicht angegeben. Man konnte die Fahrbahn ins Wasser werfen, die Keilbolzen (*fibulae*) lösen und den Abbau der Jochpfähle der Strömung überlassen; man konnte die Brücke, die im Sommer schnell austrocknen mußte, einfach anzünden, was Napoleon I. ohne weiteres annimmt (*ce qui le décida à repasser le Rhin et à brûler son pont*)¹⁾. Jedenfalls wurde sie so gründlich zerstört, daß zwei Jahre später eine ganz neue Brücke gebaut wurde, deren Baustelle in einer nicht genauer angegebenen Entfernung stromauf lag (*paulo supra eum locum quo ante exercitum traduxerat*)²⁾. Die zweite Rheinbrücke muß der ersten in der Gestaltung der Joche und der Fahrbahn völlig gleich gewesen sein (*nota atque instituta ratione*). Nach der Rückkehr aus Germanien wurden von der zweiten Brücke am rechten Ufer etwa 200' (rd. 60 m) beseitigt und am Ende des Brückenstummels ein vierstöckiger Turm errichtet.

Ein solcher Turm ist für die Antike nicht auffällig. Diodor. XIII 47, 5 berichtet von zwei Türmen zum Schutze einer Brücke über den Euripos zwischen Aulis und Chalkis. Ein Turm auf dem Ende eines Brückenstummels begegnet noch einmal auf der Schiffsbrücke, die während des Bürgerkrieges des Jahres 69 n. Chr. über den Po gebaut und absichtlich nicht vollendet wurde (Tac., Hist. II 34). Türme, wenn auch sehr niedrige, hat Caesar auch auf seinen Kriegsschiffen im Kampfe gegen die Veneter (B. G. III 14, 4) und Corbulo auf dem Euphrat (Tac., Ann. XV 9)³⁾. Genau so ist auch das letzte Brückenschiff einer Schiffsbrücke an der Feindseite auszustatten, wenn wir

¹⁾ Nach Iosephus, B. I. III 5, 4 vernichteten die römischen Heere beim Abzug das alte Lager durch Anzünden.

²⁾ Unter *paulo supra* versteht man gewöhnlich eine Entfernung von vielen Kilometern. Sollte Caesar gemeint haben, daß er ziemlich an derselben Stelle auch die zweite Brücke gebaut hat, so konnte die Rücksicht auf die noch vorhandenen Pfahlreste der ersten Brücke dazu zwingen, die neue Brücke etwas oberhalb daneben zu bauen.

³⁾ Caesars Kriegführung ist sicher vorbildlich für die folgende Zeit gewesen. So weist Lips darauf hin, daß auch Germanicus nicht zu Schiff, sondern nur auf einer Brücke zum Kampfe gegen Arminius über die Weser zu gehen wagte (Tac., Ann. II 11). Ebenso wird man in den beiden von Tacitus erzählten Fällen von Turmbauten auf Brücken und Schiffen eine Nachahmung von Caesars Verfahren erblicken dürfen.

dem Bericht bei Suidas unter ζεύγμα folgen, wo Turm, Tor, Bogenschützen und Katalpulte genannt werden (vgl. weiter unten).

Die zweite Rheinbrücke ist uns im Schrifttum nur zweimal im Bild begegnet. Broelmann stellt ihren Abbruch so dar, daß etwa ein Viertel der Fahrbahn einschließlich der Holme abgetragen ist. Die Schrägpfähle stehen noch und sind ohne gegenseitige Verbindung der Zerstörung durch die Strömung preisgegeben. Der Verteidigungsturm steht aber nicht am äußersten Ende des Brückenstummels, sondern an einer Stelle, die der Brückenmitte entspricht, wenn man den ganzen Brückenzug von Ufer zu Ufer ins Auge faßt. Schramm räumt der zweiten Rheinbrücke Caesars als der ältesten 'merkwürdigen' Brücke in Deutschland den ersten Platz ein. In dem Bilde, das deutlich in Anlehnung an Broelmann entstanden ist, verbindet ein langer Brückenzug die beiden Rheinufer; mitten auf der Brücke steht der vierstöckige Turm. Welches Ende der stehengebliebene Brückenteil samt dem Turme genommen hat, erfahren wir nicht.

II. Der Bauvorgang beim Brückenschlag.

1. Ein poliorketisches Bruchstück über den römischen Schiffsbrückenbau.

Bei Arrian, Anab. Alex. V 7, und bei Suidas unter ζεύγμα finden sich Schilderungen des römischen Schiffsbrückenbaus, die letzten Endes auf dieselbe Quelle zurückgehen müssen. Den Suidas-Artikel führt man auf Cassius Dio, Buch LXXI, zurück. Beide Schriftsteller, Arrian wie Cassius Dio, sind offenbar sehr frei mit ihrer Quelle umgegangen. Der eine bringt dies, der andere jenes, was ihm gerade wichtig erschien; und was beide übereinstimmend bringen, ist in der Form der Darstellung mehr oder weniger abweichend gegeben.

Wir halten ein genaueres Eingehen auf dieses Bruchstück aus einem verschollenen Lehrbuch der Poliorketik für geboten, da sich daraus einige Rückschlüsse auf Bauvorgänge bei der Caesarbrücke ziehen lassen. Wir bringen also zuerst in Gegenüberstellung die beiden griechischen Texte und unsere Übersetzung, darauf einige technische und sprachliche Erläuterungen.

Text und Übersetzung.

τὸ δὲ ζεύγμα τὸ ἐπὶ τοῦ Ἰνδοῦ ποταμοῦ ὅπως
μὲν ἐποιήθη Ἀλεξάνδρῳ οὕτε Ἀριστόβουλος
οὕτε Πτολεμαῖος οἷς μάλιστα ἐγὼ ἔπομαι
λέγουσιν οὐδὲ αὐτὸς ἔχω ἀτρεκῶς εἰκάζειν
πότερα πλοίοις ἐζεύχθη ὁ πόρος καθάπερ οὖν
ὁ Ἑλλήσποντος τε πρὸς Ξέρξου καὶ ὁ Βόσπορος
τε καὶ Ἰστρος πρὸς Δαρείου, ἢ γέφυρα κατὰ
τοῦ ποταμοῦ διηνεκῆς ἐποιήθη αὐτῷ. δοκεῖ
δὲ ἔμοιγε πλοίοις μᾶλλον ζευχθῆναι. οὐ γὰρ
ἂν δέξασθαι γέφυραν τὸ βάθος τοῦ ὕδατος οὐδ'
ἂν ἐν τοσῶδε χρόνῳ ἔργον οὕτως ἄτοπον ζυ-
τελεσθῆναι. εἰ δὲ δὴ πλοίοις ἐζεύχθη ὁ πόρος,
πότερα ζυνδεθεῖσαι αἱ νῆες σχοίνοις καὶ κατὰ
στοῖχον ὁρμισθεῖσαι ἐς τὸ ζεύγμα ἀπήρκεσαν
ὥς λέγει Ἡρόδοτος ζευχθῆναι τὸν Ἑλλήσ-
ποντον, ἢ ὅτε τρόπῳ Ῥωμαίοις ἐπὶ τῷ Ἰστρῳ
ποταμῷ ζεύγμα ποιεῖται καὶ ἐπὶ τῷ Ῥήνῳ

ζεύγνυται δὲ Ῥωμαίοις ἀπονότατα τῶν ποτα-
μῶν τὰ ρεύματα ἅτε καὶ τοῦτο διὰ μελέτης αἰ

τῷ Κελτικῷ, καὶ τὸν Εὐφράτην καὶ τὸν Τίγρητα ὁσάκις κατέλαβεν αὐτοὺς ἀνάγκη ἐγεφύρωσαν, οὐδὲ τοῦτο ἔχω ξυμβαλεῖν.

καίτοι γε ταχυτάτη ὧν ἐγὼ οἶδα Ῥωμαίοις ἢ γεφύρωσις ἢ διὰ τῶν νεῶν γίγνεται, καὶ ταύτην ἐγὼ ἀφηγήσομαι ἐν τῷ παρόντι ὅτι λόγου ἀξία.

αἱ νῆες

αὐτοῖς κατὰ τοῦ ῥοῦ ἀφίενται ἀπὸ ξυνθήματος, οὐκ ἐπ' εὐθὺ ἀλλὰ καθάπερ αἱ πρύμναν κρουόμεναι. ταύτας ὑποφέρει μὲν οἷα εἰκὸς ὁ ῥοῦς, ἀνέχει δὲ κελήτιον ἐπῆρες ἔστ' ἂν καταστήσῃ ἐς τὸ τεταγμένον χωρίον.

καὶ ἐνταῦθα ἤδη καθίσταται πλέγματα ἐκ λύγου πυραμοειδῆ, πλήρη λίθων λογάδων, ἀπὸ πρῶρας ἐκάστης νεώς, τοῦ ἀνέχειν τὴν ναῦν πρὸς τὸν ῥοῦν.

ὅτε δὲ δὴ μία τις τῶν νεῶν ἐσχέθη, ἅμα δὴ καὶ ἄλλη, ἀπὸ ταύτης διέχουσα ὅσον ξύμμετρον πρὸς ἰσχὺν τῶν ἐπιβαλλομένων, ἀντίπρως πρὸς τὸ ῥεῦμα, ὀρμίζεται.

καὶ ἀπ' ἀμφοῖν ξύλα τε ἐς εὐθὺ ὀξέως ἐπιβάλλεται καὶ σανίδες ἐγκάρσιαι, ἐς τὸ ξυνδεῖν.

καὶ διὰ πασῶν οὕτω τῶν νεῶν ὅσαι ἱκαναὶ γεφυρώσαι τὸν πόρον χωρεῖ τὸ ἔργον.

ἐκατέρωθεν δὲ τοῦ ζεύγματος κλίμακες προβάλλονται καταπηγνύμεναι, τοῦ ἀσφαλεστέραν τοῖς τε ἵπποις καὶ τοῖς ζεύγεσι τὴν ἔφοδον γίγνεσθαι καὶ ἅμα ὡς σύνδεσμος εἶναι τοῦ ζεύγματος.

δι' ὀλίγου τε ξυντελεῖται ἅπαν καὶ σὺν πολλῷ θορύβῳ, καὶ τὸ τεταγμένον ἐν τῷ δρωμένῳ ὅμως οὐκ ἄπεστιν οἷ τε παρακλευσμοὶ ὡς τύχοιεν κατὰ ναῦν ἐκάστην καὶ αἱ ἐπιτιμήσεις τοῦ ἐκλιποῦς οὔτε τὴν κατάκουσιν τῶν παραγελμάτων οὔτε τὴν ὀξύτητα τοῦ ἔργου ἀφαιροῦνται.

Wie die Brücke über den Indus von Alexander gebaut worden ist, sagt weder Aristobulos noch Ptolemaios, denen ich am meisten folge, und auch ich selbst kann keine bestimmte Vermutung darüber aufstellen, ob die Übergangsstelle durch eine Schiffsbrücke überbrückt wurde (wie bekanntlich der Hellespont von Xerxes und der Bosphoros und die Donau von

τοῖς στρατιώταις ὥσπερ ἄλλο τι τῶν πολεμικῶν ἀσκούμενον ἐπὶ τε Ἰστρῷ καὶ Ῥήνῳ καὶ Εὐφράτῃ.

ἔστι δὲ ὁ τρόπος — οὐ γὰρ δὴ πάντας <εἰκὸς> εἰδέναι — τοιόσδε.

πλατεῖαι μὲν εἰσιν αἱ νῆες δι' ὧν ὁ ποταμὸς ζεύγνυται.

ἀνορμίζονται δὲ ὀλίγον ἄνω τοῦ ῥεύματος ὑπὲρ τὸν μέλλοντα ζεύγνυσθαι τόπον.

ἐπὶ δὲ τὸ σημεῖον δοθῇ, ἀφίαισι πρῶτην μίαν ναῦν, κατὰ ῥοῦν φέρεσθαι πλησίον τῆς οἰκείας ὄχθης.

ἐπὶ δὲ κατὰ τὸν ζευγνύμενον ἤκη τόπον,

ἐμβάλλουσιν εἰς τὸ ῥεῦμα φορμόν, λίθων ἐμπεπλησμένον, καλωδίῳ δῆσαντες ὥσπερ ἄγκυραν.

ἀφ' οὗ δεθεῖσα ἡ ναὺς πρὸς τῇ ὄχθῃ ἵσταται,

σανίσι καὶ ζεύγμασιν, ἅπερ ἀφθονα αὐτοῖς ἡ ναὺς φέρει, παραχρῆμα μέχρι τῆς ἀποβάσεως καταστρώννυται.

εἶτα ἄλλην ἀφιᾶσιν, ὀλίγον ἀπ' ἐκείνης, καὶ ἄλλην ἀπ' ἐκείνης, ἔστ' ἂν ἐπὶ τὴν ἀντιπέραν ὄχθην ἐλάσσωσι τὸ ζεύγμα.

ἢ δὲ πρὸς τῇ πολεμίᾳ ναῦς καὶ πύργους ἐπ' αὐτῇ καὶ πυλίδας καὶ τοξότας καὶ καταπάλτας φέρει.

Dareios), oder ob von ihm eine durchlaufende Pfahljochbrücke über den Fluß gebaut wurde. Ich denke aber eher, daß der Fluß durch eine Schiffsbrücke überbrückt worden ist. Denn den Bau einer Pfahljochbrücke würde die Tiefe des Wassers nicht zugelassen haben, und es wäre auch in so kurzer Zeit ein so merkwürdiger Bau nicht fertig geworden.

Wenn also die Übergangsstelle durch eine Schiffsbrücke überbrückt worden ist, so weiß ich wieder darüber nichts zu sagen, ob die Brückenschiffe durch Taue verbunden und in einer Reihe verankert wurden und ob das für die Überbrückung genügte, wie nach Herodot der Hellespont überbrückt wurde, oder [ob es so gemacht wurde], wie von den Römern über die Donau und über den keltischen Rhein eine Schiffsbrücke gebaut wird und wie sie den Euphrat und Tigris überbrückt haben, sooft sie es nötig hatten.

Sicherlich geschieht am schnellsten von allen Brückenschlägen, die ich kenne, die Überbrückung durch eine Schiffsbrücke bei den Römern, und sie werde ich hier schildern, da sie bemerkenswert ist.

Die Schiffe

werden von ihnen mit der Strömung auf ein Zeichen abgelassen, nicht mit dem Bug voraus, sondern wie Schiffe, die man rückwärts fahren läßt. Sie treibt natürlich die Strömung stromab; es bugsirt sie aber ein aufgetakeltes Schleppboot, bis es sie an die bestimmte Stelle gebracht hat.

Und hier werden nun pyramidenförmige Geflechte aus Ruten [Körbe], die voll aufgelesener Steine sind, vom Bug jedes Brückenschiffes hinabgelassen, um das Schiff in der Strömung zu verankern.

Sobald eines von den Schiffen festgemacht ist, wird sogleich auch noch ein zweites verankert, vom ersten so weit entfernt, wie es dem Gewicht der [späteren] Belastung entspricht, mit dem Bug gegen die Strömung.

Und von beiden Schiffen aus werden Brückenbalken genau geradeaus vorgestreckt und quer dazu Fahrbahnbohlen, um dadurch die Verbindung [von Schiff zu Schiff] herzustellen.

Und so schreitet die Arbeit über alle Schiffe hin fort, soviele ihrer für die Überbrückung nötig sind.

Überbrückt werden von den Römern ganz ohne jede Mühe die Flußläufe, da auch das von den Soldaten stets geübt wird wie irgendeine andere Kriegshandlung, auf der Donau, dem Rhein und dem Euphrat.

Es ist aber der Bauvorgang — denn das werden nicht alle wissen — folgender:

Die Schiffe, mit denen der Fluß überbrückt wird, sind breit.

Sie werden etwas stromauf oberhalb der Stelle, die überbrückt werden soll, verankert.

Wenn das Zeichen gegeben ist, lassen sie zuerst ein einziges Brückenschiff ab, damit es mit der Strömung in der Nähe des eigenen Ufers abwärts treibt.

Wenn es aber an die Brückenbaustelle gekommen ist,

werfen sie in die Strömung einen mit Steinen gefüllten Korb als Anker, nachdem sie ihn mit einem Tau angebunden haben.

Sobald das [erste] Schiff am Ufer verankert ist und steht,

wird es sofort mit Fahrbahnbohlen und Streckbalken, die das Schiff reichlich enthält, bis zur Anrampung überdeckt.

Dann lassen sie ein zweites Schiff ab, wenig vom ersten entfernt, und ein drittes nicht weit vom zweiten, bis sie die Brücke bis an dasjenige Ufer vorgestreckt haben.

Das Schiff am feindlichen Ufer trägt [zwei]
Türme auf sich, ein Tor [zwischen den Türmen]
und Bogenschützen und Geschütze [auf den
Türmen].

An beiden Enden der Schiffsbrücke werden Anrampungen angelegt, deren Pfähle gerammt werden, um für die Pferde und Maultiere den Aufgang sicherer zu machen und um gleichzeitig einen Halt für die Brücke abzugeben.

Und in kurzer Zeit und mit viel Lärm ist alles fertig, und trotzdem fehlt es nicht an Ordnung bei der Arbeit; und die Kommandoworte, wie sie auf jedem einzelnen Schiffe ertönen, und das Schelten wegen der Versehen beeinträchtigen weder das Anhören der Befehle noch die Genauigkeit der Arbeit.

Erläuterungen. Der grundlegende Unterschied zwischen den von Herodot beschriebenen und den römischen Schiffsbrücken ist folgender: Bei den von Herodot VII 36 beschriebenen Schiffsbrücken laufen gewaltige Taue von Ufer zu Ufer über die Schiffe hinweg und tragen die Fahrbahn. Bei den römischen Schiffsbrücken gehen anstatt der Taue Streckbalken von Schiff zu Schiff und tragen die Fahrbahn.

Bei Caesars fester Pfahljochbrücke entsprechen die Brückenbalken (*derecta materia*) den Tauen der herodoteischen und den Streckbalken der römischen Schiffsbrücken, die bei Arrian einfach ξύλα und bei Suidas genauer ζεύγματα heißen. Hierbei zeigt sich noch eine Ähnlichkeit im Ausdruck. Wenn nämlich Arrian von den Streckbalken sagt ἐς εὐθὺ ὁξέως ἐπιβάλλεται, so entspricht das εὐθὺ dem lateinischen *derecta* bei *materia*.

Die Belaghölzer, die bei Caesar *longurii* heißen, nennt Arrian σάνιδες ἐγκάρσιαι, Suidas einfach σάνιδες. Bei Caesar handelt es sich um Stangenholz, bei Arrian und Suidas um Bohlen, wie sie auch auf den Brückenbildern der Trajanssäule die Regel sind; das ist überhaupt die übliche Ausbildung der Fahrbahndecke. Bei der Caesarbrücke liegen auf den *longurii* noch *crates* (Reisig) und, wenigstens nach unserer Ergänzung, eine Erdschicht, bei Herodot ὕλη und γῆ genannt (vgl. oben S. 145). Caesars *contexebantur* findet bei Arrian seine Entsprechung in ἐς τὸ ξυνδεῖν, und Caesars *consternebantur* entspricht bei Suidas καταστρώννυται.

Der Brückenschlag beginnt am diesseitigen Ufer. Die erforderliche Zahl von Brückenschiffen (Pontons), ihrem Zweck entsprechend besonders breit gebaut, wird oberhalb der Baustelle am Ufer in langer Reihe eins hinter dem andern festgemacht, so daß das am feindlichen Ufer als letztes einzufahrende Schiff am weitesten stromauf liegt, weil es ja beim Durchqueren des Stromes am meisten abgetrieben wird. Es wird ein Schiff nach dem andern abgelassen, und zwar rückwärts, und durch ein Schleppboot an seine Stelle geleitet und mit Korbankern verankert. Die Wahl eines engeren oder weiteren Abstandes bestimmt sich nach der in Aussicht genommenen größeren oder geringeren Verkehrslast. Jedesmal, wenn ein neues Brückenschiff eingefahren und verankert ist, wird die Fahrbahn vorgestreckt. Dasselbe nehmen wir bei der Caesarbrücke an, sobald ein neues Joch fertiggestellt war.

Die bei Arrian erwähnten κλίμακες sind dasselbe wie die ἀπόβας bei Suidas, nämlich die Anrampungen. Unter einer Anrampung versteht man hier einen geschütteten Erddamm, der vom Ufer aus so weit in den Fluß vorgebaut ist, daß das erste Brückenschiff eine Wassertiefe vorfindet, bei der es schwimmt. Aber das

Erdreich des Dammes darf nicht unter dem natürlichen Böschungswinkel in den Fluß abfallen, denn die Strömung würde den Damm wegschütten; den Abschluß des Dammes bildet daher eine gerammte Pfahl- oder Bohlwand. So ist es gemeint, wenn es von den κλίμακες heißt, sie seien καταπηγνύμεναι gewesen.

So wie wir hat schon Lips die κλίμακες bei Arrian richtig verstanden, während Gronov sie fälschlich für die Geländer der Brücke halten wollte. Gronov stellte sich das Brückengeländer offenbar so vor, wie wir heute viele Geländer ausführen, daß nämlich zwischen Fußschwelle und Handleiste parallele Sprossen liegen. Das Geländer sieht dann ähnlich aus wie eine Leiter (griech. κλίμαξ) aus zwei Holmen mit Sprossen dazwischen. Aber so hat bei den römischen Brücken das Geländer nie ausgesehen (vgl. unten S. 192). Die antiken Geländer stellen Quadrate oder Rechtecke dar, die durch diagonal angeordnete Füllstäbe ausgefüllt sind, wie es z. B. die zahlreichen Brückenbilder der Trajanssäule zeigen. Ferner ist es technisch undenkbar, das Geländer als verbindendes Bauglied von Schiff zu Schiff verwenden zu wollen. Dagegen ist bei der Auffassung von Lips alles in Ordnung: ἐκατέρωθεν τοῦ ζεύγματος bedeutet nicht nach Gronov 'zu beiden Seiten der Fahrbahn', sondern 'vor der Brücke am rechten und linken Ufer', wozu auch das προβάλλεται stimmt.

Ein Geländer braucht auch nicht so stark festgemacht zu werden, und dafür wäre καταπηγνύμεναι kaum der passende Ausdruck, der das Rammen von Rammpfählen vortrefflich ausdrückt. Ebenso sind diese tief gerammten Pfähle der Pfahl- oder Bohlwand samt ihrer Erdhinterfüllung sehr geeignet, der schwimmenden Brücke am Ufer einen sicheren Halt zu geben (ὡς σύνδεσμος εἶναι τοῦ ζεύγματος). ἔφοδος kann auch schwerlich mit Gronov den 'Übergang über die Brücke' bedeuten. Dagegen ist die Bedeutung 'Zugang' oder 'Aufgang zur Brücke' ohne Schwierigkeit aus dem ἐφ-herauszulesen.

Abgebildet sind solche ansteigenden Zugänge zu einer Brücke auf der Markussäule in Rom (vgl. S. 199 f.). In beiden Fällen ist die Dammschüttung (Rampe) am Flusse durch ein Pfahl- oder Bohlwerk abgefangen. — Auf einer Großbronze des Trajan, in deren Brückendarstellung man mit Recht seit langem eine Darstellung der Donaubrücke des Apollodor von Damaskos mit steinernen Pfeilern und hölzernem Überbau erblickt¹⁾, führen rechts vier Treppenstufen zu dem Tor des Eingangsturmes empor. Wir möchten glauben, daß der Stempelschneider die griechische Beschreibung der Brücke aus der Feder ihres Erbauers zur Hand gehabt hat²⁾, daß darin die Anrampungen als κλίμακες bezeichnet waren und daß der Stempelschneider dieses Wort als 'Treppe' verstanden hat, ähnlich wie später Gronov mit der Bedeutung 'Leiter' auszukommen suchte. Aber κλίμαξ ist mit κλίω verwandt und bezeichnet einen geneigt ansteigenden Aufgang, sei es eine Treppe, eine Leiter oder eine Rampe.

2. Vorbedingungen für den Bau einer Pfahljochbrücke über den Rhein.

Über die Bauzeit sagt Caesar: 'Zehn Tage, nachdem man angefangen hatte, das Bauholz heranzuschaffen, war das ganze Werk fertig, und das Heer wurde hinübergeführt.' Die zehn Tage rechnen also vom Beginn der Holzanfuhr; was davor liegt, rechnet nicht mit. Hierher gehört die Erkundung der Gegend und

¹⁾ Abgebildet z. B. bei M. Bernhart, Antike Münzbilder im humanistischen Unterricht (1928) Taf. 39 Nr. 365. Vgl. P. L. Strack, Untersuchungen zur römischen Reichsprägung des zweiten Jahrhunderts, Bd. II (1931) 127 ff.

²⁾ Bezeugt durch Procop., De aed. IV 6, 13.

die Entscheidung für eine bestimmte Übergangsstelle, die wahrscheinlich im Zuge einer uralten Straße lag; hierher gehört ferner die Ausarbeitung des Brückenbauplanes, die Verteilung der Arbeiten unter die einzelnen Leiter und Arbeitskräfte und sicher auch die Herrichtung des Werkplatzes, die für einen so umfangreichen Bau sehr zeitraubend sein mußte. Man wird auch schon aus dem an Ort und Stelle gewonnenen Holze z. B. Rammen gebaut und Arbeitsflöße hergestellt haben. Jedenfalls wurden auch vor den zehn Tagen schon starke Abteilungen stromauf gesandt, um Bäume zu fällen. Die Bauzeit bleibt trotzdem sehr kurz; sie erklärt sich aus der Erfahrung der römischen Soldaten in technischen Arbeiten.

Darauf weist schon einer der Offiziere Friedrichs des Großen, Guischard, hin: 'On sait que les soldats Romains dressés à manier la hache & la scie, travailloient eux mêmes à tous les ouvrages que les circonstances exigeoient, & que de bons maîtres charpentiers, attachés à chaque légion, & commandés par des officiers intelligens dirigeoient leur travail.' — Wie rasch die römischen Soldaten zu arbeiten verstanden, ersieht man aus der Überbrückung der Saône an einem einzigen Tage durch Caesar selbst (Caesar, B. G. I 13, 1—2) und aus der Überbrückung der Isère ebenfalls an einem Tage durch Plancus (Cic., Epist. X 15, 3; 18, 4; 21, 2; 23, 3). Freilich sind beide Flüsse mit dem Rhein nicht zu vergleichen, und wir hören auch nicht, was das für Brücken waren.

Über die Bauzeit der zweiten Rheinbrücke sagt Caesar nur unbestimmt, daß sie in wenigen Tagen (*paucis diebus*) hergestellt wurde; aber man wird annehmen müssen, daß er damit eine Zeit von weniger als zehn Tagen bezeichnen will, da er die kurze Bauzeit begründet: *nota atque instituta ratione magno militum studio*. Der zweite Grund, der große Eifer der Soldaten, ist sicher auch für den raschen Bau der ersten Brücke anzunehmen. Der erste Grund besagt, daß die Bauweise nunmehr bekannt und eingeführt war. Sie war also früher nicht eingeführt und bis dahin unbekannt, so daß hier eine neue Begründung für unsere Annahme gewonnen wird, daß die Bauweise der Rheinbrücke, d. h. besonders die Einführung der Schrägpfahlpaare, etwas ganz Neues im römischen Heere gewesen ist.

