

Horst Hörner

Fritz Kaufmann

**Statische
Probleme
bei
Brücken
Türmen
und
Masten**

Handbuch III

Sekundarstufe I

fischertechnik-Schulprogramm

Statische Probleme bei Brücken, Türmen und Masten

Horst Hörner – Fritz Kaufmann

Statische Probleme bei Brücken, Türmen und Masten

Sekundarstufe I

Handbuch III zum
fischertechnik-Schulprogramm

Herausgeber: Fritz Kaufmann
im Auftrag der Arbeitsgruppe Technische Bildung
Pädagogische Hochschule Heidelberg
Zeichnungen: Horst Pittlik

Fischer-Werke, Tumlingen 

Georg Westermann, Braunschweig



2. Auflage 1980

Fischer-Werke – Bestell-Nr. 3/10/5/4

Westermann-Verlag – ISBN 3-14-168008-6

Sämtliche Rechte bei Fischer-Werke, Artur Fischer Tümlingen 1975

Umschlagentwurf: Fischer-Werke

Gesamtherstellung: Langenstein-Druck KG, 7140 Ludwigsburg, Friedrichstraße 117

Inhaltsverzeichnis

		Seite
Karl Klöckner	Zum Geleit	1
Dr.-Ing. Bernhard Linss	Vorwort	3
Fritz Kaufmann	Einleitung	4
Horst Hörner	Elementare statische Sachverhalte	7
Fritz Kaufmann	Vergleich der Lastabtragung bei horizontalen und vertikalen Tragwerken	18
	1. BRÜCKEN – sachanalytischer Teil	20
Horst Hörner	1.0 Mensch und Brücke	20
	1.01 Kurzer historischer Rückblick	21
Fritz Kaufmann	1.02 Allgemeine Fragen des Brückenbaus	26
	1.02.1 Zum Zweck der Brücken	26
	1.02.2 Zur Einteilung der Brücken	26
	1.02.3 Technische Probleme des Unterbaus und der Brückenlager ..	28
	1.02.4 Gliederung der Lager	28
	1.1 Feste Brücken nach der Statik der Tragsysteme	29
	1.10 Primärformen der Lastabtragung und Kriterien für die Planung von Brückentragwerken	29
	1.11 Balkenbrücken	31
	1.11.1 Einfache Balkenbrücken	33
	1.11.2 Zwischengestützte Balkenbrücken	34
	1.11.3 Verstärkte Balkenbrücken	36
	1.11.31 Exkurs über das Zerlegen einer Kraft mit dem Kräfte-dreieck ..	37
	1.11.32 Vorschläge zur Darstellung des Kräfteverlaufs in Hängewerken	45
	1.11.4 Seilverspannte Balkenbrücken	47
	1.11.5 Versteifte Balkenbrücken (Langerbalken)	52
	1.12 Bogenbrücken	54
	1.12.1 Bogenbrücken mit Horizontalschub	54
	1.12.2 Bogenbrücken mit aufgehobenem Horizontalschub	59
	1.12.21 Windverbände	60
	1.13 Hängebrücken	63
	1.13.1 Erdverankerte Hängebrücken („Echte“ Hängebrücken)	63
	1.13.11 Verfahren der Kabelherstellung	64
	1.13.2 Hängebrücken mit aufgehobenem Horizontalschub	67
	1.2 Feste Brücken nach konstruktiver Ausbildung der Hauptträger	69
	1.21 Vollwandträger	69
	1.21.1 Lehrgang zum Stabilisieren eines Vollwand-Biegeträgers	71
	1.21.2 Kombinierte Formen mit Doppel-T-Trägern	77
	1.21.3 Kastenförmige Ausbildungen	79
	1.22 Fachwerkträger	82
	1.22.1 Lehrgang zum Stabilisieren eines Fachwerkträgers	82
	1.22.2 Modellbeispiele	86
	1.22.3 Stabquerschnitte beim Brückenbau	90
	1.22.4 Demonstrationsmodell einer kleinen Fachwerkbrücke zum Sichtbarmachen der Kräfte	91
	1.23 Rahmenträger	94
	1.23.1 Modellbeispiele	94

2.	Brücken – didaktischer Teil	96
2.0	Einführung in die didaktische Konzeption	96
2.1	Grobziel: Konstruktionsprinzipien von Brücken	101
2.11	Feinlernziel: Erkennen der zwei fundamentalen Konstruktionsprinzipien „Fahrbahn von unten stützen“ und „Fahrbahn nach oben aufhängen“	101
2.11.1	Feinlernziel: Für das Konstruktionsprinzip: „Fahrbahn von unten stützen“ möglichst viele Lösungen finden	101
2.11.2	Feinlernziel: Für das Konstruktionsprinzip „Fahrbahn nach oben aufhängen“ möglichst viele Lösungen finden	101
2.11.3	Feinlernziel: Ordnen der Brücken nach den beiden Konstruktionsprinzipien	101
2.11.4	Hinweise zur Unterrichtsorganisation der Feinlernziele 2.11.1–2.11.3	101
2.11.5	Entscheidungshilfen für den weiteren Unterrichtsverlauf	109
2.2	Grobziel: Verschiedene Stabilisierungsmöglichkeiten bei Balkenbrücken	109
2.21	Feinlernzielgruppe: Biegebeanspruchung bei verschiedenen Balkenformen	109
2.21.1	Feinlernziel: Druck- und Zugzone beim Balken auf zwei Stützen	109
2.21.2	Hinweise zur Unterrichtsorganisation	109
2.21.3	Feinlernziel: Druck- und Zugzone beim Durchlaufträger	109
2.21.4	Hinweise zur Unterrichtsorganisation	110
2.21.5	Feinlernziel: Druck- und Zugzone beim Kragarm	111
2.21.6	Hinweise zur Unterrichtsorganisation	111
2.22	Feinlernzielgruppe: Stabilisierungsmöglichkeiten durch Fachwerkkonstruktionen	111
2.22.1	Feinlernziel: Erkennen, wie eine Brückenfahrbahn durch Fachwerkträger stabilisiert wird und wie die Kräfteableitung verläuft	111
2.22.2	Hinweise zur Unterrichtsorganisation	111
2.22.3	Feinlernziel: Erkennen der den Fachwerkträger konstituierenden Grundelemente	112
2.22.4	Hinweise zur Unterrichtsorganisation	112
2.22.5	Feinlernziel: Erkennen der gesetzmäßigen Zusammenhänge von Druck- und Zugstäben im Dreieck	113
2.22.6	Hinweise zur Unterrichtsorganisation	113
2.22.7	Feinlernziel: Konstruktionsmöglichkeiten für Fachwerkträger finden	114
2.22.8	Hinweis zur Unterrichtsorganisation	114
2.23	Feinlernzielgruppe: Die unterschiedliche statische Qualität von Profilen	115
2.23.1	Hinweise zur Unterrichtsorganisation	115
2.24	Feinlernziel: Erkennen, daß bei einem Rahmenträger nur die biegesteife Verbindung Stabilität garantiert	116
2.24.1	Hinweise zur Unterrichtsorganisation	116
2.25	Feinlernzielgruppe: Verstärkte Balkenbrücken	116
2.25.1	Feinlernziel: Finden von Konstruktionsmöglichkeiten um Balken zusätzlich zu verstärken	116
2.25.2	Hinweise zur Unterrichtsorganisation	116
2.3	Grobziel: Kräfteableitung bei Bogenbrücken (mit Horizontal-schub)	117
2.31	Feinlernzielgruppe: Erkennen der statischen Funktionsvarianten beim Brückenbogen	117

2.31.1	Feinlernziel: Erkennen der statischen Funktion eines unterhalb der Fahrbahn gelegenen Brückenbogens	117
2.31.2	Feinlernziel: Erkennen der statischen Funktion eines oberhalb der Fahrbahn gelegenen Brückenbogens	117
2.31.3	Feinlernziel: Erkennen der statischen Funktion eines die Fahrbahn schneidenden Brückenbogens	117
2.32	Hinweise zur Unterrichtsorganisation der Feinlernzielgruppe 2.31	117
2.4	Grobziel: Statische Gesetzmäßigkeiten bei Hängebrücken	120
2.41	Feinlernzielgruppe: Unterschiedliche Seilverankerungen bei Hängebrücken und deren statische Konsequenzen	120
2.41.1	Feinlernziel: Die Schüler sollen die Hängebrücken vom seilverspannten Balken unterscheiden können	120
2.41.2	Hinweise zur Unterrichtsorganisation	120
2.41.3	Feinlernziel: Lastabtragung und Belastung der einzelnen Bauteile bei der erdverankerten Hängebrücke	122
2.41.4	Feinlernziel: Lastabtragung und Kräfteverlauf bei der Hängebrücke mit aufgehobenem Horizontalschub	122
2.41.5	Hinweise zur Unterrichtsorganisation	122
2.5	Grobziel: Statische Funktion von Auflagern	124
2.51.1	Feinlernziel: Erkennen der Notwendigkeit von Auflagern	124
2.51.2	Hinweise zur Unterrichtsorganisation	124
2.52	Feinlernzielgruppe: Die Schüler sollen möglichst viele Konstruktionen für Brückenlager finden, um die Reibung aufzuheben	124
2.52.1	Feinlernziel: Erkennen der statischen Funktion von Rollenlagern und deren Konstruktion	124
2.52.2	Feinlernziel: Erkennen der statischen Funktion von Kipplagern und deren Konstruktion	124
2.52.3	Hinweise zur Unterrichtsorganisation	125
2.6	Grobziel: Klassifikations- und Konstruktionskriterien von Brücken	125
2.61	Feinlernzielgruppe: Einteilungsgesichtspunkte	125
2.61.1	Feinlernziel: Klassifikation von Brücken nach dem Material	125
2.61.2	Feinlernziel: Klassifikation von Brücken nach dem Verwendungszweck	125
2.61.3	Feinlernziel: Klassifikation von Brücken nach der spezifischen Form der Lastabtragung	125
2.61.4	Hinweise zur Unterrichtsorganisation der Feinlernziele 2.61.1–2.61.3	125
2.62	Feinlernzielgruppe: Sammeln von Kriterien, die beim Brückenbau berücksichtigt werden müssen	130
2.62.1	Feinlernziel: Sammlung von technischen Daten	130
2.62.2	Feinlernziel: Sammlung von ästhetischen Gesichtspunkten	130
2.62.3	Feinlernziel: Zusammenstellung von wirtschaftlichen Gesichtspunkten	130
2.62.4	Hinweise zur Unterrichtsorganisation für die Feinlernzielgruppe 2.62	130
3.	TÜRME UND MASTEN	152
3.0	Allgemeines zum Bau von Türmen und Masten, zum Zweck und zur Unterscheidung	152
3.01	Zur Einteilung von Türmen und Masten	152
3.1	Ortsfeste Türme und Masten nach Art der Lagerung	152

3.11	Freistehende, fest in Fundamente eingespannte Türme und Masten	156
3.11.1	Zur Standsicherheit von Türmen und Masten	160
3.11.2	Ungleiche Belastung bei Freileitungsmasten	160
3.11.21	Beispiele für Schülerversuche am einseitig belasteten Modell .	161
3.11.3	Weitere Beanspruchungsarten von Masten	162
3.11.31	Weitere Beispiele für Schülerversuche	163
3.12	Mit Seilen abgespannte, beweglich gelagerte Masten	164
3.12.1	Modellbeispiele für Lagerungen	164
3.12.2	Großmodell eines mit Seilen abgespannten, beweglich gelagerten Funkmastes	166
3.2	Ortsfeste Türme und Masten nach konstruktiver Ausbildung	167
3.21	Vollwandtürme und -masten	167
3.22	Fachwerktürme und -masten	167
3.22.1	Hinweise für den Bau von Fachwerk-Turmmodellen durch Schüler	169
3.22.2	Unterrichtsbeispiel Fachwerkurm in einem 9. Schuljahr	171
3.22.21	Abbildung von Schülerarbeiten	171
3.23	Rahmenwerktürme und -masten	176
	Anmerkungen	177
	Fachwörterverzeichnis	178
	Bildnachweis	190
	Literaturverzeichnis	191

Zum Geleit

Technische Bildung oder wie sonst die Einbeziehung der Technik in das Lehr- und Lernprogramm allgemeinbildender Schulen genannt wird, ist noch mehr Hoffnung als Realität. Vielleicht braucht das nicht zu verwundern angesichts der Tatsache, daß erst etwa zehn Jahre vergangen sind, seit die Forderung nach technischer Bildung und die Umstrukturierung des Faches Werkerziehung vor dem Forum eines großen Kongresses erhoben wurde. Das große Echo auf die Manifestation des 1. Werkpädagogischen Kongresses ließ allerdings eine schnellere und vor allem geradlinige Entwicklung erhoffen. Wo liegen die Schwierigkeiten? Zu den Charakteristika unserer Zeit gehört eine immer perfekter und intensiver werdende – vorwiegend verbale – Kommunikation. Wieder besteht die Gefahr, daß sich das Wort, das Reden **über** die Sachen in den Vordergrund drängt – in einem andern Sinn freilich als in der alten Lernschule.

Die jüngsten Bemühungen um eine technische Bildung offenbaren erneut, wie schwer es die „konkreten Sachen“ haben gegenüber Parolen, gegenüber all dem, was allein durch das Wort verkündet werden kann oder nur der Deklamation bedarf. Und es scheint immer noch schwer zu sein, daß sich die Technik von dem Odium befreien kann, nur ein Bereich der Herstellung zu sein, der Herstellung zwar immer komplizierterer Objekte in immer komplizierteren Verfahrensweisen, daß im Grunde aber doch nur die alte Mechanikerfunktion erfüllt wird.

Im direkten Sinn ist die Technik (wie die Naturwissenschaften auch) freilich ein unpolitischer Bereich. Der elektrische Strom fließt überall in gleicher Weise und die elektromagnetischen Wellen breiten sich in Ost und West nach den gleichen Gesetzen aus. Auch ein Gebäude oder eine Brücke müssen über den ganzen Erdball hinweg nach den gleichen statischen Bedingungen gegründet oder konstruiert werden. Reine Techniker sind darum austauschbar. Das unterscheidet sie von den Ideologen. Zweifellos haben die Techniker auch nicht immer die Folgen ihres Tuns gesehen und sich zu selbstverständlich in den Dienst nehmen lassen. Es ist eine Frage der Erziehung und des gesellschaftlichen Bewußtseins, wie sich der Techniker selbst empfindet und wie ihn die Gesellschaft sieht. Die Daseinssicherung und Daseinserleichterung durch instrumentelle Veränderung der jeweils gegebenen realen Welt ist eine permanente Aufgabe und muß in Abhängigkeit von möglichen gesell-

schaftlichen Positionen immer wieder neu reflektiert werden.

Es ist eine Tatsache, daß die Technik nicht ihrer Bedeutung gemäß in der Schule repräsentiert ist. Dabei besteht gerade bei Heranwachsenden ein Drang, sich im Umgang mit konkreten Dingen zu bewähren, Geschick und Intelligenz dadurch zu erproben, daß man experimentiert und laboriert, wobei die Phantasie oder Kreativität (wie wir heute lieber sagen) immer mit im Spiel ist. Der Heranwachsende braucht auch in der Schule den Raum – als Spiel- und Handlungsraum – der es zuläßt, daß er Dinge machen kann, sei es auch nur im Modell, daß er über Sachen reflektieren kann, über gemachte und machbare, über meßbare und nachprüfbar – nicht nur über „Verhältnisse“ oder Interessen.

Technische Bildung schließt (nebenbei) auch noch die Aufklärung über ihren Sinn ein und den potentiellen Widerstand gegen das Politische jeder Couleur, wenn es sich absolut zu setzen versucht und der Technik nur die Rolle des Instrumentes zugestehen will.

Was hat das alles mit dem vorliegenden Band und seinen Autoren zu tun?

Nun, die Autoren zeigen uns in überzeugender Weise, wie in einem bedeutenden Teilbereich der Technik technische Bildung auf effektive Weise geschehen kann, wie man sich den bedeutenden Erscheinungen Brücken, Türme und Masten nicht nur von der Erscheinung her nähert, – etwa den „schönen Brücken“ von Maillart, sondern wie man Brücken, Türme und Maste wirklich versteht, begreift, warum sie so sind und wie sie funktionieren (auch wenn man das nicht direkt sieht). Brücken, Türme und Masten verstehen, heißt ihre statischen Probleme erkennen; denn das sind die eigentlich technischen (und schwierigen) Probleme. In den Modellen, zu deren Bau uns die Autoren anleiten, stellen sich – in vereinfachter Form natürlich – die gleichen Probleme, vor denen auch die Bauingenieure stehen. Über die Bedeutung von Brücken, Türmen und Masten für den Fortschritt der menschlichen Gesellschaft braucht hier nichts gesagt zu werden, davon ist im einleitenden Kapitel des Buches die Rede.

Was so in unserer Umwelt nicht übersehen werden kann, müßte auch Unterrichtsgegenstand der Schule sein.

Daß technische Bildung es noch so schwer hat, sich in allen Bundesländern durchzusetzen, ist vielleicht auch darin begründet, daß es einer

gewissen Zeit bedarf, bis für den Gesamtbereich die didaktische Aufschlüsselung geleistet worden ist. Für einen bedeutsamen Teilbereich der Technik scheint mir diese Aufgabe im vorliegenden HANDBUCH III gelöst. Die Aufgabe konnte nur von jemand gelöst werden, der sich im Sachbereich gut auskennt. Das erweist sich nicht zuletzt in der Systematik, die die vielfältigen Erscheinungen von Brücken, Türmen und Masten in einer übersichtlichen Ordnung erfaßt. Was so als strukturiert erfahren wird, kann leichter gelernt werden.

Daß die Autoren sich einer sachlichen Sprache bedienen, durch Zeichnung und Bild veranschaulichen, was nur irgend zu veranschaulichen ist (und soweit der vorgegebene Rahmen des Buches dies erlaubt), werden die Leser des HANDBUCHES III dankbar begrüßen. Die Autoren deklamieren nicht, sie fordern nicht, sondern zeigen auf, wie man einen speziellen Bereich der Technik in der Sekundarstufe zu interessanten Lehr- und Lerninhalten machen kann.

Karl Klöckner

Vorwort

Die Welt der „Erfindungs-Zivilisation“, in der wir leben, wandelt sich ständig. Sie ist weitgehend dadurch charakterisiert, daß sie durch technische oder naturwissenschaftliche Methoden oder Systeme beschrieben werden kann.

Der natürliche Anpassungszwang des Individuums an diese von ihm vorgefundene „technisierte“ Umwelt stellt jede Generation von Lehrern und Erziehern vor neue Aufgaben. Hierbei wandelt sich nicht nur der zu lehrende Stoff, es wandeln sich zwangsläufig auch die Lehrmethoden.

Eine der großen Aufgaben einer Ausbildung im weiteren Sinne ist sicherlich: Menschen mit ihrer Umwelt vertraut zu machen, ihnen also auch die nötige Sicherheit und Erfahrung im Umgang mit technischen Problemen zu vermitteln. Hierzu bedarf es einer gemeinsamen Anstrengung, die richtigen Wege zu suchen, um ein solches „Zurechtfinden“ zu vermitteln, das sowohl äußere, als auch innere Sicherheit zur Folge hat.

Dieser Gewinn an Lebensbewußtsein hat aber nicht nur Bedeutung für denjenigen, der durch Begabung und Einfluß ohnehin beschlossen hat, einen technischen Beruf zu ergreifen; er ist von allgemein erzieherischer Bedeutung auch für denjenigen, der eine starke musische oder künstlerische Begabung und Neigung hat. Zusammenhänge zu erkennen, sie in sich zu verarbeiten, zu durchdenken und erneut zu gestalten – was oft mit dem Modewort „kreativ“ umschrieben wird –, dies ist ein wesentlicher Teil unseres geistigen Lebens und ein Teil dessen, was uns das Leben lebenswert erscheinen läßt.

Machen wir uns nichts vor: in den Methoden zur Vermittlung unserer technisierten Welt ist jahrzehntelang gesündigt worden. Generationen von Lehrern haben den Bezug des Lehrstoffs zur Wirklichkeit vernachlässigt. Sie haben Wissenschaft mit Technik verwechselt, wobei sie übersehen haben, daß der Wissenschaftler weiß, „wie es geht“ – der Techniker aber weiß, „wie es gemacht wird“.

Nun legen die Verfasser Hörner und Kaufmann ein Handbuch vor, das nach Konzeption, Material und Stil zu den „Eisbrechern“ gehört. Sie versuchen, alte Versäumnisse wieder gutzumachen auf gewissenhafte, redliche und neuartige Weise und mit großer Sachkenntnis. Dies ist ein kühnes und wohlgelungenes Unternehmen.

Während der mühevollen Kleinarbeit mußten sich die Verfasser in technische Probleme einarbeiten, die ihnen teilweise zunächst fremd waren. Hier hat sich in der Zusammenarbeit Pädagogen – Techniker ein reizvolles Feld gegenseitiger Anregungen ergeben. Mir hat es große Freude gemacht zu sehen, mit wieviel Begeisterung und Sorgfalt für das technische Detail die Verfasser – als Laien auf diesem Fachgebiet – in ein so schwieriges Thema wie „Brückenbau“ einsteigen. Es ist nicht einfach, den noch allgemein verständlichen Grad an fachlicher Genauigkeit zu treffen, ohne daß die Probleme entweder zu sehr vereinfacht oder zu sehr kompliziert werden. Für den Techniker bringt die Zusammenarbeit mit den Pädagogen überraschende Einblicke in die Vielschichtigkeit moderner Methoden der Didaktik und Pädagogik.

Das Gebiet der Baustatik – bei vielen mit dem Vorurteil „trocken, uninteressant, langweilig“ belegt – wird aus dem unverdienten Dornröschenschlaf für viele Leser zu einem der abenteuerlichsten und interessantesten Gebiete unserer technischen Umwelt erweckt. Es wird aus der verstaubten Ecke herausgeholt, ohne daß eine Ideologie oder ein Bekehrungswahn die Feder geführt hätte.

Die Verfasser bedienen sich zur Demonstration der beschriebenen technischen Vorgänge der ausgezeichneten fischertechnik-Baukästen. – Wie sehr dieses System bereits Wirklichkeit ist, mag die Tatsache erhellen, daß heute schon in manchen Ingenieurbüros für Bauwesen diese Baukästen als Lehrmittel für die Auszubildenden verwendet werden.

In meinem eigenen freiberuflichen Ingenieurbüro für Baustatik werden diese Modellbaukästen eingesetzt. Im Rahmen der Ausbildung demonstrieren wir am Modell statische und konstruktive Grundregeln.

Tatsächlich gibt es wohl kaum ein besseres Lehrmittel, um technische Probleme darzustellen, die uns – wie hier auf dem Gebiet der Baustatik – unsere Umwelt besser zu verstehen helfen und uns auch selbst weiterbringen.

Dr.-Ing. B. Linss

Einleitung

Wenn der Herausgeber nach jahrelanger Bearbeitung und Zusammenarbeit mit seinem Mit-Autor dieses lang angekündigte Lehrerhandbuch endlich der Öffentlichkeit vorlegt, dann mit dem Wissen, daß ein so neuer und komplexer Sachverhalt wie die Statik innerhalb des technischen Unterrichts noch nicht abschließend dargestellt werden kann. Das Handbuch hat vielmehr zum Ziel, den begonnenen Erfahrungsprozess zu aktivieren.

In allen Lehrplänen, die in letzter Zeit in den einzelnen Bundesländern erschienen sind, ist der Sachbereich Bautechnik („Bau“, „Ingenieurbau“ usw.) zu einem wichtigen Teilgebiet des technischen Unterrichts („Technik“, „Technikunterricht“, „Techniklehre“, „Polytechnik“ usw.) – oder allgemeiner gesagt, der TECHNISCHEN BILDUNG geworden.

Innerhalb des Sachbereichs Bautechnik kommt den Tragwerken insgesamt besondere Bedeutung zu, wobei den horizontalen Tragwerken – also den Brücken („Überbrückungen“) anteilmäßig bisher mehr Beachtung geschenkt wurde. Aus diesem Grunde legen auch wir den Schwerpunkt in dieses Aufgabenfeld.

In dieser Veröffentlichung wird der Versuch unternommen, sowohl dem für den technischen Werkunterricht nicht ausgebildeten Lehrer als auch dem Studierenden

- das Aufgabenfeld Brücken, Türme und Masten sachlich zu erschließen und zu strukturieren
- den Aufgabenbereich Brücken ausführlich didaktisch aufzubereiten
- die Einsatzmöglichkeiten des Mediums „Technische Baukästen“ unter Verwendung der Lernbaukästen u-t S und u-t 1 im Aufgabenfeld Brücken, Türme und Masten darzustellen.

Gesichtspunkte des sachanalytischen Teils

Neben dem mehr allgemein gehaltenen Abschnitt über die elementaren statischen Sachverhalte und den kurzen Ausführungen über die gemeinsamen und doch verschiedenen Aufgaben von horizontalen und vertikalen Tragkonstruktionen wird den vielfältigen Problemen der Lastabtragung im 1. Kapitel BRÜCKEN – sachanalytischer Teil ein breiter Raum gewidmet.