Erklärt sich die kurze Bauzeit von zehn Tagen vielleicht auch daraus, daß Caesar in Gallien einen Brückentrain gehabt hat? Gilt für Caesar, was wir von der Kaiserzeit wissen?

Nach Arrian, Anab. V 7 und Suidas unter ζεύγμα gehört das Bauen von Brücken zu den regelmäßig wiederkehrenden Übungen des Heeres: '... in der Weise, wie von den Römern über die Donau eine Brücke gebaut wird oder über den Rhein im Keltland, und wie sie den Euphrat und Tigris überbrücken' (Arrian). 'Überbrückt aber werden von den Römern ganz ohne Mühe die Flußläufe, da auch das von den Soldaten immer geübt wird wie irgendeine andere kriegerische Übung, auf der Donau, dem Rhein und dem Euphrat' (Suidas)¹. Bei Vegetius II 25 wird ein ganzer Brückentrain erwähnt, der Einbäume nebst langen Tauen und eisernen Ketten mit sich führt, damit durch darauf gelegte Brückenbalken (*trabes*) Flüsse ohne Brücken von Fußtruppen und Reiterei ohne Gefahr überschritten werden können; und III 7 heißt es noch genauer, daß das Heer die Einbäume auf Wagen mit sich zu führen habe²), dazu

¹) Genauerer darüber oben S. 162.

²) Vgl. unten S. 199.

fertige Bohlen und Eisennägel (*tabulatis pariter et clavis ferreis praeparatis*). Dazu stimmt, daß bei Ammian XXIV 7, 4 Julian auf dem mesopotamischen Feldzuge die Schiffe bis auf 12 kleine verbrennen läßt, die auf Wagen mitgenommen werden, um zum Brückenschlag zu dienen. Ähnlich werden für Alexanders Indusbrücke die Brückenschiffe so gebaut, daß sie für die Überbrückung weiterer Flüsse mitgenommen werden können, wie Curtius Rufus VIII 10, 3 behauptet, obwohl es nach Arrian gar nicht feststeht, wie Alexander über den Indus gekommen ist. Aber die Stelle lehrt, daß es für Curtius Rufus und seine Zeit etwas Alltägliches war, daß ein Heer auf einem Feldzuge einen Brückentrain mit Brückenschiffen auf Wagen mitführt. Ebenso sehen wir auf den Bildstreifen der Trajanssäule die Legionare und Auxiliare unter anderen technischen Arbeiten auch mit dem Bau einer Brücke beschäftigt (Bild XIX). Und die vielen Jochbrücken und Schiffsbrücken mit anschließenden Jochbrücken auf dieser Säule beweisen den hohen Grad von Vervollkommenheit der Brückenbautechnik im römischen Heere.

Zwanzig Flußübergänge hat Fröhlich¹⁾ auf Caesars Feldzügen festgestellt, die sicher besondere bauliche Maßnahmen erforderlich machten. Hat also auch Caesar schon einen Brückentrain gehabt? Brückenschiffe (Pontons) auf Wagen mitzuführen, ist nur möglich, wenn ein gut ausgebautes Straßennetz vorhanden ist, wie es die Kaiserzeit in den Provinzen geschaffen hat. Das Gallien zur Zeit Caesars war sicher kein unwegsames Land, sonst wären Caesars rasche Märsche unmöglich gewesen; aber gerade die Schnelligkeit dieser Märsche beweist, daß er den Troß möglichst klein gehalten, also Brückenschiffe nicht mitgeführt hat. Obgleich also Caesar auf seinen Feldzügen einen Brückentrain in unserem neuzeitlichen Sinne und im Sinne der römischen Kaiserzeit nicht gehabt hat, so ist doch anzunehmen, daß mancherlei Handwerkszeug und Kleingerät mit der marschierenden Truppe mitgeführt wurde, durch dessen Handhabung die technischen Arbeiten eines Flußüberganges beschleunigt werden konnten. Die handwerksmäßig ausgebildeten Soldaten waren, wie schon Guischart gesehen hat, in den bei einem Brückenschlag (Schiffsbrücke oder feste Brücke) vorkommenden technischen Arbeiten geübt, und wenn sie das nötige Gerät nicht zur Hand hatten, so haben sie es sicher in kürzester Zeit anfertigen können.

3. Technische Erläuterungen zum Brückenschlag.

Die Holzarten. Was für Holz zum Brückenbau verwandt worden ist, deutet Caesar mit keinem Wort an. Wir nehmen aber an, daß es Nadelholz gewesen ist, das sich durch besonders geraden und schlanken Wuchs auszeichnet, also Fichte, Tanne und Kiefer. Das in Deutschland häufige Eichenholz muß wegen der großen Länge der Bauhölzer ausscheiden; denn ein Stamm aus Eichenholz von 0,45 m mittlerem Durchmesser ist selten auf mehr als 6,0 m Länge so gerade gewachsen, daß er als Rammfahl oder als Brückenbalken gebraucht werden kann.

Gestalt und Größe der Flöße. Die Rammfähle der Caesarbrücke konnten — abgesehen von den nachträglich hinzugefügten Strebe- und Prellpfählen — nur vom schwimmenden Gerüst aus gerammt werden.

¹⁾ F. Fröhlich, Das Kriegswesen Caesars (1889—1891).

Erst in neuerer Zeit hat man dieser Frage seine Aufmerksamkeit zugewandt, und zwar ist es das Verdienst von Schramm, als erster einen Grundriß der Baustelle gegeben zu haben, woraus man ersehen kann, wie er sich das Ansetzen der Rammmannschaften gedacht hat. Acht der zehn Flöße, die er für die Rammarbeiten ansetzt, sind 5 m lang und 5 m breit; die beiden übrigen sind 8 m lang und 3 m breit; ihre Grundfläche beträgt demnach 25 m² und 24 m² (Schramm hat als Brückenbreite, d. h. Jochlänge, nur 15' angesetzt; vgl. oben S. 136).

Dazu bemerken wir folgendes: Ein Floß von quadratischem Grundriß ist für Rammarbeiten an einem langgestreckten Pfahljoch ungeeignet und mit 25 m² zu gering bemessen. Jedes Floß wird in dem Augenblick, wo der Rambetrieb einsetzt, starken Schwankungen unterworfen. Der Rammklotz belastet nämlich beim Aufschlagen auf den Pfahlkopf den schon in der Flußsohle steckenden Pfahl, aber nicht die Ramme und das Floß. Wird dagegen der Rammklotz einen Augenblick später am Rammtau hochgezogen, dann hängt er in der Rammscheibe und belastet das Floß. Diese Belastung des Floßes mit 400 kg — so schwer muß etwa der Rammklotz sein — bedingt ein Eintauchen des Schwimmkörpers, das um so tiefer ist, je geringer sein Auftrieb, also seine Grundfläche, ist und je näher die Ramme am Floßrande steht. Im nächsten Augenblick saust der Rammklotz wieder herab; das Floß ist plötzlich wieder um 400 kg entlastet: es taucht mit einem Ruck wieder aus dem Wasser heraus. Entsprechend dem Takte der Rammarbeiten wiederholt sich nun die Be- und Entlastung des Floßes: es schwankt so stark auf und nieder, daß die Rammarbeiten erschwert werden, unter Umständen für eine Weile unterbrochen werden müssen.

Hieraus folgt, daß die Standfläche für die Rammmannschaften, also der Teil des Floßes neben und hinter der Ramme, die sogenannte Rammstube, etwa 1' (0,30 m) über der Oberkante der Floßstämmen liegen muß, wenn ein Überfluten bei jedem Hube des Rammklotzes vermieden werden soll; ferner folgt hieraus, daß die einzelnen Flöße nicht wie bei Schramm starr miteinander verbunden sein dürfen, was an sich möglich wäre, da sie ziemlich dicht nebeneinander zu liegen kommen; es ist also jedes Floß für sich zu verankern. Denn wenn alle Flöße starr miteinander verbunden wären, würden sich die Schwankungen des einen Floßes auf das andere übertragen und dort die Rammarbeit stören.

Obwohl über Größe und Gestalt der Flöße nur Vermutungen möglich sind, möchten wir doch, uns auf die Zweckmäßigkeit allein stützend, folgende Ansicht darüber vortragen (vgl. Abb. 15): Bei der Caesarbrücke wird man zum Rammen der einreihig angeordneten Jochpfähle (*sublicae*) und der in Wasserspiegelhöhe nur eine geringe Breite beanspruchenden Schrägpfahlpaare (*tigna bina*) das Floß zweckmäßig in zwei gleich breite, schmale Floßhälften aufgelöst haben, deren innere Bäume einen festen Abstand von 8' (2,4 m) gehabt haben mögen. Das Floß hat die Rammstube, die Ramme mit dem 400 kg schweren Bär und eine Rammmannschaft von 30 Mann zu tragen. Es hat daher von uns eine Grundrißfläche von etwas mehr als 100 m² erhalten¹⁾.

Das Einfahren und Verankern der Flöße. Wie die Arbeitsflöße beim Brückenbau verholt und verankert wurden, ergibt sich aus der Art, wie die

¹⁾ Zimmerhaeckel hat seinem Floß eine ähnliche Grundrißanordnung gegeben wie wir: Als Floßlänge empfiehlt auch er 20—30 m Länge, so daß bei einer Durchschnittslänge von 25 m ebenfalls rd. 100 m² Grundrißfläche herauskommen. Es sei bemerkt, daß Zimmerhaeckel die Flöße für den Brückenschlag fälschlich in den *machinationes* sieht (vgl. oben S. 131).

römischen Pioniere beim Bau einer Schiffsbrücke verfahren. Nach dieser Beschreibung der Überbrückung eines Stromes mit Hilfe einer Schiffsbrücke kann man sich ein anschauliches Bild davon machen, wie bei Caesars Brückenschlag die Arbeitsflöße eingefahren worden sind. Wurde eines dieser Flöße nach Fertigstellung des Joches und nach dem Vorstrecken der Brückenbalken verfügbar, so ließ man jede Floßhälfte für sich nach dem Lichten der Anker absacken und unter Mitwirkung der Bemannung mit der Strömung ans Ufer

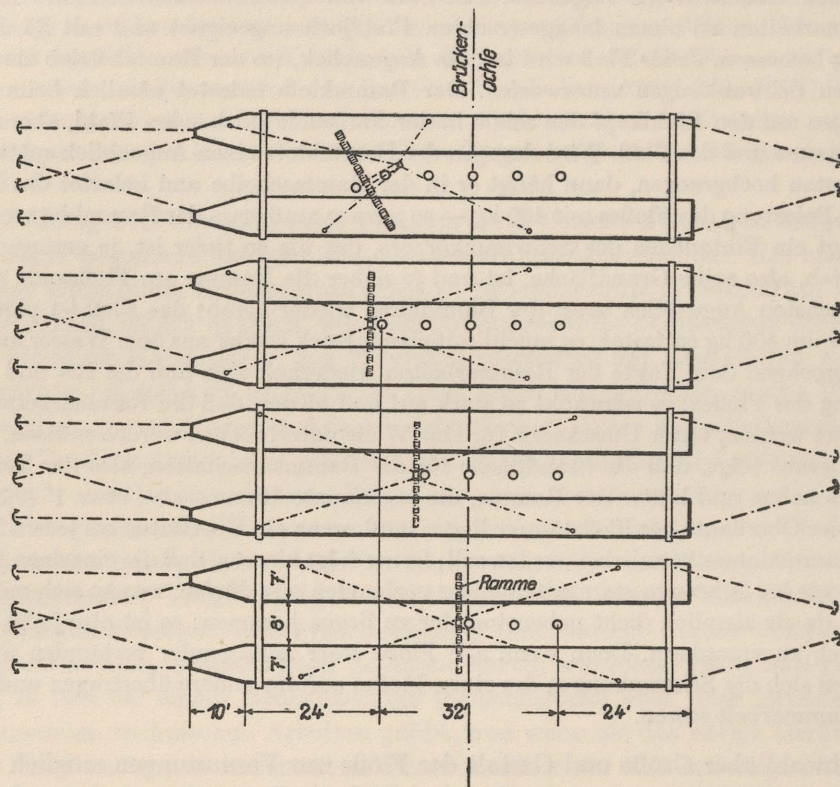


Abb. 15. Lageplan der Flöße beim Rammen der Pfähle.

treiben. Dann wurde sie am Ufer entlang in geringer Wassertiefe und bei geringer Strömung wieder stromauf getreidelt und das Floß von neuem am Kopf der Baustelle eingefahren. Je mehr sich der Jochbau der Strommitte näherte, um so schwieriger wurde es infolge der stärkeren Strömung, die Flöße in die Flucht der Brücke zu bringen. Dabei konnte ein Schleppboot, wie es Arrian beschreibt, gute Dienste tun.

In der römischen Kaiserzeit hat man als behelfsmäßige Anker steingefüllte Körbe verwendet (vgl. S. 162). Auch Caesar wird sie verwendet haben. Daß sie ihm bekannt gewesen sind, ergibt sich aus der Schilderung eines Überganges über den Guadalquivir (Baetis) während seines spanischen Krieges (B. H. 5, 1). Hier müssen die übereinander geschichteten Körbe mit Steinen gerammte Pfahljoche oder steinerne Pfeiler ersetzen. Der Zweck ist also ein anderer, aber mit ihrer Anfertigung und Verwendung sind Caesars Soldaten jedenfalls vertraut. Und nicht unbekannt wird Caesar gewesen sein, daß bei Xenophon, Anab. III 5, 10, der Rhodier den Vorschlag macht, Steine als

Anker auf die Flußsohle zu versenken, an die mit Tauen die einzelnen Schläuche der Schlauchbrücke verankert werden sollen.

Die Verankerung der Flöße ist auf Abb. 15 dargestellt. Stromauf liegt das Floß an vier Ankern fest, von denen zwei einen schrägen Ankerzug ausüben, um seitliche Bewegungen des Floßes zu verhindern. Stromab sind aus demselben Grunde zwei Anker schräg ausgeworfen. Auf jedem Floß ist außerdem die Lage der Grundschwelle der Ramme zum Rammpfahl und der Grundriß der vier Haltetaue der Ramme eingetragen.

Das Versetzen der Ramme und der Rammbetrieb. Schramm gibt der Ramme einen festen Platz auf dem Floß und verholt das Floß entsprechend der Stellung der Pfähle. Dieses Verfahren ist bei seinem Entwurf angebracht, da danach bei allen Rammstellungen die Längsachse des Floßes mit der Stromrichtung zusammenfällt. Da aber nach unserem Entwurf (vgl. oben S. 112 ff.) die beiden ein Paar bildenden Pfähle räumlich schräg stehen, müßte bei diesem Verfahren die Floßachse einen spitzen Winkel mit der Stromrichtung bilden. Durch die umständlichen Verankerungen, die dadurch nötig werden, wird dieses Verfahren unzweckmäßig; auch würden sich an benachbarten Pfahljochen die Flöße und namentlich ihre Ankertae gegenseitig behindern. Solche schräg verankerten Flöße müssen auch stromab durch sog. Windanker verankert werden.

Auf Abb. 15 ist ein Ausschnitt aus der Reihe der nebeneinander liegenden Flöße in vereinfachter Form dargestellt. Aus diesem Lageplan der Flöße soll ihre Länge, Breite und Lage zum Joch hervorgehen. Wir denken uns die beiden Floßhälften durch eine Anzahl von Querbalken verbunden, von denen in Abb. 15 nur die zwei am Bug und am Heck des Floßes gezeichnet sind.

Bezüglich der Reihenfolge, in der die Pfähle gerammt wurden, ergeben sich aus dem Brückenkapitel zwei Tatsachen: 1. Die Lotpfähle (*sublicae*) wurden früher gerammt als die Schrägpfähle (*tigna*). 2. Die Schrägpfähle stromauf wurden früher gerammt als die Schrägpfähle stromab. Demnach hat Caesar, sollte ein unnötiges Hin und Her der Ramme vermieden werden, zuerst die Lotpfähle in der Reihenfolge von stromab nach stromauf rammen lassen, und wir haben dementsprechend auf Abb. 15 die Stellung der Ramme durch Eintragung der Schwelle beim mittelsten Lotpfahl, dann beim vierten und dann beim fünften dargestellt. Darauf hat Caesar erst den einen und dann den andern Schrägpfahl stromauf rammen lassen. Das Rammen des ersten Schrägpfahls zeigt auf Abb. 15 der Grundriß des Floßes am oberen Bildrand. Wenn also der vorderste (fünfte) Lotpfahl gerammt war, mußte die Ramme dicht vor diesem Lotpfahl so aufgestellt und verankert werden, daß die Schwelle der Ramme mit der Flucht der Lotpfähle einen Winkel von 60° bildete; außerdem mußte der Mäcker 3,5:1 geneigt werden. Diesen Stand der Rammarbeiten zeigt Taf. 25. Zuletzt wurden die beiden Schrägpfähle stromab gerammt.

Das Herbeischaffen der Baustoffe. Sämtliche Rammpfähle können im Wasser an die Ramme herangetreidelt werden; alle übrigen Bauhölzer und Baustoffe müssen ihren Weg über den bereits fertiggestellten Brückenteil nehmen. Dieser gewaltige Verkehr von Massen von Baustoffen, Menschen und Zugtieren war nur durch eine genaue Verkehrsregelung reibungslos zu bewältigen.

Man kann sich davon folgende Vorstellung machen. Wie man eine verkehrsreiche Straße in einen breiten Fahrdamm in der Mitte und zwei schmalere Bürgersteige

rechts und links davon einteilt und Menschen und Fahrzeugen verschiedene Verkehrsstreifen zuweist, so denken wir uns die 25' (7,40 m) breite Fahrbahn in drei Verkehrsstreifen zerlegt. Der breite Verkehrsstreifen in der Mitte dient als Förderbahn für die schwersten Bauhölzer wie Holme und Brückenbalken, die von Pferden oder Maultieren nach vorn geschleift werden, und für die Rückkehr der Gespanne. Den Verkehrsstreifen stromab benutzen die Soldaten, die die Rammpfähle nach vorn treideln, sowie alle anderen Arbeitskräfte, die leichtere Traglasten befördern¹⁾. Nur dieser Streifen kommt dafür in Betracht, da die Rammpfähle nur unterhalb der Brücke getreidelt werden können. Daraus folgt, daß sich aller Verkehr auf den linken Seiten abspielen muß. Der schmale Verkehrsstreifen stromauf dient der Rückkehr der Leute, die den andern schmalen Verkehrsstreifen für den Hinweg benutzt haben. Die Gespanne in der Mitte konnte man rechts oder links gehen lassen; denn wie das Beispiel des heutigen Italien zeigt, kann man Fußgänger links und Fahrzeuge rechts leiten.

Das Verlegen der Holme und der Brückenbalken. Zunächst wird der Holm über die Brücke geschleift, das Zopfende voran. Er ist 13 m lang; die Stützweite von Joch zu Joch beträgt 8 m. Der Brückenbalken kragt um 0,45 m vor, so daß sich die Entfernung bis zum Mittelpfahl des nächsten Joches noch um dieses Maß verkürzt. Belastet man das Stammende des Holmes auf der Brücke genügend, so kann man den Holm über das ganze Brückenfeld hinüberschieben, ohne daß das Zopfende sich neigt; es braucht nur wenig vom Floß aus gestützt zu werden. Endlich liegt es auf dem Mittelpfahl. Der Holm wird nun weiter über den stützenden Mittelpfahl hinüber geschoben, bis das Stammende seinen Halt verliert. Jetzt muß das Stammende gehoben und dabei der Holm so weit vorgeschoben werden, bis sein Schwerpunkt über dem Mittelpfahl liegt. Dann wird er eingeschwenkt und erst mit dem kürzeren Stammende zwischen die zwei Schrägpfähle und darauf so weit durchgeschoben, daß auch das Zopfende durch eine Rückwärtsbewegung zwischen das andere Schrägpfahlpaar eingeschoben werden kann (*insuper bipedalibus trabibus immissis*). Dadurch rücken gleichzeitig die Köpfe der Tragpfähle in die unteren Ausklinkungen des Holms und tragen ihn. Sind dann die Löcher für die Keilbolzen gebohrt, die Bolzen durchgesteckt und die Keile ein- und angetrieben, steht das Joch fertig da, und das Vorstrecken der Brückenbalken von der fertigen Fahrbahn aus kann beginnen.

Der erste Brückenbalken wird so weit vorgeschoben, daß sein Schwerpunkt unterstützt bleibt. Auf dem Floß sind dann Mannschaften zum ruckweisen Vorschieben anzusetzen. Das zu bewältigende Gewicht ist gering; der ganze Balken wiegt nur 1,2 t (vgl. unten S. 175), und der rückwärtige schwerere Teil bleibt stets auf der fertigen Brücke unterstützt. Ist erst durch das Aufbringen des ersten Brückenbalkens ein Laufsteg geschaffen, dann lassen sich die übrigen Brückenbalken eines Feldes wesentlich leichter herüberziehen und einbauen (*derecta materia iniecta contexebantur*).

Das Rammen der Strebe- und Prellpfähle. Die Strebe- und Prellpfähle konnten im Gegensatz zu den anderen Rammpfählen nur von der fertigen

¹⁾ Erdmassen, die für die Deckschicht der Fahrbahn gebraucht werden, in Körben auf den Schultern herbeizutragen, ist im Heere beim Lagerbau erprobt; vgl. Vegetius II 25 *habet (legio) ... cophinos, quibus terra portetur*. Allerlei Bauarbeiten der Soldaten zeigt auch die Trajanssäule.

Brücke aus gerammt werden. Das Aufstellen und Verankern der Ramme kann man sich folgendermaßen vorstellen. Man verbreitert zunächst die Fahrbahn dadurch, daß man über drei benachbarte Holmenden derselben Brückenseite hinweg vor und hinter den Köpfen der Schrägpfaalpaare, den Brückenbalken gleichlaufend, Hilfsbalken verlegt. Am mittleren Joch der so verbreiterten Fahrbahn werden dann zwei Bäume, in Größe und Gestalt den Jochholmen etwa gleich, senkrecht zur Brückenachse so verlegt, daß das schwere Stammende etwa in der Mitte der Fahrbahn liegt, die Stammitte auf dem äußersten Hilfsbalken lagert und die leichten Zopfenden weit ausladende Kragarme bilden. Auf dieser Hilfsrüstung wird die Ramme in der vorgesehenen Neigung (3:2 für den Strebepfaal, 5:2 für den Prellpfaal) über dem Holmkopf aufgestellt und so verankert, daß die zwei vorderen Haltetaue an den äußersten Enden der Kragarme und die zwei rückwärtigen schräg rückwärts an den rückwärtigen Holmenden verankert werden.

Leben und Treiben beim Brückenschlag. Wie lebhaft es bei einem Brückenschlag eines römischen Heeres zugeht, zeigt der oben angeführte Schluß des Berichtes aus Arrian, *Anab. Alex.* V 7. Beim Bau einer Pfahljochbrücke wird es mindestens ebenso geräuschvoll zugegangen sein. An jeder Zugramme sind nach unserer Annahme gleichzeitig 30 Mann beschäftigt (vgl. oben S. 132), die nur durch taktmäßiges Zählen oder ähnliches eine große Hubhöhe beim Ziehen des Rammtaus erzielen können. Ohne scharfe Kommandos der Truppführer oder Vorarbeiter geht es auch nicht beim Verlegen des schweren Holms, beim Vorstrecken der Brückenbalken, beim Trieren der Rammpfähle usw.

4. War es möglich, die Rammarbeiten in der kurzen Zeit auszuführen?

Ein Blick auf Abb. 1 lehrt, daß am linken Ufer in einer Entfernung von rd. 70 m vom Ufer Tiefen von mehr als 14' (4,15 m) gepeilt sind. Am rechten Ufer finden sich Tiefen von 14' (4,15 m) und mehr erst in einer Entfernung von rd. 140 m vom Ufer. Wir nehmen an, daß erst in Tiefen von mehr als 14' die weitere Jochverstärkung durch Strebe- und Prellpfaal vorgenommen worden ist. Es ergeben sich somit für den ganzen Brückenzug, am linken Ufer beginnend, folgende Unterbauten (vgl. Taf. 24):

1 Landwiderlager

5 Joche, nur aus Lotpfählen (nach Rammplan a in Abb. 8)

3 Joche aus Lotpfählen, mit zwei Schrägpfaalpaaren verstärkt (nach Rammplan b in Abb. 8)

23 Joche wie vor, aber noch durch je einen Strebe- und Prellpfaal verstärkt (vgl. Grundriß auf Abb. 14)

13 Joche aus Lotpfählen, mit zwei Schrägpfaalpaaren verstärkt (nach Rammplan b in Abb. 8)

5 Joche, nur aus Lotpfählen (nach Rammplan a in Abb. 8)

1 Landwiderlager

Zus. 49 Joche.

Sie erfordern unter vorstehenden Annahmen:

$$\begin{aligned} 49 \cdot 5 \text{ Lotpfähle (sublicae)} & \dots \dots \dots = 245 \\ (3 + 23 + 13) \cdot 4 \text{ Schrägpfähle (tigna)} & \dots \dots \dots = 156 \\ 23 \cdot 2 \text{ Strebe- und Prellpfähle (sublicae, oblique)} & = 46 \end{aligned}$$

Zus. 447 Rammpfähle.

Die zur weiteren Verstärkung und Sicherung der 23 Joche in größter Wassertiefe dienenden 46 Rammpfähle sind nach S. 155ff. erst nach Fertigstellung der Brücke gerammt worden, zählen also nicht zum Brückenbau im engeren Sinne. Demnach sind $447 - 46 = 401$ Rammpfähle in der von Caesar angegebenen Zeit von 10 Tagen zu rammen.

Allerseits ist anerkannt, daß das Rammen der Pfähle in dem tiefen und reißenden Strom der schwierigste und zeitraubendste Bauvorgang des ganzen Brückenschlages war. Auch Napoleon I. meint: 'il (Caesar) a pu les (die Rammpfähle) enfoncer en dix jours, c'est l'opération la plus difficile: le placement des chapeaux (der Holme) et la construction du tablier (der Fahrbahn) sont des ouvrages qui se font en même temps: ils sont d'une nature bien plus facile.' Man muß also untersuchen, ob das Rammen von 401 Pfählen in der angegebenen Zeit von 10 Tagen möglich ist.

Dazu greifen wir einen bestimmten Fall aus dem Jahre 1753 heraus, aus der Zeit Perronets, als vor dem Maschinenzeitalter die technischen Mittel ungefähr noch ebenso geblieben waren wie zur Zeit Caesars. Über die Gründung des 5. Mittelpfeilers der Brücke bei Orléans schreibt Perronet¹⁾: 'Am 20. Julius wurde angefangen, Grundpfähle mit Rammen zu schlagen, deren Bär ungefähr 800 Pfund schwer war. An jeder Ramme arbeiteten 24 Mann, 1 Zimmermann und 1 Schiffer als Pfahlmeister. Diese letzteren brachten die Pfähle vor die Ramme, erhielten dieselben in gehöriger Richtung und stellten die Ramme her, wenn etwas daran fehlte. Das Rammen ging Tag und Nacht fort. Die Pfähle waren 12 bis 15 Fuß lang und drangen ziemlich gleichförmig 10 bis 11 Fuß tief ein. In 24 Stunden wurden immer 9 bis 10 Pfähle eingerammt. Die Bäre wurden gewöhnlich 4 Fuß hoch gezogen; auf jede Hitze rechnete man 25 Schläge und hörte jedesmal nur dann auf zu rammen, wenn der Pfahl auf einer Hitze nicht mehr als 2 bis 3 Linien zog. Die 202 Grundpfähle zu diesem Pfeiler waren am 29. Julius sämtlich eingerammt.'

Perronet rammte mit drei Rammen 202 Pfähle in 10 Tagen = 240 Arbeitsstunden (da der Rammetrieb Tag und Nacht ging). Eine Ramme hatte daher in 240 Stunden $202:3 = \text{rd. } 67$ Pfähle zu rammen, d. h. auf jeden Pfahl kam eine Arbeitszeit von $240:67 = \text{rd. } 3,6$ Stunden²⁾.

Caesar war mit dem Brückenbau in der gleichen Zeit von 10 Tagen fertig; man muß aber annehmen, daß die Rammarbeiten früher beendet waren, da nach dem Rammen noch Zeit zur Verfügung stehen mußte, um die letzten Brückenjoche mit den Holmen zu versehen und die Fahrbahn zu Ende zu bauen. Wir nehmen daher an, daß die Rammarbeiten in $8\frac{1}{2}$ Tagen fertigzustellen waren.

¹⁾ M. Perronet, Description des projets et de la construction des ponts de Neuilly, de Mantes, d'Orléans & autres (1782). Übersetzung: Perronets Werke, Die Beschreibung der Entwürfe und Bauarten der Brücken bei Neuilly, Mantes, Orléans p. p. übers. v. Dietlein (1820).

²⁾ In dieser Zeit sind folgende Arbeiten zu leisten: Das Versetzen der Ramme, das Triezen und das Ansetzen des Pfahles, schließlich die Rammarbeit selbst, die durch Ruhepausen unterbrochen werden muß.

Perronet rammt Tag und Nacht. Das ist für Caesar nicht anzunehmen, und es fielen somit für die Rheinbrücke $7 \cdot 8$ Nachtstunden = 56 Arbeitsstunden aus. Die reine Arbeitszeit für Caesar betrug demnach $24 \cdot 8\frac{1}{2} - 56 = 148$ Arbeitsstunden.

Die Arbeitszeit für einen Pfahl betrug bei Perronet rd. 3,6 Stunden. Wenn man für Caesar die gleiche Arbeitszeit für jeden Pfahl ansetzt, so konnten in 148 Arbeitsstunden $148:3,6 = \text{rd. } 41$ Pfähle gerammt werden. 401 Pfähle waren nach unserem Entwurf zu rammen. Daher waren $401:41 = \text{rd. } 10$ Rammen erforderlich, mit denen die gesamte Rammarbeit zu leisten war.

Die Rammtiefe hat man bei der eilig hergestellten Kriegsbrücke sicher nicht unnötig groß gewählt. Zum Vergleich mit der von uns angenommenen Rammtiefe von 7' (vgl. Taf. 26) diene, was Wiebeking über die Donaubrücke vor Passau berichtet. Die Brücke hatte 12 Jochfelder, jedes von 58—60 Schuh. Jedes Joch bestand aus 6 zehnzölligen Pfählen und zwei Schrägpfählen, die sich an die zwei letzten lotrecht stehenden anlehnten. Die Pfähle standen nur 6—8' (1,75—2,35 m) im Boden. Ähnlich hatte die Donaubrücke bei Neustadt in Bayern zwei lotrecht und vier schräg stehende Pfähle, die 8' (2,4 m) im Boden standen. Für eine Kriegsbrücke im Rhein wird daher eine Rammtiefe von durchschnittlich 7' (2,1 m) genügt haben. Der Rammtiefe von 10—11' bei Perronet stellen wir mit Wiebeking nur eine Rammtiefe von 6—8' gegenüber. Aber dafür wurden bei Perronet die Pfähle sämtlich lotrecht gerammt, während von den 401 Pfählen der Rheinbrücke 156 Schrägpfähle sind.

Trotz mancher Unterschiede kann man aus diesen Beispielen aus der Praxis den Schluß ziehen: Caesars Rheinbrücke war auch in bezug auf die zu leistenden Rammarbeiten in 10 Tagen fertigzustellen.

III. Statische Untersuchungen.

In den nachfolgenden statischen Berechnungen führen wir nach Vorbemerkungen im ersten Abschnitt im zweiten den Nachweis, daß die wichtigsten tragenden Bauglieder unseres Brückenentwurfs, nämlich der Brückenbalken (*derecta materia*) und der Holm (*trabs*), den an sie zu stellenden Anforderungen genügen, d. h. daß die statischen Grundlagen so sind, daß Standsicherheit und Festigkeit von Pfahljoch und Brückenfahrbahn gewährleistet sind. Im dritten Abschnitt wird zunächst für unser Brückenjoch der Nachweis geliefert, daß der Holm (*trabs*) bricht, sobald die stützenden Tragpfähle (*sublicae*) bis auf die zwei äußersten fehlen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit der von uns eingeführten lotrechten Tragpfähle (*sublicae*) unter dem Holm. Sodann haben wir aus der Reihe der früheren Entwürfe das Brückenjoch von Zimmerhaeckel einer statischen Nachprüfung unterzogen. Wir haben gerade diesen Entwurf herausgegriffen, weil er in seinem Aufbau an den so bewunderten Palladio anklängt, wir also Palladio bis zu einem gewissen Grade gleichzeitig mitbehandeln, vor allem aber, weil er im Gegensatz zu anderen, die sich diese Mühe sparen, eine statische Berechnung bringt, die, wenn sie auch nicht einwandfrei ist, doch wenigstens eine Unterlage für kritische Bemerkungen abgibt. Das Ergebnis unserer Nachprüfung der Zimmerhaeckelschen Arbeit ist, daß ein derartig gestaltetes Joch unter der Last der Fahrbahn zusammenstürzen muß.

1. Caesars Pfahljochbrücke ist eine leichte Kolonnenbrücke.

Man darf bei der statischen Berechnung von Caesars Rheinbrücke nicht Verkehrslastenzugrundelegen, wiesie die Pionier-Brückenbau-Vorschrift heutzutage für eine leichte Kolonnenbrücke vorschreibt. Damals konnten in den unwegsamen

Gebieten Galliens und Germaniens nur Fahrzeuge mit geringer Belastung vorwärtskommen. Aber Achslasten von Fahrzeugen (Einzellasten) scheiden für unsere statische Untersuchung überhaupt aus. Wir erachten es als hinreichend — auch im Hinblick auf etwaige unvermutet auftretende Stoßwirkungen —, wenn wir als Nutzlast eine gleichmäßig verteilte Verkehrslast von $0,300 \text{ t/m}^2$ einsetzen.

Zur Begründung diene ein Vergleich mit einer Belastungsannahme aus der Zeit vor mehr als 100 Jahren. Röder¹⁾ weist nach, daß eine marschierende Truppe die gefährlichste Belastung für die Brückenfahrbahn ist: 'Die größten, auf einer Brückenbahn möglichen, gleich vertheilten ruhenden Lasten sind nach Reichenbach²⁾ folgende: 1. Sie können von Menschen dicht gedrängt besetzt sein — bey Truppenmärschen ein sehr möglicher Fall! — so bedarf ein Mensch, wenigstens drey Quadratfuß Raum und sein Gewicht wird zu 1,5 Centner bayer. angenommen.' Dann folgen die Reichenbachschen Belastungsannahmen durch Reiter, Kanonen und Frachtwagen. Röder zieht daraus folgenden Schluß: 'Hieraus ist klar: daß die Belastung mit einer gedrängten Menschenmenge, bey weitem die stärkste ist. Indessen stehen die Menschen in dieser Annahme gar zu dicht, bey Berechnung der Tragkraft einer Brücke wollen wir im Verfolg dieses Buchs annehmen, daß ein Mensch 4 rheinl. Quadratfuß Raum bedürfe, und bewaffnet 180 g köln. wiege. Hierbey kämen 45 g als Maximum der möglichsten, zufälligen und ruhenden Belastung, auf jeden Quadratfuß der Brückenbahn.'

Die Umrechnung vorstehender Belastungsannahmen auf unser heutiges Maßsystem ergibt nach Reichenbach $0,330 \text{ t/m}^2$ und nach Röder $0,214 \text{ t/m}^2$. Demnach dürfte die von uns zugrunde gelegte gleichmäßig verteilte Belastung von $0,300 \text{ t/m}^2$ ein Belastungswert sein, der den Verhältnissen einer marschierenden Truppe auch zur Zeit Caesars Rechnung trägt.

2. Festigkeitsnachweis zu wichtigen Bauteilen des Brückenentwurfs.

Raumeinheitsgewichte, zulässige Beanspruchung, Fahrbahngewicht. Als Raumeinheitsgewichte zur Ermittlung des Eigengewichts der Fahrbahn sind folgende Werte zugrunde gelegt:

Es wiegen: grünes, im Saft gefälltes Holz	$0,9 \text{ t/m}^3$
Erdabdeckung (Kiessand)	$1,8 \text{ t/m}^3$

Caesars Pfahlbrücke ist als Kriegsbrücke ein zeitweiliges Bauwerk. Wir setzen daher die zulässige Beanspruchung auf Biegung $\sigma_{\text{zul}} = 130 \text{ kg/cm}^2$.³⁾

Unter Hinweis auf die Einzelheiten der Fahrbahn auf Abb. 12 ergibt sich nachstehendes Gewicht der Fahrbahn für 1 m^2 Grundfläche in t:

Erdabdeckung 4'' (7,5 cm) stark	rd. $0,13 \text{ t/m}^2$
Strauchwerk (<i>crates</i>), mit Kiessand durchsetzt, im Mittel 4'' (7,5 cm) stark	rd. $0,08 \text{ t/m}^2$
Belaghölzer (<i>longurii</i>) in 0,16–0,24 m Dm., 4–5 Stück auf 1 m, insgesamt	rd. $0,14 \text{ t/m}^2$
Fahrbahngewicht im ganzen	rd. $0,35 \text{ t/m}^2$
Verkehrslast	rd. $0,30 \text{ t/m}^2$
Fahrbahngewicht + Verkehrslast	rd. $0,65 \text{ t/m}^2$

¹⁾ G. L. A. Röder, Praktische Darstellung der Brückenbaukunde nach ihrem ganzen Umfange in zwey Theilen (1821).

²⁾ Reichenbach, Theorie der Brückenbögen (1811).

³⁾ Die zulässige Biegebeanspruchung von 130 kg/cm^2 ist ein verhältnismäßig hoher Wert, wenn man bedenkt, daß die tragenden Bauteile der Brücke aus saftreichem Holz bestehen, dessen Bruchfestigkeit wesentlich geringer ist als die des luftgetrockneten, baureifen Holzes, das rechtzeitig gefällt und genügend abgelagert ist.

Statische Berechnung der Brückenbalken. Die Brückenbalken (*derecta materia*) unseres Entwurfs sind Rundhölzer von 0,45 m mittlerem Durchmesser; ihre Stützweite l ist gleich dem Jochabstand, also 27' (8,0 m); sie liegen in Abständen von $3\frac{1}{2}'$ (1,04 m) nebeneinander; folglich ist die Belastungsbreite $b = 3\frac{1}{2}'$ (1,04 m).

Belastung aus dem Fahrbahngewicht einschließlich der Verkehrslast:

$$l \cdot b \cdot 0,65 = 8,0 \cdot 1,04 \cdot 0,65 \quad 5,41 \text{ t}$$

Eigengewicht des Balkens:

$$\frac{\pi \cdot 0,45^2}{4} \cdot 8,0 \cdot 0,9 \quad 1,14 \text{ t}$$

$$\text{Gesamtlast } Q \quad 6,55 \text{ t}$$

Bei einer gleichmäßig verteilten Belastung über die ganze Stützweite ist das größte Biegemoment: $\max M = \frac{Q \cdot l}{8} = \frac{6,55 \cdot 8,00}{8} = 6,55 \text{ tm} = 655\,000 \text{ kgcm}$.

Dieses Moment tritt in Balkenmitte auf, wo der Querschnitt 0,45 m Dm. hat; er ist (nach Abb. 12) oben abgeflacht. Das Trägheitsmoment des Vollquerschnitts beträgt: $\frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 45^4}{64} = 201\,300 \text{ cm}^4$.

Durch die Abflachung von 3,5 cm Höhe vermindert sich das Trägheitsmoment, wie sich durch Rechnung nachweisen läßt, um rd. 12%. Das Trägheitsmoment des Brückenbalkens ist also: $J_x = 201\,300 - \frac{201\,300 \cdot 12}{100} = \text{rd. } 177\,000 \text{ cm}^4$.

Da wegen der Abflachung des Querschnitts der Schwerpunkt des Querschnitts nicht mehr mit dem Mittelpunkt des Kreises zusammenfällt, führt die Berechnung der Schwerpunktslage zu dem Ergebnis, daß die waagerechte Schwerachse um $e_u = 21,8 \text{ cm}$ von der unteren Randfaser und um $e_o = 19,7 \text{ cm}$ von der oberen Randfaser entfernt liegt.

Die beiden Widerstandsmomente des Querschnitts sind:

$$W_o = \frac{J_x}{e_o} = \frac{177\,000}{19,7} = 9000 \text{ cm}^3 \text{ und } W_u = \frac{J_x}{e_u} = \frac{177\,000}{21,8} = 8100 \text{ cm}^3.$$

Es ergeben sich folgende Biegespannungen:

$$\sigma_o = \frac{\max M}{W} = \frac{655\,000}{9000} = 73 \text{ kg/cm}^2 \text{ und } \sigma_u = \frac{\max M}{W} = \frac{655\,000}{8100} = 81 \text{ kg/cm}^2.$$

Die zulässige Beanspruchung des Brückenbalkens auf Biegung ist noch lange nicht erreicht ($\sigma_{zul} = 130 \text{ kg/cm}^2$). Der mittlere Durchmesser der Brückenbalken darf aber trotzdem nicht wesentlich geringer gewählt werden, weil sonst die Durchbiegungen der Brückenbalken zu groß werden.

Statische Berechnung des Holms. Der Holm (*trabs*) ist auf 5 Jochpfählen (*sublicae*) frei gestützt (vgl. oben S. 138 ff.). Es wäre aber nicht gerechtfertigt, ihn als durchlaufenden Balken auf 5 Stützen zu berechnen, da es nicht sicher ist, ob die Hauptbedingung für einen solchen Balken, nämlich gleiche Höhenlage der Stützen, erfüllt ist. Wenn auch anfangs diese Bedingung erreicht ist, so kann die Nachgiebigkeit des einen oder des anderen Jochpfahles diese Voraussetzung wieder zunichte machen; denn es ist nicht anzunehmen, daß jede Pfahlspitze nach beendigter Rammarbeit den gleichen Erdwiderstand gefunden hat. Wir denken uns daher für unsere statische Berechnung den Holm über den Mitten der 5 Jochpfähle durchgeschnitten.

Die Stützweite l des so entstandenen frei gelagerten statisch bestimmten Balkens (Holmstückes) ist gleich dem Abstand zweier benachbarter Jochpfähle, d. h. $l = 8'$ (rd. 2,40 m).

Die Belastung q in t/m dieses Holmstückes setzt sich wie folgt zusammen:

1. Eigengewicht des Holms (Mittelwert bei $d = 2'$) 0,24 t/m¹⁾
 2. Eigengewicht der Brückenbalken: Auf einem Holmstück von 8' finden 5 Brückenbalken ihr Auflager, da wir den Brückenbalken jedes Feldes $3\frac{1}{2}'$ Abstand gegeben haben (vgl. Taf. 26,1); jeder Brückenbalkenkopf belastet den Holm mit $\frac{G}{2} = \frac{1,14}{2} = 0,57$ t; ein Gewicht von $5 \cdot 0,57 = 2,85$ t ist also die Gesamtbelastung durch die 5 Brückenbalkenköpfe. Dies entspricht einer gleichmäßig verteilten Belastung von $\frac{2,85}{2,4} = \dots\dots\dots 1,19$ t/m
 3. Das Fahrbahngewicht einschließlich der Verkehrslast beträgt 0,65 t/m² (vgl. S. 174). Die Belastung des Holms durch die Fahrbahn ist bei 8,0 m Jochabstand $8,0 \cdot 0,65 = \dots\dots\dots 5,20$ t/m
- Zusammen $q = 6,63$ t/m

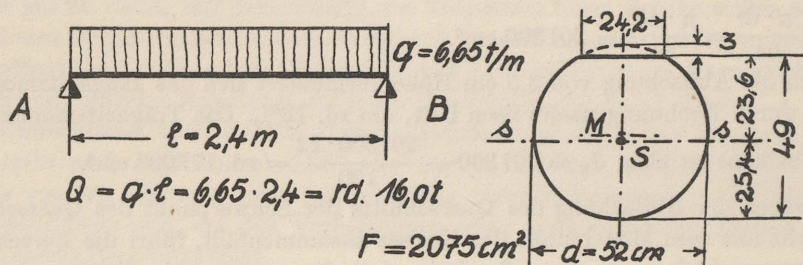


Abb. 16. Belastung des von Jochpfählen gestützten Holms.

Die Gesamtbelastung des Holms ist also $Q = q \cdot l = 6,63 \cdot 2,4 = 15,91 = \text{rd. } 16,0$ t (vgl. Abb. 16)²⁾.

Das größte auftretende Biegemoment ist daher $\max M = \frac{Q \cdot l}{8} = \frac{16,0 \cdot 2,4}{8} = 4,8 \text{ tm} = 480000 \text{ kgcm}$.

Der gegebene Holmdurchmesser von 2' (0,59 m) ist ein Mittelwert; in der praktischen Anwendung wird dieses Maß bald über-, bald unterschritten worden sein. Wenn wir unserer Berechnung einen schwächeren Holm zugrunde legen, dessen Querschnitt nahe am Zopfende einen Durchmesser von 0,52 m hat, so ergeben sich folgende statische Werte.

Das Trägheitsmoment des Vollquerschnitts ist (allgemein) $J_0 = \frac{\pi d^4}{64} \text{ cm}^4$; mit $d = 0,52 \text{ m} = 52 \text{ cm}$ wird $J_0 = \text{rd. } 359000 \text{ cm}^4$. Die zahlenmäßige Berechnung, deren Wiedergabe wir hier unterlassen, ergibt, daß der abgeflachte Holmquerschnitt nach Abb. 16 ein um rd. 7% geringeres Trägheitsmoment als der Vollkreisquerschnitt hat. In bezug auf die waagerechte Schwerachse $s-s$ ist also $J = 359000 - 25000 = 334000 \text{ cm}^4$. Die waagerechte Schwerachse hat von der oberen Randfaser eine Entfernung $e_o = 23,6 \text{ cm}$ und von der unteren Randfaser eine Entfernung $e_u = 25,4 \text{ cm}$. In runden Zahlen ausgedrückt, sind die Widerstandsmomente des Querschnitts:

¹⁾ Der Holm wiegt bei rd. 13,0 m Länge $13,0 \cdot 0,24 = 3,12 \text{ t} = 3120 \text{ kg}$.

²⁾ Die Gesamtbelastung $Q = 16,0$ t entspricht auch der Höchstbelastung eines Tragpfahls (sublica); (vgl. oben S. 147).

$$W_o = \frac{J}{e_o} = \frac{334000}{23,6} = 14100 \text{ cm}^3 \text{ und } W_u = \frac{J}{e_u} = \frac{334000}{25,4} = 13100 \text{ cm}^3.$$

Es ergeben sich daher durch die obige Belastung folgende Biegespannungen:

$$\sigma_o = \frac{\max M}{W} = \frac{480000}{14100} = 34 \text{ kg/cm}^2 \text{ und } \sigma_u = \frac{\max M}{W} = \frac{480000}{13100} = 37 \text{ kg/cm}^2.$$

Bei so niedrigen Beanspruchungen — σ_{zul} ist zu 130 kg/cm² angenommen — ist der Holm auch dann noch in der Lage, die Fahrbahn einschließlich der Verkehrslast zu tragen, wenn einer der Tragpfähle unter dem Holm aus seiner Flucht herausgedrängt wird und so als Stützpfehl ausscheidet.

3. Statistischer Nachweis der Notwendigkeit der lotrechten Tragpfähle an Hand des eigenen Entwurfs.

Denkt man sich bei unserm Pfahljoch (vgl. Abb. 5) die drei mittleren Tragpfähle (*sublicae*) entfernt und den Holm nur von den beiden äußeren Tragpfählen unterstützt, dann erhält man ein Pfahljoch, das dem unserer Vorgänger ähnelt, bei denen die Schrägpfehlpaare (*tigna bina*) die tragenden Pfähle sind (vgl. S. 114). In diesem angenommenen Falle treten im Holme Spannungen auf, die die zulässige Beanspruchung überschreiten.

Für den rechnerischen Nachweis nehmen wir also an, daß der Holm unseres Brückenjoches nur von den beiden äußeren Tragpfählen (*sublicae*) gestützt sei. Die Stützweite ist $l = 32' = 9,50 \text{ m}$. In Abb. 17 sind die Belastungen, die zu gleicher Zeit auftreten können, einzeln dargestellt, weil für jeden einzelnen Fall verschiedene lange Belastungsstrecken in Frage kommen.

Die Fahrbahn belastet den Holm auf 28' (8,3 m) gleichmäßig (vgl. Abb. 17, 1). Die Fahrbahn wiegt 0,35 t/m² (vgl. S. 174). Bei einem Jochabstand von 27' (8,0 m) belastet die Fahrbahn den Holm mit $g = 8,0 \cdot 0,35 = 2,8 \text{ t/m}$. Die Gesamtbelastung des Holms durch die Fahrbahn beträgt dann $8,3 \cdot 2,8 = 23,24 \text{ t}$. Wegen der sym-

metrischen Lastanordnung wird dann $A_1 = B_1 = \frac{23,24}{2} = 11,62 \text{ t}$. Das Moment in Holmmitte beträgt: $M_1 = 11,62 \cdot 4,75 - 11,62 \cdot \frac{4,15}{2} = 31,03 \text{ tm}$.

Die Verkehrslast bedeckt die Fahrbahn nur in einer Breite von 25' (7,4 m) und beträgt 0,30 t/m² (vgl. S. 174). Bei einem Jochabstand von 27' (8,0 m) ist daher die Belastung des Holms durch den Verkehr $p = 8,0 \cdot 0,30 = 2,4 \text{ t/m}$ (vgl. Abb. 17, 2). Die Gesamtbelastung des Holms durch die marschierende Truppe ist also $7,4 \cdot 2,4 = 17,76 \text{ t}$.

Wegen der symmetrischen Lastanordnung wird $A_2 = B_2 = \frac{17,76}{2} = 8,88 \text{ t}$. Das Moment in Holmmitte beträgt: $M_2 = 8,88 \cdot \frac{9,5}{2} - 8,88 \cdot \frac{3,7}{2} = 25,75 \text{ tm}$.

Das Eigengewicht des 2' starken Holms beträgt 0,24 t/m (vgl. S. 176). Der 9,5 m lange Holm wiegt $G = 9,5 \cdot 0,24 = \text{rd. } 2,3 \text{ t}$. Somit ist $A_3 = B_3 = \frac{G}{2} = 1,15 \text{ t}$.

Das Moment in Holmmitte (vgl. Abb. 17, 3): $M_3 = \frac{G \cdot l}{8} = \frac{2,3 \cdot 9,5}{8} = 2,73 \text{ tm}$.

Aus Fahrbahn, Verkehr und Eigengewicht ergibt sich der Größtwert des Moments: $M_{\max} = M_1 + M_2 + M_3 = 31,08 + 25,75 + 2,73 = 59,56 \text{ tm} = 5\,956\,000 \text{ kgcm}$.

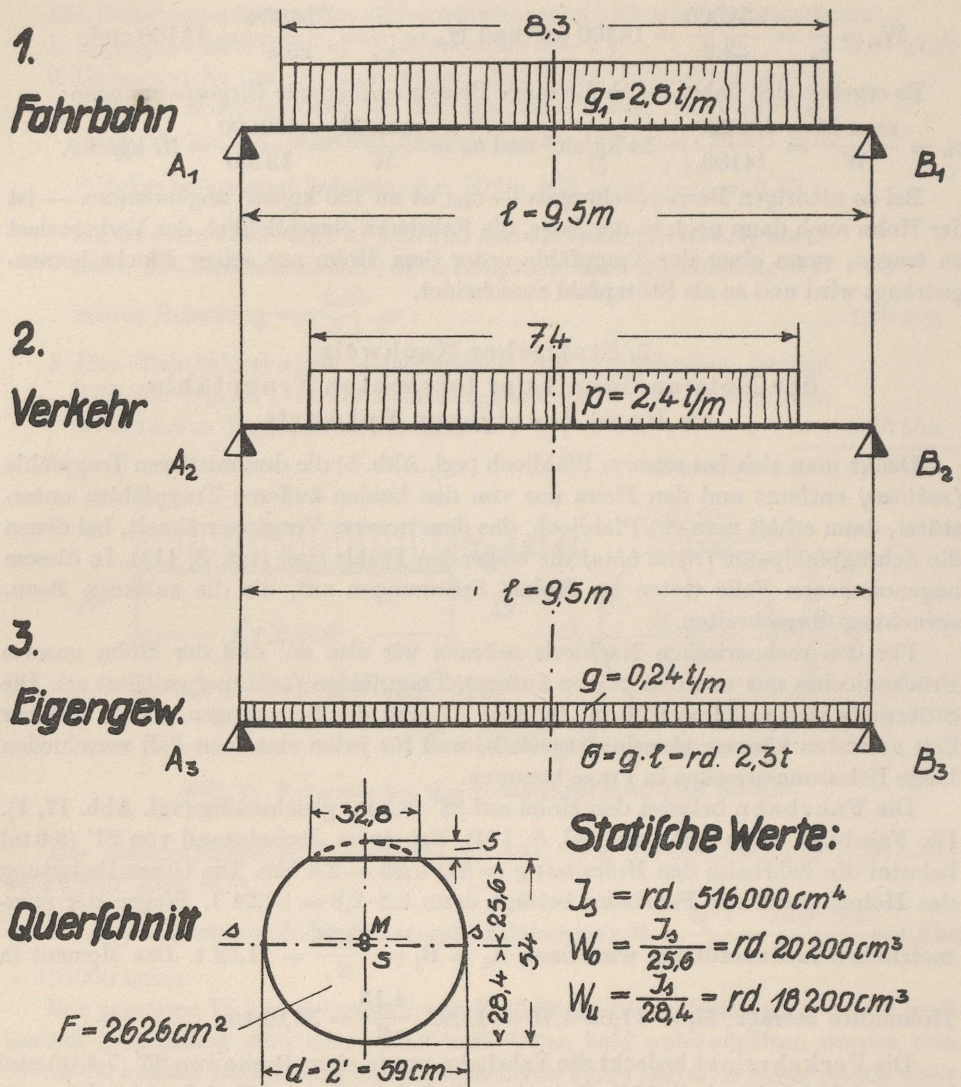


Abb. 17. Belastung des Holms bei 9,5 m Stützweite.