Anhand vieler Fotos, Skizzen, Tafeln und Belegtexte wird versucht, die Sache richtig, aber verständlich darzustellen und es somit dem Lehrer oder dem Studenten abzunehmen, sich in die vielfach oft nur schwer zu beschaffende (und schwer verstehbare) Spezialliteratur der Ingenieurwissenschaften mühsam einzuarbeiten.

Dem im 3. Abschnitt auf den Seiten 152–176 dargestellten Teilbereich der Türme und Masten kann aus Platzgründen nicht dieselbe Ausführlichkeit wie den Brücken zukommen; er erhält außerdem keinen eigenen didaktischen Teil. Deshalb werden dort bei der knappen Sachanalyse auch die unterrichtlichen Probleme mit angesprochen.

Gesichtspunkte des didaktischen Teils

Beim Handlungsumgang mit dem Thema Brücken werden verschiedene Verhaltensweisen, wie Analysieren, Konstruieren, Vergleichen u. a. gefordert. Aus diesem Grund werden im 2. Kapitel außer den Lernbaukästen weitere Medien angeboten, wie Bilder, Zeichnungen, Tabellen usw., die auch zum Projizieren im Episkop geeignet sind.

Die Konzeption der Lernbaukästen-Bauteile läßt einen kreativitätsorientierten Unterricht zu. Dadurch ist eine didaktische Konzeption möglich, die kreatives Verhalten der Schüler berücksichtigt. Diese Konzeption wird im 2. Abschnitt an vielen Brückenbeispielen differenziert dargestellt.

Für die Lernkontrolle sind informelle Tests vorgesehen, die die gewonnenen Kenntnisse und Fähigkeiten überprüfen. Diese informellen Tests liegen der Ergänzungsmappe B bei.

Gesichtspunkte zu der Verwendung der Lernbaukästen u-t S und u-t 1

Werkdidaktiker wie Biester¹⁾, Dinter²⁾, Mehrgardt³⁾, Sellin⁴⁾ u. a. haben gezeigt, daß zum Erkennen statischer Zusammenhänge aus didaktischen Gründen instabile Materialien wie Papier, Pappe, Ton, Draht und Holzstäbchen geeigneter sind als die in der technischen Wirklichkeit verarbeiteten Werkstoffe, die wegen ihrer hohen Eigenstabilität Stabilisierungsvorgänge in der Schule nicht veranschaulichen können. Bei der Konzeption des fischertechnik-Lernbaukastens u-t S wurden diese werkdidaktischen Erkenntnisse insbesondere durch die Auswahl und die Formgebung des Materials bewußt berücksichtigt. Dabei sind die aus „Nylon“ hergestellten Bauelemente aufgrund ihrer Materialeigenschaft

einerseits so instabil, daß sie u. a. bei Knickbelastung durchbiegen oder die Angriffspunkte von Druck und Zug gut sichtbar machen können. Andererseits sind sie so ausgebildet, daß der Schüler beim Zusammenfügen einzelner Elemente einfache (z. B. L- und U-Profile) und komplexe Stabilisierungsvorgänge (z. B. Fachwerke) nachvollziehen kann.

Die Verwendung von vorgefertigten Bauteilen im technischen Unterricht entspricht den heute in der Technik üblichen Konstruktions- und Herstellungsverfahren und ist deswegen didaktisch legitim. Außerdem werden Lernziele aus dem Bereich statischer Gesetzmäßigkeiten bei der Verwendung vorgefertigter Bauteile auf weitaus ökonomischere Weise erreicht, weil die Herstellung von Bauelementen in einem Statiklehrgang zu viel Zeit in Anspruch nimmt.

Durch das instabile Material der Teile des Lernbaukastens können die statischen Gesetzmäßigkeiten und Prinzipien deutlicher veranschaulicht werden als bei den stabilen Materialien in der bautechnischen Wirklichkeit.

Damit ist **nicht** zum Ausdruck gebracht, daß im technischen Unterricht innerhalb des Sachbereichs Bautechnik nur mit vorgefertigten Bauelementen von Lernbaukästen gearbeitet werden sollte. Siehe hierzu den Beitrag von H. Maier⁵⁾, über den didaktischen Ort technischer Baukästen. Das „Herstellen“ und „Machen“, also das Bearbeiten von „herkömmlichen Materialien“ – in diesem Sachbereich vor allem mit Papier und Pappe – haben nach wie vor dort ihren Vorzug, wo sie lernökonomisch eingesetzt werden können und wo sie den Baukastenteilen überlegen sind, wie z. B. bei der Herstellung und Prüfung von rohrförmigen Trägern. Dieses Lehrerhandbuch erhebt deshalb nicht den Anspruch auf die Ausschließlichkeit des Einsatzes von Lernbaukästen im Aufgabenfeld Brücken, Türme und Masten.

Viele Versuche in verschiedenen Schuljahren bestätigen jedoch, daß die Schüler ausgesprochen positiv auf die Statik-Bauelemente „ansprechen“ und stark motiviert auch an größere Gemeinschaftsaufgaben herangehen, weil sie bald herausfinden, wie stark diese an und für sich instabilen Elemente belastet werden können, wenn sie, zweckmäßig miteinander verbunden, stabile Konstruktionen ergeben.

In den Kapiteln 1, 2 und 3 sind viele Schüler- und Lehrerarbeiten gezeigt, bei denen der Zusammenbau der einzelnen Teile oftmals sehr genau beschrieben ist. Zur Handhabung der Bauele-

mente sei hier auch auf das vierblättrige Faltblatt hingewiesen, das jedem Lernbaukasten u-t S beigelegt ist.

Besonders genaue Beschreibungen sind in den Ergänzungsmappen A und B zu diesem Lehrerhandbuch zu finden, und zwar auf Einzelblättern bzw. Faltblättern für die Hand der Schüler. Dies hat den Vorteil, daß zu einem Lehrerhandbuch zusätzlich Schülerarbeitsmaterialien angeboten werden.

In der Ergänzungsmappe A zum Lehrerhandbuch III ist das Planungsbeispiel Schrägseilbrücke in Form eines gebundenen Lehrgangs vom Herausgeber – selbstverständlich nach Erprobung in der Schulpraxis – als Konstruktionsaufträge für Schüler der Sekundarstufe ausgearbeitet. Hierbei sollen die Schüler über das Kennenlernen der rein statischen Probleme hinaus auch mit dem Lesen und Verstehen von Bauanleitungen und vor allem mit der Einhaltung einer Planungsstrategie – ein solch großes Vorhaben gemeinsam ökonomisch innerhalb von nur zwei Doppelstunden zu realisieren – vertraut gemacht werden.

In der Ergänzungsmappe B zum Lehrerhandbuch III sind verschiedene Konstruktionshinweise für Schüler zu finden. Es wäre eine dankbare Aufgabe, wenn interessierte Lehrkräfte zu diesen knapper gehaltenen Hinweisen selbst eine Planungsstrategie entwerfen und im „Forum technische Bildung“⁶⁾ veröffentlichen würden.

Abschließend ein Wort des Dankes

Wenn ein Schulpädagoge und ein Fachdidaktiker darangehen, ein ingenieurwissenschaftlich richtiges und didaktisch reflektiertes Lehrerhandbuch über STATISCHE PROBLEME BEI BRÜCKEN, TÜRMEN UND MASTEN zu schreiben, so ist dies zugegebenermaßen ein gewagtes Unterfangen. Was liegt näher, als sich bei Fachleuten, also bei Statikern, Rat zu holen?

Wir danken hier deshalb sehr herzlich den Herren Dr.-Ing. Bernhard Linss in Freudenstadt und Ing. (grad.) Gerald Wolff in Weinheim für die mancherlei Hinweise und Beratung im Bereiche der Statik.

Außerdem verdanken wir unserem Kollegen, dem Schulpädagogen Prof. Dr. Hans Maier viele gute Anregungen zur Gestaltung dieses Buches.

Zu danken ist außerdem einigen Verlagen und Institutionen, die uns bereitwillig den Abdruck

ihrer Abbildungen gestatteteten. Sie sind im einzelnen dem Bildnachweis zu entnehmen.

Insbesondere aber sei den Fischer-Werken Artur Fischer in Tumlingen gedankt, daß sie den Autoren während der jahrelangen Erstellung dieses so umfangreichen Werkes mit soviel Verständnis und Geduld begegnet sind und immer wieder bereit waren, auf neue Aspekte bei der Herausgabe einzugehen. So wurde es möglich, daß ein Handbuch über STATISCHE PROBLEME BEI BRÜCKEN, TÜRME UND MASTEN konzipiert werden konnte, das über den direkten Einsatz des Mediums Lernbalken u-t S hinaus auch als Lehrbuch für einfache Statik benutzt werden kann.

Elementare statische Sachverhalte

Ein Handbuch Statik für die Sekundarstufe kann nur als eine Einführung in ausgewählte, elementare statische Sachverhalte verstanden werden. Ein Anspruch auf eine umfassende und differenzierte Darstellung der gesamten Statik wird und kann hier nicht erhoben werden.

Mit der in diesem Kapitel vorgenommenen Auswahl elementarer statischer Sachverhalte werden zwei Schwerpunkte gesetzt:

1. Die Arten der Kräftebeanspruchung
2. Die Zerlegung der Kräfte

Diese Akzentsetzung ist an den Forderungen der Lehrpläne zum Thema Ingenieurbau auf der Sekundarstufe I orientiert, für die dieses Buch geschrieben ist. So wird in dem „Curriculum Technik“⁷⁾, das Horst Dinter im Auftrag des Kultusministers des Saarlandes für die Techniklehre auf der Sekundarstufe angefertigt hat, u. a. auch die Stabilisierung von Balken, das Wissen um die unterschiedliche Belastbarkeit der L-, U- und O-Profile, die Durchführung von Belastungsversuchen von Brückenträgern u. a. m. gefordert. Im Bildungsplan von Nordrhein-Westfalen⁸⁾ wird in dem Kapitel „Technisches Werken“ das Erkennen von Gleichgewichtsverhältnissen, die unterschiedliche Belastbarkeit von Bauelementen (Profile) bei Biege-, Druck- und Zugbeanspruchung erwähnt. Als Grobzielformulierung finden wir dort: „Gewinn von Erfahrungen und Einsichten durch ‚Erfindungsaufgaben‘, experimentierendes Erkunden und Bauen im Bereich statischer Gesetzmäßigkeiten.“

Hinter all diesen Lehrplanforderungen steht die Absicht, das technische Verständnis der Schüler auf induktivem Wege auszubilden, d. h. von konkreten Aufgabenstellungen ausgehend, ein immer differenzierteres und komplexeres Bild von technischen Gesetzmäßigkeiten zu vermitteln. Das Anspruchsniveau wird hierbei jedoch vom Adressatenkreis bestimmt. Eine Gruppe von Ingenieuren wird sich nicht eher zufrieden geben, bis (z. B. beim Brückenbau) die letzten physikalischen Gesetzmäßigkeiten geklärt und auf mathematische Formeln gebracht sind. Schüler der Sekundarstufe wären hier überfordert. Deshalb die Beschränkung auf die o. g. Schwerpunkte.

Allgemeines zur Statik

Der Begriff Statik kommt vom griechischen *στασις*⁹⁾, was so viel wie Stillstehen, Stillstand, Verweilen und Ruhe bedeutet. Unter Statik versteht man heute die Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte. Sie ist ein Teilgebiet der Physik (Mechanik) und wird überall dort angewendet, wo technische Konstruktionen Kräfteeinwirkungen ausgesetzt sind. Solche Kräfte sind beispielsweise Gewichtskräfte, Naturkräfte (Wasser, Erdbeben, Wind), mechanische Kräfte (Dampfkraft, Explosionsgefahr) und Muskelkräfte. Wir nennen diese auch mit einem Begriff **äußere Kräfte**.

Neben den äußeren Kräften gibt es auch die sogenannten **inneren Kräfte**. Die Statik einer Konstruktion ergibt sich aus dem Verhältnis der inneren Kräfte. Diese treten immer paarweise auf, z. B. als Druck- und Zugkraft in den Bauteilen eines Hängewerks (s. S. 37). Sie sind entgegengesetzt gerichtet und gleich groß.¹⁰⁾

Es bedarf keiner weiteren Erklärung, daß Häuser, Brücken, Türme, Kräne, Masten und andere Konstruktionen so gebaut sein müssen, daß sie nicht unter ihrer eigenen Last und unter fremder Last (Nutzlast) zusammenbrechen. Bei allen Bauvorhaben müssen daher Funktions- und Situationsanalysen durchgeführt werden, um alle denkbaren Kräfte, die jemals an einem Bauwerk auftreten können, in ihrer ungünstigsten Kombination zu erkunden und als Größen bei der statischen Berechnung zu berücksichtigen.

Während die **Statik** als Lehre vom Gleichgewicht der inneren und äußeren Kräfte sich um die Darstellung materialunabhängiger Gesetzmäßigkeiten bemüht, geht es der **Festigkeitslehre** um die Beanspruchbarkeit der verschiedenen Baustoffe. Sie dient also dem Nachweis, daß ein Bauwerk in all seinen Teilen mit der notwendigen Sicherheit bemessen ist.

Die Beanspruchungsarten

Die auf einen Gegenstand einwirkenden Kräfte haben die Tendenz, den Gegenstand fortzubewegen. Treffen Kräfte auf elastische Körper, so können diese auch verformt werden, ohne daß sie sich bewegen. **Kräfte führen demnach zur Bewegung und/oder Verformung von Körpern. Oder anders formuliert: Die Ursache jeder Bewegungs- oder Formänderung – oder beider zugleich – ist die Kraft.¹¹⁾**

Je nach der Lage der Körper, den Angriffspunkten der Kräfte und dem daraus sich ergebenden Kräfteverlauf unterscheiden wir folgende Beanspruchungsarten:

- Zugbeanspruchung (s. S. 8)
- Druckbeanspruchung (s. S. 8)
- Biegebeanspruchung (s. S. 8)
- Knickbeanspruchung (s. S. 10)
- Scherbeanspruchung (s. S. 11)
- Torsionsbeanspruchung (s. S. 11).

Zugbeanspruchung

Wird ein Bauteil Zugkräften ausgesetzt, so sprechen wir von Zugbeanspruchung. Diese kann zu Formänderungen führen. Dabei wird die Hauptachse verlängert (siehe Abb. 1 a+b), und der Zwischenraum zwischen benachbarten Querschnitten wird größer. Der Stab wird dünner. (Auch wenn dies meistens nicht erkennbar und kaum meßbar ist.)

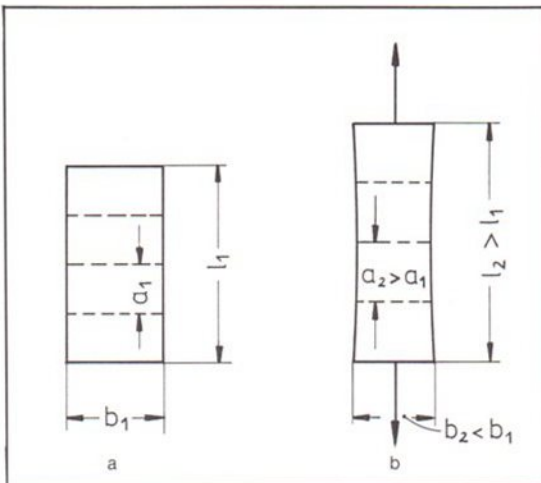


Abb. 1

Druckbeanspruchung

Bei der Druckbeanspruchung haben wir umgekehrte Verhältnisse. Wird ein Stab Druckkräften ausgesetzt, so verkürzt er sich in der Druckrichtung, der Abstand zwischen den benachbarten Querschnitten wird kürzer – dadurch wird der Stab dicker (siehe Abb. 2, a+b).

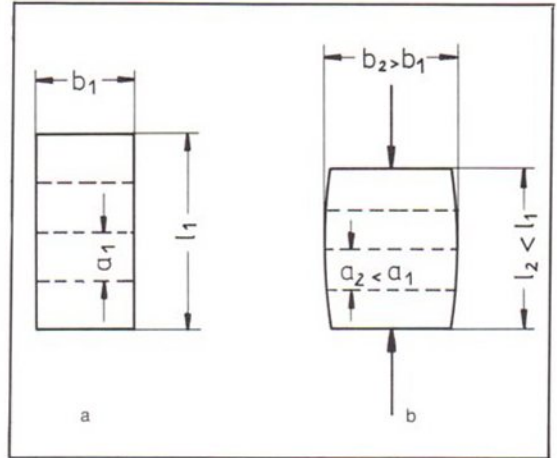


Abb. 2

Bei reiner Druck- und Zugbeanspruchung wirken die Kräfte **in Stabrichtung**.

Biegebeanspruchung

Biegebeanspruchung liegt überall da vor, wo Zug- bzw. Druckkräfte quer zur Stabachse einwirken. Der sog. **Biegestab** ist demnach querbelastet.

Vorkommen: 1.) bei horizont. Einsatz: als Träger, Balken, Sturz, Deckenrippe, Pfette usf.

2.) bei vertikal. Einsatz: als eingespannter Balken, Mast (usf.).

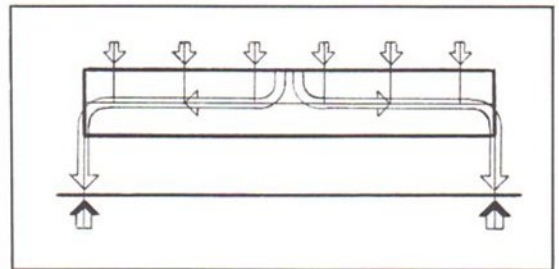


Abb. 3 Druckkräfte wirken vertikal auf die Stabachse ein, werden horizontal umgelenkt und über die Auflager wieder vertikal abgetragen.

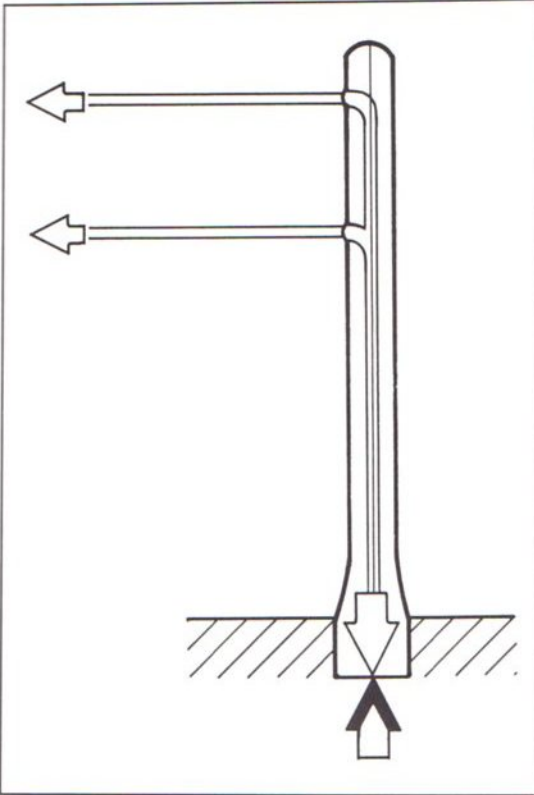


Abb. 4 Zugkräfte (Oberleitungsdrähte) wirken horizontal auf die Stabachse ein, werden vertikal umgelenkt und abgetragen.

Weitere Beispiele für Biegebeanspruchung in der Bau- und Ingenieurtechnik:

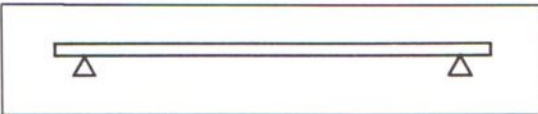


Abb. 5 Balken auf zwei Stützen (Biegeträger).

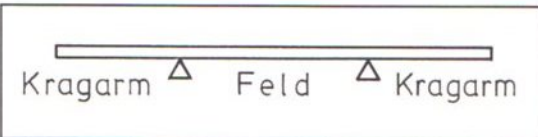


Abb. 6 Frei aufliegender Träger mit Kragarmen.



Abb. 7 Träger auf mehreren Stützen (Durchlaufträger).



Abb. 8 Einseitig eingespannter Träger (Einspannträger), z. B. Balkon-Kragplatte.

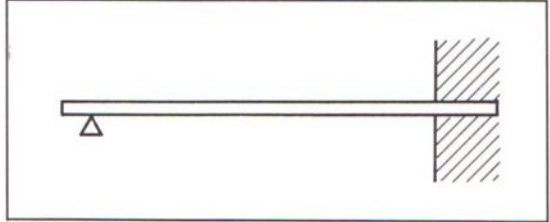


Abb. 9 Einseitig eingespannter Träger.

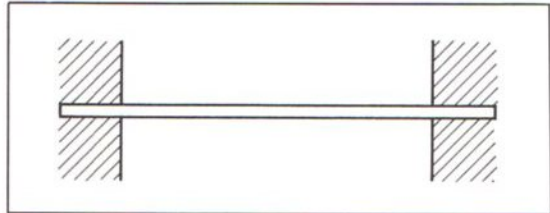


Abb. 10 Beidseitig eingespannter Träger.

Bei der Darstellung der Biegebeanspruchung beschränken wir uns hier auf zwei Beispiele: auf den Balken auf zwei Stützen und auf den Freitrag.

Bei der Belastung des Balkens auf zwei Stützen beobachten wir eine Formänderung, die durch die Durchbiegung der Stabachse hervorgerufen wird (s. Abb. 11). Die Biegebeanspruchung läßt sich genauer bestimmen durch die Winkel α und β zwischen der Stabachse und der Krümmung der Biegelinie (derjenigen Linie, die die Stabachse unter Belastung annimmt) und durch den Abstand zwischen Stabachse und Krümmungslinie. Diese beiden Größen sind für die statische Berechnung von zentraler Bedeutung.

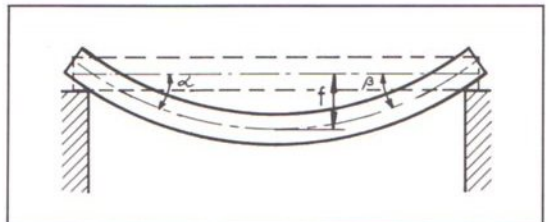


Abb. 11

Eine genauere Betrachtung der Biegebeanspruchung des oben abgebildeten Balkens auf zwei Stützen zeigt: der obere Teil des Balkens ist Druckkräften, der untere Teil Zugkräften ausgesetzt, ein Sachverhalt, dessen Veranschaulichung Sellin⁴⁾ mit dem Tonbalken besonders gut gelang.

Daß außer diesen für den Technikunterricht in der Sekundarstufe wichtigsten Verformungserscheinungen (Zugzone unten, Druckzone oben) noch eine ganze Reihe weiterer innerer „Kräftekonflikte“ vorliegen, sei an dem (für statische Laien) nicht ganz leicht verständlichen Beispiel von Engel¹²⁾ aufgezeigt.

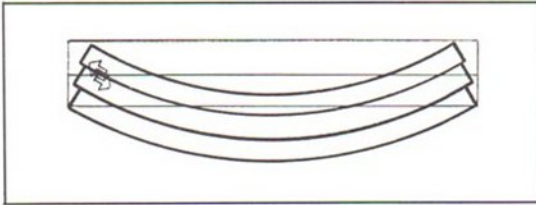


Abb. 12

Die Druckspannung in den oberen Schichten des Balkens führt zu einer Verkürzung und in den unteren Schichten zu einer Verlängerung der Lagen. Dadurch tendieren die einzelnen Lagen dazu, sich horizontal gegeneinander zu verschieben, ein Phänomen, das man als **Scherbeanspruchung** bezeichnet.

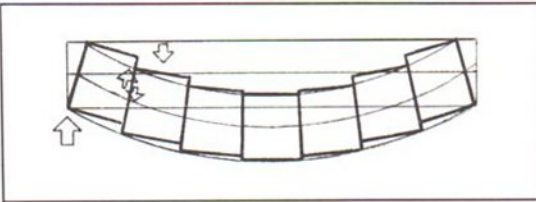


Abb. 13

Bei der Biegebeanspruchung ist neben der horizontalen auch noch eine vertikale Scherbeanspruchung zu beobachten. Diese wird durch den unterschiedlichen Abstand der einzelnen Fasern vom Lastenmittelpunkt, (bzw. im ruhenden Zustand durch die verschiedenen Biegemomente) aufgrund des unterschiedlichen Abstands der Fasern zum Auflager als Hebelarm hervorgerufen.

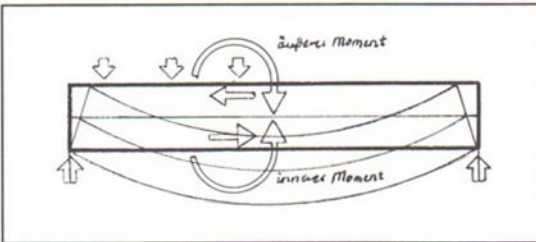


Abb. 14

Bei der Durchbiegung entstehen Scherbeanspruchungen, die Zug- und Druckkräfte aktivieren, diese bewirken ein inneres Drehmoment. Die äußeren Kräfte biegen den Balken bis das innere Drehmoment genau so groß ist, um die äußeren Kräfte aufzufangen.