Der oben um 5 cm abgeflachte Holm hat die neben dem Holmquerschnitt in Abb. 17 angegebenen statischen Werte. Es ergeben sich somit folgende Biegespannungen:

$$\sigma_o = \frac{\max M}{W_o} = \frac{5956000}{20200} = 290 \text{ kg/cm}^2$$

und

$$\sigma_u = \frac{\max M}{W_u} = \frac{5956000}{18200} = 333 \text{ kg/cm}^2.$$

An einem hölzernen Brückenjoch ist der Holm nur dann biegesicher und tragfähig, wenn die Biegespannungen das zulässige Maß von 130 kg/cm² nicht überschreiten.

Zählt man die aus vorstehender Berechnung sich ergebenden Auflagerdrücke des Holms zusammen, dann ist der Gesamtauflagerdruck $A = A_1 + A_2 + A_3 = 11,62 + 8,88 + 1,15 = 21,65 \text{ t}$.

4. Statistischer Nachweis der Notwendigkeit der lotrechten Tragpfähle an Hand des Entwurfs Zimmerhaeckel.

Zimmerhaeckels Belastungsannahmen. Um für den Entwurf Zimmerhaeckel die Notwendigkeit der lotrechten Tragpfähle (*sublicae*) unter dem Holm nachzuweisen, müssen zunächst die Belastungsannahmen Zimmerhaeckels nachgeprüft werden.

Zimmerhaeckel hat bei der baulichen Durchbildung der Brückenfahrbahn folgende Maße angegeben: Die Brückenbalken (*directa materia*) haben einen mittleren Durchmesser von $1\frac{1}{2}'$; sie liegen in Abständen von 1,10 m. Quer zu dieser Balkenlage liegen die Knüppel (*longurii*) in Abständen von 0,25 m und mit 0,10 m mittlerem Durchmesser. Auf den Knüppeln liegt das Strauchwerk (*crates*) mit den Brückenbalken gleichlaufend. Eine Abdeckung des Strauchwerks mit Kiessand fehlt.

Wir sind der Ansicht, daß die Knüppel dicht an dicht liegen müssen und daß das Strauchwerk gleichlaufend mit den Knüppeln zu verlegen ist, um Unebenheiten auszugleichen und Fugen zu decken. Außerdem verlangt der Verkehr eine Erdabdeckung. Durch die dichte Anordnung der Knüppel und durch die Bedeckung des Strauchwerks mit Kiessand wird das Eigengewicht der Fahrbahn wesentlich höher; dafür hat aber Zimmerhaeckel eine viel zu hohe Verkehrslast eingeführt, so daß sich ein Ausgleich ergibt, der, wie nachstehende Übersicht zeigt, fast zu dem gleichen Gewicht für 1 m² der Fahrbahn einschließlich Verkehrslast bei Zimmerhaeckel wie bei unseren berichtigten Belastungen führt.

Eigengewicht und Belastung für 1 m² der Fahrbahn:

A. bei Zimmerhaeckel	B. bei dem berichtigten Entwurf Zimmerhaeckel
Knüppel 4 Stück/m, 10 cm Dm. 0,028 t/m	10 Stück/m, 10 cm Dm. 0,071 t/m
Strauchwerk 0,020 t/m	Strauchwerk 0,020 t/m
	Kiessandabdeckung 0,064 t/m
zus. 0,048 t/m	zus. 0,155 t/m
Verkehrslast 0,420 t/m	Verkehrslast 0,300 t/m
zus. 0,468 t/m	zus. 0,455 t/m

Der folgenden statischen Berechnung soll als Gewicht von Fahrbahn und Verkehrslast für 1 m² Grundrißfläche $0,460 \text{ t/m}^2 = 460 \text{ kg/m}^2$ zugrunde gelegt werden; bei der Ermittlung der Eigengewichte der Rundhölzer wird als Raumeinheitsgewicht $900 \text{ kg/m}^3 = 0,9 \text{ t/m}^3$ eingesetzt (Zimmerhaeckel: 800 kg/m^3).

Festigkeitsprüfung des Brückenbalkens bei Zimmerhaeckel.

Stützweite l	12,0	m
Belastungsbreite b	1,1	m
Querschnitt (Rundholz von 0,45 m Dm.): F	1590	cm ²
W	8943	cm ³
Eigengewicht des Balkens $g = F \cdot 0,9 = 0,1590 \cdot 0,9 =$	0,143	t/m
$G = g \cdot l = 0,143 \cdot 12,0 =$	1,72	t
Fahrbahn + Verkehrslast $q = b \cdot 0,460 = 1,1 \cdot 0,460 =$	0,506	t/m
$Q = q \cdot l = 0,506 \cdot 12,0 =$	6,07	t

$$\max M = \frac{G \cdot l}{8} + \frac{Q \cdot l}{8} = \frac{l \cdot (G + Q)}{8} = \frac{12,0 \cdot (1,72 + 6,07)}{8} = 11,7 \text{ tm};$$

$$\text{oder } \max M = 1170000 \text{ kgcm, also } \sigma = \frac{1170000}{8943} = 130 \text{ kg/cm}^2.$$

Die Beanspruchung hat gerade das zulässige Maß erreicht; der Brückenbalken genügt den Anforderungen.

Festigkeitsprüfung des Holms bei Zimmerhaeckel. Für den Holm (*trabs*) ist als Querschnitt der mit einer Lagerfläche versehene Walzenquerschnitt anzunehmen. Zimmerhaeckel dagegen führt in seiner statischen Berechnung der Caesarbrücke einen Querschnitt ein, der an den Seiten stark behauen ist und dessen statische Höhe auf mindestens 0,70 m geschätzt werden muß. Der S. 14 seiner statischen Berechnung wiedergegebene Holmquerschnitt kann nur aus einem Rundholz von mehr als 0,80 m Dm. gewonnen werden. Damit setzt sich Zimmerhaeckel in Gegensatz zu der vorwiegenden Auffassung, wonach auf Grund des Caesartextes für den Holm ein Stamm von 2' Dm. anzunehmen ist.

Stützweite = 9,0 m.

Belastungsbreite (Feldlänge) = 12,0 m.

Querschnitt: der mit einer Lagerfläche versehene Walzenquerschnitt; er hat einen mittleren Durchmesser $d = 0,59 \text{ m}$ (2').

Die Berechnung ergibt folgende statische Werte:

$$F = 2734 \text{ cm}^2 = 0,27 \text{ m}^2; W_o = 20200 \text{ cm}^3; W_u = 18200 \text{ cm}^3 \text{ (vgl. S. 178).}$$

Eigengewicht des Holms: $g = 0,27 \cdot 0,9 = 0,243 \text{ t/m}$

$$G = 9,0 \cdot 0,243 = 2,2 \text{ t (vgl. Abb. 18).}$$

Das Gewicht der Fahrbahn eines Brückenfeldes einschließlich der Verkehrslast ist: $12,0 \cdot 5,5 \cdot 0,460 = \dots \dots \dots 30,36 \text{ t}$

$$\text{Das Gewicht der 6 Brückenbalken (je 13 m lang): } 6 \cdot 13,0 \cdot 0,143 = \dots \dots 11,15 \text{ t}$$

$$\text{Gesamtgewicht: } Q = 41,51 \text{ t}$$

Die Fahrbahn belastet den Holm als Streckenlast auf 5,5 m Breite. Somit ist:

$$q = \frac{Q}{5,5} = \frac{41,51}{5,5} = \text{rd. } 7,5 \text{ t/m.}$$

$$G + Q = 2,20 + 41,51 = 43,71 \text{ t.}$$

$$A = B = 21,85 \text{ t.}$$

Nach Abb. 18 ist das größte Moment (in Holmmitte):

$$\begin{aligned} \max M &= 21,85 \cdot 4,5 - \frac{2,2 \cdot 2,25}{2} - \frac{41,51}{2} \cdot 1,375 \\ &= 98,3 - 2,47 - 28,54 \\ &= \text{rd. } 67,3 \text{ tm} = 6730000 \text{ kgcm.} \end{aligned}$$

Somit ergeben sich in Holmmitte Biegespannungen von

$$\sigma_o = \frac{6730000}{20200} = 333 \text{ kg/cm}^2 \text{ und } \sigma_u = \frac{6730000}{18200} = 370 \text{ kg/cm}^2.$$

Die zulässige Beanspruchung ($\sigma_{zul} = 130 \text{ kg/cm}^2$) ist überschritten. Selbst wenn das von Zimmerhaeckel angegebene Widerstandsmoment des quadratischen Balkens eingesetzt wird ($W = 36000 \text{ cm}^3$), ergibt sich immer noch eine Beanspruchung von

$$\sigma = \frac{6840600}{36000} = 190 \text{ kg/cm}^2.$$

Auch jetzt ist die zulässige Beanspruchung noch um etwa 50% überschritten. Zimmerhaeckel begeht den Fehler, die Gesamtlast der Fahrbahn ($Q = 41,51 \text{ t}$) auf die ganze Stützweite (9,0 m) gleichmäßig zu verteilen, so daß die Belastung des Holms

auf 1 m Länge nur 4,6 t/m beträgt. Da aber an den Auflagern A und B Strecken von 1,75 m Länge von der schweren Fahrbahn nicht belastet sind, muß Zimmerhaeckels Lastverteilung als den tatsächlichen Belastungen nicht entsprechend bezeichnet und wie vorstehend berichtigt werden.

Kritik der Verbindung zwischen Holm und Schrägpfahlpaar bei Zimmerhaeckel und anderen. Der Festigkeitsnachweis der Caesarbrücke nach Zimmerhaeckel hat ergeben, daß der Brückenbalken den zu stellenden Anforderungen gerade genügen würde (vgl. S. 180 oben), und daß für den Holm die zulässige Biegebeanspruchung bedeutend überschritten ist (vgl. S. 180 unten). Damit ist die Unmöglichkeit des Zimmerhaeckelschen sowie aller anderen ähnlichen Entwürfe erwiesen.

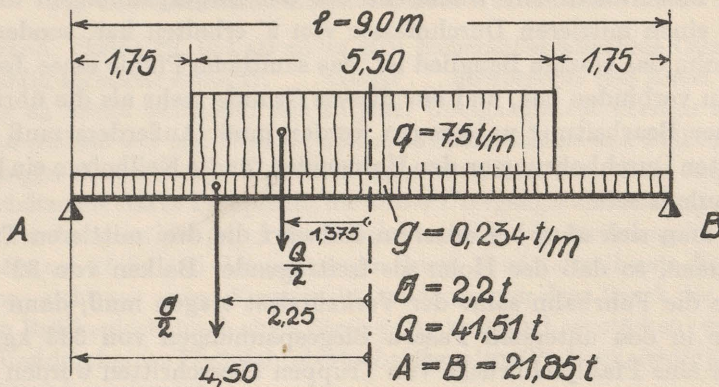


Abb. 18. Belastung des Holms nach Zimmerhaeckel.

Aber es kommt noch schlimmer. Unsere bisherigen Berechnungen beruhen auf der Annahme, daß der ohne Unterstützung durch Lotpfähle (*sublicae*) zwischen den Schrägpfahlpaaren (*tigna bina*) frei gelagerte Holm mit den Schrägpfahlpaaren durch eine tragfähige feste Verbindung verbunden ist. Diese Verbindung besteht bei Zimmerhaeckel und anderen in einem Querriegel, den sie *fibula* nennen und der durch irgendein Befestigungsmittel an den Schrägpfahlpaaren befestigt ist.

Wir haben S. 178 unten berechnet, daß eine Last von mehr als 20 t, d. h. 20000 kg oder etwa so viel, wie man den offenen Güterwagen der Deutschen Reichsbahn an Ladegewicht zumuten darf, an jedem Holmende auf das Schrägpfahlpaar zu übertragen ist. Wir dürfen es uns wohl ersparen, eingehende Berechnungen mitzuteilen, um nachzuweisen, daß die zur Lastübertragung zwischengeschalteten hölzernen Querriegel (Rundhölzer von $\frac{3}{4}'$ Dm. oder Kanthölzer von $\frac{3}{4}'$ □) nicht in der Lage sind, solche Lasten zu tragen. Es werden die zulässigen Beanspruchungen auf Biegung, auf Druck rechtwinklig zur Faserichtung und auf Abscheren in der Faserichtung ganz bedeutend überschritten. Namentlich die Biegespannung liegt im Bereich jener Spannungen, die erfahrungsgemäß beim Bruch auftreten. Aber auch die übrigen Beanspruchungen liegen bedenklich hoch, da man für die schwerbelasteten Querriegel mit grünem, saftreichem Holze rechnen muß. Auch wenn man die Auflasten etwas verkleinern wollte (durch Annahme einer schmälere Fahrbahn oder eines kleineren Jochabstandes), würde die Tragfähigkeit des Querriegels und seine Verbindung mit dem Schrägpfahlpaar immer noch unzureichend bleiben.

5. Schlußfolgerungen.

Die statische Berechnung für unsern eigenen Entwurf (S. 175 ff.) unter den S. 174 gemachten Belastungsannahmen zeigt, daß die Spannungen der untersuchten Bauglieder unter der im Holzbrückenbau üblichen Höchstgrenze bleiben.

Die Biegespannungen der Brückenbalken unseres Entwurfs sind zu $\sigma_0 = 73 \text{ kg/cm}^2$ und $\sigma_u = 81 \text{ kg/cm}^2$ ermittelt. Beim Entwurf Zimmerhaeckel dagegen (vgl. S. 180) sind die Brückenbalken gerade bis an die zulässige Biegespannung von 130 kg/cm^2 beansprucht. Beim Jochholm unseres eigenen Entwurfs, der von 5 Tragpfählen unterstützt ist, ergeben sich sehr geringe Spannungen, die zwischen 30 und 40 kg/cm^2 liegen. Das begründen wir damit, daß der Holm nicht allein mit Rücksicht auf die Biegespannungen infolge der Belastung einen mittleren Durchmesser von $2'$ erhalten hat, sondern damit, daß der Holm das einzige Bauglied ist, das sämtliche Pfähle eines Joches miteinander zu verbinden hat, und aus diesem Grunde mehr als die übrigen Bauglieder einer Bearbeitung unterzogen werden muß. Außerdem muß er wegen der doppelten Durchbohrung an den Holmenden für die Keilbolzen ein besonders starkes Bauholz sein.

Denkt man sich aber bei unserem Entwurf die drei mittleren Tragpfähle weggenommen, so daß der Holm als freitragender Balken von $32'$ ($9,50 \text{ m}$) Stützweite die Fahrbahn samt der Verkehrslast tragen muß, dann treten in Holmmitte in den untersten Fasern Biegespannungen von 333 kg/cm^2 auf. Wenn aber eine Pfahljochbrücke von Truppen überschritten werden soll, darf die Beanspruchung der tragenden Bauteile die angenommene zulässige Spannung von 130 kg/cm^2 nicht überschreiten. Beim Entwurf Zimmerhaeckel, der dem Holm eine Stützweite von $9,00 \text{ m}$ gegeben hat, haben wir in Holmmitte Biegespannungen von $\sigma_0 = 333 \text{ kg/cm}^2$ und $\sigma_u = 370 \text{ kg/cm}^2$ nachgewiesen. Die Bruchfestigkeit des luftgetrockneten Kiefernholzes liegt allerdings erst bei 470 kg/cm^2 . Aber da frischgefälltes, saftreiches Holz, wie es für die Rheinbrücken Caesars allein in Frage kommen konnte, eine wesentlich geringere Bruchfestigkeit hat, muß der Holm unter den Belastungsannahmen, wie sie Zimmerhaeckel zugrunde gelegt hat, zusammenbrechen. Ebenso müssen alle Brückenjochfrüherer Entwürfe, die dem Joch Zimmerhaeckel ähnlich sind, dabei in Fahrbahnbreite und Jochabstand ungefähr mit Zimmerhaeckel übereinstimmen, zusammenbrechen, weil der $2'$ starke Holm das Gewicht der Fahrbahn einschließlich der Verkehrslast nicht zu tragen vermag. Diese Entwürfe sind also sämtlich verfehlt.

Es gäbe nur zwei Möglichkeiten, die für den Holm des Entwurfs Zimmerhaeckel (und damit gleichzeitig für alle verwandten Entwürfe) rechnerisch nachgewiesenen Biegebeanspruchungen wirksam herabzusetzen: 1. die Vergrößerung des Holmquerschnitts, 2. die Verkleinerung der Stützweite. Die erste Möglichkeit scheidet aus, weil der Holmquerschnitt durch Caesars ausdrückliche Maßangabe festliegt. Denn der Holmquerschnitt ist eines der vier Maße, die uns Caesar mitgeteilt hat. Folglich kann nur eine ganz bedeutende Verminderung der Stützweite des Holms dazu führen, die Beanspruchungen

auf das zulässige Maß herabzudrücken. Daher hat Erwin Schramm zu dem verzweifelten Auskunftsmittel gegriffen, ein anderes der vier von Caesar gegebenen Maße zu ändern, nämlich die 40' (XL) in 15' (XV) zu verwandeln. Da auch diese Möglichkeit ausscheiden muß, so bleibt nichts anderes übrig, als eine Reihe von Stützpfehlen (*sublicae*) zu rammen, die den Holm tragen.

Unsere statischen Berechnungen ergeben also dasselbe wie unsere Untersuchungen S. 108 ff: Das Joch von Caesars Rheinbrücke war ein Pfahljoch, d. h. ein Joch, das von einer Reihe von lotrechten Tragpfehlen (Jochpfehlen, *sublicae*) unterstützt war, oder, wie wir es oben ausgedrückt haben, Caesars Rheinbrücke war ein *pons sublicius*.

IV. Geschichtlicher Überblick über frühere Entwürfe.

Plutarch, Caesar 22, hat als erster eine Sicherheitsmaßnahme Caesars an den Jochen richtig als solche erkannt: '... Caesar ... überbrückte den Rhein wiederholt, obgleich er an Breite bedeutend und an jener Übergangsstelle überaus wasserreich, bewegt und reißend war und abwärts treibende Baumstämme und Balken Stöße und Schwankungen an den Jochpfehlen der Brücke bewirkten. Aber diese Angriffe nahm er durch schützende starke Prellpfehle, die an der Übergangsstelle entlang eingerammt waren, auf und zügelte die gegen die Brücke andringende Strömung.'¹⁾ Wichtig ist der Hinweis auf Stöße und Schwankungen durch abwärts treibende Baumstämme und Balken: nicht aus weiser Voraussicht, sondern unter dem Druck der Not mußte Caesar sein Brückenjoch durch einen Strebepfahl unterhalb verstärken (was Plutarch übergeht) und durch einen Prellpfahl oberhalb sichern (was Plutarch richtig hervorhebt).

Das Mittelalter schweigt.

In der Neuzeit beginnt die wissenschaftliche Beschäftigung mit Caesars Rheinbrücke bei Leone Battista Alberti, der die Caesarbrücke als Muster einer Holzbrücke auch für seine Zeit hinstellt. Die *tigna* sind nach ihm nicht *dimensa*, sondern *dimersa ad altitudinem fluminis*. Wenn er damit meint, sie seien in die Tiefe des Flusses hinabgesenkt worden (*dimersa* = *demersa*), so vermeidet er den Fehler Späterer, die die *tigna* erst miteinander verbinden und dann einrammen lassen; Alberti läßt Caesar die *tigna* in die Tiefe des Flusses senken und dann erst in einem Abstände von 2' miteinander verbinden. Im übrigen beschränkt sich seine Bearbeitung in der Hauptsache auf willkürliche Veränderungen des Caesartextes.

Der zweite und, was die Bedeutung der *tigna* anbelangt, bis heute maßgebend gebliebene Bearbeiter ist Fra Giovanni Giocondo aus Verona. Seine Abhandlung mit der zugehörigen Zeichnung (Alberti gibt keine) haben wir erstmalig in der Aldina des Jahres 1513 gefunden, und sie ist in den folgenden älteren Caesarausgaben immer wieder nachgedruckt worden, wobei sich die Zeichnung auf dem Kupferstich manche Verzerrung gefallen lassen mußte. Giocondo begeht den Fehler, seine Brücke lediglich auf die *tigna* aufzubauen, ohne Jochpfehle (*sublicae*) zu rammen. Er ist auch der erste (und einzige), der in den *binae fibulae* zwei Kopfbänder (Streben) zu beiden Seiten der *tigna*-Paare sieht, deren Fußpunkte unmittelbar über der Wasserspiegellinie liegen. Die Köpfe der inneren *fibulae* stützen den Holm so, daß seine Stützweite vorteilhaft

¹⁾ ... ὁ Καῖσαρ ... τὸν Ῥῆνον ἐγεφύρου, πλάτος τε πολὺν ὄντα καὶ κατ' ἐκεῖνο τοῦ πόρου πλημμυροῦντα καὶ τραχὺν καὶ βοώδη καὶ τοῖς καταφερομένοις στελέχεσι καὶ ξύλοις πηλῆγας καὶ σπαραγμοὺς ἐνδιδόντα κατὰ τῶν ἐρειδόντων τὴν γέφυραν. ἀλλὰ ταῦτα προβόλοις ξύλων μεγάλων διὰ τοῦ πόρου καταπεπηγότων ἀναδεχόμενος καὶ χαλινώσας τὸ προσπίπτον ῥεύμα τῷ ζεύγματι ...

verkleinert wird (ein Vorteil, der den Nachfolgern entgeht). Die nachträglich von Caesar hinzugefügten *sublicae* (Strebe- und Prellpfahl) bringt er unter der Brücke in schräger Lage so an, daß sich ihr Kopf gegen den Fußpunkt je einer inneren *fibula* stützt. Sämtliche Hölzer sind scharfkantig bearbeitet. Eine über der Brücke gezeichnete Vierrännerramme gibt an, wie er sich das Rammen vorgestellt hat.

Scamozzi hat Giocondos unmöglichen Entwurf in einen praktisch möglichen verwandelt, den Rondelet wiederholt; aber dieser spielerisch abgeänderte Entwurf ist mit Caesars Beschreibung nicht in Einklang zu bringen.

Einen Irrtum Giocondos berichtigt sein Schüler Guillaume Budé in seinen Anmerkungen zu den Pandekten¹). Die *tigna* seien nicht mit der Handramme, sondern mit der Zugramme gerammt. Er irrt allerdings seinerseits darin, daß er *festuca* als Bezeichnung der ganzen Zugramme auffaßt, während das Wort nur einen Teil davon, den Rammklotz, bezeichnet.

Girolamo Cardani stellt in seiner Zeichnung die nachträglich gerammten *sublicae* nicht wie Giocondo unter, sondern richtig vor und hinter das Joch. Seine *sublicae* stromab (Strebepfähle) lehnen sich schräg gegen die *tigna*, die anderen stromauf (Prellpfähle) stehen frei vor der Brücke als Abweiser, ebenfalls schräg, den hinteren parallel, also der Strömung ebenfalls entgegengeneigt.

Die italienische Caesarübersetzung von Baldelli bringt eine Weiterbildung des Brückenentwurfs von Giocondo. Baldelli sagt darüber, daß auf Verlangen seines Verlegers Gabriel Giolito der ausgezeichnete Meister in Sachen der Architektur Giovanni Antonio Rusconi mit eigener Hand eine Zeichnung gefertigt habe, sehr unähnlich den anderen verkehrt gemachten und ganz entsprechend den Worten Caesars. Wie bei Giocondo ruht auch bei Rusconi der Holm nur auf den beiden Schrägpfahlpaaren. Die *fibulae* sind Bolzen, die vor und hinter jedem Schrägpfahlpaar durch den Holm gesteckt sind. Anstatt der Strebe- und Prellpfähle hat er vor jedem Schrägpfahlpaar im Wasser einen V-förmigen Schutzzaun aus gerammten kleineren Pfählen. Holme, Schrägpfähle und Brückenbalken sind scharfkantig behauen; die Pfähle der Schutzzäune sind Rundhölzer.

Die dem Cardanischen Entwurf anhaftenden Mängel rügt ein anderer Schüler Giocondos, Julius Caesar Scaliger. Cardani läßt die *tigna* mit der Oberfläche des Wassers abschneiden. Das weist Scaliger als unmöglich nach, weil dann auch die Fahrbahn in der Höhe des Wasserspiegels liegt; und ferner hält ihm Scaliger vor, daß er die *fibulae* überhaupt nicht beachtet habe. Scaliger vertritt nach Rusconi die Ansicht, daß die *fibulae* Bolzen seien, die vor und hinter den *tigna* im Holme steckten.

Der Mathematiker Jean Borrel macht die *fibulae* zu einem rechteckigen Holzrahmen, durch den die Köpfe der *tigna*-Paare und des Holms hindurchgesteckt sind. Dadurch findet der Holm auf dem äußeren unteren Rahmenstück der *fibula* sein Auflager. Sehr seltsam sind bei ihm die *oblique* eingerammten *sublicae*: es sind nach dem Vorbild Rusconis kurze Rammpfähle, die als geschlossener dreieckiger Zaun mit der Dreieckspitze gegen die Strömung die beiden *tigna*-Paare jedes Joches umfassen. Auch die *festucae* finden bei ihm eine höchst merkwürdige Erklärung: es sind Rammpfähle am Fuße der *tigna*, die den Zweck haben, den Boden des Flußbettes tragfähiger zu machen, eine Ansicht, zu der ihn die mißverständene Anweisung des Vitruv. III 4, 2 verführt hat. Borrels Lösungsversuch hat sich Blaise de Vigenère zu eigen gemacht mit einem kleinen Mißverständnis, ohne auch nur mit einem Worte seine Quelle anzugeben. Ferner bringt er in einem ganzseitigen Kupferstich Palladios Lösungsversuch, auch hier wieder, ohne den Verfasser des Entwurfs zu nennen.

¹) Gesamtausgabe (1557) 208.

Adrien Turnèbe bemerkt, ungefähr dieselbe Ansicht über die Caesarbrücke, wie er sie selbst habe, habe der Bischof von Montpellier Guillaume Pellissier (Bischof seit 1527, gestorben 1568) geäußert. Die *tigna* stellt Turnèbe so, wie es seit Giocondo üblich war, aber er hat als erster in so früher Zeit das richtige Gefühl gehabt, daß ein 2' starker Holm bei 40' Stützweite die Brückenlast nicht frei tragen kann. Daher gibt er dem Plural *trabibus immissis* an einer Stelle, wo, wie er sagt, Caesar nur von einem einzigen Joch spricht, eine eigenartige Auslegung. Er meint, Caesar habe den 2' breiten Zwischenraum zwischen den *tigna* durch waagrecht übereinander liegende 2' starke *trabes* ausgefüllt, so daß sie von der Flußsohle bis weit über den Wasserspiegel hinausreichten. Diese Balkenwand eines jeden Joches ist seiner Ansicht nach der tragende Teil, auf dem die Brückenbalken ihr Auflager haben. Die *fibulae* erklärt er als starke Nägel, und er denkt sich damit jedes *tignum* an die oberste *trabs* angenagelt. Die *sublicae* hinter der Brücke bildet er zu einem Wehr aus senkrecht gerammten Pfählen aus, das aus zwei Flügeln in Gestalt eines V bestanden haben soll. Diese beiden Flügel gingen von den Landwiderlagern der Brücke schräg (*oblique*) gegen die Flußmitte vor und vereinigten sich dort in einer Spitze. Sie entsprachen so der V-förmigen Grundrißanordnung der Wehre, die er in der Seine gesehen hatte. Dieses Pfahlwehr durch den ganzen Fluß sollte den Zweck haben, das Flußwasser nicht frei strömen zu lassen. Wenn es in seinem Laufe gehemmt wurde und sich staute, wurde seine Gewalt gebrochen, und die Brücke hatte weniger unter der Strömung zu leiden. Turnèbe vergrößert also Rusconis und Borrels Pfahldreiecke ins Ungeheure und läßt wie Rusconi die dritte Seite des Zaunes offen. Wenn dieses Wehr *pro ariete* genannt werde, so heiße das soviel wie Bollwerk (*propugnaculum*) und Befestigung (*munimentum*), was er ganz verkehrt mit Cicero, top. 64, begründet. Von den *sublicae* oberhalb der Brücke sagt er nur, sie hätten einen mäßigen Abstand davon gehabt und seien nicht mit ihr verbunden gewesen.