Beim belasteten **Freitrag**er haben wir wieder den Winkel α zwischen Stabachse und Biegelinie und den Abstand f zwischen den beiden Linien als Bestimmungsgrößen (s. Abb. 15). Der Versuch, bei dieser Art Biegebeanspruchung Druck- und Zugkräfte nachzuweisen, erbringt für den Freitrag die umgekehrten Verhältnisse wie für den Balken auf zwei Stützen.

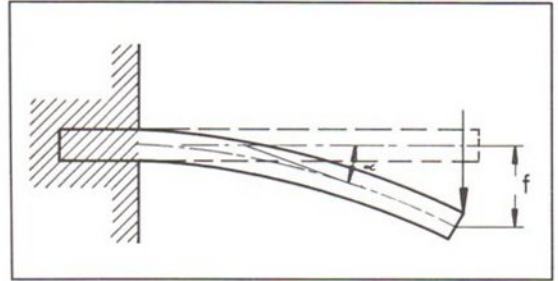


Abb. 15

Hier beobachten wir im oberen Teil des Balkens Zug und im unteren Druck. Diese Tatsache ist für die Armierung im Stahlbetonbau von Bedeutung, weil das Eisen in einem Träger bei reiner Biegung immer in die Zugzone gelegt werden muß (hier also an die Oberseite).

Knickbeanspruchung

Wird ein sehr schlanker Stab – der Schlankheitsgrad eines Stabes ist das Verhältnis seiner kleinsten Querschnittsabmessung zu seiner Knicklänge – in Stabrichtung belastet, so kann er nach der Seite ausbiegen. Wird die Druckkraft auf die Stabachse und das Biegemoment $S \times f$ (vgl. Abb. 16) so groß, daß die in den Querschnitten auftretenden Druck- und Zugkräfte keinen entsprechenden Widerstand mehr aufbringen können, so knickt der Stab aus.

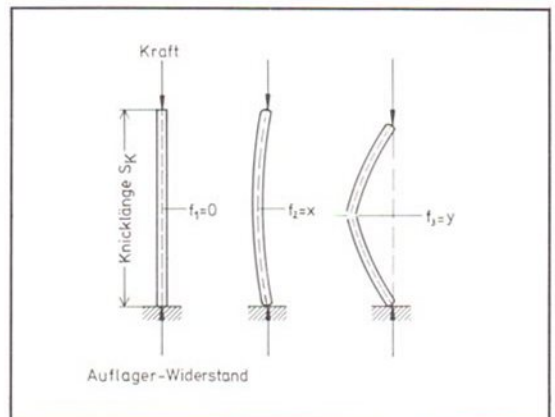


Abb. 16

Die Hauptfälle, bei denen Knickung auftreten kann, seien im folgenden kurz dargestellt (s. Abb. 17).

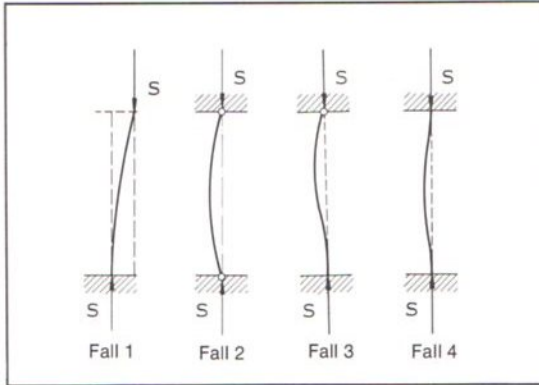


Abb. 17

Im 1. Fall ist das eine Stabende eingespannt, das andere frei beweglich.

Im 2. Fall sind beide Stabenden frei beweglich gelagert, „sie werden aber in der Stabachse geführt“ (gelenkig gehalten).

Im 3. Fall ist ein Stabende fest eingespannt, das andere beweglich gehalten. Die Führung erfolgt in der Stabachse.

Im 4. Fall sind beide Stabenden fest eingespannt. Auch hier erfolgt die Führung in der Stabachse.

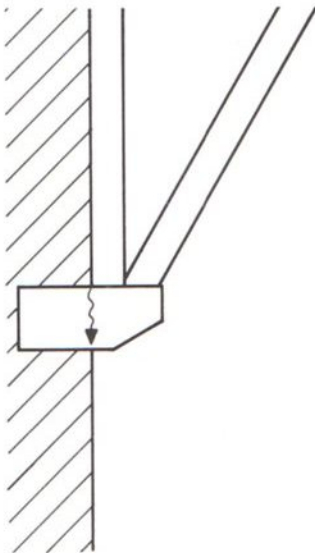


Abb. 18

Scherbeanspruchung

Von Scherbeanspruchung sprechen wir immer dort, wo eine Verschiebung benachbarter Querschnittsflächen im Stabquerschnitt vorliegt, wo also die Gefahr besteht, daß ein Bauteil durch Abscheren zerstört wird (s. Abb. 18).

Torsionsbeanspruchung

Die Torsions- oder Verdrehbeanspruchung ist eine besondere Form der Scherbeanspruchung. Auch hier werden benachbarte Flächen gegeneinander verschoben, jedoch nicht in Richtung der Stabquerschnitte, sondern im Sinne einer Verdrehung, wobei die Kräfte in einer senkrecht zur Stabachse stehenden Ebene auf die Stabachse einwirken und die Schnittflächen gegeneinander verdrehen: Der Stab wird verdreht, bzw. tordiert.

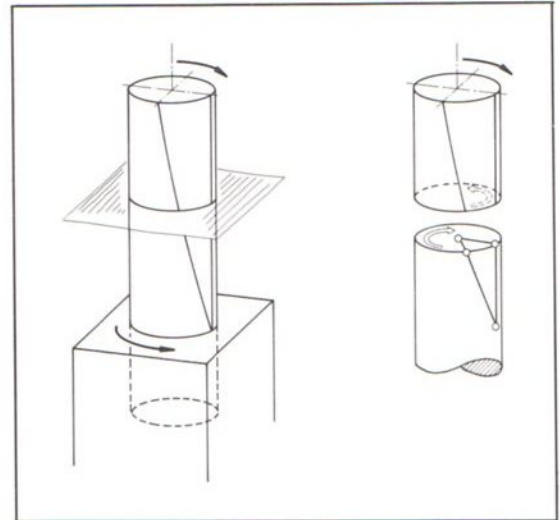


Abb. 19

Die Beanspruchungsarten sind beobachtbar, nachweisbar und beschreibbar und können beim Bauen vom Schöler selbst durch unterschiedliche konstruktive Gegenmaßnahmen in ihren Auswirkungen reduziert werden (z. B. Biegebeanspruchung einer Brückenfahrbahn durch Versteifung des Balkens). Sie erklären auch die Notwendigkeit bestimmter statischer Bauelemente (L-Träger, T-Träger, U-Träger usw.), die überall in der technischen Wirklichkeit antreffbar sind.

Das Gleichgewicht und die Zerlegung von Kräften

Wie wird das Gleichgewicht der Kräfte hergestellt?

Da es in der Statik um das Gleichgewicht der Kräfte geht, ist zu überlegen, wie die auf einen Körper einwirkende Kraft aufgefangen und neutralisiert werden kann. Eine Kraft kann für sich allein nie im Gleichgewicht sein. Um dies zu erreichen, muß mindestens eine zweite Kraft vorhanden sein. Es gilt daher zunächst: **Eine Kraft wird durch eine Gegenkraft neutralisiert.**

Jede Kraft besitzt drei Bestimmungsstücke:

1. Die Größe der Kraft. Die Kraftgröße wurde bisher in Kilopond (kp) gemessen. Das Kilopond ist diejenige Kraft, die der Anziehungskraft der Erde auf 1 Liter Wasser bei 4 Grad Celcius entspricht – oder um es anders zu formulieren – das Gewicht, das eine Masse von 1 kg bei Normalfallbeschleunigung von $g = 9,80655 \text{ m/s}^2$ hat. Neuerdings wird das Kilopond durch das Newton (N) ersetzt. Dabei ist $1 \text{ Kilopond (kp)} = 9,81 \text{ N}$. Wir benutzen die für eine Übergangszeit gültigen Bezeichnungen kp bzw. p.

2. Die Krafrichtung. Die Krafrichtung wird als Richtungswinkel angegeben, wobei man von der positiven Achse innerhalb des Koordinatensystems ausgehend, sich im Gegenuhrzeigersinn bewegt. Die Richtung selbst wird durch Pfeile angedeutet.

3. Die Lage der Kraft. Die Lage der Kraft ist durch die **tatsächliche** Wirklinie oder durch den Angriffspunkt festgelegt.

Bei der Neutralisation einer auf einen Körper einwirkenden Kraft, d. h. bei der Herstellung des Gleichgewichts, muß die Gegenkraft demnach gleich groß, entgegengesetzt gerichtet sein und auf derselben Wirklinie liegen.

Bei einem Körper, der sich im Gleichgewicht befindet, ist die Summe (\sum) aller auf ihn einwirkenden Kräfte gleich Null, weil sich die entgegengesetzt wirkenden Kräfte subtrahieren (siehe Abb. 20.)

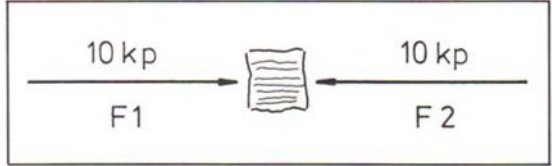


Abb. 20

$$\sum F = F_1 + F_2 = 0$$

Ist die Summe aller Kräfte gleich Null, so ist der Körper im Gleichgewicht, obwohl mehrere Kräfte auf ihn einwirken (s. auch Abb. 21).

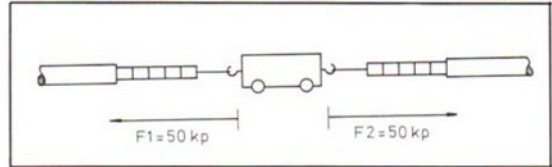


Abb. 21

Die Abbildungen 20 und 21 zeigen, daß bei beiden Körpern die Summe der Kräfte gleich Null ist, obwohl mehrere Kräfte auf sie einwirken.

Mit unserem „Vektoren-Meßgerät“ lassen sich beide Versuche sehr gut veranschaulichen. (Genaue Anweisungen zum Bau dieser Vorrichtung siehe S. 39.)

In Abb. 22 ist ein aus Bausteinen hergestellter „Körper“ durch gleiche Druckkräfte in den bei-

den Kraftmesservorrichtungen im Gleichgewicht gehalten.

Die Abb. 23 zeigt, daß die beiden Kraftmesservorrichtungen den Körper durch Zugkräfte im Gleichgewicht halten.

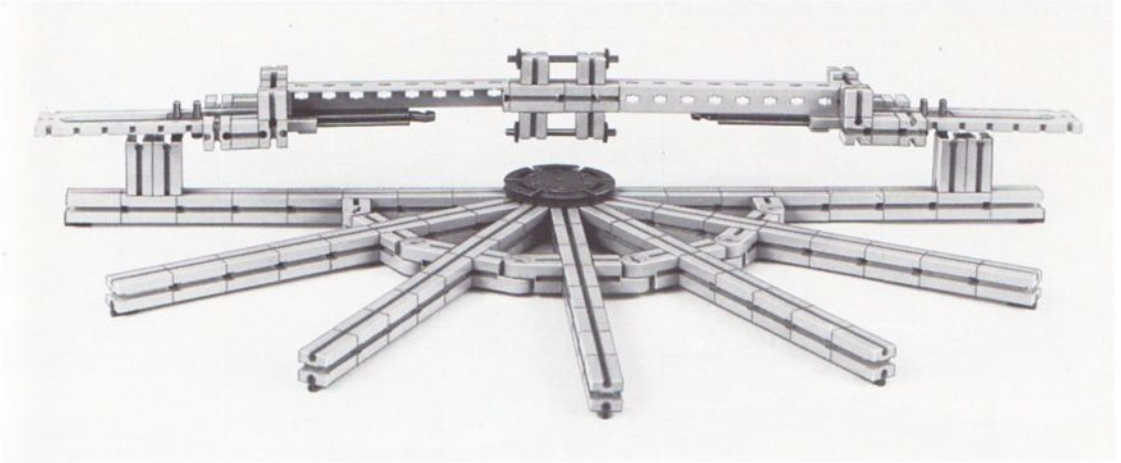


Abb. 22

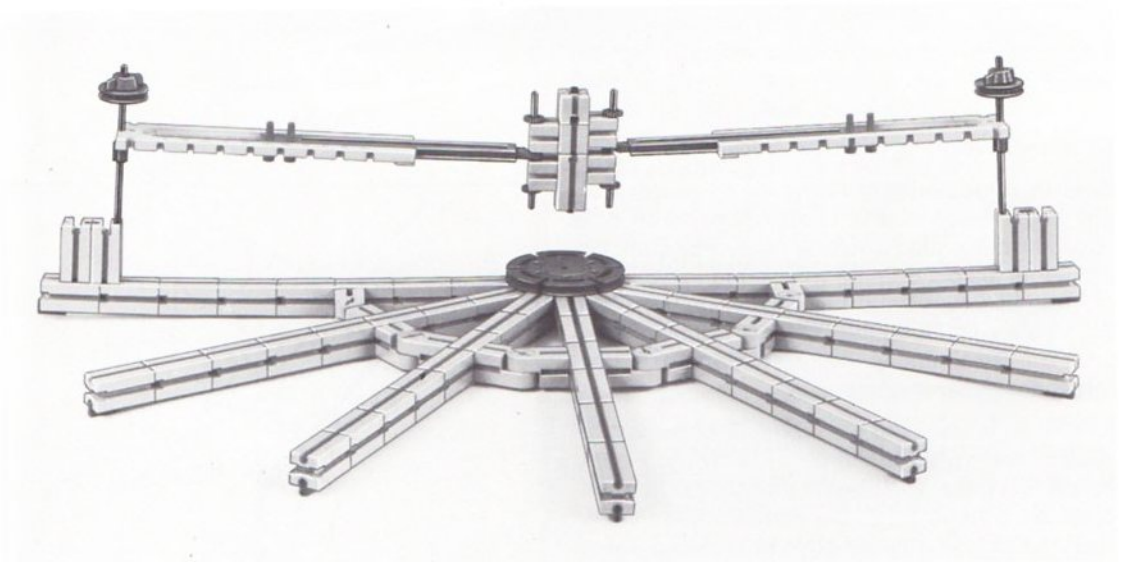


Abb. 23

Greifen zwei Kräfte in **gleicher** Richtung am selben Punkt eines Körpers an, so kann man durch Addition der Einzelkräfte die Resultierende bei-

der Kräfte erhalten. In diesem Fall ist die Resultierende gleich der Summe der Einzelkräfte (s. Abb. 24).

Die Figur auf der linken Seite hält mit einer Kraft von 50 kp der Resultierenden aus 20 + 30 kp das Gleichgewicht.

Auch dieses Beispiel ist sehr gut mit dem Vektoren-Meßgerät zu veranschaulichen. Abb. 25 stellt dar, wie auf der linken Seite 50 p von einem Kraftmesser und auf der rechten Seite ebenfalls 50 p als Summe der beiden Kraftmesser (oben 25 p, unten 25 p) den Körper im Gleichgewicht halten.

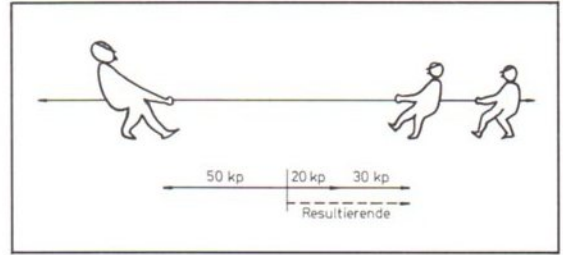


Abb. 24

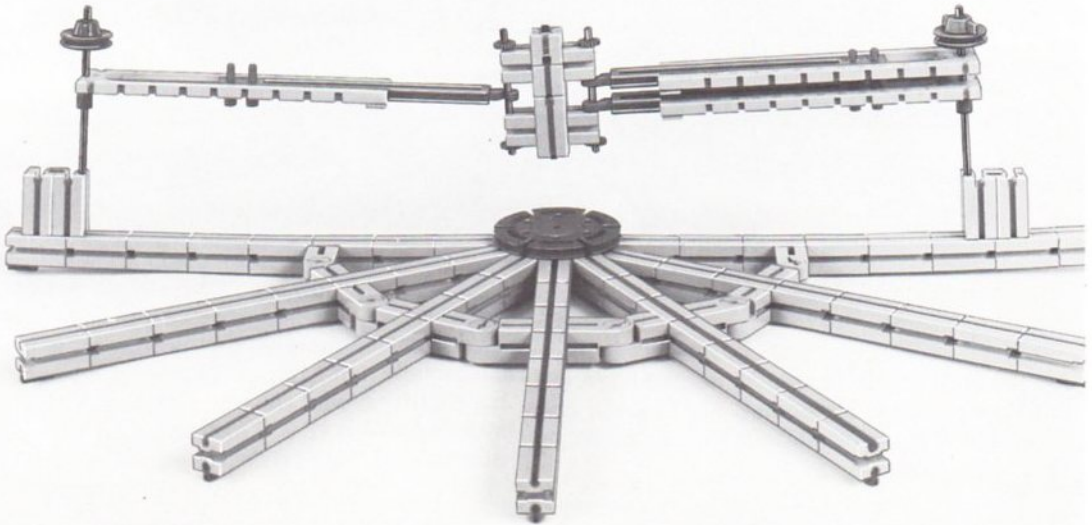


Abb. 25

Kräfte-Zerlegung (Vektor-Addition)

Zwei in **verschiedener** Richtung an einem Körper angreifende Kräfte lassen sich durch eine einzige Kraft – die Resultierende – ersetzen. Sie ist kleiner als die Summe von F_1 und F_2 , weil sich hier die Einzelkräfte z. T. aufheben (s. Abb. 26). Zur Veranschaulichung dieses Sachverhaltes und zur Bestimmung der Resultierenden mag folgender Versuch dienen.

Am Punkt A wird ein Gummiband befestigt; an dessen andern Ende ziehen zwei Kräfte F_1 und F_2 , die im Winkel zueinander stehen, das Gummiband bis zum Punkt B. Die Resultierende dieser beiden Kräfte F , die die gleiche Wirkung haben muß wie F_1 und F_2 , erhält man in diesem Experiment dadurch, daß man nach Entfernung der Kräfte F_1 und F_2 an einem an dem Gummiband befestigten Kraftmesser so lange zieht, bis das Gummiband wieder den Endpunkt B erreicht (s. Abb. 26).

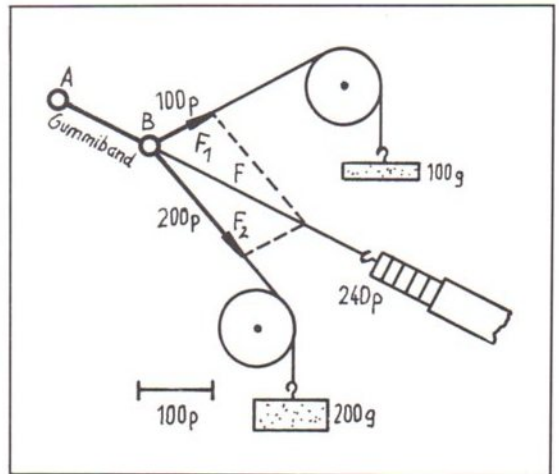


Abb. 26

Die Resultierende zweier Kräfte ist immer die Diagonale in einem Parallelogramm, dessen Seitenlängen durch die Größen der beiden Kräfte bestimmt sind. Man erhält die Resultierende dadurch, daß man den Anfangspunkt A der einen Kraft mit dem Endpunkt E der parallelverschobenen zweiten Kraft verbindet (s. Abb. 27).

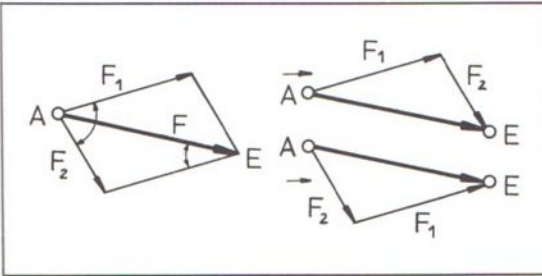


Abb. 27

Wir haben gesehen, daß zwei angreifende Kräfte durch eine Kraft – die Resultierende – ersetzt werden können. Die Wirkung blieb dabei die gleiche. Nun kann man auch umgekehrt eine gegebene Kraft in Komponenten zerlegen, indem man sie als Resultierende, d. h. als Diagonale eines Kräfteparallelogramms versteht. So können beispielsweise zur gegebenen Kraft F, wie dies die Abb. 29 zeigt, etwa die folgenden Komponenten gefunden werden.

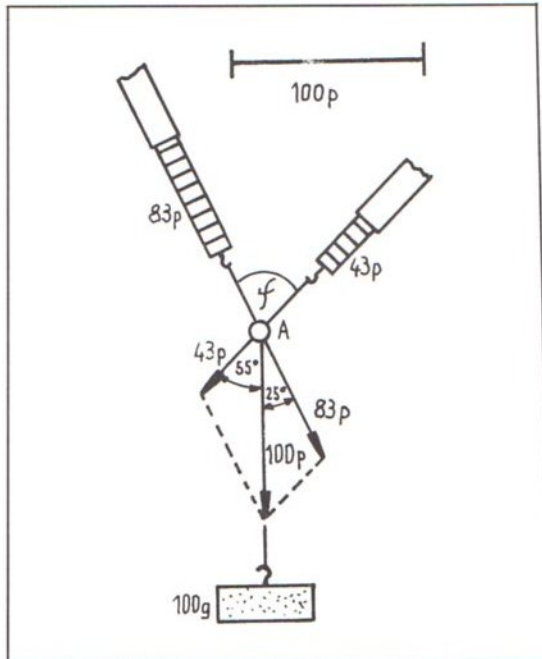


Abb. 28

Die Beispiele könnten beliebig fortgesetzt werden. (Siehe hierzu auch unter „Die Kraft“ und „Die Kraft als Vektor“ in fischertechnik hobby 1, Band 3).

Die Darstellungen in Abb. 31 veranschaulichen den gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen dem Winkelabstand zweier Komponenten und der Größe ihrer Resultierenden.

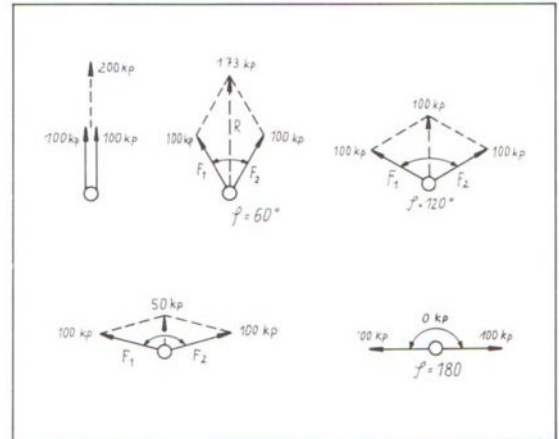


Abb. 29

Nimmt der Winkel zu, den die beiden Einzelkräfte miteinander bilden, dann sinkt ihre gemeinsame Tragkraft (ihre Resultierende) immer mehr ab. Welche Auswirkungen dies für die Beanspruchung in den einzelnen Bauteilen hat, führen wir sehr eingehend bei den Hängewerk-Konstruktionen auf den Seiten 40–43 aus.

Lastverteilung auf die Auflager

Da bei der folgenden Beschäftigung mit Brücken immer wieder die Frage nach der Ableitung der Kräfte auftauchen wird, wollen wir hier schon im allgemeinen Teil klären, welchen physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Kräfteverlauf beim Balken auf zwei Stützen gehorcht.

Beim belasteten Balken auf zwei Stützen werden die vertikal auf die Stäbache einwirkenden Kräfte horizontal bis zu den Auflagern weitergeführt und dann vertikal über die Stützen in die Fundamente abgeleitet (siehe Abb. 3).

Im folgenden interessiert uns, wie sich der Auflagerdruck beim belasteten Balken mit dem Angriffspunkt der Last verändert. Prinzipiell kann schon vorweg gesagt werden, daß das Eigengewicht eines Balkens oder ein genau in der Mitte belasteter Balken zu einer gleichmäßig verteilten Lastabtragung über die beiden Auflager führt.

Um die Druckkraft an unterschiedlich belasteten Auflagern zu berechnen, betrachtet man den Balken als einseitigen Hebel, dessen Drehpunkt in A bzw. B liegt (siehe Abb. 30).