Girolamo Maggi ergänzt Scaligers Kritik an Cardani dahin, daß er berechnet, wie lang die *tigna* gewesen sein müßten; er berücksichtigt dabei richtig Rammtiefe, Wassertiefe und Wasserspiegelhebung durch Steigen des Flusses. Er ist der erste, der die *tigna* wie Leiterbäume durch Sprossen verbunden hat. Die *fibulae* sind ihm somit gleichbedeutend mit *transversaria* (Sprossen, Querriegel). Hierbei ist Borrel sein Vorbild. Diese Querriegel Maggis waren sehr langlebig. Um ihretwillen hat er auch als erster die *machinationes* zu Hebemaschinen gemacht, mit denen die riesigen Leitern in das Flußbett gehoben wurden. Und auch diese Kräne haben sich lange behauptet: noch Zimmerhaeckel hat sie in umgewandelter Gestalt, wenn er die *machinationes* zu gekuppelten Fahrzeugen umdeutet, die zum Versenken seines (als fertiger Bock an Land zusammengezimmerten) Joches erforderlich waren, das Maggis riesige Leitern an Größe noch überbot. Die *festucae* versteht Maggi wieder als Rammen, aber, und das ist das Neue bei ihm, richtig als Rammklötze bei Zugrammen (ital. *mazzacastelli*, wie er bemerkt). Hierbei gebraucht er in seiner lateinischen Darlegung richtig für Rammgerüst *machina*, ohne zu merken, daß seine *machinae* mit den *machinationes* Caesars sachlich zusammenfallen. Er wendet sich dann gegen Ansichten, die für uns Turnèbe vertritt. Da aber Turnèbes Werke erst später herausgekommen sind, so wird er wohl gegen Pellissier schreiben. Er erklärt also den Plural *trabibus immissis* richtig so, daß der Plural stehe, weil es viele Jochे gewesen seien. Aber weiter behauptet er, ein 40' langer Balken sei der Last gewachsen gewesen, was kein Mechaniker oder Architekt leugnen werden! Die *fibulae* verwendet er zweimal. Sie sind bei ihm erstens Sprossen (Querriegel) und zweitens Holznägel, die durch *tigna* und *trabs* hindurchgetrieben seien, nachdem man vorgebohrt habe. Mit der letzten Ansicht ist er unserer

Auffassung sehr nahe gekommen; ausgegangen ist er dabei von Scaliger. Er sagt, Scaligers *fibulae* seien von dem Mechaniker Andreas Brugonius erdacht worden, über den wir weiter nichts ermittelt haben. Sehr wichtig ist noch Maggis Bemerkung zu den *sublicae* stromab. Er nimmt für jedes Joch zwei an und stellt sie schräg, sich nach oben nähernd, gegen die *tigna*, so daß sie nicht nur die Strömung auffingen, sondern auch bewirkten, daß die *tigna* nicht seitlich, d. h. quer zur Strömungsrichtung, schwanken konnten. *pro ariete* erklärt er so: sie hätten gestanden wie Widder, die stoßen wollen und ihre ganze Kraft in die Hörner verlegen. Die *sublicae* oberhalb der Brücke seien nicht damit verbunden gewesen. Eine Zeichnung gebe er nicht, da sie nur für Dummköpfe nötig sei.

Andrea Palladio gibt den *fibulae* die sozusagen klassische Form. Entstanden sind auch sie aus dem Holzrahmen des Borrel, indem Palladio die schräg aufwärts gehenden Seitenhölzer des Rahmens fortließ und nur die zwei waagerecht gelagerten Querhölzer beibehielt, von denen das untere in dem Außenwinkel zwischen *trabs* und *tigna*, das obere in dem Innenwinkel zwischen denselben Baugliedern des Joches aufgekämmt waren. Nach dem Vorbilde von Cardani stellt er je eine *sublica* stromab unten gegen die *trabs*; stromauf dagegen behält er den Zaun des Rusconi bei.

François Hotman kennt Giocondo, Budé, Cardani, Borrel und Turnèbe. Maggi und Palladio nennt er nicht. Er sagt, Caesar beschreibe nur ein Brückenjoch, deren es mehr als 20 gewesen seien. Die *tigna bina* läßt er mit einer Zugramme gerammt sein. Als ob er das 19. Jahrhundert vorausgeahnt hätte, wo man die ungeheuren Pfähle mit Schlegeln leicht hat eintreiben wollen, sagt er, die Leute, die annähmen, mit *festuca* sei nicht die Zugramme, sondern eine Handramme gemeint, machten sich lächerlich (*ridendi materiam suppeditant*). Wie Maggi verbindet er die *tigna bina* in einem Abstände von 2' durch Querriegel, die er *trabes transversariae bipedales* nennt. Diese Querriegel denkt er sich auf die *tigna* aufgenagelt (*fibula* = Nagel). Aber obwohl er die *trabes bipedales* schon für die Verbindung der *tigna bina* verbraucht hat, benützt er sie noch einmal als Holme. Dabei erklärt er *in contrariam partem* ganz richtig: der Holm habe gegen die *tigna* gedrückt und sei umgekehrt von ihnen gedrückt worden. Wie die *trabes bipedales*, so verwendet er auch die *fibulae* ein zweites Mal; denn wie bei Maggi sind auch bei ihm Nägel (Bolzen) durch *tigna* und *trabs* hindurchgetrieben, in einer Länge von 5' ($1\frac{1}{2} + 2 + 1\frac{1}{2} = 5'$). Die *sublicae* stromauf sind auch bei ihm ein Dreieck aus lotrecht gerammten Pfählen, umgeben aber nicht die *tigna bina*, sondern stehen davor. Er meint, wie es mit den *sublicae* stromab gewesen sei, verstehe er nicht. Aber in seiner Zeichnung erscheinen andere *sublicae* ebenfalls oberhalb der Brücke in geringem Abstände davor lotrecht in einer Reihe offenbar quer durch den Fluß mit Zwischenräumen eingerammt, durch die, nach der Erklärung zu seinem Kupferstich, Balken oder Schiffe, die von den Feinden abgelassen sind, aufgehalten werden sollen, um der Brücke nicht zu schaden. Man wird darin das Wehr des Turnèbe erblicken dürfen, nur daß es nicht V-förmig, sondern geradlinig von Ufer zu Ufer gerammt war. Bei Hotman taucht erstmalig die seltsame Meinung auf, Caesar habe den Rhein für den Brückenbau abgeleitet.

Der Spanier Juanelo Turiano bemerkt, zwar hätten viele die Rheinbrücke zu erklären versucht, aber mit wenig Erfolg, besonders bei der *fibula*, die nach einigen ein Tau sei, womit sie alles verbänden, nach anderen ein Nagel aus Eisen, nach anderen eine Verbindung aus Holz. Er selbst hält sie für einen Holzrahmen (wie Borrel).

Außer den genannten Arbeiten brachte das 16. Jahrhundert noch eine Reihe kleinerer Beiträge zur Caesarbrücke, die wir als weniger wichtig übergehen. Der Schluß des Jahrhunderts aber sah 1599 die gelehrte Abhandlung des Joest Lips,

aus der alle Folgenden geschöpft haben. Seinen Brückenentwurf hat noch J. C. Held wiederholt. Die *tigna*-Paare sind sehr stark geneigt, parallel und ohne die sprossenartige Verbindung. Die *fibulae* sind vierkantige hölzerne Stifte durch den Holm. Die *sublicae* stromab lehnen sich schräg gegen den Holmkopf, immer ein Strebepfahl bei jedem Joch. Die *sublicae* stromauf sind wie bei Hotman einzeln stehende lotrechte Rammpfähle, die sich in gerader Linie durch den Fluß ziehen. Auch er hält eine Ableitung des Rheins für möglich. Nach seiner Ansicht haben die *tigna* 4—5' aus dem Wasser hervorgeragt. Die 40' seien auf der Flußsohle zu messen, und die Brückenbreite habe 30' betragen. Er fragt richtig, ob man Erde und Rasenstücke auf die Weidenruten gelegt habe. Das erscheine ihm nicht unsinnig; es entspreche im Gegenteil der Gewohnheit der Römer (*immo pro Romano more*).

Der Jurist Stephan Broelmann bringt mancherlei Neues und Richtiges. Er zeichnet beide Brücken, die zweite nach ihrer Verkürzung mit dem abschließenden Turme. Er verwendet als erster unbehauenes Holz, das nur so weit bearbeitet ist, als es die Anschlüsse erfordern. Er, der Kölner, der es wissen mußte, zeichnet den Flußlauf voller Treibholz. Die *fibulae* sind bei ihm schwalbenschwanzartig eingelassene Riegel, die mit dem eingelegten Holmkopf eine unlösliche Verbindung bilden, auf die das *disclusis et revinctis* gut paßt. Broelmanns Gedanken scheinen im Schrifttum nur bei Carl Christian Schramm Beachtung gefunden zu haben.

Endlich bringt der vielgeiste Architekt und Ingenieur Vincenzo Scamozzi besonders in den *fibulae* etwas Neues. Es sind Tau-Bunde, die kreuzweise um die Holmköpfe, d. h. um die Köpfe von zwei *tigna* und einer *trabs*, geschlungen sind. Die *sublicae* vor der Brücke stehen schräg, mit der Strömung geneigt, und etwas vor der Brücke, ohne mit ihr verbunden zu sein. Damit hört für 200 Jahre das selbständige Entwerfen von neuen Lösungsversuchen zur Caesarbrücke auf. Selbst van Oudendorp und Thomas Bentley wiederholen schon Dagewesenes. Erst das 19. Jahrhundert bringt eine Fülle neuer Arbeiten, von denen die wichtigsten kurz genannt sein mögen.

Jean Rondelet hat als erster die *tigna* räumlich gestellt; aber in späteren Auflagen (sein Werk hat sieben erlebt) bringt er einen Entwurf seines Sohnes, der einen Rückschritt bedeutet. — Wiebeking hat aus dem Schrägpfahlpaar einen lotrechten und einen schrägen Jochpfahl gemacht und beide Pfähle hintereinander gestellt, und auch Napoleon I. meint, eine solche Anordnung würde zweckmäßig gewesen sein. — Gauthey, der andere Brückenentwürfe kennt (Palladio, Scamozzi), verwirft sie alle und hält allein Rondelets Entwurf für zutreffend, wohl nicht zum geringsten Teil aus dem Grunde, weil die räumlich gestellten *tigna*-Paare dem Joche eine große Standfestigkeit in der starken Strömung des Rheins gaben; Gauthey ist ja Fachmann für Brückenbau. Die nachträglich hinzugefügte Jochverstärkung besteht bei ihm aus zwei Strebepfählen, die, wie sich aus der von ihm gezeichneten Ansicht der Brücke schließen läßt, von den *tigna* vollständig verdeckt werden, also ebenfalls *prone ac fastigate* (im Sinne räumlicher Schrägstellung) gerammt sind. — Feldbausch stellt die vier *tigna* eines Joches hintereinander. Diesen Gedanken greifen später Maurer und Noiré auf. — Eberz erkennt als zweiter in einer gediegenen Abhandlung in *prone ac fastigate* die räumlich schräge Stellung der *tigna bina*. Er beruft sich hierbei auf Hotman, den er aus der irrtümlichen Wiedergabe der tatsächlich ganz anderen Ansicht von Hotman bei Jungermann gekannt haben muß (Rondelet kennt er nicht). — Napoleon III. zeichnet und bezeichnet die *binae fibulae* als zwei Andreaskreuze, die nach Rudolf Schneider von der Donaubrücke Napoleons I. bei Wagram (1809) übernommen sein sollen. Aber vielleicht hat der Gewährsmann Napoleons III.

bei Eberz gelesen, daß in den *fibulae* eine Diagonalversteifung zu sehen sei. — Selbständig ist noch Pohl in der Anordnung der *tigna*. — v. Cohausen bringt als erster eine statische Berechnung. — Einen neuartigen Entwurf liefert Baurat August Rheinhard, der ebenfalls mit statischen Berechnungen an seine Aufgabe herantritt. — Zimmerhaeckel bringt neben einem Entwurf auch statische Untersuchungen, die aber einer Nachprüfung nicht standhalten (vgl. S. 179 ff.). — E. Kitson Clark gibt den schräg gestellten *sublicae* eine Gestalt und Lage im Flußbett, die man sonst schon längst mit Recht aufgegeben hatte. — Den Reigen schließen Erwin Schramm und W. Sackur.

Alle hier aufgeführten Entwürfe und auch die, die wir nicht erst besonders erwähnt haben, weil sie es nicht verdienen, wiederholen die grundlegenden Irrtümer des Fra Giovanni Giocondo da Verona. Unter ihnen erfreut sich, wohl nur wegen des großen Namens seines Urhebers, einer besonderen Vorliebe der Entwurf des Palladio; noch Sackur zeichnet im wesentlichen nur eine Abwandlung davon. Und doch sind alle diese Entwürfe sachlich schon seit Jahrhunderten erledigt. Da man aber auf die Kritiker nicht hört, so ist es notwendig, als Beispiel einen alten Kritiker des Palladio zu Worte kommen zu lassen.

Henry Gautier schreibt in seinem *Traité des Ponts* (1728) 125 ff. unter anderem (von uns übersetzt): 'Ob es richtig ist, daß die Brücke über den Rhein, von der Caesar in seinen Denkwürdigkeiten spricht, eine derartige Gestalt hatte, damit darf man jedenfalls nicht rechnen; wenn die Sache unrichtig ist, dann ist sie sehr gut erdacht (ironisch!). — Nach der Beschreibung, die uns Caesar von dieser Brücke gibt, könnte man andere Entwürfe aufstellen, die gewiß standfester sein würden als der, den uns Palladio gibt. Da die ganze Festigkeit dieser Zimmerei nur auf den Kämme der Zangen und der Holme beruht, finde ich nicht, daß es weise sei, sich auf einen derartigen Brückenentwurf zu verlassen, denn wenn eine einzige Zange versagt, muß das Joch einstürzen — anstatt daß nach der Art, in der man heutzutage die Holzbrücken baut, wenn da die Hälfte der Bauhölzer, aus denen sie gezimmert sind, fehlen sollte, sie unendlich sicherer sein würden, als es die Brücke ist, von der uns Palladio ein Bild gibt.'

Dasselbe, was Gautier von den Zangen sagt, gilt natürlich allgemein: wenn ein einziges *tignum* versagt, ist die Brücke dahin; wenn ein einziger Holm bricht, stürzt das Joch zusammen, und die Fahrbahn stürzt nach. Dagegen ist nach unserm Entwurf, der sich auf den richtiger verstandenen Caesar stützt, alle Sicherheit gegeben, die Gautier verlangt, und mit Recht verlangt.

Weiterhin spricht sich Gautier auch gegen den Entwurf von Scamozzi aus und erklärt, daß jedermann sehr richtig über derartige Entwürfe urteile, wenn er sich hüte, sie in die Wirklichkeit umzusetzen: '... personne ne s'est avisé encore de se servir de pareils ouvrages pour les mettre en exécution, avec beaucoup de raison. Plusieurs choses qu'on imagine, sont bonnes pour le Cabinet, qu'on n'oseroit mettre en pratique.' Das ist ganz unsere Meinung. Wie ein standsicheres Brückenjoch auszusehen hat, sagt Gautier in den folgenden Worten, mit denen er schon vor mehr als 200 Jahren einen Entwurf wie den unseren aufgestellt wissen will: 'Les Ponts de Charpente, suivant la bonne maniere du temps, & non celle des Auteurs qu'on ne suit pas, sont ceux qui sont plantés avec un ou deux fils de Pieux pour palées.'

Wir haben uns mit einer einzigen Reihe von Tragpfählen (*sublicae*) für jedes Joch begnügt. Aber diese eine Pfahlreihe ist eben nach der guten Gewohnheit des Holzbrückenbaues nicht bloß der Zeit von Gautier erforderlich. Schon 2000 Jahre vor Gautier hat man die Joche des *pons sublicius* in Rom so gebaut und auch die Joche

der Kriegsbrücken. Auf seinen Kriegszügen durch Gallien hatte Caesar zunächst keinen Grund, von dieser Bauweise abzuweichen. Als er aber den 5—6 m tiefen Rhein überbrücken mußte, gab er diesem Pfahljoch die Verstärkungen, die er im Brückenkapitel des IV. Buches beschreibt.

V. Archäologisches.

1. Die Pfahlbrücken der Trajanssäule.

Brückenbilder finden sich zahlreich auf der Trajanssäule. Da wir aber unser Augenmerk nur auf die Gestaltung der Joche und Fahrbahnen fester Pfahlbrücken richten, scheiden alle reinen Schiffsbrücken und die große Donaubrücke mit hölzernem Überbau auf steinernen Pfeilern aus unserer Betrachtung aus. So bleiben 12 feste Pfahlbrücken, ferner die Abbildung des Baues von Pfahljochen und endlich die Abbildung von vier verschiedenen Anlandebrücken.

Allerdings sind die beiden ersten von uns zu betrachtenden Brücken in der Hauptsache Schiffsbrücken; aber beide haben je eine feste Verbindungsbrücke auf gerammten Jochen nach dem Ufer hin. Diese beiden Verbindungsbrücken sind allein für uns von Belang. Wie betrachten also die folgenden Bauwerke¹⁾: 1—2. Pfahljochbrücke einheitlicher Bauart und Pfahljochbrücke gemischter Bauart als Schlußstücke von Schiffsbrücken (Bild III/IV/V); 3. Pfahljochbrücke aus doppelten Sprengwerken mit zwei Mitteljochen (Bild XI/XII); 4. Pfahljochbrücke mit zwei Mitteljochen (Bild XIV); 5. Pfahljochbrücke mit einem Mitteljoch (Bild XV); 6. Pfahljochbrücke mit zwei Mitteljochen (Bild XVI/XVII/XVIII); 7. Brückenstummel mit vier Mitteljochen (Bild XXI); 8. Brückenstummel mit einem Mitteljoch (Bild LVI); 9. Pfahljochbrücke mit zwei Mitteljochen (Bild LVII/LVIII/LIX); 10. Einfache Balkenbrücke (Bild LVII/LVIII/LIX); 11. Längere Pfahljochbrücke mit drei sichtbaren Mitteljochen (Bild CI/CII); 12. Aufsicht auf die Fahrbahn einer Brücke (Bild CVII); 13. Jochbrückenbau (Bild XIX); 14. Vier verschiedene Anlandebrücken (Bild CXXXI).

Beschreibung der zwölf festen Brücken. 1—2. Pfahljochbrücke einheitlicher Bauart und Pfahljochbrücke gemischter Bauart als Schlußstücke von Schiffsbrücken (Bild III/IV/V; vgl. Taf. 28, 1). Diese beiden gemischten Brücken sind auf der Säule dicht zusammengedrückt. Es sind vermutlich die beiden Brücken, auf denen Trajan zu Anfang des Krieges im Jahre 101 n. Chr. gleichzeitig die Donau überschritt. Der Übergang erfolgte an verschiedenen Stellen, und es soll nach Cichorius die erste Brücke den Übergang bei Drobetae (heute Turnu Severin) und die zweite den bei Lederata (heute Rama) darstellen²⁾. Zu der Verschiedenheit der Übergangsstellen paßt es, daß die beiden festen Brücken eine verschiedene Ausbildung zeigen.

¹⁾ Zugrunde gelegt sind unserer Untersuchung die beiden Werke über die Trajanssäule von Cichorius und von Lehmann-Hartleben, und wir bezeichnen die Bilder mit den lateinischen Ziffern, die in beiden Ausgaben übereinstimmend gesetzt sind. Aber da man bei diesen Abbildungen mit allerlei optischen Verzerrungen rechnen muß, haben wir unsere Beobachtungen vor den Gips- und Zementabgüssen der Säulenreliefs im Lateranmuseum in Rom wiederholt nachgeprüft.

²⁾ Die erste der beiden Schiffsbrücken wäre demnach die Vorläuferin der großen Brücke mit steinernen Pfeilern, die Apollodor von Damaskos im Jahre 105 vollendete und die ebenfalls auf der Säule dargestellt ist (Bild XCVIII/XCIX).

Die erste Übergangsstelle liegt an einem Steilufer, die zweite an einem Flachufer. Die erste Brücke zeigt drei Joche zwischen dem letzten Schiffe und dem Endjoch am Ufer; die zweite zeigt fünf Joche zwischen der Schiffsbrücke und dem Landwiderlager. Die Jochpfähle (*sublicae*) der ersten Brücke sind so kurz wie möglich gehalten, so daß zwischen Wasserspiegel und Fahrbahnunterkante nur ein geringer Spielraum bleibt und die Köpfe der Jochpfähle unter den Holmköpfen gerade noch sichtbar werden. Die zweite Brücke liegt hoch über dem Wasserspiegel. Diese hohe Lage der Fahrbahn bedingt lange Ramppfähle für die Brückenjoche. Da aber ein hochgestelztes Joch zu Schwankungen neigt, ist der Holm jedes zweiten Joches durch Schrägpfähle gegen seitliche Schwankungen gesichert. In diesen Schrägpfählen erkennen wir die von Caesar so genannten *tigna* wieder. Hier auf der Trajansssäule sind sie vierkantig bearbeitet und deutlich *fastigate* gerammt; ob sie es auch *prone* sein sollen, d. h. vornübergeneigt, wie man allgemein die *tigna* an Caesars Brücke gestellt hat, ist nicht zu erkennen. Die Verlässlichkeit der bildnerischen Darstellung vorausgesetzt, ist bemerkenswert, daß der Brückenbaumeister bei der ersten Brücke Schrägpfähle überhaupt nicht und bei der zweiten nur an jedem zweiten Joch für nötig erachtet hat. Die einfachen Joche entsprechen also den fünf Jochen unseres Entwurfes in der Nähe des Ufers (vgl. Abb. 3 und Abb. 8 Rammplan a), während die mit Schrägpfählen versehenen Joche der Donaubrücke den Jochen der Rheinbrücke in den größeren Tiefen (vgl. Abb. 8 Rammplan b) entsprechen. Da die Fahrbahn der ersten Anschlußbrücke sehr niedrig über dem Wasserspiegel liegt, genügt es, daß das Anschlußjoch einreihig gerammt ist, um die unvermeidlichen Schübe der Schiffsbrücke am Anschlußjoch aufzunehmen. Aber bei der hohen Lage der Fahrbahn der zweiten Anschlußbrücke hat man das Anschlußjoch doppelreihig gerammt, um es gegen die Schubkräfte, die jetzt an einem längeren Hebelarm angreifen, widerstandsfähiger zu machen. Die Endjoche haben in Gestalt eines hölzernen Bohlwerks die Erdmassen der Dammanschüttung aufzunehmen.

Bei der ersten Brücke schneidet die Fahrbahn mit dem Bord des ersten Schiffes ab; dagegen liegt die Fahrbahnoberkante bei der zweiten Pfahlbrücke ziemlich hoch über dem Bord des ersten Schiffes. Wie schon zu Anfang bemerkt, geht die Verschiedenheit in der Ausbildung der Brückenjoche und in der Höhenlage der Fahrbahn wahrscheinlich auf die Verschiedenheit des Geländes zurück: die Übergangsstelle des ersten Brückenzuges wird an einem steilen Ufer gelegen haben (Turnu Severin), wo die Wassertiefe schnell zunahm. Bei der zweiten Brücke wird man sich ein ausgesprochenes Flachufer vorzustellen haben (Rama), und der feste Teil der Brücke wird bedeutend länger gewesen sein, als es die fünf dargestellten Durchflußöffnungen vermuten lassen. Die Zufuhrstraße ist daher als ein aufgeschütteter Damm durch die sumpfige Donauniederung zu denken. Ferner deutet die Ausbildung der zweiten Brücke darauf hin, daß es sich um eine Dauerbrücke handelt, die auch höheren Wasserständen genügt. Dargestellt ist aber ein niedriger Wasserstand, weshalb, wie schon bemerkt, die Fahrbahnoberkante der festen Brücke ziemlich hoch über dem Bord des ersten Schiffes schwebt.

Die Holmköpfe der Pfahljoche springen deutlich hervor; die Brückenbalken sind über alle Joche durchlaufend gebildet, was in Wahrheit allenfalls bei der ersten Brücke denkbar wäre, wenn die Zahl der dargestellten Joche der Wirklichkeit entspricht und der Jochabstand sehr gering ist (aber durchlaufende Brückenbalken haben alle Brücken der Trajansssäule!); das Geländer ist in einem Zuge über die feste Brücke und über die Schiffsbrücke durchgeführt, während es in Wirklichkeit zwischen dem schwimmenden und dem festen Brückenteil unterbrochen gewesen sein muß. Da

die Füllstäbe des Geländers an der Kreuzungsstelle einen Nagelkopf zeigen, ist eine Überblattung der Füllstäbe anzunehmen (vgl. oben S. 125 zu *revincire*). Alle Ramm-pfähle sind vierkantig bearbeitet.

3. Pfahljochbrücke aus doppelten Sprengwerken mit zwei Mitteljochen (Bild XI/XII; vgl. Taf. 27,1). Die Brücke führt über eine breite und tiefe Schlucht¹⁾. Der Überbau besteht aus doppelten Sprengwerken. Jedes Sprengwerk besteht aus zwei abstützenden Streben mit einem Spannriegel dazwischen, dessen Länge der Gipsabguß besser erkennen läßt als die Abbildungen. Der Spannriegel ist auf dem Relief viel zu kurz dargestellt. Ein Spannriegel ist nur dann zweckentsprechend, wenn er eine Länge etwa gleich einem Drittel des Sprengwerksbalkens hat. Bei der Verwendung der doppelten Sprengwerke im Brückenbau hat sich die Übung herausgebildet, die Balkenstützweite l so zu teilen, daß $n:m:n = 3:4:3$ oder $n:m:n = 1:1:1$ ist (vgl. Abb. 19). Man darf annehmen, daß ein derartiges Zahlenverhältnis ebenso alt

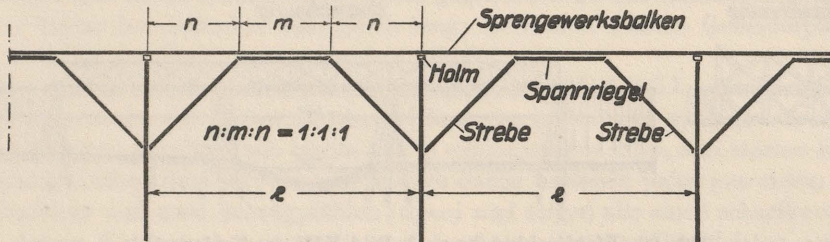


Abb. 19. Sprengwerksbrücke nach Bild XI/XII der Trajanssäule.

ist wie die Anwendung doppelter Sprengwerke überhaupt. Das Mittelstück (m) des Sprengwerksbalkens, das über dem Spannriegel liegt, muß also in Wirklichkeit etwas größer als jedes der Seitenstücke (n) oder ihnen gleich gewesen sein.

Ein Joch mit so hohen Stützpfehlen wie das vorliegende ist aber leicht seitlichen Schwankungen in der Richtung senkrecht zur Brückenachse ausgesetzt, denen man durch Verbinden der Stützpfehle eines Joches untereinander durch seitlich angebrachte Zangen oder Gurthölzer zu begegnen pflegt. Solche Zangen oder Gurthölzer sind nicht da. Aber scharf ausgeprägte Punkte in der Achse der Stützpfehle am Fußpunkt der Streben könnten eine solche mit den Stützpfehlen bündig liegende Quer-Verbindung in Gestalt von Querriegeln andeuten.

Die Fahrbahn besteht aus breiten Bohlen quer zur Brückenachse²⁾. Die Fugen sind deutlich erkennbar. Sie sind rechts vorn und links hinten durch die Nachbarbilder verdeckt, woraus zu schließen ist, daß wir nur einen Ausschnitt aus einem viel längeren Brückenzuge vor uns haben. Die Bohlen erscheinen im Gegensatz zu ihrer großen Breite in der Aufsicht als Quadrate in ihren Stirnflächen, so daß die Zahl der Stirnflächen größer ist als die Zahl der Bohlen in der Aufsicht. Die Brücke hat auf jeder Seite ein Geländer. Die Handleiste begrenzt als durchlaufender Holm das Geländer nach oben hin. Über jedem Geländerpfosten ist ein Knauf aufgesetzt, der als Schmuckwerk irgendwie bearbeitet zu denken ist.

¹⁾ Nach Cichorius handelt es sich um den Karasu bei der Station Apus Fluvius in der Gegend von Udvarszállás: 'Die Ufer des Karasu fallen in dieser Gegend, wie ich an Ort und Stelle feststellen konnte, in einer Höhe von etwa drei Metern steil ab, während der Fluß selbst eine Breite von dreißig bis vierzig Metern haben mag.'

²⁾ Die Fahrbahnbohlen würden lat. als *tabulae* zu bezeichnen sein. Griechisch heißen sie bei Arrian und Suidas *συνίδες* (vgl. S. 163).

4. Pfahljochbrücke mit zwei Mitteljochen (Bild XIV; vgl. Taf. 28,2 links). An der Brücke mit drei gleich weiten Durchflußöffnungen¹⁾ fällt, rein geometrisch betrachtet, die gleichartige Ausbildung der Geländer- und Pfahlanordnung auf: die Umrahmung einer Durchflußöffnung mit den sich kreuzenden Schrägpfählen als Füllung hat fast die gleichen Abmessungen wie das einzelne Geländerfeld mit seinen Füllstäben (vgl. Abb. 20 links)²⁾. Die gleichartige Gestaltung des in Wirklichkeit viel kleineren Brückengeländers und der darunter befindlichen in Wirklichkeit viel größeren Ramppfähle ist dieselbe Verzerrung der Größenverhältnisse wie die gegenüber der Wirklichkeit viel zu starke Neigung der Schrägpfähle. Der Bildhauer hat die Darstellung der Kreuzstreben des Geländers einfach auf die Darstellung der Schrägpfähle übertragen. Und ebenso mechanisch hat er den Nagel vom Kreuzungspunkt der Geländerfüllstäbe auf den in Wirklichkeit gar nicht vorhandenen Kreuzungspunkt der Schrägpfähle übertragen. Wollte man von den Höhen- und Breitenabmessungen

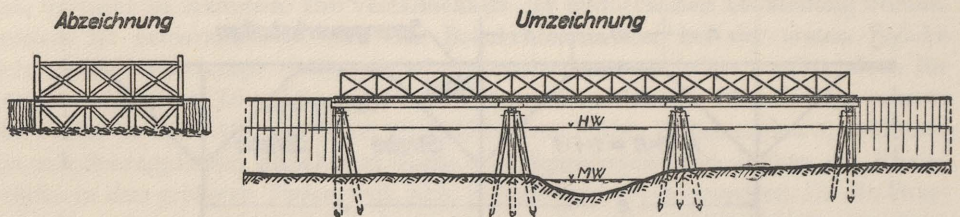


Abb. 20. Pfahljochbrücke nach Bild XIV der Trajanssäule.

des Geländers als Maßeinheit für die Wirklichkeit ausgehen, dann müßten die Jochöffnungen etwa fünfmal so lang sein wie das einzelne Geländerfeld (vgl. Abb. 20 rechts)³⁾.

Am Kopf der *sublicae* der zwei Mitteljochs ist eine kreisrunde Fläche von geringem Durchmesser kenntlich. Es ist der Kopf einer *fibula*, allerdings in einer u. E. fehlerhaften Lage zu den drei Pfahlköpfen, die sie miteinander verbinden soll (*tignum* — *sublica* — *tignum*). Ein Bolzen (*fibula*), senkrecht zur Bildebene durch den Kopf des Tragpfahls gesteckt, wie es der Bildhauer darstellt, verfehlt seinen Zweck. Diese Bolzenverbindung dürfte in Wirklichkeit so ausgesehen haben, wie wir sie auf Abb. 20 in der Umzeichnung dargestellt haben: Hier ist zunächst der fehlende Holm ergänzt. Die unmittelbar unter dem Holm zusammenstoßenden drei Rundhölzer sind abgebeilt zu denken, so daß sie sich in Flächen berühren. Wenn nun der Schaft des Bolzens so durch die drei Pfahlköpfe hindurchgesteckt wird, daß er mit der Bildebene gleichläuft, ist eine Verbindung geschaffen, die geeignet ist, das Joch gegen seitliche Schwankungen auszusteifen.

¹⁾ Cichorius bemerkt: 'Der Fluß müßte, wenn Arcidava gemeint ist, immer noch der Karasu sein, zumal er mit dem des vorigen Bildes ineinander fließt.'

²⁾ Auf Abb. 20 haben wir links die Brücke so dargestellt, wie sie ihrer Ansicht und Größe nach bei Lehmann-Hartleben als Bild XIV erscheint. Nur haben wir Wasserspiegel und Fahrbahn den natürlichen Verhältnissen entsprechend waagerecht gelegt, während auf der Säule beides der Schraubenlinie des Bildstreifens entsprechend nach rechts ansteigt. Bei der Umzeichnung des Geländers haben wir darauf verzichtet, die zwei Eckpfosten so darzustellen, daß sie über die Handleiste (Geländerholm) emporragen. Dieser spielerische Zug des Reliefs wiederholt sich auf Bild XI/XII der Säule.

³⁾ Die Darstellung des Wasserstandes auf dem Relief deutet darauf hin, daß das Mittelwasser (MW) des Flusses dargestellt sein soll, denn der Abstand des Wasserspiegels von der Unterkante der Brückenbalken (die Durchflußhöhe) ist bedeutend. Aber auch bei Hochwasser (HW) mußte noch eine genügende Durchflußhöhe für sperrige Schwimmkörper vorhanden sein. Wir haben daher zwei Wasserstände (MW und HW) eingetragen.

5. Pfahljochbrücke mit einem Mitteljoch (Bild XV; vgl. Taf. 28, 2 rechts). Ein schwerer Baumstamm wird über eine Brücke¹⁾ getragen, die nur ein Mitteljoch hat, dessen Schrägpfähle (*tigna*) im Sinne der Caesarbrücke räumlich (*prone ac fastigate*) geneigt sind. Die Brücke hat beiderseits Geländer, von denen das hintere ebenso sorgfältig gearbeitet ist wie das vordere, aber flacher. Dadurch wird der räumliche Abstand beider Geländer für den Beschauer vergrößert und die Brückenbreite stärker hervorgehoben. Auch hier hat, wie auf dem vorigen Bild, das Geländerfeld die gleiche Länge wie das Brückenfeld.

6. Pfahljochbrücke mit zwei Mitteljochen (Bild XVI/XVII/XVIII; vgl. Taf. 27, 2). Die Brücke²⁾ hat drei Öffnungen, von denen die linke nur halb so weit ist wie die zwei anderen. Die Landanschlüsse sind unvollkommen wiedergegeben. Dagegen lassen die zwei Mitteljoch deutlich einen kräftigen Stützpfehl (*sublica*) erkennen, worauf ein scharfkantiger Holm ruht, dessen Kopf stark hervortritt. Die Holme sind durch Schrägpfähle (*tigna*) gegen seitliche Schwankungen gestützt. Die drei Felder des Geländers sind gleich lang; die beiden inneren Geländerpfosten stehen nicht in der Verlängerung der Jochpfähle.

7. Brückenstummel mit vier Mitteljochen (Bild XXI; vgl. Taf. 27, 3). Die Durchflußweite der beiden mittleren Öffnungen ist doppelt so breit wie die der beiden seitlichen. Das Endjoch rechts ist ein einfaches lotrechtes, sehr starkes Kantholz ohne Holmkopf darüber; die vier andern Joch bestehen jedes aus einem Lotpfahl (*sublica*) und zwei Schrägpfählen (*tigna*) und zeigen alle einen scharfkantigen Holm, dessen Kopf stark hervortritt und durch waagerechte Profileisten verziert ist³⁾. Alle *tigna* stehen in derselben Ebene wie die *sublicae*, d. h. sie sind nur *fastigate* geneigt. Die Köpfe der *tigna* lehnen sich nur beim vierten Joch (von links gezählt) gegen den Holmkopf, beim zweiten gegen den Lotpfahl, beim ersten das linke *tignum* gegen den Lotpfahl, das rechte gegen den Holmkopf, beim dritten das rechte gegen den Lotpfahl und das linke gegen den Holmkopf, so daß alle Möglichkeiten der Anlehnung erschöpft sind. Eine Eigentümlichkeit dieses Brückenbildes ist es, daß beim ersten Joch von links das untere Ende des rechten Schrägpfahls hinter dem unteren Ende des linken Schrägpfahls des zweiten Joches verschwindet. Mit diesem eigenartig gegliederten Joch hört die Brücke plötzlich auf.

Bemerkenswert ist die deutliche Ausbildung der vielen quadratisch endenden Belaghölzer. Man zählt ihrer 46. Auf die beiden mittleren Durchflußöffnungen kommen einmal 13, das andere Mal 15, also durchschnittlich 14. Rechnet man mit einer Bohlenbreite von 0,25 m, so ergibt das eine Stützweite der Brückenbalken von 3,50 m. Aber das wäre nur die Hälfte der wahrscheinlichen Stützweite; folglich ist auch hier die Zahl der Bohlenköpfe aus Gründen der Darstellung immer noch verringert. — Das Geländer zeigt drei gleich große Felder über den vier ungleich großen Durchflußöffnungen. Der Geländerholm ist seitlich auf die beiden Endpfosten aufgeblattet, so daß der Pfostenkopf darüber hinausragt; die beiden mittleren Geländerpfosten sind von unten in den Geländerholm eingezapft. So ist das Geländer an beiden Enden durch Endpfosten abgeschlossen und damit Brückenanfang und Brückenende betont. Dem entspricht am Unterbau der Brücke nur rechts ein deutlich als solches ausgebildetes Endjoch, während die Ausbildung des Joches links darauf hindeutet, daß der Brückenzug noch weiter geht. Das hintere Geländer ist um ein halbes Feld gegen das vordere verschoben und in flachem Relief dargestellt. Zwischen den beiden

¹⁾ Nach Cichorius führt die kleine Brücke über den Csernovec-Bach.

²⁾ Nach Cichorius ist der Fluß die Berzava.

³⁾ Cichorius denkt an die 'Temeslinie gegenüber dem Eisernen Torpaß'.

Geländern fehlt die Darstellung der Fahrbahn. Die Geländerfüllstäbe sind am Kreuzungspunkte durch einen Nagel miteinander verbunden.

8. Brückenstummel mit einem Mitteljoch (Bild LVI; vgl. Taf. 30, 2). In einem Flußlauf steht ein Brückenstummel, dessen Fahrbahn mit dem Ufer rechts in Verbindung steht und als Straße über Land weitergeführt ist¹⁾. Das Landwiderlager ist durch einen Baumstamm verdeckt. Von dem einzigen Stromjoch ist der vordere Lotpfahl (*sublica*) dargestellt, gegen dessen Kopf sich von rechts ein Schrägpfahl (*tignum*) lehnt. Beide Pfähle sind vierkantig bearbeitet. Über dem Kopfe des Lotpfahls muß man sich einen Holm hinzudenken, der alle Lotpfähle des Joches verbindet und die Brückenbalken der Fahrbahn zu tragen hat. Die Fahrbahn der Brücke gleicht dem Knüppeldamm der anschließenden Straße, d. h. es sind Rundhölzer quer gelegt, die auf Längsschwellen gebettet sind und oben durch Saumschwellen in ihrer Lage festgehalten werden. Die Bauweise ist durch Bodenfunde in den westdeutschen Mooren bekannt. Bei Übertragung dieser Bauweise auf eine Brückenfahrbahn — bei einer Kriegsbrücke sehr wohl möglich — sind die Längsschwellen die tragenden Brückenbalken (*derecta materia*), worauf lagerhafte Rundhölzer (Belaghölzer, *longurii*) wie bei der Rheinbrücke liegen (vgl. oben S. 143 ff.). Auf der Brücke durften dann auch die Saumschwellen nicht fehlen, um gleichzeitig die seitliche Begrenzung der Erdaddeckung der Fahrbahn abzugeben. Die Fahrbahn der Brücke kann diese Gestalt gehabt haben; es kann aber auch ein Versehen des Bildhauers vorliegen, indem er den bei sumpfigem Untergrund gerechtfertigten Oberbau der Straße einfach auf die Brückenfahrbahn übertragen hat.

Die Brücke ist wie die anschließende Straße noch im Bau. Darauf deutet der Legionar im Vordergrund, der ein Bauholz mit beiden Händen in schräger Lage hält. Darauf deutet ferner ein am Ufer errichteter lotrechter Pfahl, in den etwa in halber Höhe seitlich eine Bohle in waagerechter Lage eingesetzt ist. Wir sehen darin ein sog. Schnurjoch. Man pflegt nämlich beim Bau einer Brücke erst an jedem Ufer ein Schnurjoch zu errichten. Die Verbindung der Mitten der Gerüste durch eine Schnur quer über den Fluß stellt dann die Brückenachse dar, nach der die einzelnen Joche gerammt werden²⁾. Das Bild zeigt nur das eine dieser beiden Schnurjochs und auch davon nur einen von zwei Jochpfählen. Dieses Brückenbild lehrt, daß es beim Brückenbau üblich war, die Fahrbahn sofort bis zu dem jeweils fertigen Joche vorzustrecken (vgl. oben S. 163).

9. Pfahljochbrücke mit zwei Mitteljochen (Bild LVII/LVIII/LIX; vgl. Taf. 30, 1 links). Die Brücke liegt im Zuge einer Straße und überbrückt einen tief eingeschnittenen Gebirgsfluß. Die beiden Endjochs sind genau so ausgebildet wie die beiden Mitteljochs. Sie bestehen aus lotrechten Stützpfehlern quadratischen Querschnitts von beträchtlicher Länge. Schrägpfähle fehlen. Die Stützenköpfe sind mit einfachen Leisten profiliert. Der Holm, ein rechteckiger Balken, liegt mit der Breitseite auf den Stützenköpfen; sein Kopf springt nicht aus der Ebene der Lotpfähle hervor. Über den drei Durchflußöffnungen sind zwei Geländerfelder angeordnet. Die Fahrbahn und das hintere Geländer fehlen.

10. Einfache Balkenbrücke (Bild LVII/LVIII/LIX; vgl. Taf. 30, 1 rechts). Derselbe Straßenzug wie bei der vorigen Brücke kreuzt noch einmal ein steilufrieges

¹⁾ Cichorius sagt: 'Die Brücke könnte . . . etwa in der Gegend von Calimanesti den Alt übersetzen, und das hier dargestellte Stück der Straße könnte deren erster am Südabhang des Kozia entlang führender Abschnitt bis zur Biegung bei Radacinesti sein.'

²⁾ Das ist nur bei kleineren Flüssen möglich. Bei größeren Flußbreiten wird statt der Schnur nur eine Visierlinie von Schnurjoch zu Schnurjoch als Brückenachse festgelegt.



Abb. 1. Pfahljochbrücke aus doppelten Sprengwerken (Trajanssäule Bild XI/XII).



Abb. 2. Pfahljochbrücke mit zwei Mitteljochen (Trajanssäule Bild XVII/XVIII).



Abb. 3. Brückenstummel mit vier Mitteljochen (Trajanssäule Bild XXI).



Abb. 4. Pfahljochbrücke mit drei Mitteljochen (Trajanssäule Bild CI).



Abb. 1. Pfahljochbrücken als Schlußstücke von Schiffsbrücken
(Trajanssäule Bild III/IV/V).



Abb. 2. Pfahljochbrücken mit zwei (links) und einem (rechts) Mitteljoch
(Trajanssäule Bild XIV/XV).



Abb. 1. Jochbrückenbau (Trajanssäule Bild XVIII/XIX/XX).



Abb. 2. Vier Anlandebrücken (Trajanssäule Bild CXXXI).

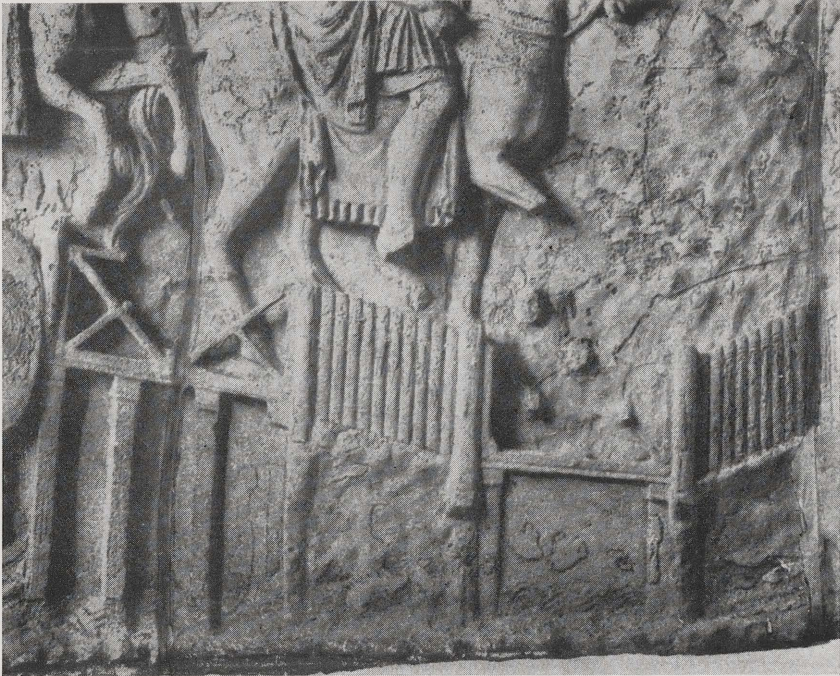


Abb. 1. Pfahljochbrücke mit zwei Mitteljochen (links) und einfache Balkenbrücke (rechts) (Trajanssäule Bild LVIII).



Abb. 2. Brückenstummel mit einem Mitteljoch (Trajanssäule Bild LVI).

Quertal, das zur Zeit wenig Wasser führt (durch Wellenlinien angedeutet). Hoch darüber liegt die Brücke. Sie ruht auf zwei Endjochen, die genau wie bei der vorigen Brücke ausgebildet sind. Mitteljoche sind nicht vorhanden. Das Stabwerk des Geländers ist durch Witterungseinflüsse fast ganz zerstört¹).

11. Längere Pfahljochbrücke mit drei sichtbaren Mitteljochen (Bild CI/CII; vgl. Taf. 27, 4). Der Überbau der Brücke ist stark nach dem unteren Bildrande geneigt und verliert sich darin. Dadurch wird eine wesentlich längere Brücke vorgetäuscht²). Der Tragpfahl (*sublica*) des Landwiderlagers ist durch einen Schrägpfehl (*tignum*) gestützt. Die drei folgenden Joche zeigen einen kräftigen Holm (*trabs*) auf kräftigen lotrechten Tragpfählen (*sublicae*). Je zwei Schrägpfähle (*tigna*) sind im Vergleich dazu schwach und liegen in einer Ebene, die weiter zurückliegt als die Ebene der Lotpfähle; sie sind nur schräg im Sinne von *fastigate*. Im Gegensatz zu anderen, weniger geschickt dargestellten Fällen stehen sie ziemlich steil und schneiden sich nicht in Wasserspiegelhöhe. Die Holmköpfe treten deutlich aus der Fläche heraus. Die Breite der einzelnen Geländerfelder entspricht dem Jochabstand.

12. Aufsicht auf die Fahrbahn einer Brücke (Bild CVII). Cichorius deutet auch das merkwürdige Gebilde auf Bild CVII als Brücke, und wohl mit Recht³). Zur Abwechslung wird aber hier eine Brücke aus der Vogelschau abgebildet, also nur eine Aufsicht auf die Fahrbahn gegeben. Sie zeigt Bohlen, die rechts und links von einer Saumschwelle eingefast sind. Drei Reihen von Nägeln in den Bohlen kann man auf drei Brückenbalken (*directa materia*) deuten. Ein Gelände ist nicht zu erkennen und auch von Cichorius in der Abbildung 15 bei der Umsetzung des Reliefbildes in die Wirklichkeit nicht angenommen.

Auf den beschriebenen 12 Brückenbildern sind im ganzen 25 Mitteljoche (Stromjoche) dargestellt. Fassen wir zunächst die 10 Mitteljoche ins Auge, die nur aus lotrecht gerammten Jochpfählen (*sublicae*) ohne Schrägpfähle (*tigna*) bestehen, so bringt Bild III/IV/V auf beiden Brückenzügen zusammen 6 solcher Joche und Bild XI/XII und LVII/LVIII/LIX je 2. Joche dieser einfachsten Bauart nehmen wir auch für Caesars Rheinbrücken in den Stromabschnitten in der Nähe des Ufers an (vgl. S. 117). Ein einziges Stromjoch (Bild LVI) nimmt eine Ausnahmestellung ein, da hier nur rechts vom lotrechten Tragpfahl ein Schrägpfehl gerammt ist. Aber dieses Joch gehört zu einem Brückenzuge, der mit diesem Joch nach links hin jäh abbricht, wodurch das Fehlen des linken Schrägpfehls erklärlich wird. Die anderen 14 Joche der Brückenbilder haben zunächst (wie die besprochenen) lotrecht gerammte Stützpfähle, die die Holme und damit die Last der Fahrbahn tragen. Außerdem aber sind, um das Joch und damit die Brücke vor Schwankungen zu bewahren, links und rechts von den Lotpfählen Schrägpfähle gerammt, die sich meist gegen den Holm stemmen, vereinzelt auch gegen den Kopf der Lotpfähle. Diese beiderseits des Holmes gerammten Schrägpfähle bezeichnen wir im Anschluß an Caesar als *tigna*. Sie sind deutlich *fastigate* in unserem Sinne (vgl. S. 112 ff.) gerammt. Ob sie auch

¹) Cichorius glaubt, daß Nr. 9 und Nr. 10 eine einzige Brücke bilden, die bei Robesti den Alt unter Benutzung einer felsigen Flußinsel überschreitet.

²) Nach Cichorius führt die Brücke über den Kanal, der beim Bau der großen Donaubrücke Apollodors nördlich der Donau gegraben wurde, um das Wasser teilweise abzuleiten, und der heute wieder verschwunden ist.

³) Einen bestimmten Flußnamen gibt Cichorius nicht an.

prone gerammt sind, ist nicht immer in aller Schärfe zu erkennen; der Bildhauer hat es nicht immer darstellen können oder wollen. Aber es genügt uns, daß sie deutlich *fastigate* gerammt sind; denn daß die *tigna* der Caesarbrücke *prone* in unserem Sinne gestanden haben, brauchen wir nicht erst besonders zu beweisen, da das jedermann bisher angenommen hat. Schrägpfähle sind auch bei einigen Landwiderlagern festzustellen (Bild XIV/XV und CI/CII).

Bei der Betrachtung der Einzelheiten des Holmkopfes auf den Brückenbildern fällt auf, daß die Schrägpfähle in keinem einzigen Falle über die Fahrbahn hinausragen. Im Gegensatz hierzu ragen bei fast allen Entwürfen zum Pfahljoch der Rheinbrücke die Schrägpfähle mehr oder weniger über die Oberkante des Holms hinaus. Zwischen der bildlichen Darstellung des Holmkopfes der Jochbrücken auf der Trajanssäule und Caesars Beschreibung besteht also ein auffallender Unterschied.

Auch von den *fibulae* ist weder im Sinne irgendeines unserer Vorgänger noch in unserem Sinne etwas zu entdecken. Wären es etwa nach Palladio oder v. Cohausen Querhölzer (Riegel) von 5' (1,5 m) Länge gewesen, so hätte sie der Künstler darstellen können; denn sie haben einen Querschnitt, der dem der Belaghözer mindestens gleich ist. Selbst die viel winzigeren *fibulae* eines Lips oder Heller hätten sich darstellen lassen, da uns Einzelheiten von noch untergeordneter Bedeutung auf den Brückenbildern begegnen (Nagelköpfe an den Kreuzungspunkten der Geländerfüllstäbe, Nagelung der Fahrbahnbohlen).

Hieraus müssen wir schließen, daß zwar hinsichtlich der *tigna* das Neue an Caesars Rheinbrücke für die Zeit Trajans noch lebendig war¹⁾, daß aber das Neue in bezug auf die *fibulae* einer anderen Bauart Platz gemacht hatte. Wie aber die Verbindung der Schrägpfähle mit dem Holm zu Trajans Zeiten ausgeführt wurde, darüber ließen sich nur Vermutungen aussprechen. Caesars Strebe- und Prellpfähle sucht man ebenfalls vergeblich auf den Brückenbildern. Die Brückenbilder der Trajanssäule stellen also eine Weiterentwicklung im Bau der Pfahljoche dar und stimmen nur in den wichtigsten Baugliedern, in den Lotpfählen (*sublicae*) und in den Schrägpfählen (*tigna*), mit Caesars Beschreibung B. G. IV 17 überein.

Jochbrückenbau. Bild XIX (vgl. Taf. 29, 1) zeigt ohne Zusammenhang nebeneinander das Rammen eines Jochpfahls, ein Pfahljoch in seiner Längsausdehnung und ein Pfahljoch in seiner Vorderansicht. Da die beiden Joche kreuz und quer stehen und der erstgenannte Einzelpfahl mit keinem der beiden Joche eingefluchtet ist, so kann es sich nicht um die Darstellung des Baues einer bestimmten Brücke handeln. Wir haben es daher mit einer lehrhaften Darstellung von Einzelheiten des Pfahljochbaues zu tun.