Nach dem Hebelgesetz gilt, daß Kraft \times Kraftarm = Last \times Lastarm

$$\text{Kraft} = \frac{\text{Last} \times \text{Lastarm}}{\text{Kraftarm}}$$

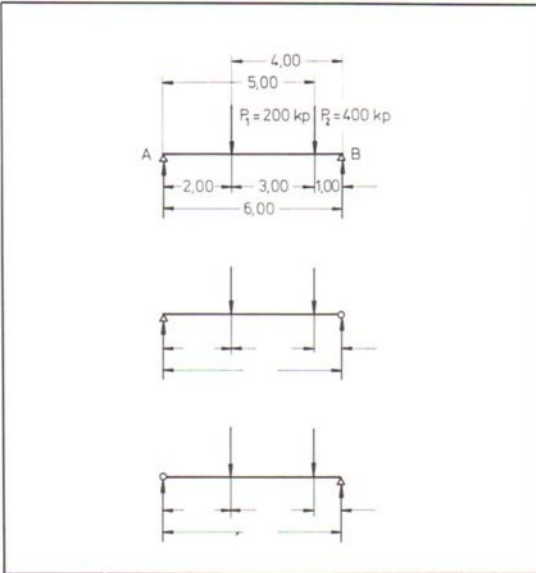


Abb. 30

Für die Berechnung des Auflagerdruckes an der Spitze A wird bei einer Belastung des Balkens durch $P_1 = 200 \text{ kp}$ und $P_2 = 400 \text{ kp}$ der Drehpunkt in B angenommen. Nach dem Hebelgesetz erhält man folgende numerischen Verhältnisse:

Auflagerdruck in A

$$\frac{200 \text{ kp} \times 4,00 \text{ m} + 400 \text{ kp} \times 1,00 \text{ m}}{6,00 \text{ m}} = \frac{800 \text{ kpm} + 400 \text{ kpm}}{6,00 \text{ m}} = \frac{1200 \text{ kpm}}{6,00 \text{ m}} = 200 \text{ kp}$$

Für die Berechnung des Auflagerdruckes an der Spitze B wird der Drehpunkt in A angenommen:

Auflagerdruck in B

$$\frac{200 \text{ kp} \times 2,00 \text{ m} + 400 \text{ kp} \times 5,00 \text{ m}}{6,00 \text{ m}} = \frac{400 \text{ kpm} + 2000 \text{ kpm}}{6,00 \text{ m}} = \frac{2400 \text{ kpm}}{6,00 \text{ m}} = 400 \text{ kp}$$

Die Summe der Lasten $P_1 + P_2 = 200 + 400 = 600 \text{ kp}$ muß gleich sein der Summe $A + B = 600 \text{ kp}$.

Wenn auf der Sekundarstufe I über die Beobachtung und die Erfahrung bei der Konstruktion von technischen Gebilden die verschiedenen Formen der Kräftebeanspruchung beobachtet und beschrieben werden, wenn die Funktionen von statischen Bauelementen (z. B. Trägerformen) erkannt und wenn im experimentellen Umgang mit Modellen statisch angemessene Lösungen gefunden werden, dann haben wir unser Ziel erreicht. Eine weitere physikalische und mathematische Durchdringung von statischen Sachverhalten ist erst möglich, nachdem diese Einsichten vermittelt wurden.

Der zweite Schwerpunkt den wir ausgewählt haben, die Zerlegbarkeit von Kräften, ist für Konstruktionen in der technischen Wirklichkeit von fundamentaler Bedeutung. Dieses Wissen bildet die Voraussetzung für divergierendes Denken, für das schöpferische und kreative Gestalten, für die Vielfalt von Lösungen ein und desselben technischen Problems.

Die Zerlegbarkeit von Kräften nämlich ermöglicht unterschiedliche Formen der Lastabtragung, die als spezifische Regeln – insbesondere auch in der Architektur – ihren sichtbaren Niederschlag fanden und bei der Einteilung von Stilrichtungen in der Kunst als Kriterien mit herangezogen werden können. So dominiert in der gotischen Baukunst das **Prinzip der diagonalen**

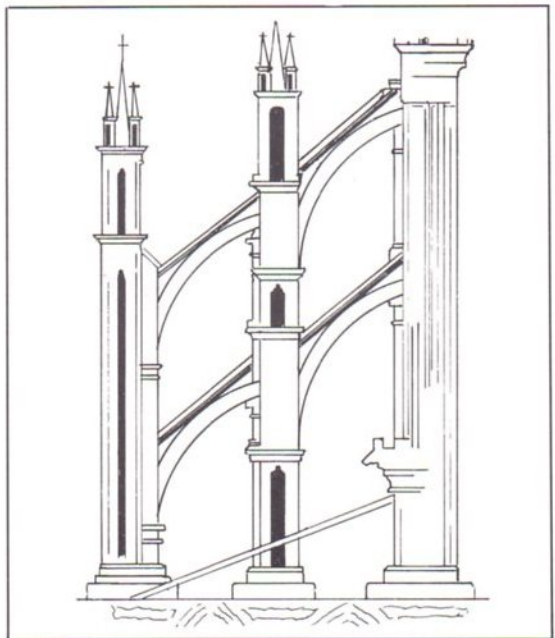


Abb. 31 Skizze des Systems von Strebepfeilern und Strebepfeilern einer gotischen Kathedrale.



Abb. 32 Tempel der Athena Nike auf der Akropolis in Athen.

Lastabtragung, während in der Klassik die Abtragung vorwiegend **vertikal und horizontal** erfolgt (siehe Abb. 31).

In der ästhetischen Einschätzung von Kunstdenkmalern sollten, soweit möglich, die mit dem

Verstande faßbaren und beschreibbaren Gesetzmäßigkeiten und Regeln analysiert und bewußt gemacht werden, weil das jeweilige Spezifikum der Kunst auch durch die dialektische Auseinandersetzung des Künstlers mit den Naturgesetzen bestimmt wird.

Vergleich der Lastabtragung bei horizontalen und vertikalen Tragwerken

Nachdem im vorangegangenen Abschnitt die sowohl für die horizontalen Tragwerke der Brücken als auch für die vertikalen Tragkonstruktionen der Türme und Masten gleichermaßen gültigen elementaren statischen Sachverhalte besonders unter den Aspekten der Kräftebeanspruchungsarten und der Zerlegung von Kräften dargestellt wurden, sollen in diesem kurzen Abschnitt die Gemeinsamkeiten und Verschiedenartigkeiten der Lastabtragung hervorgehoben werden.

In Tafel I ist der Versuch gemacht, diese verschiedenen Formen der Lastabtragung zeichnerisch darzustellen.

Bei dieser schematischen Darstellung der Lastabtragungsarten bei Brücken, Türmen und Masten wird auf Einzelheiten der Konstruktion, wie Fachwerkausbildung, Lagerung usw. bewußt verzichtet und nur durch dünne Striche angedeutet, um welche Umrißformen einer Brücke oder eines Mastes es sich etwa handeln könnte.

Dem „Verlauf der Kräfte“, der „Kräfteumlenkung“ und der erforderlichen Gegenkraft (schwarze Pfeilspitzen) ist dagegen ein besonderer Aussagewert beigemessen, wobei es sich bei den „Kraftlinien“ um eine idealisierte Form der Lastabtragung handelt.

Beispiel 1 Horizontales Tragwerk: **Brücke**

Hier werden hauptsächlich auftretende **vertikale** Kräfte, wie Nutzlast, Eigenlast sowie auch geringer vorhandene „Längskräfte“, die durch Wind, Bremsen von Fahrzeugen usw. erzeugt werden, in der Konstruktion **horizontal** umgelenkt. Über den Auflagerpunkten werden sie erneut in die Vertikale umgelenkt und durch die Auflager in den Erdboden abgetragen.

Beispiel 2 Vertikales Tragwerk: **Turm**

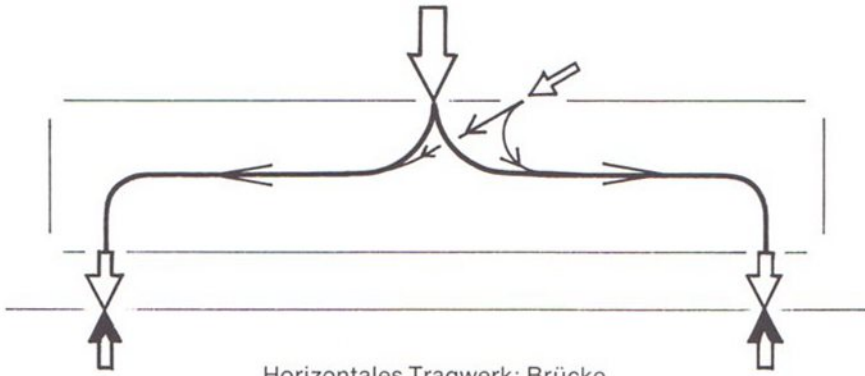
Auch bei diesem Beispiel sind es vorrangig **vertikale** Kräfte, die von der Vertikal-Konstruktion **auf direktem Wege** schadlos ins Erdreich abgetragen werden. Lediglich die auf der Plattform außen angreifenden Kräfte müssen „ein wenig“ in die Horizontale des Turmoberteils umgelenkt und dann wieder senkrecht abgetragen werden. Außerdem muß die Turmkonstruktion in der Lage sein, zusätzlich angreifende Kräfte (Winddruck usw.) vertikal umzulenken und abzuleiten.

Beispiel 3 Kombiniertes Horizontal- und Vertikaltragwerk: **Freileitungsmast**

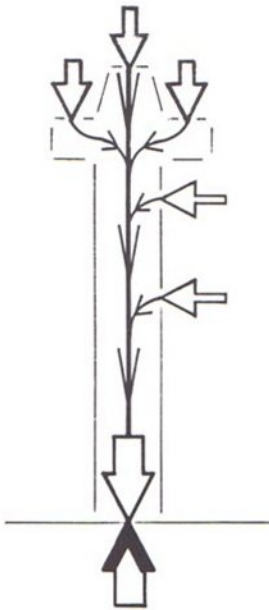
Im 3. Beispiel liegt eine Kombination aus 1 und 2 vor. An den auskragenden Tragarmen, den Traversen eines Freileitungsmastes, greifen hauptsächlich vertikale Kräfte an (bei Windstille sogar ausschließlich). Die Anordnung der Konstruktion bewirkt, daß diese als Gegenkräfte in den Traversen **horizontal** und im Gittermast **erneut vertikal** umgelenkt und durch das Fundament ins Erdreich abgetragen werden.

Auf welcher Weise diese Probleme der schadlosen Lastabtragung in den verschiedenen Konstruktionen gelöst wurden, zeigen insbesondere die sehr ausführlichen Beispiele im 1. Kapitel bei den Brücken; auch im etwas kleineren Kapitel 3 bei den Türmen und Masten sind sie Hauptgegenstand der einzelnen Ausführungsarten.

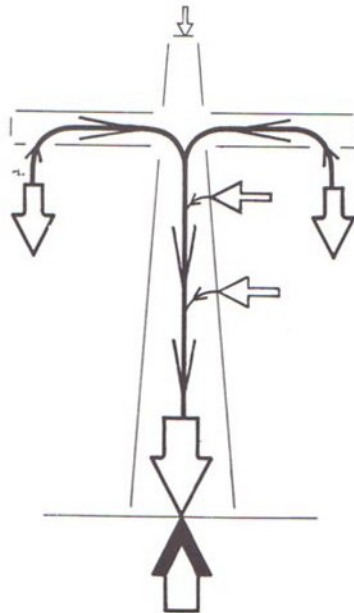
Tafel I Schematische Darstellung der Lastabtragungsarten bei Brücken, Türmen und Masten



Horizontales Tragwerk: Brücke



Vertikales Tragwerk: Turm



Kombiniertes Horizontal- und Vertikaltragwerk: Freileitungsmast

1 Brücken – sachanalytischer Teil

1.0 Mensch und Brücke

Erziehung zum technischen Denken heißt nicht nur die Schüler befähigen, Funktionen und Gesetzmäßigkeiten technischer Gebilde zu analysieren und kennenzulernen, sondern auch den spezifischen Zweck einer Konstruktion für den Menschen zu reflektieren und zu bestimmen. Unter diesem Aspekt ist für Jaspers „das Prinzip der Technik, das zweckhafte Tun an Stoffen und Kräften im Dienste der menschlichen Bestimmung. Der technische Mensch nimmt das Vorgefundene nicht einfach hin, er sieht die Dinge in Hinsicht auf ihren Dienstwert für menschliche Zwecke und sucht die Annäherung ihrer Formen als Dienstformen an die Besonderheit dieser Zwecke.“¹³⁾ Ohne den Menschen würde es keine Technik geben. Der Ursprung der Technik liegt im menschlichen Geist, im menschlichen Denken, in den Bedürfnissen des Menschen, in der Freiheit und Möglichkeit des Menschen, sein Leben zu gestalten und zu beeinflussen. Technische Errungenschaften können somit nur sinnvoll sein im Hinblick auf den Menschen und für den Menschen. Diesen anthropologischen Verweisungszusammenhang herzustellen, ist mit eine Hauptaufgabe der Werkerziehung. Was unser Thema betrifft, so ist es durchaus legitim, an dieser Stelle zu fragen, wozu braucht der Mensch Brücken, welche Möglichkeiten werden ihm durch das Vorhandensein von Brücken eröffnet. Was nützen ihm die Brücken im Hinblick auf seine Daseinserleichterung und Daseinsgestaltung? Die Antworten auf diese Fragen könnte man durchaus als Lernziele formulieren. Darauf wollen wir hier bewußt verzichten. Wir wollen hier vielmehr in aller Kürze versuchen, das Wesen der Brücke durch eine Analyse ausgewählter literarischer Beiträge zu erkennen. Wenn der Lehrer, der die Erziehung zum technischen Denken im weitesten Sinne versteht, für das Gespräch mit seinen Schülern aus den folgenden Überlegungen einige Aspekte für beachtenswert hält, dann haben wir mit diesem Abschnitt unseren Zweck erreicht.

„Freitag, den 20. Juli 1714, um die Mittagsstunde, riß die schönste Brücke in ganz Peru und stürzte fünf Reisende hinunter in den Abgrund. Diese Brücke lag im Zuge der Straße von Lima nach Cuzco und wurde täglich von Hunderten von Menschen begangen. Die Inkas hatten sie vor mehr als einem Jahrhundert aus Weidenzweigen

geflochten, und jeden Fremden führte man hin, sie ihm zu zeigen: eine bloße Leiter aus schmalen Latten mit Geländern aus getrockneten Ranken, so schwang sie sich über die Schlucht. Pferde und Wagen und Sänften mußten viele hundert Fuß tiefer hinab und auf Flößen über den schmalen Wildstrom setzen, aber niemand, nicht einmal der Vizekönig, nicht einmal der Erzbischof von Lima, hatte je den Umweg mit dem Gepäck gemacht, statt über die berühmte Brücke von San Luis Rey zu gehn. Der hl. Ludwig von Frankreich selbst beschützte sie durch seinen Namen und durch das Lehmkirchlein drüben auf der andern Seite. Die Brücke schien zu den Dingen zu gehören, die ewig bestehn; es war undenkbar, daß sie je reißen könnte, und kaum hörte ein Peruaner von dem Unglück, bekreuzigte er sich und rechnete im Geist nach, vor wie kurzer Zeit er selbst über die Brücke geschritten war und wie bald er sie wieder zu benützen gedacht hatte. Die Leute gingen wie in einem bösen Traum umher und murmelten vor sich hin; sie vermeinten, sich selbst in den Abgrund stürzen zu sehen.“¹⁴⁾

„Von allem, was der Mensch in seinem Lebensbetrieb errichtet und erbaut, scheint meinen Augen nichts besser und wertvoller zu sein als die Brücken. Sie sind wichtiger als Häuser, heiliger, weil gemeinsamer, als Kirchen. Allen gehörig und allen gegenüber gleich nützlich, immer sinnvoll errichtet an dem Orte, an dem die meisten menschlichen Bedürfnisse sich kreuzen, sie sind ausdauernder als andere Gebäude und dienen keinem heimlichen oder bösen Zweck.“¹⁵⁾

„Wann bauen wir endlich eine Brücke für uns über den schrecklichen Abgrund? Wann richten wir endlich eine auf in der toten Stadt unserer Seelen, über gemarterten Steinen und versengten Leichen, die tief begraben liegen?“¹⁶⁾

„Eine Brücke bauen; eine Brücke abbrechen; eine Brücke schlagen; eine Brücke sperren.“¹⁷⁾ – Dies sind einige Redensarten, die um den Begriff „Brücke“ entstanden sind und situativ verschieden gebraucht werden.

„Eine Brücke bauen“ meint zunächst den technischen Vorgang des Brückenbaus, wie wir ihn an Autobahnen, Flüssen, Gebirgspässen usw. antreffen.

Im übertragenen Sinne bedeutet diese Redewendung aber auch so viel wie helfen; jemanden aus einer Notlage befreien, sei es, daß man in Konfliktsituationen durch freundliche Gesten einen Streit schlichten hilft, sei es, daß man im Rahmen der Resozialisierung einem gescheiter-

ten Menschen erneut Bewährungsmöglichkeiten schafft und ihm und seiner Umwelt beratend zur Seite steht, sei es, daß man im pädagogisch-didaktischen Bereich für die Lösung von Aufgaben Vermittlungshilfen bereitstellt. Dementsprechend bedeutet „eine Brücke abbrechen“ nicht nur das jenseitige Ufer in unerreichbare Ferne rücken, sondern es heißt auch auf Mitmenschen bezogen, jemanden aufgeben, sich von ihm abwenden, ihn allein lassen.

Jeder Mensch ist auf Brücken angewiesen, sei es als Reisender, sei es im täglichen Leben bei Arbeit und Freizeit, sei es als Partner von Mitmenschen, als homo sociologicus.

Die Brücken der Welt – kunstvolle und kühne Bauwerke berühmter Architekten, ebenso wie zweckmäßige und nüchterne Eisenbahnbrücken vor Großstädten und in Rangieranlagen sind der sichtbare Ausdruck eines menschlichen Grundbedürfnisses – der Kommunikation.

Die Menschen haben sich immer um eine Intensivierung und Erweiterung der Kommunikation bemüht (Nachrichtentechnik, Pressewesen, Luftfahrt, Weltraumforschung). Andererseits kann der technische Fortschritt als abhängige Variable der vorhandenen Kommunikationsmöglichkeiten betrachtet werden. Kommunikation ist dem Menschen wesentlich.

1.01 Kurzer historischer Rückblick

Für den Brückenbau gibt es Zeugen aus längst vergangenen Zeiten und bei allen Völkern. Dabei mag, wie Fritz Leonhard¹⁸⁾ betont, für die Konstruktion der ersten Brücken die Natur Pate gestanden haben. Durch Auswaschung und Verwitterung entstandene Naturbrücken, über Wasserläufe gefallene Baumstämme, Schlingpflanzen zwischen Urwaldbäumen, über die sich allerlei Getier in der ersten Etage der Regenwälder fortbewegte, mögen die Modelle für die späteren Bogen, Balken- und Hängebrücken geliefert haben.

Der Versuch, die Entstehung der einzelnen Brückentypen zeitlich zu fixieren, ist unmöglich, bzw. bleibt auf Spekulationen angewiesen.

Bogenbrücken soll es schon bei den alten Sumerern und Ägyptern um 3500 v. Chr. gegeben haben. Über den Euphrat – so wird berichtet – bauten die Babylonier z. Z. von Nimrod einen Brückenbogen von 198 m Länge.

Der Perserkönig Cyrus soll auf einer Pontonbrücke im Jahre 537 v. Chr. sein Heer über den Euphrat gesetzt haben. Historisch belegt ist die von Darius in Auftrag gegebene Schiffsbrücke über den Bosphorus. Die Brücke – ein Werk des Mandrokles aus Samos – muß auf Darius großen Eindruck gemacht haben. Die Bedeutsamkeit dieser Brücke – die erste Verbindung zwischen Orient und Okzident – und der Stolz über das gelungene Werk waren damals Anlaß für eine große antike Einweihungsfeier, die uns Herodot im Buch IV seiner historischen Forschungen schildert. Aus historischem Interesse und wegen der Anschaulichkeit der Schilderung seien die entsprechenden Kapitel Herodots aus dem Persischen Logos, aus dem 4. Teil wiedergegeben.

„Nachdem Dareios den Pontos betrachtet hatte, fuhr er zurück zu der Brücke, deren Erbauer Mandrokles aus Samos gewesen war; nachdem er auch den Bosphorus betrachtete, errichtete er zwei Säulen an ihm von weißem Stein, nachdem er in assyrischer Schrift auf der einen, in griechischer Schrift auf der anderen alle Völker hatte einmeißeln lassen, die er führte; und er führte alle mit, die er beherrschte; von ihnen wurden gezählt, außer der Flotte 70000 samt den Reitern und 600 Schiffe hatten sich versammelt. Diese Säulen verwenden nun die Byzantiner, nachdem sie sie in ihre Stadt gebracht hatten, später für den Altar der Artemis Orthosia, außer einem einzigen Steine; dieser blieb zurück bei des Dionysos Tempel in Byzanz, mit assyrischer Schrift bedeckt. Des Bosphorus Gegend, die König Dareios überbrückte, liegt, wie mir beim Vergleich erscheint, in der Mitte zwischen Byzanz und dem Heiligtum an der Mündung.¹⁹⁾

Dareios schenkte danach, erfreut über die Schiffsbrücke, ihrem Baumeister Mandrokles alles zehnfach. Davon nun also weihte Mandrokles auch die Erstlinge, nachdem er die ganze Überbrückung des Bosphorus, König Dareios, wie er auf seinem Throne saß, und sein Heer beim Übergang hatte malen lassen, – nachdem er dies hatte malen lassen, weihte er das Bild in das Heraion²⁰⁾, wozu er folgendes schrieb: ‚Der den Bosphorus überbrückte, den fischreichen, weihte Hera der Schiffsbrücke Mal, Mandrokles hat es getan. Sich erwarb er den Kranz und den Samiern Ruhmes die Menge, König Dareios nach Wunsch hat er vollendet das Werk.‘ Das nun war des Brückenbauers Denkmal.²¹⁾“

Mit der Entdeckung der Pozzuolanerde, „einer Art natürlichen Zements mit hydraulischer Bindekraft“²²⁾, begann die Blüte der römischen

Steinbogen, die wir heute noch bewundern. Die populärste Brücke aus dieser Zeit ist wohl die Engelsbrücke in Rom, die im Jahre 136 n. Chr.

gebaut und 1668 mit Engelsstatuen versehen wurde. (S. Abb. 33.)



Abb. 33

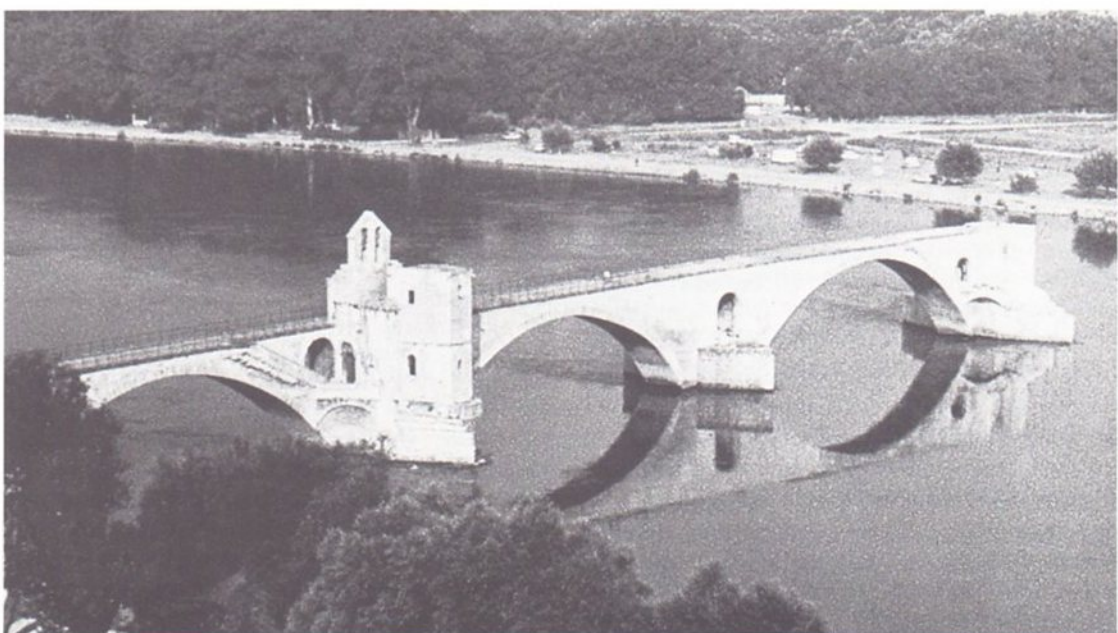


Abb. 34

Im Mittelalter gab es sogar eine Mönchscongregation, die an großen Flüssen Hospize errichtete, den Fährbetrieb unterhielt und Brücken baute. Man nannte sie die Brückenbrüder (*fratres pontifices*). Sie trugen eine weiße Kutte mit zwei Brückenbogen und einem Spitzhammer auf der Brust. Dem mutmaßlichen Stifter dieses Ordens, Saint Bénézet, wird der Bau der berühmten Pont Saint Bénézet (s. Abb. 34) in Avignon zugeschrieben.

Galilei²³) und Hooke²⁴) schufen die mathematischen Voraussetzungen für statische Berechnungen, die man in den folgenden Jahren immer mehr anwendete. Galilei vor allem mit seinen: „Discorsi e dimistrazioni matematici intorno a due nuove scienza,“ in denen er Methoden zur Berechnung von Tragwerksystemen vorstellte. Hooke mit der Formulierung des Kraft/Spannungsverhältnisses: „*Ut tensio, sic vis*“²⁵). Außer diesen wären noch die Gebrüder Bernoulli und

Leonhard Euler zu nennen. Letzterer bekannt durch das Eulersche Gesetz, das heute noch bei der Berechnung der Biegelinie in der Statik eine Rolle spielt.

Die erste Anwendung statischer Gesetzmäßigkeiten in der Architektur erfolgte beim Auftreten von Sprüngen in der Peterskuppel. Papst Benedikt XIV. veranlaßte im Jahre 1742 eine Untersuchung über die Ursachen der Schäden und beauftragte drei Mönche, diese Aufgabe durchzuführen. Ihr Bericht ist nach Fritz Leonhard²⁶) die erste statische Berechnung eines Bauwerks.

1747 wurde in Paris die erste Ingenieurschule für Straßen- und Brückenbau, die „Ecole des ponts et chaussées“ gegründet, die heute noch großes Ansehen genießt. Der langjährige Leiter dieser Schule, Perronet, war u. a. auch der Architekt der berühmten Pont du la Concorde, der berühmten Seinebrücke mitten in Paris (siehe Abb. 35).

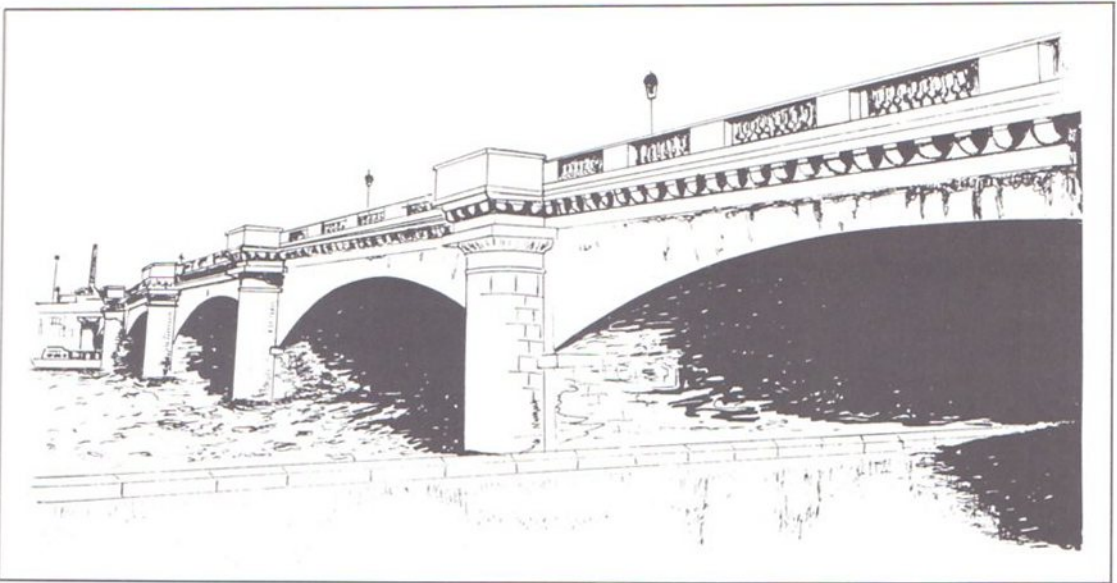


Abb. 35

Wie in Paris die Seine, sollte in London die Themse an mehreren Stellen überbrückt werden. Ein ehemaliger Mühlenbauer, der Schotte John Rennie²⁷), erhielt den Auftrag gleich drei Themsebrücken zu bauen: Waterloo-bridge, Southwark- und New-London-Bridge. Erwähnenswert sind hier insbesondere die großen Spannweiten von 46 m und das Anschwimmen von am Ufer vorgefertigten Bauteilen.

Wurden bislang vorwiegend Stein- und Holzbrücken gebaut, so begann im 18. Jahrhundert die Epoche des **Eisenbrückenbaus**. Abraham Darby III. baute die erste Eisenbrücke der Welt in den Jahren 1776–1779 über den Severn in SW-England (s. Abb. 36).

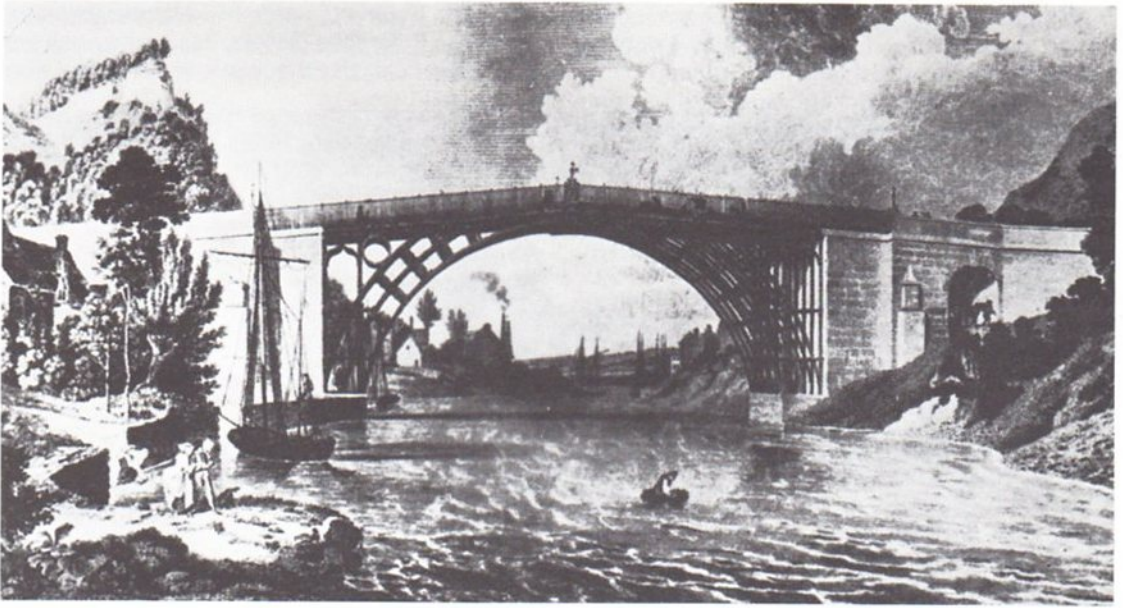


Abb. 36

Nachdem gegen Ende des 18. Jahrhunderts das Schmiedeeisen bekannt war, wurde dieses Material wegen seiner großen Zugfestigkeit auch im Brückenbau verwendet. Es entstanden jetzt vorwiegend **Eisenkettenbrücken**. Die bekannteste

von ihnen ist wohl die 1818 von Telford²⁸⁾ entworfene und 1826 vollendete Hängebrücke über die Menastraße in Wales. Sie besitzt eine Spannweite von 175 m und liegt 30 m hoch über dem Wasser (Abb. 37).

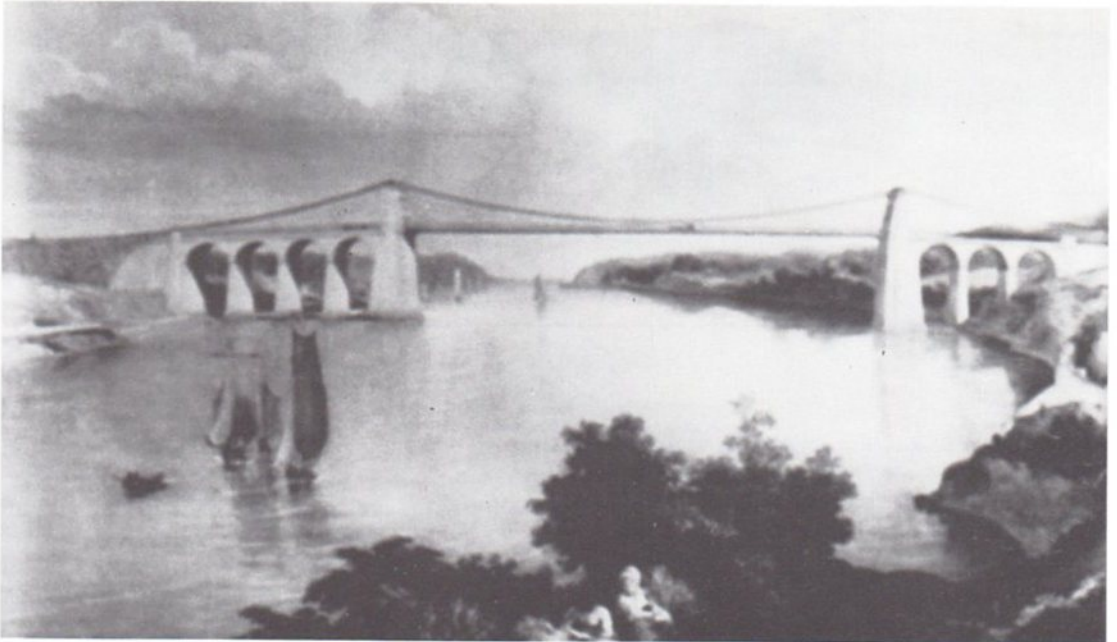


Abb. 37

Nach der ersten Herstellung von Drahtkabeln durch Henri Dufour wurden vor allem in der Schweiz **Drahtkabelbrücken** gebaut. Bei starker Belastung bogen sich diese Brücken jedoch nach unten durch. Vor allem waren sie aber auch gegen Seitenwind anfällig, der sie in Schwingung versetzte und mitunter auch zum Einsturz brachte.

Diese Erfahrungen zwangen die Brückenbauer bessere Stabilisierungsmaßnahmen in Form von Versteifungsträgern zu entwickeln. Danach begann man mit dem Bau stählerner Hängebrücken, später dann mit den Fachwerkbrücken, schließlich mit den Betonbrücken, die gerade in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewannen.

Auf die letztgenannten und gegenwärtig noch üblichen und antreffbaren Brückentypen werden wir im folgenden Abschnitt einzugehen haben.

1.02 Allgemeine Fragen des Brückenbaus

Brückenbau ist ein Teilgebiet der Ingenieurwissenschaften des Bauwesens.

Neben dem eigentlichen Brückenkonstrukteur sind bei Brückenkonstruktionen maßgebend mitbeteiligt:

Für die Berechnung der Bauwerke: der Statiker,
für die Herstellung, Montage der Stahlbrücken sowie den Antrieb der beweglichen Brücken: der Maschinenbauer und der Stahlbauer,
für die Schweißtechnik und elektrische Ausrüstung: der Elektrotechniker und die Fachleute für Schweißtechnik,
für Stahlbeton-Bauwerke: die spezialisierte Bauunternehmung,
für die Fahrbahnausbildung: der Straßenbauer und Eisenbahnbauer,
für die Lage und Durchflußweiten: der Wasserbauer,
für die Auswahl, Gewährleistung der Baustoffgüte, Schutz der Bauwerke gegen chemische Einwirkungen aus der Luft und dem Wasser: der „Baustofffachmann“,
für den Baugrund: der Geologe,
und für die ästhetische Gestaltung: der Architekt.

1.02.1 Zum Zweck der Brücken

Eine Brücke ist ein Ingenieurbauwerk, das einen oder mehrere Verkehrswege über einen (oder mehrere) anderen Verkehrsweg führt oder geographische Hindernisse, wie Geländeeinschnitte, Schluchten, Täler, Flüsse, Seen, Meeresbuchten überbrückt. Eine Brücke kann auch als Träger von Versorgungsleitungen dienen, z. B. für Frischwasser, Abwasser, Gas, Rohöl usw.

1.02.2 Zur Einteilung der Brücken

In der ingenieurwissenschaftlichen Literatur sind die vielfältigsten Einteilungen von Brücken vorgenommen, die dem Lehrer, der technischen Unterricht erteilt, nur sehr schwer den Zugang zu einer strukturierten Übersicht ermöglichen. Auch im Bereich der werkdidaktischen Literatur ist uns bisher keine Darstellung bekannt, die das gesamte Gebiet so erfaßt, daß sie den ingenieurwissenschaftlichen Ansprüchen genügt – und auch die Sache unter didaktischem Aspekt so strukturiert, so daß der gesamte Komplex überschaubar wird.

Wir stellen eine Einteilung der Brücken zur Diskussion, die in ihrem Aufbau und in ihrer Struktur klar überschaubar ist und deren Gesichtspunkte auch bei der Einteilung von Türmen und Masten beibehalten werden kann. Die Einteilung nach festen und beweglichen Brücken ist hierbei als wohl einzige weitgehende Übereinstimmung der verschiedenen Einteilungsversuche beibehalten.

Der Übersichtlichkeit halber wählen wir eine besondere Form der grafischen Darstellung, deren Spezifikum darin besteht, daß die Untergruppen jeweils **innerhalb** der größeren Gruppe („eingerahmt“) erscheinen.

Für den technischen Werkunterricht sind nach unserer Meinung die Einteilung **1.1 Nach der Statik der Tragsysteme** und **1.2 Nach konstruktiver Ausbildung der Hauptträger** besonders wichtig, weil sich nur unter diesen Gesichtspunkten die statischen Konstruktionsprobleme ergeben, die zum Gegenstand eigener Lösungsversuche durch die Schüler werden können.

Die Einteilung nach verschiedenen anderen Gesichtspunkten erscheinen lediglich im didaktischen Teil im Zusammenhang mit der Frage nach Einteilungsmöglichkeiten von Brücken.

Die in Tafel II genannten Untergruppen, nämlich 1.11 Balkenbrücken, 1.12 Bogenbrücken und 1.13 Hängebrücken werden in Tafel III weiter untergliedert, und zwar nach dem Gesichtspunkt typischer Konstruktionsformen der einzelnen Tragsysteme. Ähnlich verfahren wir in Tafel IV mit den Untergruppen der konstruktiven Ausbildung der Hauptträger (siehe 1.21 Vollwandträger, 1.22 Fachwerkträger und 1.23 Rahmenträger – Seite 70).

Einteilung der Brücken

Feste Brücken

1.1 Nach der Statik der Tragsysteme

1.11 Balkenbrücken

1.12 Bogenbrücken

1.13 Hängebrücken

1.2 Nach konstruktiver Ausbildung der Hauptträger

1.21 Vollwandträger

1.22 Fachwerkträger

1.23 Rahmenträger

Nach Lage der Fahrbahn zu den Hauptträgern
Deckbrücken (obenliegende Fahrbahn) Brücken mit versenkter Fahrbahn Trogbriicken (untenliegende Fahrbahn)

Nach Zahl der Fahrbahngeschosse
Eingeschossige Brücken Mehrgeschossige Brücken

Nach Anzahl der Hauptträger und ihrer Anordnung zur Fahrbahn
Einträgerbrücken (Mittelträger- und Seitenträgerbrücken) Zweiträgerbrücken Mehrfachträgerbrücken Rosttragwerkbrücken

Nach statischer Bestimmung der Hauptträger
Statisch bestimmte Hauptträger Statisch unbestimmte Hauptträger

Nach Verwendungszweck
Eisenbahnbrücken Straßenbrücken Eisenbahn- und Straßenbrücken Autobahnbrücken Fußgängerbrücken Energiebrücken Verkehrsschilderbrücken

Nach Anbringungsart der Fahrbahn Tafel an den Hauptträgern
Hauptträger und Fahrbahn voneinander abhängig Hauptträger und Fahrbahn zusammenwirkend Hauptträger und Fahrbahn elastisch gekoppelt

Nach Baustoffen
Steinbrücken Stahlbetonbrücken Spannbetonbrücken Verbundbrücken Holzbrücken Stahlbrücken Leichtmetallbrücken

Nach Grundrißgestaltung der Hauptträger und der Fahrbahn
Gerade Brücken Schiefe Brücken Gekrümmte Brücken Verbreiterte Brücken

Nach Nutzungsdauer
Bleibende Brücken Behelfsbrücken Arbeitsbrücken Notbrücken

Bewegliche Brücken

Nach den Baustoffen

Holz Stahl Aluminium

Nach Bewegungsmöglichkeit

Drehbrücken
Hubbrücken
Klappbrücken
Zugbrücken
(häufigste Anwendung)

Schwimmbrücken
Schwebefähren
Rollbrücken
Schiebebrücken
Fährbrücken
Landebrücken
(geringere Anwendung)

1.02.3 Technische Probleme des Unterbaus und der Brückenlager

Die Einteilung der Brücken berücksichtigt ausschließlich den **Überbau**.

Die technischen Probleme des **Unterbaus** und der **Brückenlager** übergreifen die einzelnen Brückenarten. Deshalb werden im folgenden Fragen des Unterbaus und der Brückenlager kurz gesondert dargestellt.

Der **Unterbau** besteht nach allgemeiner Einteilung aus Fundament, Pfeilern und Widerlagern.

Pfeiler sind Stützkörper bei über mehreren Stützen durchlaufenden Brücken (siehe Durchlaufträger und Gerberträger). Sie übernehmen die Auflagerkräfte von den Auflagern und leiten sie in den Erdboden ab.

Widerlager sind Bauwerke, welche die Brückenden an das bestehende Gelände anschließen und ebenfalls die Auflagerkräfte aus den Auflagern meist über die Auflagerbank in das Erdreich ableiten. Sie sind in den Zeichnungen nur angedeutet.

Die **Brückenlager** gehören zum **Überbau**, der die darunterliegende Öffnung überbaut. Zum Überbau gehören außerdem das Haupttragwerk und die Brückenbahn (Fahrbahn, Schienen usw.).

Die **Brückenlager** (auch als Auflager bezeichnet) erfüllen zweierlei funktionelle Aufgaben: sie übertragen im Sinne einer Lastenbündelung die auf die Auflagerpunkte entfallenden Kräfte auf Pfeiler und Widerlager (beide neuerdings meist aus Beton) und ermöglichen Bewegungen des Brückenbauwerks an den genannten Punkten. Eigengewicht, Nutzlast, Winddruck, Bremsen und Anfahren von Fahrzeugen, besonders bei Eisenbahnen, sowie Fliehkräfte bei Kurvenbrücken erbringen lotrechte und waagrechte Auflagerdrücke und bedingen damit eine gewisse Beweglichkeit des Tragwerks. Hinzu kommt die wohl bedeutendste Bewegung durch Temperaturänderungen.

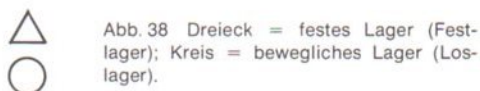
Würde die konstruktive Ausbildung der Lager solche Bewegung nicht gestatten, so würde sich in der Brückenkonstruktion nach dem Spannungsgesetz eine derart starke Beanspruchung ergeben, daß eine Zerstörung des Gesamtbauwerks einschließlich der Pfeiler und Widerlager zu erwarten wäre.

1.02.4 Gliederung der Lager

a) feste Lager: Kugelkipplager, Linienkipplager, Bolzenkipplager

b) bewegliche Lager: Einwalzenlager, Zweiwalzenlager, Vierstelzenlager mit Balancierausgleich, Allseitig bewegliches Walzenlager, Sonderlager für Kastenträger (beide Gruppen als klassische Lagerformen)²⁹).

Die technischen Prinzipien der Lagerung werden in den Abb. 39–42 erläutert. Abb. 38 zeigt die verwendeten Symbole.



Beide Formen müssen in der technischen Wirklichkeit so ausgebildet sein, daß eine kippende Bewegung des Tragwerks möglich ist.

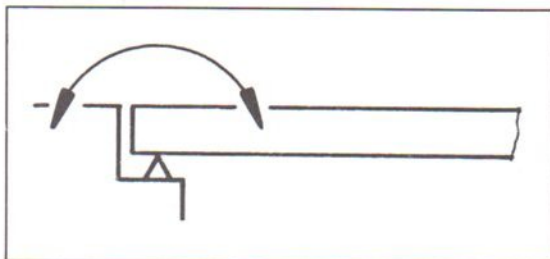


Abb. 39 Festes Lager („Festlager“) mit einseitiger Kippmöglichkeit.

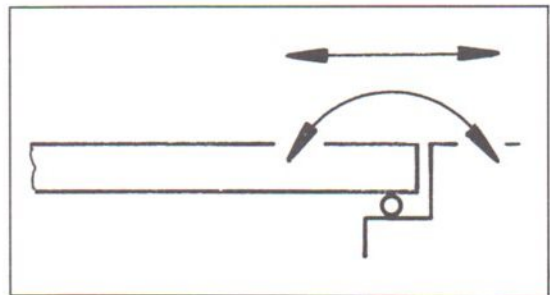


Abb. 40 Bewegliches Lager („Loses Lager“) mit Gleit- und Kippmöglichkeit.

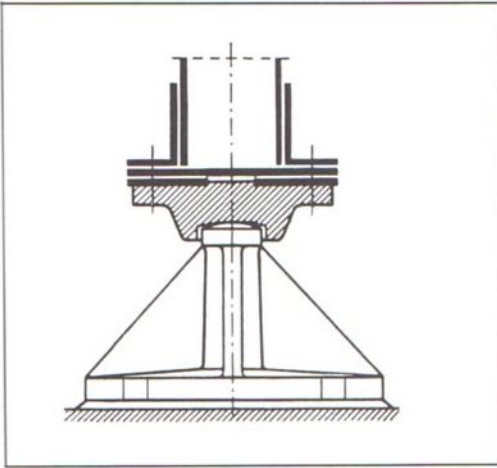


Abb. 41 Festes Lager mit allseitiger Kippmöglichkeit. (Aus Merkblatt 339 S. 5 oben Bild 4.)

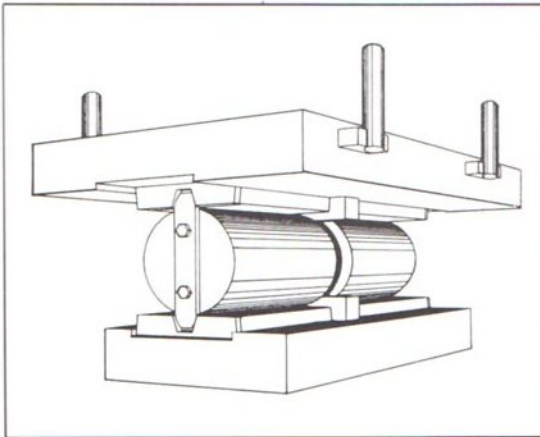


Abb. 42 Bewegliches Lager als Einwalzenlager aus Edelstahl. (Aus Merkblatt 339 S. 9 Bild 18.)

1.1 Feste Brücken nach der Statik der Tragsysteme

In diesem Abschnitt wird die Statik der Tragsysteme unter folgenden Gesichtspunkten dargestellt:

- es werden die Primärformen der Lastabtragung beschrieben
- es werden Kriterien genannt, die bei der Planung von Brückenbauwerken berücksichtigt werden müssen
- es werden die einzelnen Primärformen und ihre Varianten hinsichtlich der Lastabtragung beschrieben.

Dieses Kapitel enthält demnach die Analyse der für das Unterrichten im Sachbereich Bau (Bau-technik) wichtigen Grundkenntnisse bei Brückentragwerken.

Es werden außerdem an einigen Stellen Demonstrationsmodelle vorgestellt, die mit fischertechnik-Bauelementen aus den Lernbaukästen u-t 1 und u-t S angefertigt wurden. Die Abbildung der Demonstrationsmodelle hat eine doppelte Funktion: es soll der besprochene statische Sachverhalt verdeutlicht werden; zum andern soll gezeigt werden, wie an einem Modell der Kräfteverlauf den Schülern demonstriert werden kann.

Weiterhin wird in einem Exkurs (siehe S. 37) ausgehend vom einfachen Hängewerk (verstärkte Balkenbrücke) das Zerlegen einer Kraft mit dem Kräftedreieck erläutert. Das Zerlegen mit dem Kräftedreieck ist eine wichtige statische Aufgabe. Ähnlich wie die Demonstrationsmodelle hat auch der Exkurs eine doppelte Funktion: Er soll einerseits den Sachverhalt verdeutlichen, zum andern zeigen, mit welchen Hilfsmitteln man im Unterricht diese Probleme darstellen kann.

Zusätzlich werden Vorschläge zur Darstellung des Kräfteverlaufs (1.11.32) im Sinne des „Sichtbarmachens von Kraftumlenkungen“ gemacht, die den „Weg“ der Lastabtragung aufzeigen sollen.

1.10 Primärformen der Lastabtragung und Kriterien für die Planung von Brückentragwerken

Unter dem Gesichtspunkt, daß Brücken Bauwerke sind, deren schadlose Lastabtragung eine Überbrückung von Raum in der Horizontalen ermöglichen, geben wir der Statik ihrer Tragsysteme als Primärform der Lastabtragung, oder wie Koch es nennt, (Brückenbau, Teil 1, S. 14), „der Bauart der Hauptträger und der Stützungsart“ den wichtigsten Rang. Begriffe, wie „Fachwerkbrücke“, „Vollwandbrücke“, die wir als sekundäre Merkmale in die zweite Gruppe einteilen, oder auch Bezeichnungen, wie „Deckbrücken“, „Straßenbrücken“ usf. sind grundsätzlich diesem Primat der 3 Lastabtragungs-Grundsysteme unterzuordnen. Eine Fachwerkbrücke kann demnach sowohl Balkenbrücke (Fachwerkbalken) als auch Bogenbrücke (Fachwerkbogen) sein. (Siehe Tafel III.)