1. Ein Bauhandwerker kniet in einem Strome und schlägt mit einem gewöhnlichen Hammer einen Jochpfahl ein, der deutlich ein Rundholz ist. Da ein solcher Jochpfahl immer ein schwerer Rammpfahl von 1'—1½' Dm. ist, der nur mit einem entsprechend schweren Rammgerät eingerammt werden kann, ist der Hammer als Symbol für eine Ramme und der arbeitende Bauhandwerker als Symbol für eine Gruppe von Arbeitern zu deuten. Die Zugramme und die vielen Personen, die zu ihrer Bedienung nötig sind,

¹⁾ Vgl. S. 116 Anm. 2.

machen ein umfangreiches Floß erforderlich. Alles das fehlt. Lehmann-Hartleben sieht mit Recht im Fehlen unerläßlicher Baugerüste und Baugeräte 'ein charakteristisches Stilelement . . ., das doch wohl zum Teil auf eine bestimmte künstlerische Tradition zurückgeht'¹⁾.

2. Mehr zurück steht ein fertiges Brückenjoch. Seine Längsausdehnung steht in der Bildebene. Es besteht aus zwei lotrecht gerammten Jochpfählen (*sublicae*) mit einem waagerechten Holm (*trabs*) darüber. Alle Hölzer dieses Joches sind kantig behauen. Es erscheint klein wie ein Spielzeug gegenüber dem in lebenswahrer Haltung darauf sitzenden Soldaten, der ebenfalls einen Hammer schwingt. Dasselbe Joch dient dazu, das Verlegen der Brückenbalken (*derecta materia*) symbolisch darzustellen: Dicht hinter dem Joch sehen wir einen zweiten Handwerker ein langes Zimmerholz in fast lotrechter Lage handhaben. Hier verkörpern also wieder zwei einzelne Soldaten zwei verschiedene Soldatengruppen, die mit vereinten Kräften ein Joch mitten im Strome zimmern und vom fertigen Joch aus nach einem im Hintergrunde zu denkenden Joche einen Brückenbalken verlegen.

3. Weiter vorn steht ein Joch senkrecht zur Bildebene. Der einzige dargestellte (vorderste) Jochpfahl verdeckt die übrigen. Diese Jochpfähle sind durch einen Holm verbunden, dessen Kopf über dem vordersten Jochpfahl deutlich aus der Bildfläche hervorspringt. Er liegt als Rechteck auf der langen Seite (Verhältnis der Rechteckseiten etwa 1:4). Es sieht so aus, als ob auf diesem Jochpfahl von unten nach oben eine Leiste aufgelegt wäre. Da aber ein solcher Zierrat sehr unwahrscheinlich ist, halten wir diese 'Leiste' für die Projektion eines Schrägpfahles, der sich als Strebepfahl gegen das Joch lehnt. Eine solche Strebe ist mindestens stromab (*sublica pro anteride subiecta*) anzunehmen; es könnte aber auch ein zweiter Strebepfahl stromauf noch dazukommen (wie der Prellpfahl bei Caesars Rheinbrücke: *defensor*). Derselbe Jochpfahl (*sublica*) wird rechts und links von je einem Schrägpfahl gestützt: Ein Legionar ist dabei, den Jochpfahl durch ein kurzes Zimmerstück in schräger Richtung abzustützen. Wieder müssen wir uns statt des leichten Holzstückes, das scheinbar einhändig eingebracht werden kann, einen kräftigen Rammpfahl, der unter einem Rammbar einzurammen ist, und statt des einzelnen Soldaten eine Arbeitergruppe mit den nötigen Geräten denken. Auf der anderen Seite ist der Schrägpfahl schon angebracht. In Anlehnung an Caesar wird man dieses Schrägpfahlpaar als *tigna bina* bezeichnen dürfen, und im Hinblick auf Caesars Jochverstärkung wird man weiter annehmen dürfen, daß diese Schrägpfahlpaare nur beim ersten und letzten Lotpfahl gestanden haben.

Hierzu kommt noch ein Drittes. Das Joch wird nämlich noch weiterhin durch zwei Kopfbänder versteift. Man kann nicht ersehen, ob es sich hierbei um ein wirkliches Sprengewerk handelt, d. h. ob sich die oberen Enden der beiden Kopfbänder gegen einen Spannriegel stemmen, der seinerseits den Brückenbalken trägt (vgl. Abb. 19), oder ob die Kopfbänder in den Brückenbalken selbst eingelassen zu denken sind und somit der Brückenbalken selbst Spannriegel und Sprengewerksbalken ist.

Die beiden Soldaten rechts dahinter, die gemeinsam ein kantig bearbeitetes Holz in waagerechter Stellung handhaben, stellen ebenfalls ein Stück des Bauvorganges dar; es wäre denkbar, daß sie einen Holm oder einen Brückenbalken verlegen. Sie sind das Gegenstück zu dem einen Soldaten, der im Hintergrunde das Kantholz fast senkrecht trägt.

¹⁾ Vgl. S. 130 Anm. 1. Lehmann-Hartleben S. 44.

Vier verschiedene Anlandebrücken¹⁾. Das Bild CXXXI (vgl. Taf. 29,2) wird von vier Gruppen Soldaten zu je drei Mann beherrscht. Die durch große Zwischenräume gekennzeichnete räumliche Trennung der Soldaten muß auch auf die brückenähnlichen Ingenieurbauten übertragen werden, auf denen die einzelnen Gruppen als Wachtposten stehen. Koepp hat nach Lehmann-Hartleben²⁾ das Verdienst, als erster darauf hingewiesen zu haben, daß die hier dargestellten Ingenieurbauten nicht Teile einer Pfahlbrücke über einen Fluß sind, sondern Anlandebrücken (Landungsbrücken). Nur ist die von Lehmann-Hartleben gewählte Bezeichnung 'Bollwerk' unrichtig; denn dann müßte die Anlage in einem wesentlichen Punkte anders sein: es müßten in einer lotrechten Ebene unmittelbar hinter den Rammpfählen Bohlen oder Platten sichtbar sein, die mit Erde hinterfüllt sind. Dagegen ist eine Anlandebrücke (Landungssteg, Landungsbrücke) ein Bauwerk, das wie hier vom geböschten Ufer aus in größere Wassertiefen vorgebaut ist und das Besteigen und Verlassen der Schiffe und das Laden und Löschen der Güter erleichtern soll.

Alle vier Brücken sind in der Aufsicht gegeben, so daß die tragenden Holme und Brückenbalken darunter verschwinden.

Anlandebrücke 1. Das Bauwerk steht in engster Verbindung mit dem Hintergrund. Ein Weg führt in gerader Linie nach dem Flusse und endet in einem Landungssteg, der sich senkrecht in den Fluß vorschiebt. Unter der vorderen rechten Ecke der Landungsbrücke steht ein lotrecht gerammter Jochpfahl (*sublica*); rechts und links von ihm steht je ein Schrägpfahl (*tignum*), deren Köpfe an dem unsichtbaren Holm befestigt zu denken sind. Die entsprechende Pfahlgruppe an der linken Ecke der Landungsbrücke ist weggelassen, um für das Nachbarbild Raum zu schaffen. Die zwei *tigna* und die *sublica* liegen in einer Ebene. Die Schrägstellung der *tigna* ist also nur *fastigate*. Die Fahrbahn besteht aus breiten Bohlen, die wegen ihrer kräftigen Ausbildung die Brückenbalken ersetzen. Drei Nagelreihen oben auf den Fahrbohlen lassen auf drei weitere Holme unter der Fahrbahn schließen; aber diese Nagelreihen sind dem vorderen Abschluß der Fahrbahn nicht parallel. Das wird ein Fehler der Darstellung sein. Die Bohlen laufen vorn in einen Wulst aus, der vermutlich eine Saumschwelle darstellen soll.

Anlandebrücke 2. Diese Anlandebrücke ist durch drei Joche gekennzeichnet, worauf die Fahrbahnbohlen, kantig beschlagene Hölzer, dicht an dicht liegen. Die Ansicht des linken und des mittleren Joches zeigt in größter Deutlichkeit je drei Pfähle (*tignum* — *sublica* — *tignum*), alles Kanthölzer. Vom dritten Joche ist nur ein schräg gestellter Rammpfahl (*tignum*) dargestellt, der als das linke *tignum* des dritten Joches aufzufassen ist. Die beiden andern Rammpfähle (*sublica* und rechtes *tignum*) wurden vom Bildhauer nicht dargestellt, weil er die linke Ecke der dritten Landungsbrücke darüber schob.

Anlandebrücke 3. Diese Anlandebrücke liegt etwas höher als der linke Nachbarbau, und ihre scharf ausgeprägte linke Ecke verdeckt wesentliche Teile des rechten

¹⁾ Pollen sah in den vier Bauten eine Brücke, von der er behauptete, sie sei in ihrer Bauart gleich der Brücke, die Caesar über den Rhein schlug, deren Einzelheiten Palladio entworfen habe; vgl. J. H. Pollen, A Description of the Trajan Column (1874): 'This bridge is identical in construction with the bridge thrown by Julius Caesar across the Rhine and of which detailed drawings are given by A. Palladio.'

²⁾ Textband S. 78 Anm. 1.

Joches der vorhergehenden Landungsbrücke. An diesem Bau zählen wir sieben Rammpfähle, alles Kanthölzer. Das mittlere Joch beansprucht hiervon drei Pfähle und gleicht in seiner Gestalt dem mittleren Joch der Landungsbrücke 2. Die äußeren Joche bestehen nur aus je zwei Rammpfählen, deren Achsen um ein geringes Maß von der Lotrechten abweichen, d. h. jedes der Eckjoches zeigt eine Bauart, wie sie an allen Jochen der vierten Landungsbrücke zu besprechen sein wird.

Anlandebrücke 4. Das letzte Bauwerk ist vom vorigen durch einen breiten Zwischenraum getrennt. Es sind wieder drei Joche nebeneinander dargestellt. Keines hat lotrechte Tragpfähle. Die Vorderansicht des Joches zeigt also nur zwei Schrägpfähle, die *fastigate* stehen. Der von der Fahrbahn verdeckte Holm ist von den einander gegenüberstehenden Schrägpfählen umfaßt und unterstützt zu denken. In einem solchen Falle darf die Neigung der Schrägpfähle nur wenig von der Lotrechten abweichen, wie es auf dem Bilde tatsächlich dargestellt ist. Das Joch besteht also aus zwei einander zugeneigten Pfahlreihen, wie es heute noch oft im Brückenbau gerammt wird. Die Pfähle sind trotz ihrer Schrägstellung echte *sublicae*, die mit einem Anlauf (8:1 oder 10:1) gerammt sind, weil sie wie lotrechte *sublicae* durch die Auflast in Richtung der Pfahlachse beansprucht sind. Somit kannte der antike Holzbau auch schräg (*oblique*) gerammte *sublicae*, wodurch es weiter verständlich wird, daß Caesar auch den Strebe- und Prellpfahl als *sublicae* bezeichnen konnte (vgl. S. 153).

Aus unserer Beschreibung geht hervor, daß alle vier Anlandebrücken verschieden sind. Nr. 1 hat die Joche gleichlaufend und die Fahrbahnbohlen senkrecht zum Ufer; dagegen haben Nr. 2, 3 und 4 umgekehrt die Joche senkrecht und die Fahrbahnbohlen gleichlaufend zum Ufer. Die Jochausbildung ist bei allen vier verschieden. Wir bekommen jedesmal nur die Vorderansicht zu sehen, die symmetrisch angeordnet ist. Die Zahl der Nagelreihen auf den Brückenbohlen ist größer als die Zahl der dargestellten Joche. Daraus müssen wir den Schluß ziehen, daß sich der Beschauer noch viel mehr Joche vorstellen soll, als dargestellt sind.

Wie die beiden auf Bild III/IV/V abgebildeten Schiffsbrücken örtlich gar nicht zusammengehören, so auch die vier Anlandebrücken, die nur aus künstlerischen Gründen nebeneinandergestellt sind. Das Bild CXXXI ähnelt der Zeichnung eines Architekten, der auf einem Blatt nebeneinander vier verschiedene Anlandebrücken entworfen hat, um sie als Lehrer der Kriegswissenschaft der Nachwelt zu überliefern. Dasselbe gilt von der Darstellung des Pfahljochbaues auf Bild XIX.

2. Die Pfahlbrücken der Markussäule.

Von nur sechs Brückenbildern der Markussäule sind vier reine Schiffsbrücken; sie scheiden also für unsere Betrachtung aus. Von den beiden anderen ist auf Tafel 120 AB¹⁾ nur eine Fahrbahn sichtbar, bei der nicht zu erkennen ist, ob sie zu einer Schiffsbrücke oder zu einer Pfahlbrücke gehört. Ein Wagen mit einem Brückenschiff (Ponton) fährt darüber hinweg, eine bildliche Erläuterung zu Vegetius II 25 und III 7, daß zu einer kämpfenden Truppe auch ein Brückentrain mit Brückenschiffen gehört.

Tafel 98B (vgl. Taf. 31, 1) zeigt eine einfache Balkenbrücke, die auf zwei hölzernen Endjochen ruht. Der Abstand der Joche — die Stützweite der Brückenbalken — ist ziemlich groß. Die Endjoches sind als Bohlwerke ausge-

¹⁾ Petersen, v. Domaszewski, Calderini, Die Markussäule auf der Piazza Colonna in Rom (1896).

bildet und haben die Anschüttung der verhältnismäßig hohen Brückenrampe nach dem Flusse zu abzufangen. Der Holm, der wichtigste Bauteil des Pfahljoches, ist nicht dargestellt. Am rechten Joch ist ein Jochpfahl als Rundpfahl zu erkennen. Weitere Jochpfähle heben sich nicht ab; doch deuten lotrechte, kantige Gebilde vom Wasserspiegel bis zum Brückenbalken darauf hin, daß das Joch nur aus lotrechten Jochpfählen (*sublicae*) gerammt ist. Die Belaghölzer der Fahrbahn (*longurii*) sind Rundhölzer, wie wir sie bei der Caesarbrücke angenommen haben (vgl. oben S. 145).

3. Der *pons sublicius* auf einem Medaillon des Antoninus Pius¹⁾.

Auf römischen Münzen ist das wichtigste antike Brückenbild für den Erweis der Richtigkeit unserer Wiederherstellung der Caesarbrücke die Abbildung des *pons sublicius* auf einem Medaillon des Antoninus Pius²⁾.

Die Vorderseite trägt das Bild des Kaisers mit der Umschrift: ANTONINVS AVG PIVS PP TR P COS III. Somit gehört das Medaillon frühestens in das Jahr 140, wo Antoninus Pius zum drittenmal Konsul war. — Auf der Rückseite des Medaillons ist ein Fluß mit einer Pfahlbrücke dargestellt. Über dem Brückenbild steht der Name COCLES, wodurch die Deutung unzweifelhaft wird: der Fluß ist der Tiber; die Brücke ist der mittlere Teil des *pons sublicius*. Links ist das römische, rechts das etruskische Ufer zu denken. Vorn in den Wellen des Flusses schwimmt, im Verhältnis zur Brücke viel zu groß, Cocles. Dahinter sind von der Brücke fünf Stromjoche dargestellt. Jedes dieser Joche besteht — und das ist das wichtigste für uns — aus drei lotrecht gerammten Jochpfählen (*sublicae*), ohne daß Schrägpfähle (*tigna*) hinzugefügt wären. Die uns von Caesars Pfahljoch her bekannten Strebe- und Prellpfähle sind ebenfalls nicht vorhanden. Die Brücke ist also in des Wortes wahrer Bedeutung ein *pons sublicius*.

Die seitlich dargestellten Teile der Brückenfahrbahn liegen waagerecht. Die Personen darauf, links drei Römer, rechts zwei Etrusker, sind wie die Soldaten der Trajans- und Markussäule ungeheuer groß im Vergleich zu der Bauhöhe und zum Geländer, das ihnen nur wenig über die Knöchel geht.

Die Mitte des Brückenbildes zeigt zwei Brückenfelder mit größerer Durchflußweite. Das linksseitige Feld ist zerstört, aber aus dem bogenartigen Brückenträger des rechtsseitigen Feldes schließen wir, daß hier ebenfalls ein gleichartiger Brückenträger die Öffnung überspannt hat. Über der linken Durchflußöffnung schwingt ein kniender Soldat die Axt als Hinweis auf die eben vollzogene Zerstörung der einen Hauptbrückenöffnung. Hinter ihm stehen noch zwei römische Soldaten zur Verteidigung. Auf dem entsprechenden Brückenteil nach der etruskischen Seite hin stehen zwei Etrusker, von denen der vordere nach dem Schwimmer den Speer wirft. Das vordere Geländer ist auf dem waagerechten Brückenteil rechts am schärfsten ausgeprägt. Rautenförmige Vertiefungen heben sich von ebenflächigen Erhabenheiten scharf ab. Es ist anzunehmen, daß das Geländer der ganzen Brücke einheitlich nach diesem Muster geprägt war. Wenn wir das auf Abb. 20 gezeichnete Geländer einer Pfahlbrücke zum Vergleich heranziehen, so müßte man sich die lotrecht gestellten

¹⁾ Unter dieser Überschrift haben wir in den Berliner Münzblättern 50, 1930, 132ff. eine ausführlichere Darstellung veröffentlicht. Wir wiederholen hier das für die Rheinbrücke Wesentliche mit geringfügigen Änderungen.

²⁾ Abgebildet bei M. Bernhart, Handbuch zur Münzkunde der römischen Kaiserzeit (1926) Taf. 43 Nr. 7. Vgl. Taf. 31, 2 nach dem besseren der beiden Pariser Stücke.

Geländerpfosten wegdenken, um Übereinstimmung mit dem Geländer des Cocles-Medaillons zu bekommen. Es wird aber der lotrechte Geländerpfosten nur aus technischen Gründen weggelassen sein (Kleinheit des Geländerbildes); denn bei allen von uns beschriebenen Bildern der Trajanssäule haben die Geländer die Gestalt der Abb. 20, wobei ein Geländerfeld nach einem Quadrat oder nach einem liegenden Rechteck mit beiden Diagonalen gestaltet ist. Das Geländer längs der hinteren Fahrbahnseite ist über den waagerechten Seitenöffnungen durch die auf der Brücke stehenden Soldaten verdeckt. Bei aufmerksamer Betrachtung wird man über dem vorderen bogenförmigen Teil der Brücke ein Brückengeländer in der gleichen Gestalt wie das entsprechende vordere Geländer in äußerst schwacher Ausprägung erkennen. Der hintere Geländerbogen reicht vom unteren Ende der Axt des hauenden Römers bis zum vorderen (rechten) Knie des vorn stehenden Etruskers. Die noch vorhandenen Spuren dieses Geländers lassen vermuten, daß hier ein mit dem vorderen Geländer gleichartiger Bogen dargestellt war, dessen feinere Ausprägung durch äußere Einflüsse bis auf wenige matte Striche verlorengegangen ist. Das verhältnismäßig scharf

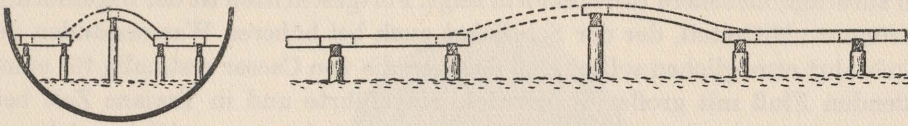


Abb. 21. Entwürfe zur baulichen Gestalt des *pons sublicius*.

ausgeprägte Geländer im Vordergrund und das ihm gleichlaufende, aber äußerst schwach ausgeprägte Geländer im Hintergrund des *pons sublicius* auf dem Cocles-Medaillon hat, was die Lage der Geländer zueinander und die Schärfe ihrer Ausprägung anbelangt, ein bemerkenswertes Vergleichsbeispiel auf den oben beschriebenen Reliefs der Jochbrücken auf Bild XV und XXI der Trajanssäule (bei uns Brücke 5 und 7). Für Medaillon und Relief ist also derselbe Stil festzustellen, was nicht zu verwundern ist, da die Zeit ihrer Herstellung kaum ein Menschenalter auseinanderliegt.

Auf Abb. 21 ist links der *pons sublicius* nach dem Medaillon dargestellt; rechts ist dasselbe Bild dadurch der Wirklichkeit näher gebracht, daß die Längenabmessungen verdreifacht sind. Bei diesem Verfahren mußte der hohe Bogen des Medaillons zu einem wirklichkeitsnäheren flachen Bogen werden.

Wir machen auf die grundsätzlichen Unterschiede in der Darstellung des Brückenbildes auf unserer Zeichnung und auf dem Medaillon aufmerksam: 1. Die Höhen und Längen der Brücke sind auf dem Medaillon mit verschiedenen Maßstäben zu messen. Das Wichtigste ist, daß der scharf gebogene Brückenträger in der Mitte des Medaillons aus der Zusammenziehung eines Flachbogens entstanden ist, wie durch unsere Umrißzeichnung auf Abb. 21 (rechts) veranschaulicht ist. 2. Wir haben in einem Längsschnitt die Jochpfähle, die Holme und die Fahrbahnträger als die wichtigsten Bestandteile einer Pfahlbrücke wiedergegeben. Der Künstler hat drei in einer Flucht stehende lotrechte Jochpfähle schräg rückwärts gestaffelt dargestellt, wenig geschickt, aber in einer auch sonst auf antiken Bildwerken angewandten Art perspektivischer Darstellung von wechselnden Blickpunkten aus. Im übrigen hat er die Bauhöhe der Fahrbahn in das vordere Geländer einbezogen, das als solches kenntlich ist an den zum Teil deutlich sichtbaren Kreuzungspunkten der Geländerfüllstäbe und daran, daß die Gestalten auf der Brücke mit ihren Füßen nicht sichtbar sind. Brückengeländer und Brückenbalken sind somit in eins verschmolzen (am deutlichsten auf dem Medaillon im waagerechten Teile der Brücke rechts zu erkennen).

Sehen wir von der eigenartigen, bogenförmigen Linienführung der Fahr-
bahnträger im mittleren Teil des *pons sublicius* ab, so bleiben für unsern Ver-
gleich mit Caesars Rheinbrücke die dreipfähligen Joche aus lotrecht geramnten
Jochpfählen, die die Fahrbahn tragen. Es zeigt sich also wieder, daß Caesar
durch Hinzufügen der Schrägpfähle (*tigna bina*) etwas ganz Neues geschaffen
hat. Daher berichtet er, daß er bei seiner Pfahlbrücke über den Rhein, die für
eine große Wassertiefe bestimmt war, eine neue Bauweise eingeführt habe, und
daher beginnt er seinen Baubericht sofort mit den *tigna*, ohne sich lange bei den
selbstverständlichen *sublicae* aufzuhalten, ohne freilich auch nur zu ahnen, daß
die Bewunderer des Fra Giovanni Giocondo aus Verona ihm 400 Jahre lang ein
Brückenjoch ohne *sublicae* nachsagen würden.

Vergleicht man das Brückenbild des Cocles-Medaillons mit dem Pfahljoch
der Caesarbrücke und mit den von uns beschriebenen Pfahljochbrücken der
Trajanssäule, so zeigt sich, daß das Medaillon eine zugleich fortgeschrittenere
und zurückgebliebenere Brückenform zeigt. Fortgeschritten ist der bogenförmig
gekrümmte Mittelteil, der der Schifffahrt auch bei höheren Wasserständen die
Durchfahrt ermöglichen sollte. Daß dagegen die von Caesar erstmalig für einen
reißenden Fluß mit großer Wassertiefe eingeführte und in Trajans Zeit bei-
behaltene Jochverstärkung durch Schrägpfähle beim *pons sublicius* nicht er-
scheint, ist eine zurückgebliebene Bauform; sie erklärt sich daraus, daß der
pons sublicius in seiner Entwicklung durch religiöse Rücksichten gehemmt war¹⁾.

4. Die Pfahlbrücke bei Zuilichem.

Vermeintlichen Überresten der Caesarbrücke im Rhein, die Isphording
gefunden zu haben glaubte, stehen wir ablehnend gegenüber²⁾. Von sonstigen
Brückenresten, die als römisch angesehen werden können, kommen nur zwei
Holzbrücken in Frage. Pigorini berichtet³⁾ über Ausgrabungen zwischen Po
und Appennin, wobei auch die Reste einer Holzbrücke gefunden sein sollen.
Aber seine Angaben sind so knapp und ungenau, daß sie zur Gewinnung eines
Bildes einer Römerbrücke nicht verwendet werden können. So bleibt nur die
alte Brücke, die man in Holland bei Zuilichem ausgegraben hat (vgl. Taf. 31, 3)⁴⁾.

Folgt man dem Waal von Andries nach Thiel, so liegt am Südufer des Waals, an
einer Stelle, wo sich Maas und Waal stark nähern, Zuilichem. Dort stieß man 1895 bei
der Gewinnung des Tons für eine Ziegelei in einer Tiefe von 4,5 m auf die Reste einer
alten Brücke, deren Fahrbahn verschwunden war. Immerhin handelt es sich nicht

¹⁾ Genaueres darüber in unserer oben angeführten Abhandlung in den Berliner Münzblättern.

²⁾ Über diese für die Caesarbrücke in Anspruch genommenen Pfähle schreibt uns der frühere
Leiter des Kreismuseums Neuwed, Professor Eich: 'In unserem Kreismuseum werden aufbewahrt
9 schwarze Eichenholzstümpfe, die lange Jahre im Neuwieder Schloß aufbewahrt wurden und
nach Errichtung des Museums zu uns gelangten. Sie trugen folgende Aufschrift: Bei der Aus-
baggerung des Rheins zwischen Weißenturm und der Rheininsel im Jahre 1885/86 oberhalb der
Insel wurden sie von dem Königl. Baumeister Isphording hierher abgegeben und als Stücke der
von Jul. Caesar errichteten Rheinbrücke gedeutet'.

³⁾ Notizie degli scavi 1892, 452.

⁴⁾ Darüber hat Pleyte die (S. 206) genannte ausführliche Abhandlung geschrieben, nach der
unseres Wissens, und wie man uns auch aus dem Rijksmuseum in Leiden schreibt, keine Be-
arbeitung der Frage mehr erfolgt ist. Abbildungen dazu auch bei Oehler, Bilderatlas (1907).



Abb. 1. Einfache Balkenbrücke (Markussäule Tafel 98 B).



Abb. 2. Der *pons sublicius* auf einem Medaillon des Antoninus Pius.