Weder die konstruktive Ausbildung der Hauptträger, noch eine andere Bezeichnung (z. B. Mittelträgerbrücke) sind deshalb für die Grundeinteilung maßgebend.

1.1 Einteilung der festen Brücken nach der Statik der Tragsysteme

1.11 Balkenbrücken

1.11.1 Einfache Balkenbrücken

Balken auf zwei Stützen:
BALKENTRÄGER
Stützweiten 5 – 20 m

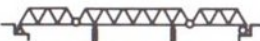


1.11.2 Zwischengestützte Balkenbrücken

Balken auf mehreren
Stützen ohne Gelenke:
DURCHLAUFTRÄGER
Stützweiten der Hauptöffnungen 30 – 250 m



Balken auf mehreren
Stützen mit
Gelenken: GELENKTRÄGER (GERBERTRÄGER)
Stützweiten der Hauptöffnungen 100 – 500 m



1.11.3 Verstärkte Balkenbrücken

Durch geneigte Streben
unterstützter Balken:
SPRENGWERK
Stützweiten 10 – 25 m



Überspannter Balken:
HANGWERK
Stützweiten 10 – 20 m



Unterspannter Balken:
HANGWERK
Stützweiten 10 – 25 m



1.11.4 Seilverspannte Balkenbrücken

SCHRÄGSEILBRÜCKE
Stützweiten 150 – 450 m



1.11.5 Versteifte Balkenbrücken

LANGERBALKEN
(Auch als versteifter
Stabbogen statisch ein
Balken)
Stützweiten 50 – 250 m



1.12 Bogenbrücken

1.12.1 Bogenbrücken mit Horizontalschub

Beidseitig fest eingespannter Bogen:
EINSPANNBOGEN
Stützweiten 50 – 300 m



Beidseitig gelenkig gelagerter Bogen:
ZWEIGELENKBOGEN:
Stützweiten 80 – 300 m

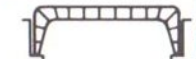


Beidseitig gelenkig gelagerter Bogen mit weiterem Gelenk im Bogenscheitel:
DREIGELENKBOGEN
Stützweiten 60 – 250 m



Rahmenbrücken

Beidseitig eingespannter Rahmen:
EINSPANNRAHMEN
Stützweiten 20 – 50 m



Beidseitig gelenkig gelagerter Rahmen:
ZWEIGELENKRAHMEN
Stützweiten 30 – 250 m



1.12.2 Bogenbrücken mit aufgehobenem Horizontalschub

An Fahrbahntafel oder besonderem Zugband befestigter Bogen:
BOGEN MIT ZUGBAND
Stützweiten 40 – 80 m

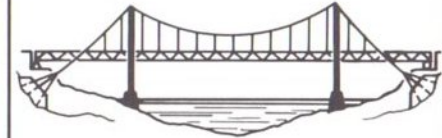


Mehrere sich gegenseitig abstützende Bogen:
BOGEN ÜBER MEHRERE ÖFFNUNGEN
Stützweiten je Öffnung: 20 – 80 m



1.13 Hängebrücken

1.13.1 Erdverankerte Hängebrücken (Echte Hängebrücken)



In Fundamentblöcken verankerte Tragbänder (Kabel, Ketten usw.):
ECHTE HÄNGEBRÜCKE
Stützweiten der Mittelöffnung 300 – 1200 m

1.13.2 Hängebrücken mit aufgehobenem Horizontalschub (In sich verankerte Hängebrücken)



An Versteifungsträger (außen) befestigte Tragbänder:
IN SICH VERANKERTE HÄNGEBRÜCKE
Stützweiten der Mittelöffnung 250 – 500 m



An Versteifungsträger (außen und innerhalb der Mittelöffnung) befestigte Tragbänder:
ZUGELGURTBÜCKE
Stützweiten der Mittelöffnung 150 – 350 m

Die Primärformen der Brücken sind:

Balkenbrücken (1.11)

Bogenbrücken (1.12)

Hängebrücken (1.13).

Entscheidend für die Wahl einer dieser Brückenformen (wobei selbstverständlich bei den mannigfaltig vorkommenden Bauwerken auch Kombinationen dieser 3 Grundformen erstellt wurden) sind für den Brückenkonstrukteur u. a. folgende Kriterien:

Verwendungszweck (Eisenbahnbrücke, Straßenbrücke usw.),

Breite der **zu überbrückenden Verkehrswege** (Straße, Schiene, Schlucht) und die dadurch bedingte **Stützweite**,

Breite der Brückenfahrbahn, bedingt durch die **Verkehrsdichte**,

Wirtschaftlichkeit,

Anpassung an die Landschaft,

Vorhandener Baugrund.

Von den hier genannten Kriterien ist für den Technikunterricht vor allem der Begriff Stützweite wichtig. Unter Stützweite (auch Spannweite genannt) versteht man die Entfernung zwischen den gedachten Auflagerachsen des Tragwerks.

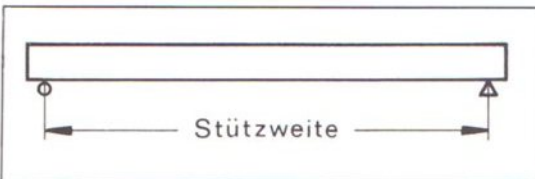


Abb. 43 Stützweite eines Brückentragwerks.

Die Bezeichnungen Stützweite oder Spannweite beziehen sich bei mehrfach abgestützten Brücken immer auf die Hauptöffnung.

Zu den in Tafel III angegebenen Stützweiten:

In der von uns verwendeten Literatur werden für die einzelnen Stützweiten der drei statischen Primärformen der Lastabtragung die unterschiedlichsten Angaben gemacht, ja es kommt sogar vor, daß derselbe Verfasser in verschiedenen Veröffentlichungen voneinander abweichende Zahlen nennt.

Es ist deshalb für uns ein Wagnis, hier Stützweiten für die gezeichneten Darstellungen von Brücken zu nennen. Hinzu kommt, daß es bei allen Brückenformen Sonderausführungen gibt, die weit außerhalb der üblichen Stützweiten liegen.

Wir wagen dennoch diesen Versuch, um dem interessierten Leser einmal eine in etwa zutreffende Übersicht zu geben, für welche durchschnittlich angenommenen Stützweiten die einzelnen Lastabtragungs-Systeme eingesetzt werden, bzw. eingesetzt worden sind – denn einige Systeme, wie z. B. Sprengwerke und Hängewerke werden heute ja nicht mehr gebaut.

1.11 Balkenbrücken

Die am häufigsten vorkommenden Brückentragwerke sind die Balkenbrücken. Unsere Übersicht auf S. 30 zeigt, daß es eine breite Skala von Konstruktionsvarianten gibt, vom einfachen Balken auf zwei Stützen mit kleiner Stützweite bis zur modernsten Brückenform, dem seilverspannten Balken, der bisher für mittlere Stützweiten bis 450 m in den letzten Jahren sehr an Bedeutung gewonnen hat und sogar für größere Projekte bis 1500 m eingesetzt werden soll, weil dieses Tragssystem nach einer Untersuchung des international bedeutenden Stuttgarter Brückenkonstruktors Fritz Leonhardt³⁰) gegenüber den noch immer größten Brückenbauwerken, den Hängebrücken, in wirtschaftlicher, technischer und aerodynamischer Hinsicht überlegen sein soll.

Da wir innerhalb der Balkenbrücken keine klar differenzierte Untergliederung finden konnten, versuchen wir diese selbst. Wir sind uns bewußt, daß die von uns benutzten Begriffe (besonders die „verstärkten“ Balkenbrücken unter 1.01.3) anfechtbar sind. Ein seilverspannter Balken (Schrägseilbrücke) kann, genau betrachtet, sowohl als „verstärkte“, wie als „versteifte Balkenbrücke“, angesprochen werden.

Balkenbrücken können aus den verschiedensten Materialien, wie Holz, Beton (Stahlbeton = „schlafte Bewehrung“ und Spannbeton = „Spannbewehrung“), Leichtmetall und aus Stahl hergestellt sein. Sie werden jedoch nicht aus Mauerwerk (Natur- und Kunststein) gebaut, weil diese Materialien ungeeignet sind, der Balkenbiegung die notwendigen inneren Gegenkräfte entgegenzusetzen. Wir werden uns in den Versuchsreihen fast ausschließlich mit statischen Problemen beschäftigen, wie sie beim Stahlbau vorliegen, wollen aber dennoch auch einen kurzen Überblick geben über Bauformen bei „Massivbrücken“ aus Stahlbeton, bzw. Spannbeton – ohne jedoch auf Einzelheiten dieser komplizierten statischen Sachverhalte einzugehen (Spannbewehrung usw.).

Balkenbrücken weisen die verschiedensten Brückenquerschnitte auf. Hierunter versteht man die Schnittfläche, die entsteht, wenn man sich eine Brücke an einer bestimmten Stelle rechtwinklig zur Brückenachse durchschnitten denkt.

In Tafel II sind unter „Nach Lage der Fahrbahn zu den Hauptträgern“ zuerst die Deckbrücken genannt; sie kommen am häufigsten vor. Bei ihnen liegt die Fahrbahn **über** der Trägerkonstruktion, so daß gute Sichtverhältnisse bestehen, während bei den Trogrücken die meist schmalere ausgebildete Fahrbahn zwischen den Hauptträgern unten (versenkt) angebracht ist.

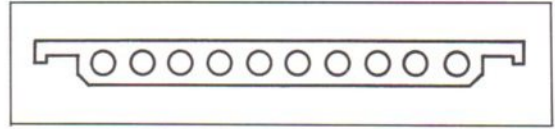


Abb. 47 Hohlplattenquerschnitt

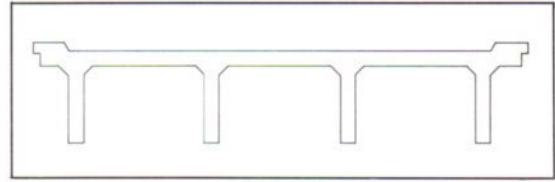


Abb. 48 Plattenbalkenquerschnitt

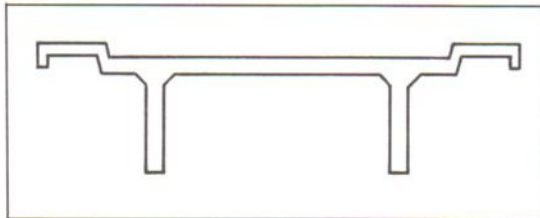


Abb. 44 Deckbrücke
Fahrbahn ist über der Trägerkonstruktion angebracht.

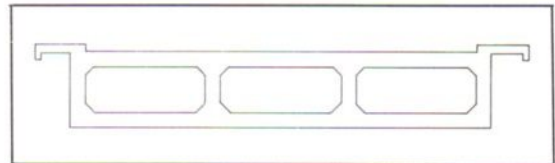


Abb. 49 Kastenquerschnitt

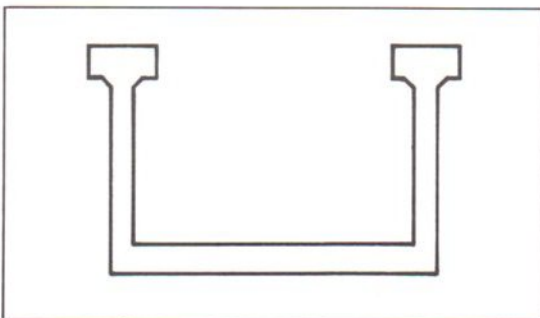


Abb. 45 Trogrücke
Fahrbahn ist unten zwischen den Hauptträgern angebracht.

Die einfachste Balkenbrücke ist die Plattenbrücke mit einer (aus Gewichtsgründen) maximalen Plattendicke von 60 cm bei Massivbrücken (Stahl bzw. Spannbeton). Liegen größere Abmessungen vor, so handelt es sich um Hohlplatten mit Hohlräumen oder um Plattenbalken. Bei Hohlquerschnitten über 120 cm (160 cm) spricht man von Kastenquerschnitten.

Abb. 50 zeigt den Freivorbau einer Balkenbrücke mit Kastenquerschnitt.

Im folgenden wenden wir uns den verschiedenen Ausführungsarten der Balkenbrücken in Stahlbauweise zu, weil Stahl als Werkstoff „ideale“ Bedingungen erfüllt: er ist je nach Güteart **sehr druck- und zugfest**.

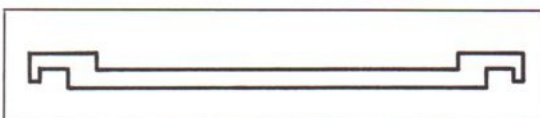


Abb. 46 Plattenquerschnitt

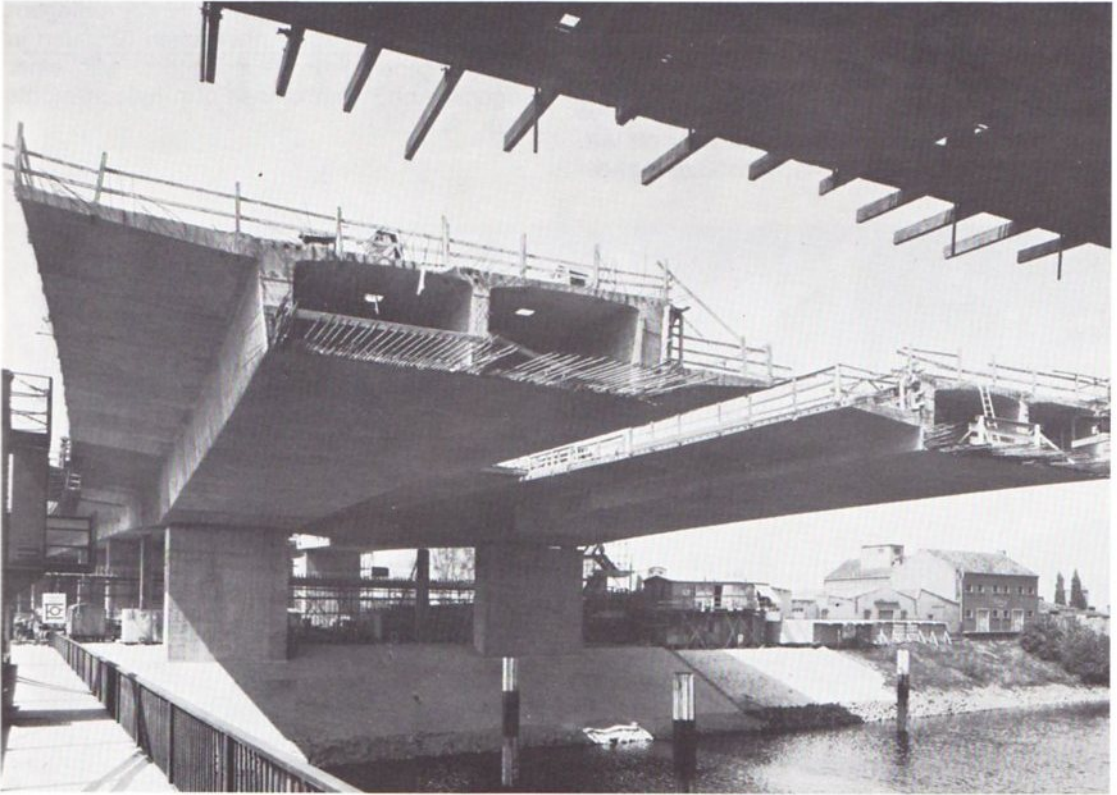


Abb. 50 Bau der Westkreuz- und Verbindungsbrücke in Mannheim. Balkenbrücke als Durchlaufträger in Spannbetonweise. (Entnommen dem Sonderdruck zur Verkehrsübergabe der Kurt-Schumacher-Brücke am 28. Juni 1972, Stadt Mannheim und Stadt Ludwigshafen, S. 15.)

1.11.1 Einfache Balkenbrücken

Die einfachste Balkenbrücke ist der sog. „Balken auf zwei Stützen“ oder auch „freiaufliegender Balken“ genannt. Er wird als „statisch bestimmt“ bezeichnet.

„Statisch bestimmt“ nennt man diejenigen Probleme, bzw. Systeme, deren Lösung (rechnerisch oder grafisch) eindeutig und vollständig aus den statischen Gleichgewichtsbedingungen hervorgeht.

Diese für den Statiker und Bauingenieur wichtigen Probleme sind jedoch für den Sekundarstufenbereich nicht relevant, sie seien nur zur Sachinformation erwähnt. Diejenigen Leser, die sich eingehender mit diesen Fragen beschäftigen wollen, verweisen wir besonders auf die fischertechnik-hobby-Experimentier- und Modellbücher Band 1/3 und Band 1/5 sowie auf die angegebene Fachliteratur.

Statische Probleme die sich aus der Balkenbiegung bei Belastung ergeben, sind bereits unter „Elementare statische Sachverhalte“ auf Seite 9 angesprochen. Sie finden außerdem nochmals eine ausführliche Bearbeitung im Abschnitt 1.11 unter „Vollwandträger“, auf Seite 69. ff.

Es gibt neben den nur eine Öffnung überbrückenden Balken auf zwei Stützen (besonders in Gebieten, wo mit Veränderungen des Baugrundes zu rechnen ist), auch solche Brücken über mehrere Öffnungen, wobei, wie Abb. 51 zeigt, auf jedem Pfeiler jeweils zwei Lager angebracht sind. Diese Bauart ist jedoch unwirtschaftlich.

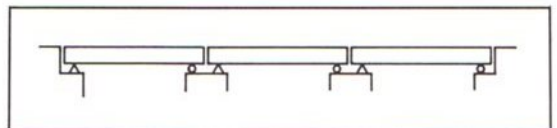


Abb. 51 Mehrere Balken auf zwei Stützen über mehrere Öffnungen.

1.11.2 Zwischengestützte Balkenbrücken

Wo es der sichere Baugrund erlaubt, werden für größere Stützweiten durchlaufende Balkenträger auf mehreren Stützen eingesetzt. Hierbei werden wegen der Aufnahme der Stützmomente oft Verstärkungen über den Zwischenstützen ange-

bracht. Diese Verstärkungen sind im vorliegenden Beispiel auch aus ästhetischen Gründen in geschwungener Form ausgebildet. Mit einer „Bogenwirkung“ hat diese Form jedoch nichts zu tun.



Abb. 52 Weitestgespannte Vollwand-Durchlaufträger-Brücke (Deckbrücke) über die Save in Belgrad. Die 1956 von deutschen Ingenieuren entwickelte Brücke hat eine Stützweite von 261 m in der Mittelöffnung.

Durchlaufträger sind statisch unbestimmt. Das heißt, daß bei der Berechnung der Systeme mehr unbekannte Größen als Gleichgewichtsbedingungen enthalten sind. Diese für den Konstrukteur zum „kleinen Einmaleins“ zählenden Probleme treten, wie gesagt, für unseren Ansatz gänzlich zurück. Die für uns hier sachlich relevanten statischen Probleme sind vor allem die pragmatischen Aspekte bei den Umkehrungen von Druck- und Zugzonen.

Die als **Gelenkträger** ausgebildeten Balken auf mehreren Stützen machen aus einem statisch unbestimmten ein statisch bestimmtes System. Dieses wird vor allem bei unsicherem Baugrund verwendet, so daß die Spannungen von den

Gelenken abgefangen werden können. Abb. 53 zeigt zwei Beispiele von Gelenkanordnungen.

Wie die Skizzen veranschaulichen, ergeben sich auf diese Weise Kragträger und dazwischen eingehängte Trägereile. Diese Bauart wird nach ihrem Erfinder auch Gerberträger genannt.

Eine weitere Lösung der genannten Probleme stellt die **Auslegerbrücke** dar. Aus Abb. 54 ist zu erkennen, daß in Gerberträgeranordnung ein Einhängeträger von den zwei von den Endöffnungen nach der Mitte zu auskragenden Trägerteilen getragen wird. Unser Beispiel ist bewußt als **Fachwerkbalken**-Ausführung gewählt; es handelt sich trotz der Bogenführung des Obergurts nicht um eine Bogenbrücke.

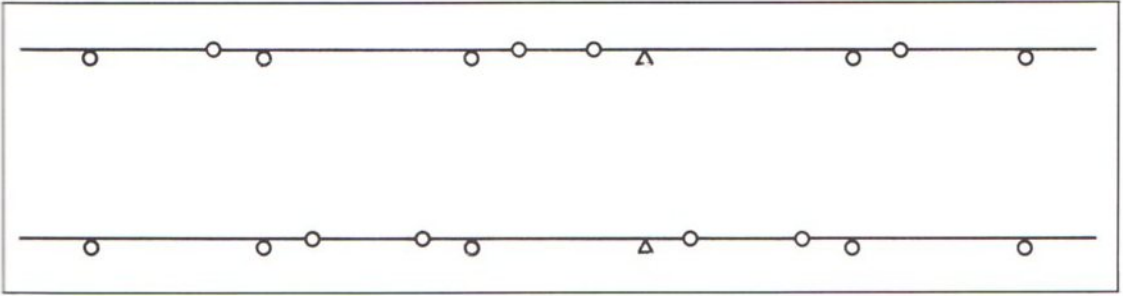


Abb. 53 Anordnung der Gelenke bei Gelenkträgern.

Die Gelenke werden so angeordnet, daß die sich bildenden Kragträger das dazwischenliegende Feld **entlasten**. Die Beanspruchung der Kragarme, der Felder und auch der eingehängten Trägereile soll annähernd gleich sein. Durch die Wahl der Gelenk-Abstände läßt sich also die Gleichheit aller „Stützen- und Feldmomente“ erreichen (siehe auch Abb. 54).

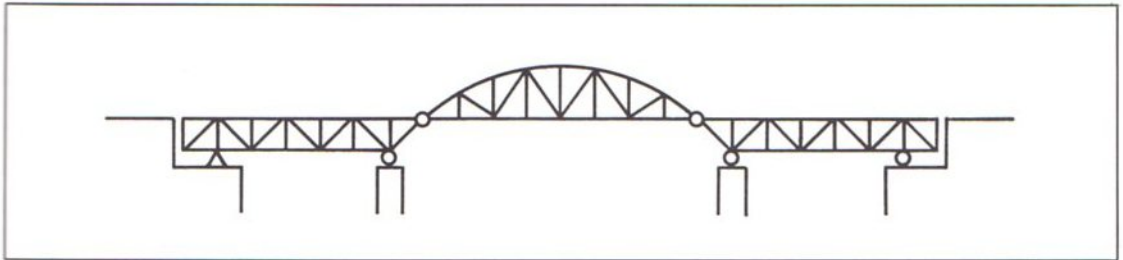


Abb. 54 Auslegerbrücke über drei Öffnungen. Gerberträgeranordnung. Das in den beiden Endfeldbalken eingehängte mittlere Trägereile mit bogenförmigem Obergurt ist ebenfalls statisch gesehen ein Balken und kein Bogen. Er wird durch diese Konstruktionsform angehoben und ermöglicht die Durchfahrt größerer Schiffe.

Der **Obergurt** in einem Fachwerk- oder Vollwandträger ist der oben gelegene der beiden Gurte, während der untere **Untergurt** genannt wird. Beim freiaufliegenden Balken auf zwei Stützen ist der Obergurt Druckgurt, der Untergurt Zuggurt. Über den Zwischenstützen eines durchlaufenden Balkens (Durchlaufträger) treten die „Umkehrungen“ auf: Obergurt wird Zuggurt, Untergurt wird Druckgurt (siehe auch 1.21 Vollwandträger).



Abb. 55 Balken auf zwei Stützen

Wir verdeutlichen diese Probleme noch einmal durch eine Gegenüberstellung der unterschiedlichen Beanspruchung beim frei aufliegenden Balken auf zwei Stützen und beim frei aufliegenden, aber über mehrere Stützen durchlaufenden Balken.

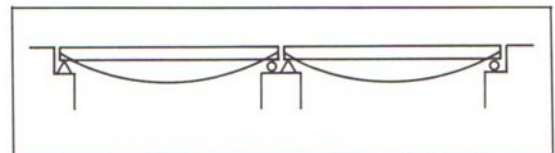


Abb. 56 Zwei Balken auf zwei Stützen

Abb. 55 zeigt, daß die Biegelinie von Auflagerpunkt zu Auflagerpunkt verläuft. Dasselbe gilt bei Abb. 56 für die einzeln aufgelegten Balken auf mehreren Stützen. Es trifft jedoch nicht zu für Abb. 57, für den Durchlaufträger auf 3 Stützen, wie dies besonders anschaulich auch Abb. 58 mit den Bauteilen der Lernbaukästen verdeutlicht.

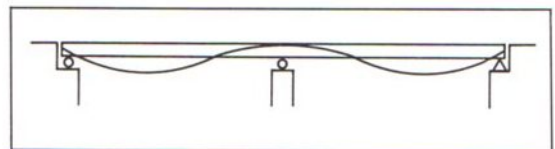


Abb. 57 Durchlaufträger auf drei Stützen

Die Umkehrung von Druckzone und Zugzone über der mittleren Stütze ist in Abb. 58 deutlich zu ersehen. Ein „Balkenträger“ wird jeweils mit

5 kp in den beiden Feldern belastet. Hier ist über der Mittelstütze eine zusätzliche Zugzone oben – jeweils bis nahe zum Angriffspunkt der Kräfte.

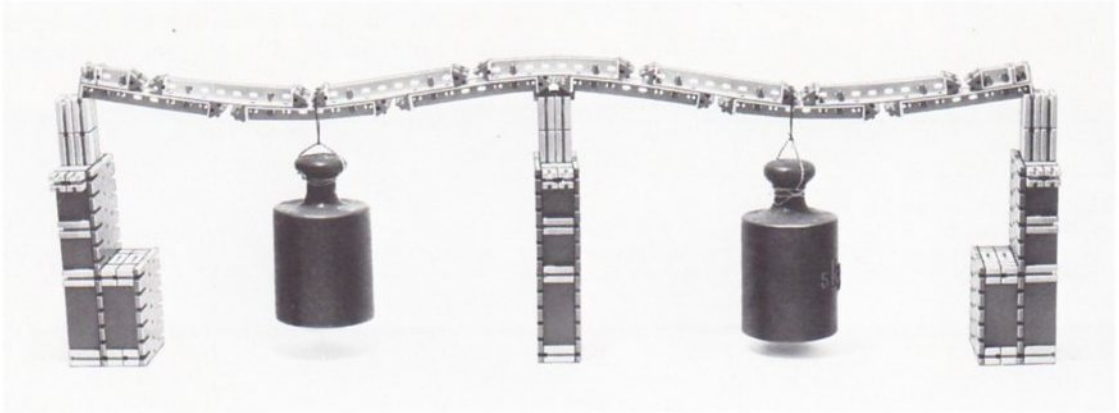


Abb. 58 Demonstrationsmodell zum Sichtbarmachen der Umkehrung von Druck- und Zugzonen beim Balken auf drei Stützen. Die Abstände an den eingeschobenen Winkelsteinen lassen die Beanspruchungsart erkennen. – Siehe Bauanleitung bei Abb. 214 auf S. 110.

1.11.3 Verstärkte Balkenbrücken

Wie bereits erwähnt, ist dieser Begriff in der Fachsprache nicht gebräuchlich, denn im Prinzip sind ja alle Balkenbrücken „verstärkt“. Wir benutzen diese Bezeichnung für jene Gruppe von Balkenbrücken, die früher häufig dort gebaut wurden, wo man keine weiteren Pfeiler, bzw. Stützen anbringen wollte; heute werden sie jedoch nicht mehr erstellt, weil besonders bei den verschiedenen Spannbetonverfahren solche und weit größere Stützweiten erzielt werden. Auch soll die klare Linienführung durch keine zusätzlichen Stützeffekte mehr gestört werden.

Ein **Sprengrwerk** ist ein Balkentragwerk, bei dem der Balken von unten durch schräg gegeneinander geneigte Streben unterstutzt wird. Obwohl nicht immer besondere Gelenke angebracht sind, muß dennoch eine gelenkige Verbindung vorhanden sein, die bei Holzkonstruktionen durch Einsetzen der Streben in Aussparungen erreicht wird. Sind die Streben fest mit dem Balken verbunden, so handelt es sich um eine Rahmenkonstruktion. (Siehe Tafel II unter 1.02.1, letztes Beispiel.) Dies ist auch dann der Fall, wenn der Balken nicht von einem besonders unterlegten Riegel unterstutzt ist, wie in Abb. 108 auf Seite 59.

Die beiden Beispiele der **Hängewerke** haben gemeinsam, daß ein (manchmal als „dritter Gurt“ bezeichnetes) zusätzliches Konstruktionsteil die Versteifung des sonst zu schwach dimensionierten Balkenträgers bewirkt. Bei der ersten Skizze

handelt es sich beim überspannten Balken um ein **einfaches Hängewerk**, wobei die **eine** Hängesäule an **einem** Trägeteil für die Bezeichnung bestimmend ist. Bei der zweiten Zeichnung ist ein **doppeltes Hängewerk** (von unten „unterspannt“) dargestellt. Eigentlich könnte man diese Konstruktion nicht Hängewerk, sondern „Stützwerk“ benennen – manchmal ist hierfür sogar die Bezeichnung **Sprengrwerk** benutzt. Anstelle der sonst üblichen senkrechten Druckpfosten sind zwei V-Stützen eingesetzt, die die Kräfte gleichmäßiger auf den Balken verteilen. Im Gegensatz zum ersten Beispiel ist hier der „dritte Gurt“ auf Zug belastet, er kann deshalb auch aus Seilen bestehen.

Das einfache Hängewerk ist, im Gegensatz zu größeren Fachwerken auch für statische Laien ein durchschaubares Tragsystem, das in der werkdidaktischen Literatur schon mehrfach erwähnt wurde.³¹⁾ Wir sind der Meinung, daß es sich gut als Beispiel zum **Zerlegen einer Kraft mit dem Krätedreieck** eignet. Für jüngere Schülergruppen bietet es gute Möglichkeiten zur Anbahnung eines Verständnisses für den Verlauf der Kräfte („Kräftefluß“, „Kräfteweg“) in den einzelnen Bauteilen.

Wir widmen hier deshalb auch aus didaktischen Gründen diesen beiden Problemen mehr Raum als dies in der uns bekannten Literatur bisher geschehen ist.



Abb. 59 Einfache Hängewerkbrücke in Freudenstadt. Die Last, die auf den Balkenträger wirkt, wird von den vertikalen Hängesäulen aufgenommen, in die schrägen Streben übergeleitet und durch diese jeweils außen in den Brückenbalken und in die Auflager abgetragen.

1.11.31 Exkurs über das Zerlegen einer Kraft mit dem Kräfte-dreieck

In Abb. 60 stellen wir an zunächst einer Zeichnung die Kräftezerlegung dar.

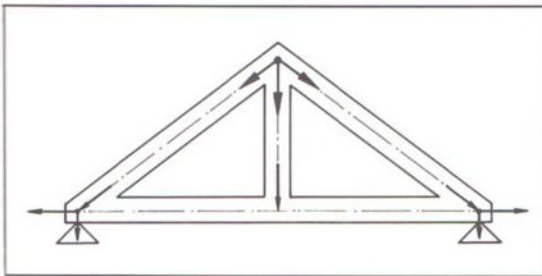


Abb. 60 Die lotrecht wirkende Last in der Hängesäule wird im oberen Angriffspunkt in die beiden Strebenkräfte zerlegt. Diese „Teilkkräfte“ werden jeweils wieder in ihre horizontalen und vertikalen „Unter-Teilkkräfte“ über den Auflagern zerlegt.

Abb. 61 zeigt den Lageplan eines Hängewerks. (Wir benutzen hier eine flachere Neigung der Streben, weil diese Winkel – 30 Grad und 60 Grad – den Winkelsteinen des u-t 1 entsprechen und die Modelle so am günstigsten gebaut werden können.) Lagepläne sollen die genaue Lage und Richtung der einzelnen Konstruktionsglieder, in denen die Kräfte wirken, sowie die Größe der Gesamtbelastung angeben; ein bestimmter Maßstab ist nicht erforderlich.

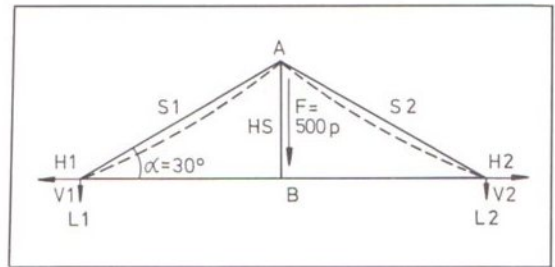
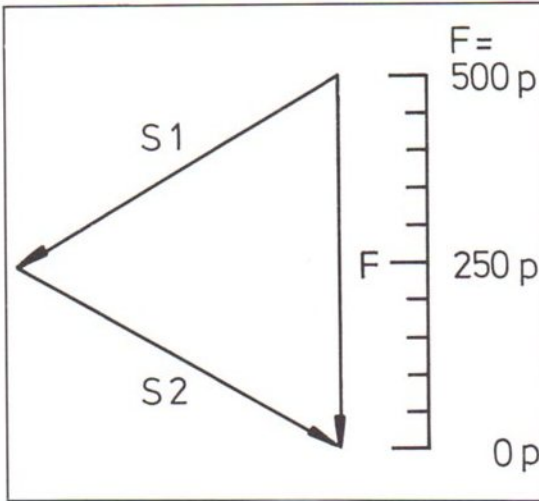


Abb. 61 Lageplan eines Hängewerks mit einer Streben-Neigung von 30° zur Horizontalen. Die an der Hängesäule HS wirkende Kraft $F = 500 \text{ p}$ wird zunächst im oberen Angriffspunkt A in die beiden Strebenkräfte S_1 und S_2 zerlegt. Diese werden jeweils wiederum in ihre Horizontalkraft H und in ihre Vertikalkraft V zerlegt. Die Strebenkräfte S_1 und S_2 beanspruchen die Streben auf Druck; die Strichlinien deuten dies an. Die Teilkkräfte H_1 , H_2 und V_1 , V_2 beanspruchen den Balkenträger auf Zug und die Lager L_1 und L_2 auf Druck.

Abb. 62 gibt den Kräfteplan wieder, der aus einer Strebenneigung von 30 Grad ermittelt ist. Die relativ kleine Kraft von 500 p ist wegen der Kraftmesser-Versuche gewählt; sie ist im selbst zu wählenden Maßstab angenommen : $1 \text{ mm} = 10 \text{ p}$.



In Abb. 64 ist analog zu Abb. 63 verfahren, jedoch nur spiegelverkehrt.

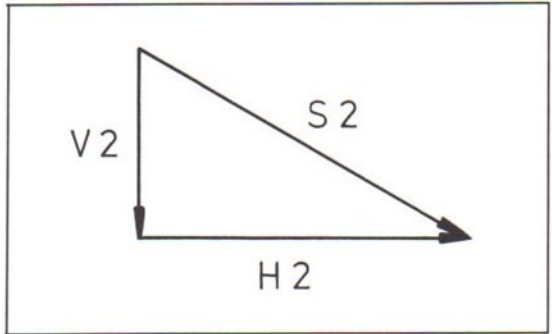
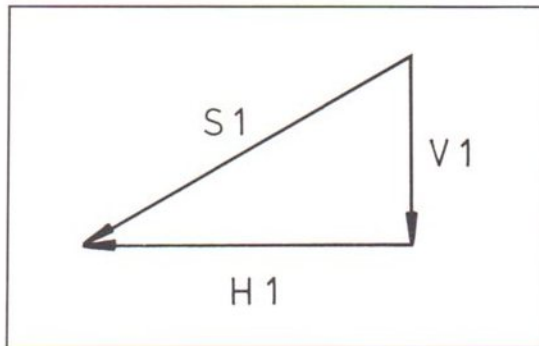


Abb. 64 Teilkräfteplan zur Zerlegung der Strebenkraft S2 in die Horizontal- und Vertikalkraft. Es ergeben sich dieselben Werte wie bei Abb. 63, $F = 500 \text{ p}$ (S_2); $V_2 = 250 \text{ p}$; $H_2 = 440 \text{ p}$.

Abb. 62 Kräfteplan für die Hängesäule und die Streben eines Hängewerks. Nach Eintragen der gegebenen Kraft $F = 500 \text{ p}$ ist zuerst durch den oberen Endpunkt eine Parallele zur Strebe S1 und danach durch den unteren Endpunkt eine Parallele zur Strebe S2 gezogen; beide sind zum Schnitt gebracht und bilden mit F ein Kräftedreieck, aus dem die Kräfte für S1 und S2 leicht zu ermitteln sind: Da die Strecken im gleichseitigen Dreieck gleich lang sind, sind die wirkenden Kräfte ebenfalls gleich, also je 500 p . Das Kräftedreieck dient hier zum Zerlegen einer Kraft in zwei Teilkräfte; die gegebene Kraft stellt die Mittelkraft dar und die Pfeilrichtung der Teilkräfte ist entgegengesetzt der gegebenen Kraft, weil diese, wie schon betont, als Mittelpunkt aufzufassen ist. (Siehe hierzu auch Schulze, Kleine Baustatik, S. 72, 73.)

Es wäre denkbar, daß beim Zeichnen dieser drei Kräftepläne einige Schüler den Fehler begehen, alle ermittelten Kräfte zu addieren. Dieser Gedankengang liegt nahe und bringt Zweifel an der Richtigkeit der angewendeten zeichnerischen Form. Denn den Schülern ist vielleicht schon bekannt, daß bei mittlerer Belastung einer Brücke die beiden Auflager jeweils die Hälfte der Last abtragen. V1 und V2 betragen auch je 250 p und nur diese Kräfte können, weil sie in der gleichen Wirkungsrichtung liegen, addiert werden. In den Streben S1 und S2 wirkt tatsächlich eine Kraft von je 500 p – deshalb ist eine starke Strebenausbildung nötig, damit dieses Konstruktionsteil nicht knickt. Die Nieten, Bolzen, Schrauben oder Schweißstellen am Angriffspunkt über den Lagern müssen deshalb so dimensioniert sein, daß sie diese Beanspruchungen aushalten.

Zum 2. Schritt der Kräftezerlegung von S1 und S2 in ihre Horizontal- und Vertikalkräfte wäre ein neuerliches Zeichnen, wie es in den Abb. 63, 64 zu sehen ist, nicht notwendig. Wir zeigen diese Form erst später in Abb. 85 und wählen hier einen didaktisch zu vertretenden Umweg, damit der weitere Zeichenverlauf übersichtlicher dargestellt wird.



Hinweis für Klassen, bei denen Winkelfunktionen vorausgesetzt werden können:

Es wäre eine interessante Aufgabe, die rechnerische Ermittlung der Stabkräfte in Angriff zu nehmen. Die Abmessungen sind aus dem Lageplan in Abb. 61 ja bekannt. Der Winkel ebenfalls, wie auch $V_1 = V_2 = \frac{HS}{2}$

So sind:

$$S = \frac{V_1}{\sin \alpha}; \quad H = \frac{V_1}{\tan \alpha}$$

Außer der Gewinnung der Werte auf zeichnerische und rechnerische Weise können die Werte an unserem „Vektoren-Meßgerät“ abgelesen werden.

Abb. 63 Teilkräfteplan zur Zerlegung der Strebenkraft S1 in die Horizontal- und Vertikalkraft. Der ermittelte Vektor S1 ist in gleicher Größe und Richtung nochmals aufgetragen; am unteren Endpunkt wird die Horizontale und am oberen Endpunkt die Vertikale eingetragen. So entsteht ein Kräftedreieck, aus dem folgende Werte zu entnehmen sind: $F = 500 \text{ p}$ (S_1); $V_1 = 250 \text{ p}$; $H_1 = 440 \text{ p}$.

Dieses Gerät hat den Vorteil, daß die beteiligten Kräfte durch die neuen fischertechnik-Kraftmesser (die auf Druck und Zug ansprechen und untereinander verbindbar sind) für die Schüler anschaulich werden. Den Zusammenbau (aus Bauteilen von 3 Lernbaukästen u-t 1 und drei Kraftmessern) bringen die folgenden Abbildungen.



Abb. 65 In eine Drehscheibe eine Flachnabe fest eindrehen, dann 4 Bausteine 15 mit 2 schw. Zapfen in die Schlitzte schieben und mit 3 Winkelsteinen 60 Grad untereinander verbinden.

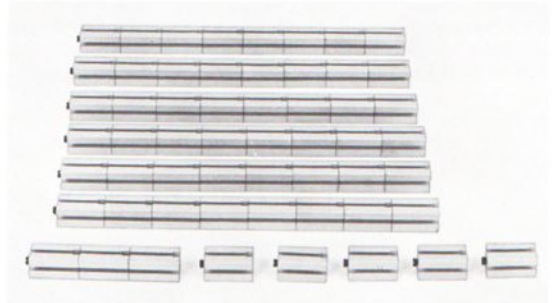


Abb. 66 Jeweils 8 Bausteine 30 zu 7 Schiebestangen so zusammenstecken, daß alle Quernuten in einer Richtung verlaufen.

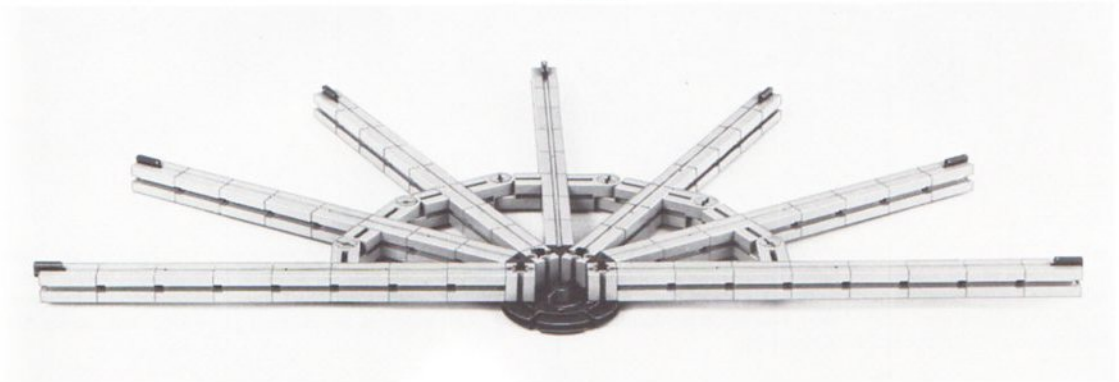


Abb. 67 Die 7 Schiebestangen fächerförmig so in die Steine einsetzen, daß alle Quernuten unbedingt horizontal verlaufen. Dann jeweils die Schiebestangen untereinander in den 3. Bausteinen mit je einem Gelenkstein verbinden. Zuletzt in die unteren Längsnuten Achsen 60 und 110 einschieben und mittels Verbindungsstück 15 vor dem Herausfallen sichern.

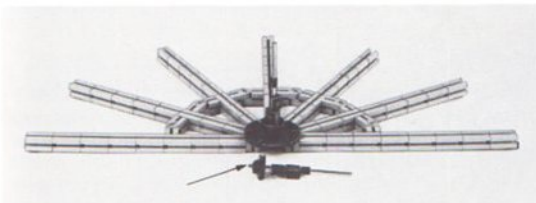


Abb. 68 In das fertige Gestell ist im Zentrierpunkt aller Wirkungslinien eine Achse 110 eingesteckt, die mit einer Flachnabe, 2 Winkelsteinen 30 Grad und einer Klemmbuchse bestückt ist. Wichtig: Nur etwa 5 mm Achsstummel unter Flachnabe! (Siehe Pfeil.)

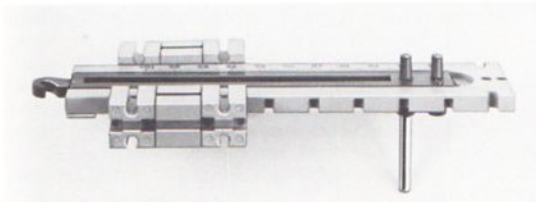


Abb. 69 An den roten Schiebestücken von zwei fischertechnik-Kraftmessern neuer Bauart in die hinteren rohrförmigen Buchsen je eine Achse 30 stecken. Vorn am grauen Rahmen jeweils in die erste und dritte Nut Bausteine 15 lagern und beide je mit einem Baustein 15 mit 2 schw. Zapfen sichern.

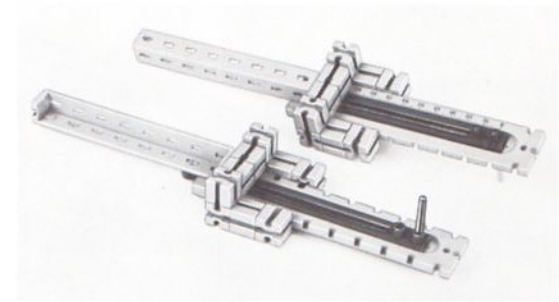


Abb. 70 Als Druckstäbe Winkelträger 120 aus dem u-t S (oder 4 Bausteine 30) benutzen und beim einen Kraftmesser oberhalb, beim anderen unterhalb in der geeigneten Weise anbringen.

Die nach den Abb. 69, 70 hergestellten Kraftmesservorrichtungen dienen zur Messung der Kräfte in den Streben S1 und S2; sie sind als „Druckkraftmesser“ ausgebildet. Sie werden nach Abb. 71 in die mit jeweils 30 Grad zur Horizontalen geneigten Schiebestangen eingeführt und mit den im Zentrierpunkt in der Achse 110 gelagerten Winkelsteinen verbunden. Durch Schieben (= Drücken = Druck) an den zur Lastaufnahme dienenden Schieblöcken (zwei Bausteine 30) in Richtung auf den Angriffspunkt kann die gewünschte Kraft zur Wirkung kommen.

Als Hängesäulen-Kraftmesser wird ein auf Zug beanspruchter Kraftmesser eingebaut. Hierfür könnte auch ein Kraftmesser älterer Bauart benutzt werden. Er ist oben an seinem roten Haken zwischen den beiden Schubstangen der Strebenkraft-

messer an der Achse 110 eingehängt und unten an der hinteren Lochung des grauen Gestells durch eine Achse 60 in einem weiteren Schiebblock eingespannt.

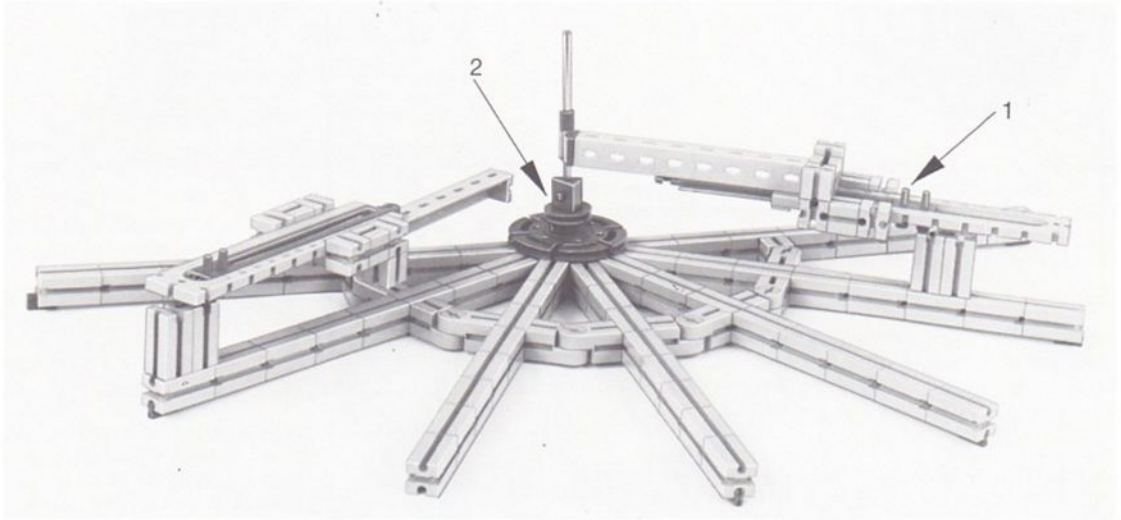


Abb. 71 Die rechte Kraftmesservorrichtung für die Strebe S1 ist bereits mit ihrer höher angeordneten Druckstange am oberen Gelenkstein in der Achse 110 befestigt und durch Andrücken des Schiebblocks mit 500 p Druck beansprucht (siehe Pfeil 1). Der linke Kraftmesser ist noch nicht in Funktion. Nach Einsetzen der tiefer angeordneten Druckstange im unteren Winkelstein an der Achse (Siehe Pfeil 2) wird auch hier ein stufenloses Zusammendrücken möglich, so daß eine genaue Einstellung bis 500 p (Markierung 50) auf der Skala möglich wird.