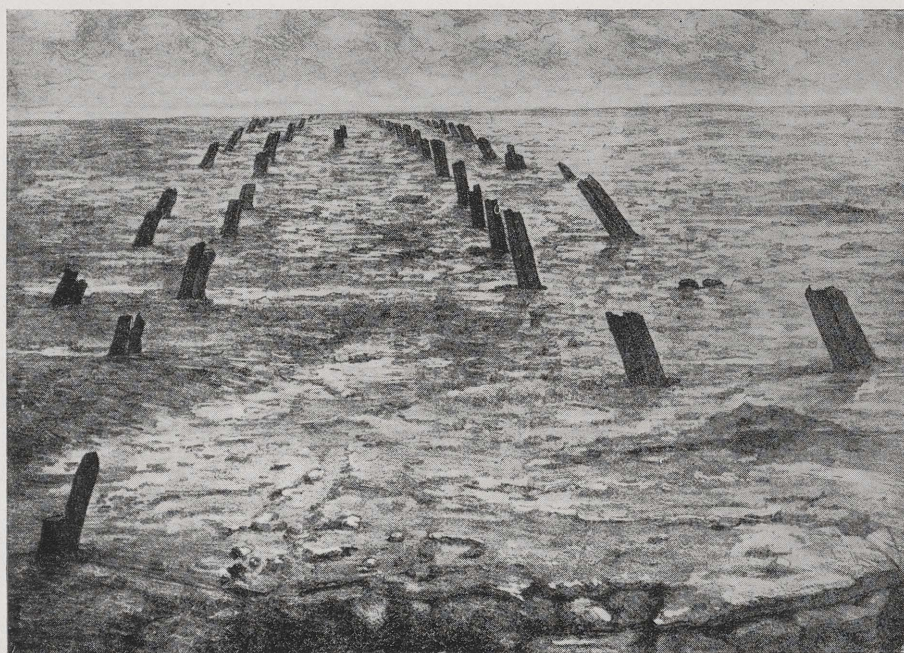


Abb. 3. Die Pfahlbrücke bei Zuilichem (nach Pleyte).

um die Auffindung einzelner Pfähle wie im Rhein, sondern um Pfahlreste von 20 aufeinanderfolgenden Jochen, die uns nach der damals aufgenommenen Photographie ein Stück von etwa 70 m der ehemaligen Brücke vor Augen führen. (Die ganze ursprüngliche Länge schätzt Pleyte auf 180 m.) Nach der Photographie stehen die Pfähle, die wir wegen ihrer schrägen Stellung *tigna* nennen wollen, als Doppelpfähle dicht an dicht und so, wie es die Entwürfe von Feldbausch, Maurer und Noiré zeigen, hintereinander in der lotrechten Ebene, in der die Holmachse liegt. Ihre Neigung beträgt 70°. Ebenso stehen die den Strebe- und Prellpfählen der Caesarbrücke entsprechenden Schrägpfähle der Brücke von Zuilichem dicht an dicht in derselben Ebene, und der Neigungswinkel beträgt hier 60°. Zwischen diesen vier Schrägpfahlpaaren eines jeden Joches finden sich noch bei zwei Jochen die Stümpfe von vereinzelt stehenden lotrechten Jochpfählen (*sublicae*). Es ist nun die Frage, ob diese lotrechten Pfähle bei allen Jochen ergänzt werden müssen. Wenn dem so ist, dann ist anzunehmen, daß sie vielleicht weniger tief gerammt gewesen und deshalb größtenteils von der Strömung mitgerissen und also schon vor der Verschlickung des Flußbettes verschwunden sind. Beim Fehlen der Mittelpfähle würde die Stützweite der Holme etwa 2,50—3,50 m betragen haben, je nach der Höhe, die man der Brückenfahrbahn geben will.

Die Pfahlreste deuten darauf hin, daß es sich um ein leichtes Bauwerk handelt, das starken Strömungen, wie sie der Mittelrhein bei Bonn selbst bei niedrigen Wasserständen hat, nicht gewachsen gewesen wäre. Am deutlichsten tritt der Unterschied zwischen beiden Bauwerken in einer Gegenüberstellung der Maße entgegen.

	Brücke bei Zuilichem	Caesars Rheinbrücke
Pfahldurchmesser	0,20—0,25, gemessen 1,0 m über der Spitze des ausgegrabenen Pfahls; mittlerer Pfahldurchmesser weniger als 1' (0,30 m)	$1\frac{1}{2}' = 0,45 \text{ m}$
Pfahllänge	3,4 m von der Spitze bis zum angefaulten Pfahlkopf	9,0—10,0 m für etwa 10 Joch in Strommitte
Jochabstand	3,3 m	7,0—9,0 m nach vielen Bearbeitern
Jochlänge	5,0—6,0 m zwischen den äußersten Schrägpfählen	10,0—12 m in Höhe des Wasserspiegels

Zur Beurteilung der Pfahllänge sei noch bemerkt: Der Rhein hat bei Bonn bei seinen niedrigsten Jahres-Wasserständen (Oktober und November) immer noch eine durchschnittliche Tiefe von etwa 2,8 m. Ein Pfahl von 0,25 m Durchmesser und 3,40 m Länge ist aber nur bei Wassertiefen bis zu höchstens 1,8 m zu verwenden.

Pleyte schreibt, die Beschreibung der Caesarbrücke sei vielleicht nicht ganz deutlich; es sei aber zu beachten, daß die Zeichnung von Th. Bentley ganz mit der Brücke von Zuilichem übereinstimme. Das ist ein gewagtes Urteil; denn bei Bentley stehen die ein Paar bildenden *tigna* mit 2' Zwischenraum nebeneinander in einer Flucht, die der Brückenachse parallel läuft, während sie in Zuilichem dicht an dicht nebeneinander in der Jochachse stehen. In seiner eigenen Wiederherstellung der Caesarbrücke nach dem Vorbilde der Brücke von Zuilichem weicht Pleyte von diesem seinem Vorbilde ab, indem er die Pfähle voneinander trennt, um Caesars Angabe *intervallo pedum duorum* gerecht zu werden; er läßt sie aber in der Ebene des Joches, so daß sein Entwurf den Arbeiten von Feldbausch, Maurer und Noiré ähnlich wird.

Übrigens sind nach Pleytes Bericht drei hintereinander stehende Joche freigelegt, deren Doppelpfähle in der Längsrichtung der Brücke nebeneinandergestellt sind, so daß sich also zwei verschiedene Pfahlstellungen bei den Jochen unterscheiden lassen. Da in Zuilichem nicht festzustellen war, wie die Holme mit den Rammpfählen verbunden waren, so besteht die Möglichkeit, daß alle Rammpfähle eines Joches gleichmäßig derselben Aufgabe zu dienen hatten, den Holm zu tragen, daß es sich also nicht um Jochpfähle und um Strebe- und Prellpfähle, sondern um vier oder fünf fächerartig angeordnete Jochpfähle, wie bei der Wiebekingschen Brücke Abb. 4, gehandelt hat. Es besteht dann die Möglichkeit, daß die Joche ursprünglich aus vier oder fünf einfachen Tragpfählen bestanden haben (aus fünf, wenn ein Mittelpfahl vorhanden war). Als nach einem Menschenalter die Pfähle in der Höhe des gewöhnlichen Wasserstandes morsch wurden und der Unterbau der Brücke erneuert werden mußte, rammte man neben die noch vorhandenen Pfahlstümpfe Ersatzpfähle. Man setzte in den meisten Fällen die neuen Pfähle in der Jochebene dicht neben die alten und nach dem Befund der Ausgrabung nur an drei noch vorhandenen Jochen in der Längsrichtung der Brücke nebeneinander.

Nimmt man noch hinzu, daß die *tigna* der Caesarbrücke in doppelter Neigung räumlich schräg gestellt waren (*prone ac fastigate*), die *tigna* der Brücke bei Zuilichem dagegen nur *prone*, so bleiben nur die drei folgenden Ähnlichkeiten übrig: 1. vereinzelt findet sich in Jochmitte eine lotrechte *sublica*; bei der allerdings viel breiteren Caesarbrücke haben wir fünf lotrechte *sublicae* angenommen; 2. es sind Schrägpfahlpaare vorhanden wie bei der Caesarbrücke, aber sie stehen dicht an dicht und nicht mit 2' Abstand, und sie sind nur *prone* geneigt und nicht auch *fastigate*; 3. endlich sind Schrägpfähle vorhanden, die den Strebe- und Prellpfählen der Caesarbrücke entsprechen, und sie sind, wie wir es auch für die Caesarbrücke annehmen, flacher geneigt als die *tigna*.

Den Brückenbildern der Trajanssäule gegenüber besteht derselbe Hauptunterschied wie unserm Brückenentwurf gegenüber, daß nämlich die mit *fastigate* bezeichnete Neigung der *tigna* fehlt.

Die bei Zuilichem gefundenen Pfahljochreste passen also weder recht zu der Beschreibung B. G. IV 17 noch zu den Bildern auf der Trajanssäule. Daher läßt sich über die Zeit der Brücke bei Zuilichem auf Grund eines Vergleiches damit nichts sagen, und es bleibt also die Frage offen, ob Pleyte wirklich die historische Brücke gefunden hat, auf der nach Tacitus, Hist. V 26 das dort erwähnte Gespräch zwischen Civilis und Cerealis stattgefunden hat.

VI. Verzeichnisse.

I. Literaturverzeichnis.

- Alberti, Leone Battista: De re aedificatoria. Florenz (1485).
 Allcroft, A. H.: Zimmerhaeckel on Caesar's Rhine Bridge. The Classical Review 13, 1899, 407 ff.
 Arnold, E. V.: Two Notes on Jules Caesar. I. The Bridge over the Rhine. The Classical Review 1, 1887, 168—169.
 Baldelli, Francesco: I Commentari di C. Giulio Cesare. Venedig (1554).
 Bentley, Tho.: C. Iulii Caesaris de bello Gallico et civili . . . commentarii. London (1742).
 Borrel, Jean (Buteo, Ioannes): Opera geometrica. Leiden (1554).
 Briegleb: Caesars reinbrücke aus dessen nachrichten fom gallischen krige, buch 4, absnit 17.
 Seebodes Kritische Bibliothek f. d. Schul- und Unterrichtswesen. Jg. 1820, 1007—1009.

- Broelman, St.: *Epideigma, sive specimen historiae vet. omnis et purae, florentis atq. amplae civitatis Ubiorum*. Köln (1608).
- Budé, Guillaume (Budaeus, Gulielmus): *Opera omnia*. Basel (1557).
- Cardani, Girolamo (Cardanus, Hieronymus): *De subtilitate*. Leiden (1550).
- v. Cohausen, A.: *Cäsar's Rheinbrücken philologisch, militärisch und technisch untersucht*. Leipzig (1867).
- *Caesars Rheinbrücke*. Centralblatt der Bauverwaltung 6, 1886, 267.
- Clark, E. Kitson: *Caesar's Bridge over the Rhine*. *Caesar, de Bello Gallico* IV 17—19. *The Classical Review* 22, 1908, 144 ff.
- Eberz, A.: Über die Structur von Cäsar's Rheinbrücke. *Zsch. f. d. Altertumswiss.* 1848, 405—414.
- *Zu Caesars Bellum Gallicum*. *Neue Jahrb. f. Philologie u. Pädagogik* 75, 1857, 847—856.
- Elsner: *Besprechung der Cäsar Ausgabe von Herrn Rheinhard*. *Korrespondenzblatt für die Gelehrten- und Realschulen Württembergs* 1884, 72 ff.
- Emy, A. R.: *Traité de l'art de la charpenterie*. Bd. II. Paris (1841).
- Feldbausch: Über die Konstruktion der Brücke, welche Julius Cäsar über den Rhein schlug. *Programm des Lyceums. Rastatt* (1830).
- Fennel, Ch. A. M.: *On Caesar, B. G. IV 17*. *Proc. Cambridge Philol. Soc.* 1887, 28—31.
- Frigell, A.: *Textkritik öfver Caesarkapitlet om Rhenbryggen*. *Pedagogisk Tidskrift* 30, 1894, 121—128.
- Fröhlich, F.: *Das Kriegswesen Caesars*. Zürich (1889—1891).
- Gauthey, É. M.: *Traité de la construction des ponts*. Paris (1809—1816).
- *Dass. Publ. par M. Navier, Bd. II. Liège* (1843) *Tafel II Fig. 4*.
- Gautier, H.: *Traité des ponts*. Paris (1716).
- Giani, Ioannes Baptista: *C. I. Caesaris . . . quae exstant omnia*. Mailand (1820).
- Giocondo, Fra Giovanni (Ioannes Iucundus Veronensis): *Commentatio de ponte Caesaris*. Zuerst abgedruckt in der *Aldina* von 1513.
- v. Göler, A., Frh.: *Caesars Gallischer Krieg und Theile seines Bürgerkrieges nebst Anhängen über das röm. Kriegswesen*. 2. Aufl. Freiburg (1880).
- Held, J. C.: *Caji Julii Caesaris Commentarii de Bello Gallico*. 1. Aufl. Sulzbach (1825). 2. Aufl. Sulzbach (1832).
- Heller, H. J.: *Nova explicatio Caes. B. gall. IV 17*. *Philologus* 10, 1855, 732—734.
- *Besprechungen im Philologus* 13. 19. 22. 26. 31. 49. *Philol. Anz.* 14, 1884, 531—548 mit Mitteilung von Ansichten v. Cohausens, auch aus dessen unveröffentlichter Denkschrift für Napoleon III. *Philologus Supplement* 5, 1889, 347—396. *Bursians Jahresberichte* 68, 1891 (1892) 85—86.
- Henrard, M. P.: *Jules César et les Éburons. Mémoires couronnées . . . publiées par l'Académie Royale de Belgique* 33, 1882, 18 ff.
- Hermes, F.: *Zu Cäsars Rheinbrücke*. *Gymnasium* 10, 1892, 301—304.
- Holmes, Th. R.: *Caesars Conquest of Gaule*. London (1899). (S. 697—709: *Caesar's Bridge over the Rhine*.)
- Hotman, François (Hotomannus, Franciscus): *Caesar, De bello Gallico, cum scholiis*. Leiden (1574).
- Hubo, G.: *Zu Caesars Rheinbrücke*. *Fleckeisens Jahrb. f. class. Philol.* 145, 1892, 485—492.
- *Noch einmal Cäsars Rheinbrücke*. *Gymnasium* 10, 1892, 461—466.
- Hübner, E.: *Neue Studien über den römischen Grenzwall in Deutschland: Die Rheinbrücken*. *Bonn. Jahrb.* 80, 1886, 121—136.
- Isphording: *Cäsar's Rheinbrücke*. *Centralbl. der Bauverwaltung* 6, 1886, 241—242. (Abgedruckt *Norddeutsche Allgem. Ztg.* 1886 Nr. 293 u. 304.)
- *Cäsars Rheinbrücke*. *Bonn. Jahrb.* 82, 1886, 30—34.
- Köchly, H., und Rüstow, W.: *Einleitung zu C. Julius Cäsar's Commentarien über den gallischen Krieg*. Gotha (1857).
- Kraner, F.: *C. Julii Caesaris commentarii de bello Gallico* (1855).
- Kraner-Dittenberger-Meusel: *C. Julii Caesaris commentarii de bello gallico*. 17. Aufl. 1. Bd. Berlin (1913).
- Lips, Joest (Lipsius, Justus): *Poliorecticon sive de machinis tormentis telis libri quinque*. Antwerpen (1599).

- Long, G.: *Caesar's Commentaries. Books IV and V. For the Use of Junior Classes. With English Notes.* London (1883).
- *Decline of the Roman Republic. Bd. IV S. 159—160.* London (1874).
- Maggi, Girolamo (Magius, Hieronymus): *Variarum lectionum seu miscellaneorum libri IIII.* Venedig (1563).
- Maurer, Th.: *Cruces philologicae. Darin Fibulae, Caes. B. G. IV 17, 6. Gymn. Progr. Mainz* (1882) (als Sonderschrift Mainz 1882).
- *Noch einmal Julius Cäsars Brücke über den Rhein. Vademecum f. A. Rheinhard. Mainz* (1883).
- *Und noch einmal die Cäsar-Brücke. Zugleich wider Cliquen-Recensententum. Mainz* (1884).
- Maxa, R.: *Die Rheinbrücken in Caesar's comment. de B. G. IV 17. Zsch. f. d. öst. Gymnasien* 31, 1880, 481—498.
- Menge, R.: *Ein beitrage zur konstruktion von Cäsars Rheinbrücke. Philologus* 44, 1885, 279—290.
- Merckel, C.: *Die Ingenieurtechnik im Alterthum.* Berlin (1899).
- Meyer, C. Fr., und Koch, A.: *Atlas zu Caesars bellum Gallicum.* Essen (1879).
- Möbius, A.: *C. Julii Caesaris Commentarii de Bello Gallico, mit geographischen, historischen, kritischen und grammatischen Anmerkungen.* Hannover (1826).
- Napoléon I.: *Précis des guerres de César.* Paris (1836).
- Napoléon III.: *Histoire de Jules César.* Paris (1865—1866).
- Neuburger, A.: *Technik des Altertums. 4. Aufl. Leipzig* (1926). (Entwurf v. Cohausen.)
- Noiré, L.: *Julius Cäsars Brücke über den Rhein. Beilage Nr. 206 zur Augsburger Allgem. Ztg.* 1882.
- Oehler, R.: *Bilderatlas zu Caesars B. G. Leipzig* (1890 [1907]).
- van Oudendorp, F.: *C. Iulii Caesaris commentarii.* Leiden (1737).
- Palladio, Andrea: *I quattro libri dell' architettura.* Venedig (1570).
- Perrot d'Ablancourt, Nicolas: *Les commentaires de Jules Caesar.* Paris (1650).
- Peskett, A. G.: *Caesar's Bridge of Rhine. The Classical Review* 13, 1899, 462—464.
- *Gai Iuli Caesaris de B. G. commentariorum IV. V. Cambridge* (1879; 1895) 1927.
- Pleyte, W.: *Iets over de oude brug te Zuilichem. Verslagen en Meded. d. k. Akademie van Wetenschappen, Afdeeling Letterkunde, derde reeks, twaalfte deel. Amsterdam* 1896, 290—297. (Mitteilung darüber *Wochensch. f. klass. Philol.* 13, 1896, 1383.)
- Pohl, O.: *Caesars Rheinbrücke. Festschrift zur 50jährigen Jubiläumsfeier des Realgymn. am Zwinger zu Breslau. Breslau* (1886).
- Prévost, Fd.: *Dissertation sur le pont construit par César pour passer le Rhin. Saumur* (1865).
- Rheinhard, A.: *C. Jul. Caesar's Rheinbrücke. Eine technisch-kritische Studie. Stuttgart* (1883).
- Rheinhard, H.: *C. Julii Caesaris commentarii de bello gallico, zum Schulgebrauch herausgegeben von Ch. Stüber und H. Rheinhard. Stuttgart* (1860).
- *2. umgearbeitete Aufl. Stuttgart* (1878).
- Ritter, F.: *Die Pfahlbrücken des Julius Cäsar bei Bonn u. Neuwied. Bonn. Jahrb.* 37, 1864, 20 ff.
- Roby, H. J.: *Caesar b. g. IV 17. The Bridge over the Rhine. The Classical Review* 1, 1887, 242.
- Rondelet, J.: *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir. III. Paris* (1810).
- Rüstow, W.: *Atlas zu Caesars Gallischem Krieg. Stuttgart o. J.*
- *Kommentar zur Geschichte Julius Cäsars von Kaiser Napoleon dem Dritten. Stuttgart* (1867).
- *Heerwesen und Kriegführung Caesars. Gotha* (1855). *Nordhausen* (1862).
- Sackur, W.: *Vitruv und die Poliorketiker.* Berlin (1925).
- Scaliger, Julius Caesar: *De subtilitate ad Cardanum.* Paris (1557).
- Scamozzi, Vincenzo: *L'idea della architettura universale.* Venedig (1615).
- Schleussinger, A.: *Caesars Rheinbrücke. Blätter f. d. Bayerische Gymnasialschulwesen* 20, 1884, 157—193 und 339—340. (Als Sonderschrift: *Studie zu Cäsars Rheinbrücke. München.*)
- *Zur Rheinbrücke. Ebenda* 20, 1884, 356—357.
- Schmitt-Hartlieb, M.: *Zu Cäsars Brückenkapitel. Philologiae Novitates* 3, 1907, 4—6.
- Schneider, C. E. Ch.: *Commentarii de bellis C. Julii Caesaris.* Halle (1840).
- Schneider, R.: *Cäsars Rheinbrücke. Berliner philol. Wochensch.* 4, 1884, 161—166.

- Schramm, C. Ch.: Schauplatz der merkwürdigsten Brücken. Leipzig (1735).
- Schramm, E.: Caesars Rheinbrücke 55 v. Chr. *Germania* 6, 1922, 19—24 und *Philol. Wochenschrift* 46, 1926, 268—270, 1403—1404.
- Dass. bei Kromayer, J., und Veith, G.: Heerwesen und Kriegführung der Griechen und Römer. München (1928). Handbuch der klass. Altertumswissenschaft IV 3, 2.
- Sonntag, M.: Bemerkungen zu Caes. de b. G. IV 17. *Gymn. Progr. Frankfurt a. d. O.* Leipzig (1890).
- Taylor, J. H.: Caesar's Rhine Bridge. *The Classical Review* 16, 1902, 29—34.
- Teetz, F.: Kritische Bemerkungen zu Caesar b. g. I 8, 1 und b. g. IV 17, 9. *Gymn. Progr. Bremerhaven* (1893).
- Thomann, K.: Der französische Atlas zu Cäsar's gallischem Kriege. Programm der Kantonschule. Zürich (1874).
- Turiano, J. Vgl. Don Luis de la Escosura y Morrogh: El Artificio de Juanelo y el Puente de Julio César. *Memorias de la Real Academia de Ciencias exactas etc.* Bd. 13, 2. Madrid (1888).
- Turnèbe, Adrien (Turnebus, Adrianus): *Adversariorum tomus secundus*. Paris (1565).
- Veith, G.: Geschichte der Feldzüge C. Julius Caesars. Wien (1906).
- v. Veith, K.: Cäsars Rheinübergänge in den Jahren 55 und 53 v. Chr. *Monatssch. f. d. Gesch. Westdeutschlands* 6, 1880, 87—112.
- de Vigenère, Blaise: *Les commentaires de Jules Caesar*. Paris (1589). (Wiederholt ohne Namensnennung Borrel und Palladio.)
- Wasmuths Lexikon der Baukunst, 4 Bde., Berlin (wiederholt unter 'Bock' Sackurs Wiederherstellung der Rheinbrücke).
- Widmann, S.: Cäsars Rheinbrücke. *Gymnasium* 3, 1885, 367—376.
- Wiebeking, C. F.: *Beyträge zur Brückenbaukunde*. München (1809).
- Wirth, Ch.: Die Fibulae an Caesars Rheinbrücke. *Blätter f. d. bayerische Gymnasial- und Realschulwesen* 16, 1880, 297—299.
- Noch etwas über Caesars Rheinbrücke. *Ebenda* 17, 1881, 24—26.
- Einige Bemerkungen zu Schleussingers Abhandlung usw. *Ebenda* 20, 1884, 425—427.
- Zimmerhaeckel, F.: C. Julius Caesars Rheinbrücke (comm. de bell. Gall. IV 17), ein Rekonstruktionsversuch. *Zsch. f. mathemat. u. naturwiss. Unterricht* 29, 1898, 481—499.
- Nachtrag zu dem Artikel 'C. Julius Caesars Rheinbrücke'. *Statische Prüfung der Caesarbrücke als leichte Kolonnenbrücke. Ebenda* 30, 1899, 12—15.

2. Stellenverzeichnis.

Ammian. XXIII 2, 6	100	Caesar, B. H. 5, 1	168
— XXIV 4, 21	98	Cassius Dio LIX 17	146
— XXIV 7, 4	166	— LXXI	160
— XXV 10, 2	101	Cato, De agr. 14	101
Apollodor. Dam., p. 155, 8	109,1	— 18, 5	103
— p. 177, 14—15	134	— 149, 2	128,1
— p. 178, 1—8	133	— 155	101,1
Apul., Metam. IV 13	99	— fibula	121,1
Arrian., Anab. V 7	160, 165	Catull. 28, 10	104
Caesar, B. A. 29, 4	146	Celsus V 26, 23	119
— B. C. I 27, 4	104	Cicero, Epist.	
— I 40, 3, 41, 1, 48, 1—2	94, 145	X 15, 3, 18, 4, 21, 2, 23, 3	165
— II 9	104	— Top. 64	185
— III 49, 4	97	CIL. VI 1585b	101
— B. G. I 13, 1—2	165	Curtius Rufus VIII 10, 3	166
— III 13, 4	104	Dessau ILS. 5531	101
— III 14, 4	159	Diodor. XIII 47, 5	159
— VII 23	125	Dionys. Hal., Ant. Rom. V 24, 3	99,2
— VII 35, 4	97	Donati interpr. Verg. II 588, 12	104
— VII 58, 1	145,2	Ennius, Med. fr. 1	105
— VII 79, 4	145,2	Festus, ASSERES	101

Festus, DELICIA	102	Plin., Epist. XVI 213	100
— MAENIANA	99	— XVI 216	100 f.
— SVBLICIVM PONTEM	99	— XXX 27	100
— TIGNVM	118	— XXXVI 64	104
— TRABS	103	Plutarch., Caes. 22	99,2. 153. 183
— TRANSTRA	103	— Marius 23	154
Gaius, Dig. L 16, 62	104,1	Polyb. VI	85
Galen. ad Glauc. 2	119	Procop., De aed. IV 6, 13	164,2
Gellius I 13, 11	107	Propert. IV 3, 59	101
Glossar. II 190, 46	100	— IV 6, 50	104
— III 323, 9 und 518, 63	100,1	Rufin., Apol. II 40	101
Herodot. VII 36	146. 163	Sallust., Hist. fr. IV 85 Mbr.	99
Hor., Carm. III 2, 27	100	Sen., Epist. 90, 9	105
— IV 1, 20	100	— Nat. II 52, 1 und III 25, 6	103,2
— Epist. II 2, 73	101	— Phaedra 644	101
— II 3, 279	104	Servius, In Verg. Aen. IX 87	105
Ev. Iohannis 21, 7	100,1	Silius III 17 f.	101
Iosephus, Ant. XIX 1, 1	146	— III 460 f.	107. 146
— Bell. III 5	85	— XIV 320—322	106
— III 5, 4	159,1	Stat., Silv. III 1, 119	105
Isidor., Orig. XIX 19, 5	103. 128,1	— IV 3, 51	105
— XIX 31, 17	119,2	Sueton., Caligula 19	146
Iuven. 3, 246	101	Suidas, ζεύμα	160. 165
Labeo, Dig. L 16, 24, 242	117,1	Tac., Ann. I 68	145,2
Livius I 37, 1	97	— II 11	159,3
— V 54, 2	101	— IV 51	145,2
— VI 10, 4	145,2	— XV 9	159
— XXI 28, 5	146	— Germ. 18	128,1
— XXIII 37, 2	98	— Hist. II 34	123,1. 159
— XXIV 34, 10—11	106	— III 30	100
— XXXIV 39, 11	100	— V 26	204
— XXXVI 22, 11	101	Thucydides VII 25, 6—7	130
Lucan. IV 424	107	Varro, L. L. V 140	103,2
Lucr. II 192 und 196	101	Vegetius II 25	165. 170. 199
— V 1267f.	104	— III 7	95,2. 165. 199
— VI 241	101	Verg., Aen. I 446—506	101,2
— VI 564	101	— XII 294	104
Manil. I 841	105	— XII 603	100
Martial. III 87, 4	100,1	— Georg. I 144	105
Ovid., Am. I 14, 8	100	— I 402—403	101
— Fast. I 158	100	— IV 307	100
— Metam. IV 179	100	Vitruv. I 5, 3	125,2
— VIII 648	100	— II 1, 4	106
— Remed. 18	100	— II 9, 15	107
— Trist. III 12, 10	100	— III 4	98. 109. 130. 184
Paulin. Nol., Carm. 16, 158	101	— IV 2, 1	101
Pausan. V 20, 4	100,2	— V 1, 6—10	103
Plaut., Asin. 304	104	— VI 3, 2	101 f. 117. 153,1
— Most. 112 und 146	101	— X 1	99. 102,2
Plin., Epist. VIII 17, 4	154	— X 2	114. 120. 134
— Nat. III 53	107	— X 2, 8—10	106
— XVI 125	107	— X 6, 1	107
— XVI 184	104	— X 7, 1—3	120. 121
— XVI 200	107	Xenophon, Anab. III 5, 10	168