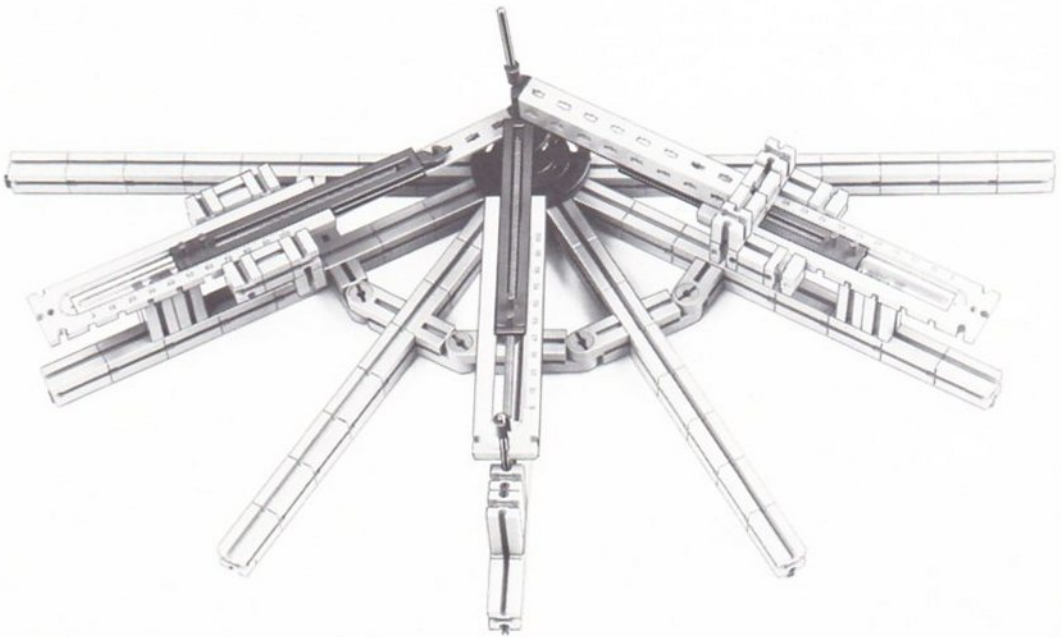


Abb. 72 Der erste Versuch erbringt einen anschaulichen Beweis für die Richtigkeit der zeichnerisch ermittelten Werte: Wenn der als Hängesäule wirkende Kraftmesser in der Lotrechten mit 500 p zugbelastet ist und die Achse 110 aus ihrer Einbettung im Zentrierpunkt herausgehoben („gezupft“) wird, bleibt sie genau an diesem Punkt „stehen“, sie „schwebt“, weil jetzt der „Kräfteausgleich“ wirksam ist. (Dieses „Schweben“ ist besonders deutlich in Abb. 78 zu erkennen!) In jedem Bauteil wirken 500 p. Ausschlaggebend hierfür ist die Neigung der Streben, also der Einstellwinkel am Angriffspunkt der Kräfte.

Um die Abhängigkeit der Vektorengößen vom Neigungswinkel der Streben noch deutlicher herauszustellen, führen wir zwei weitere Versuche durch. Beim ersten wird dieselbe Anordnung beibehalten (Abb. 73) und beim nächsten werden die beiden Streben-Kraftmesser in die steiler stehenden Schiebepfeiler umgesetzt (Abb. 74).

In Abb. 73 wurde zuvor der Schiebepfeiler des lotrechten Hän-

gesäulen-Kraftmessers (bei eingehängter Achse im Zentrierpunkt) so weit zurückgezogen, bis auf der Skala eine Kraft von 750 p angezeigt war. Nachdem die Achse aus dem Zentrierpunkt herausgehoben und unter leichten Zupfbewegungen sich auf die neue Kraftzerlegung einstellte, ergab sich das für „statische Laien“ überraschende Bild, daß die Kraft in der Hängesäule **ab-** und in den Streben **zunahm**.

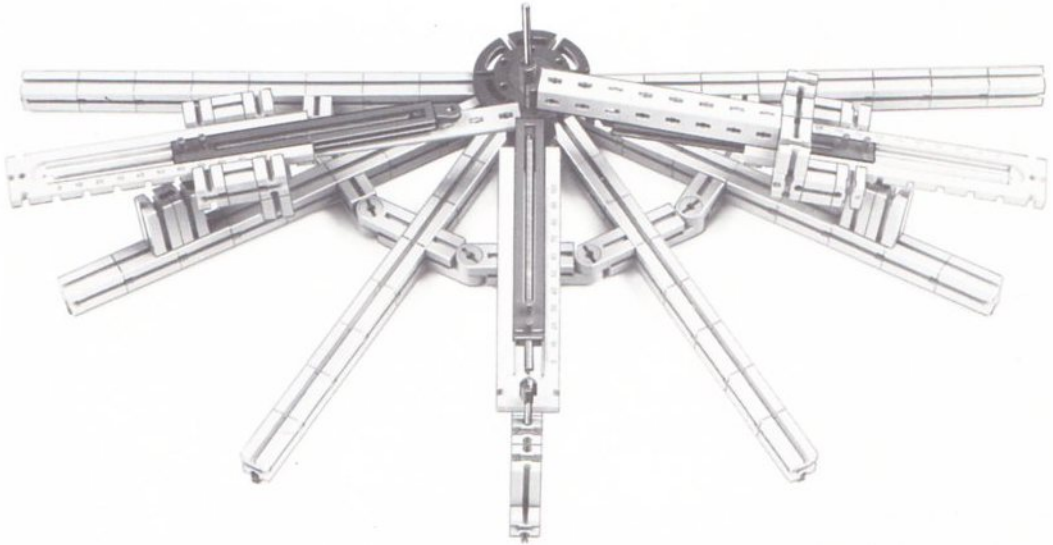


Abb. 73 Bei den sehr großen Winkeln zwischen Streben und Hängesäule (~ 80 Grad) ergeben sich etwa folgende Werte: S1 und S2 650 p; Hängesäule 200 p.

Genauere Werte könnten die Schüler durch Zeichnung erbringen, doch läßt sich schon aus diesen ersten Versuchen klar ablesen: Je flacher die Streben angeordnet sind, desto größere Kräfte wirken in ihnen. Daraus werden einige Schüler folgern, eine Konstruktionsform zu bauen, in deren Bauteilen durch „bessere“ Streben-Neigungswinkel geringere Kräfte = geringere Beanspruchungen wirksam sind. Der nächste Versuch soll diese Vermutung bestätigen.

In Abb. 74 ist zu erkennen, daß die mit 500 p beanspruchte Hängesäule eine Kraft von etwa „nur“ 300 p in den Streben bewirkt. Zum schnellen Erreichen dieses Ergebnisses ist zu empfehlen, diesmal zuerst die gegebene Kraft von 500 p im Hängesäulen-Kraftmesser einzustellen und darnach dann jeweils die Strebenkraftmesser in die nebenanliegenden Führungs-Stangen einzuschieben und auf „0“ zu stellen. Nach Herausheben der Achse stellen sich zunächst etwa folgende Werte ein: HS = 300 p, S1 und S2 = 160 p, wobei die Winkel nicht mehr ganz den 60 Grad entsprechen. Drückt man jetzt an beiden Schiebblöcken der Strebenkraftmesser, so stellt sich das in Abb. 74 gezeigte Kräfteverhältnis ein.

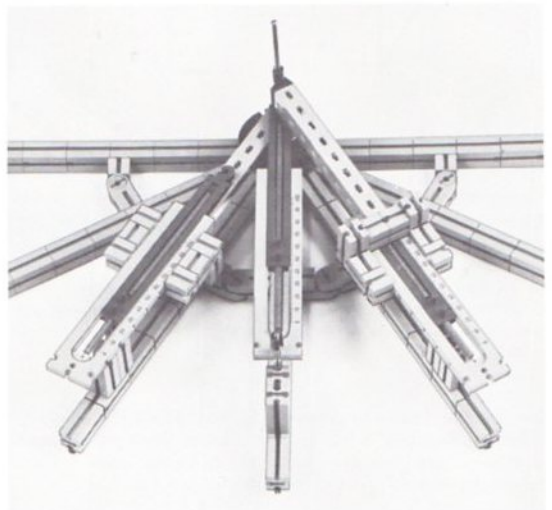


Abb. 74 Zerlegung der Kräfte in einem Hängewerk mit einer Strebenneigung von 60 Grad zur Horizontalen. Hierbei ergeben sich etwa folgende Werte: HS = 500 p; S1 und S2 = 300 p.

Zur Kontrolle der Ergebnisse bringen wir in den Abb. 75–77 den Lageplan und die Kräftepläne dieses Hängewerks. Wir wählen zum besseren Vergleich mit den Abb. 75–77 nochmals die „umständlichere“ Form der Einzelzeichnungen.

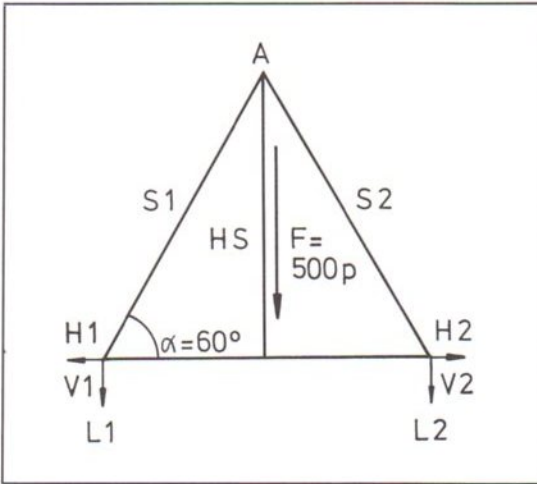


Abb. 75 Lageplan eines Hängewerks mit einer Streben-Neigung von 60 Grad zur Horizontalen.

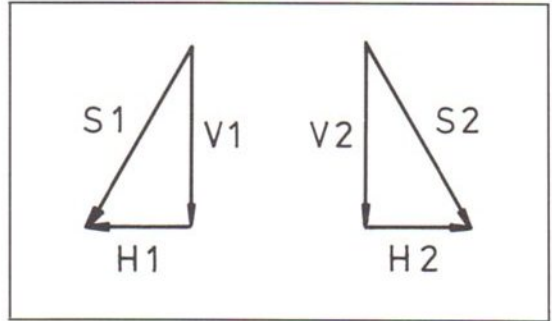


Abb. 77 Teil-Kräftepläne für die Zerlegung der Strebenkräfte S1 und S2 in die Horizontalkräfte H1 und H2, sowie die Vertikalkräfte V1 und V2.

Die Werte: S1 und S2 = 290 p
 V1 und V2 = 250 p
 H1 und H2 = 140 p

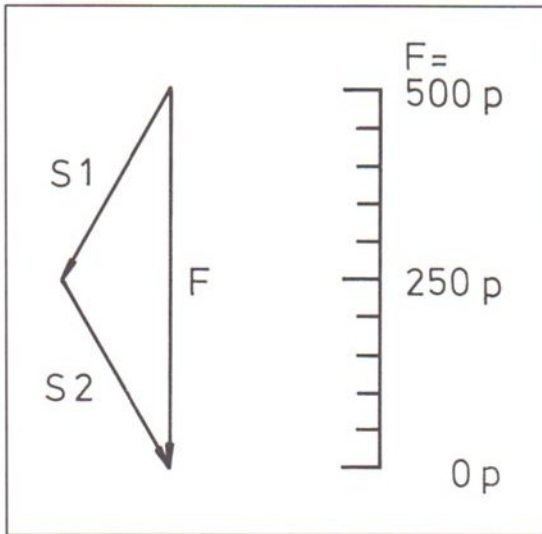


Abb. 76 Kräfteplan für die Hängesäule und die Streben eines Hängewerks. Das zeichnerische Verfahren erfolgt in derselben Weise wie bei Abb. 62.

Die Werte: F = 500 p;
 S1 und S2 = 290 p.

Es ergibt sich gegenüber den im Kraftmesser-Versuch ermittelten Werten nur die geringe Differenz von 10 p. Diese beruht u. a. auf Reibungsverlusten.

Die Ergebnisse des praktischen Versuchs und der zeichnerischen Auswertung bestätigen: **In steiler geneigten Streben sind geringere Kräfte wirksam als in flacher geneigten.** Je größer der Winkel, desto kleiner werden S und H.

Den Abschluß dieser Versuchsreihe mit dem „Vektoren-Meßgerät“ bilden die beiden Beispiele der Zerlegung der Strebenkräfte in ihre vertikalen und horizontalen Kräfte. Für diese beiden Versuche sind jeweils zwei auf Zug und ein auf Druck beanspruchter Kraftmesser nötig.

In Abb. 78 wird zunächst die Strebenkraft S1 = 500 p in der Druck-Kraftmesser-Vorrichtung in der 30 Grad-Schiebestange gemäß der Abb. 71 eingestellt. Dann wird der Horizontal-Kraftmesser eingehängt und bis zur Markierung 44 gespannt. Wird nach dem weiteren Spannen des Vertikal-Kraftmessers bis zur Markierung 25 die Achse „angezupft“, so fällt sie in die Bohrung zurück – der Versuch zeigt also dieselben Werte wie in der Zeichnung und gibt wieder eine anschauliche Darstellung der Kräftezerlegung.

Zum Nachweis der Ergebnisse für das zweite Beispiel gemäß der Abb. 79 ist zu empfehlen, zunächst die eingestellten Werte der Zug-Kraftmesser stehenzulassen und nur den Druck-Kraftmesser in die 60-Grad-Schiebestange umzusetzen, wieder mit 500 p zu belasten und jetzt die Achse herauszuziehen. Sofort schwenkt sie stark nach rechts aus! Nach Zurücksetzen in den Zentrierpunkt der Wirkungsrichtungen und Einstellen der neuen Werte S1 = Markierung 29, H1 = Markierung 14 und V1 = Markierung 25 bleibt die Achse wieder in ihrer „Ausgleichsstellung“.

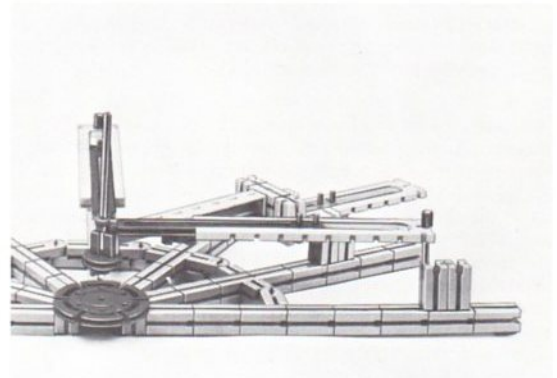


Abb. 78 Zerlegung der Strebenkraft in die horizontale und vertikale Kraft bei einer Strebenneigung von 30 Grad.

Werte: S1 = 500 p
 H1 = 440 p
 V1 = 250 p

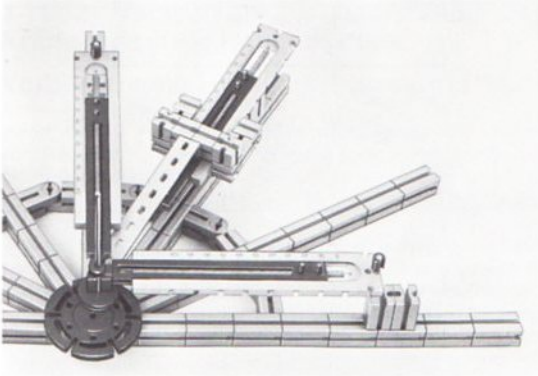


Abb. 79 Zerlegung der Strebenkraft in die Horizontal- und Vertikalkraft bei einer Streben-Neigung von 60 Grad.

Werte: $S_1 = 290 \text{ p}$
 $H_1 = 140 \text{ p}$
 $V_1 = 250 \text{ p}$

Zurückkommend auf die in Seite 41 geäußerte Folgerung einiger Schüler, Konstruktionsformen zu wählen, in deren Streben geringere Kräfte zur Wirkung kommen, soll hier nun der Frage nachgegangen werden, ob dies überhaupt im Sinne einer guten technischen Lösung liegen kann. Abgesehen davon, daß mit den heutigen technischen Mitteln überhaupt keine Hängewerkkonstruktionen im modernen Brückenbau mehr ausgeführt werden, sollte doch ein Vergleich gebracht werden, bei dem die Maße von zwei Hängewerk-Konstruktionen mit einer Stützweite von 10 Metern von den Schülern einzutragen sind. Es ist zu erwarten, daß hier Überlegungen auftauchen, die auf den Begriff der Wirtschaftlichkeit hinfüh-

ren. Die viel längeren Streben des zweiten Beispiels in Abb. 80 könnten zwar schlanker ausgeführt werden, insgesamt wären sie aber dennoch schwerer und mehr auf Knicken gefährdet; außerdem bietet diese Form dem Wind eine viel größere Angriffsfläche, so daß auch von daher der ersten Ausführungsart der Vorzug gegeben werden muß.

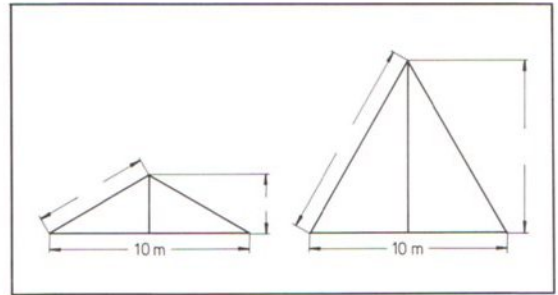


Abb. 80 Vergleich zwischen zwei Hängewerkkonstruktionen mit 10 m Stützweite. Die fehlenden Maße sollen von den Schülern eingetragen werden. Dabei soll besprochen werden, daß zwar in den Streben des ersten Beispiels größere Kräfte auftreten, also eine stärkere Ausbildung der Profile vorgenommen werden muß, daß jedoch die zweite Lösung (trotz geringerer Kräftewirkung in den Streben) die schlechtere ist. Die Streben und damit auch die Hängesäule sind viel zu lang und dadurch zu schwer und auch zu teuer in der Herstellung. Die erste Form ist demnach die wirtschaftlichere.

Die Abbildungen 81 und 82 zeigen zwei Modelle mit einer Streben-Neigung von 30 Grad zur Brückenfahrbahn. Diese Konstruktion ist jeweils nur lose auf die Auflager gelegt. Das Problem der Fest- und Loslager ist hier nicht angesprochen.

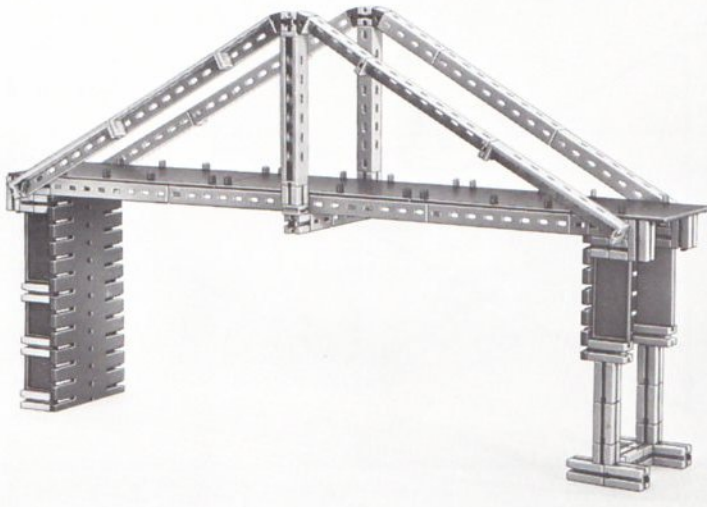


Abb. 81 Modell einer Hängewerkbrücke aus Bauteilen von je einem u-t 1 und u-t S. Es entspricht technisch-konstruktiv der Freudenstadter Brücke von Abb. 59.



Abb. 82 „Bauteiltypisches“ Modell einer Hängewerkbrücke. Anstelle der aus U-Profil bestehenden Hängesäulen von Abb. 81 sind hier der Zugbeanspruchung entsprechende Bauteile eingesetzt. Auf der Vorderseite sind mittels Prüfriegeln (weiße flexible Riegel) Streben 106, auf der hinteren Seite gar nur Schnüre benutzt. Die aus knickbelastbaren Winkelträgern gefertigten Streben sind oben durch einen Kreuzverband zusammengeführt. Dieser „Windverband“ ist gleichzeitig ein Knickverband, der die mit Strebendruck belasteten Firstpunkte am Ausknicken hindern soll.

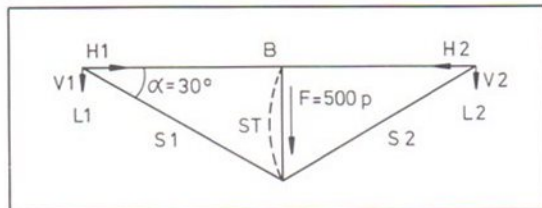


Abb. 84 Lageplan eines unterspannten Hängewerks mit 30 Grad Zugband-Neigung. Die gestrichelte Linie der Stütze ST gibt einen Hinweis auf den Vorteil dieser Konstruktionsform gegenüber den vorher genannten. Dieser Druckstab ist relativ kurz, seine Tendenz auszuknicken, ist viel geringer als bei den oben angeordneten längeren Streben S1 und S2 der vorher gezeigten Beispiele.

Wir zeigen im folgenden die „normale“ Form der zeichnerischen Kräftemittlung, bei der beide Kräftezerlegungen in einer Zeichnung durchgeführt werden können.

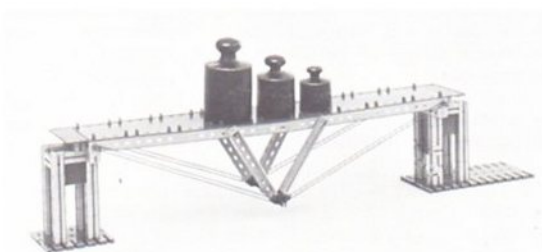


Abb. 83 Modell eines mit V-förmigen Hängestützen ausgebildeten unterspannten Hängewerks. Diese Anordnung ist für die Lastabtragung günstiger.

Zum Abschluß der Ausführungen zum Problem der zeichnerischen Berechnung von Hängewerkkonstruktionen besprechen wir eine Konstruktionsform, wie sie in Abb. 83 und auch unter 1.01.3 – dort allerdings mit doppelter V-förmiger Unterstützung – dargestellt ist.

Diese Ausbildungsart des unterspannten Balkens wurde früher oft angewendet – bisweilen sogar mittels Seilen oder dünnen Stangen. Bei einem Modell-Wettbewerb im Unterricht, bei dem es um ein günstiges Verhältnis von Eigenlast zu Lastaufnahme geht, schneidet diese Konstruktionsform sehr günstig ab, weil die schrägen Zugstreben aus Schnüren bestehen können. Das erspart gegenüber den bisher besprochenen Hängewerk-Typen erhebliches Gewicht, weil nur die Stütze („Hängestütze“) als druckbeanspruchtes Bauteil aus Winkelträgern bestehen muß.

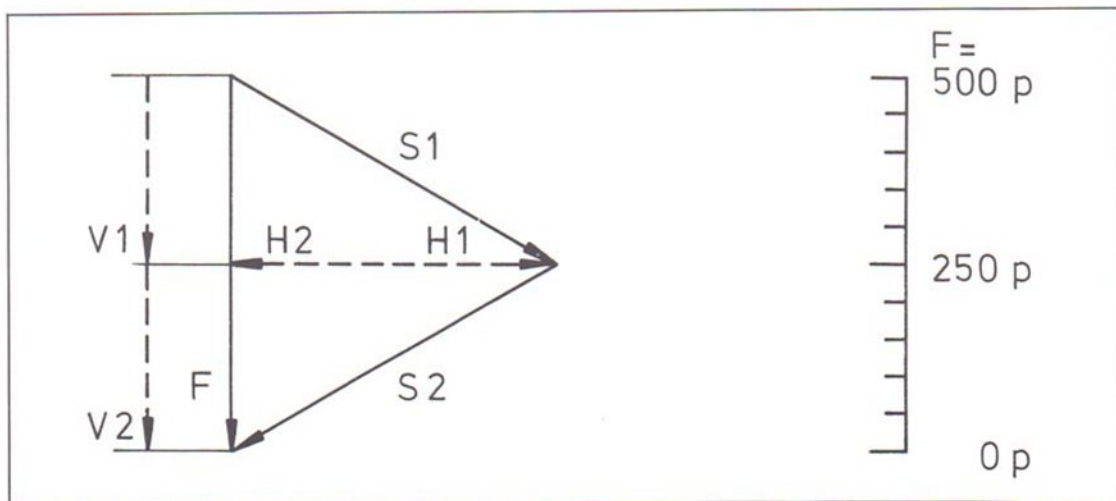


Abb. 85 Kräfteplan. Nach Eintragen der gegebenen Kraft $F = 500 \text{ p}$ ist zuerst wieder durch den oberen Endpunkt eine Parallele zur Strebe S1 und dann durch den unteren Endpunkt eine Parallele zur Strebe S2 gezogen. Zum Schnitt gebracht, bilden sie das Kräftedreieck, in dem die gegebene Kraft F wieder als

Mittelkraft aufzufassen ist. Die weiteren Zerlegungen der Strebenkräfte in ihre Horizontal- und Vertikal-Kräfte ist in derselben Zeichnung durchgeführt. Alle Werte entsprechen denen der Abb. 62–64.

$F = 500 \text{ p}$; $S1, S2 = 500 \text{ p}$; $H1, H2 = 440 \text{ p}$; $V1, V2 = 250 \text{ p}$.

1.11.32 Vorschläge zur Darstellung des Kräfteverlaufs in Hängewerken

Vorbemerkung

Wenn wir hier Vorschläge für eine zeichnerische Darstellung von Kräfteverläufen (mit der Betonung auf „Laufen“ der Kräfte, „Abfließen“ der Kräfte) unterbreiten, so ist dies sicher etwas problematisch. Wir wagen es – auch wenn Statiker diese unübliche Weise gar als fehlerhaft bezeichnen oder Didaktiker dies für den Unterricht in der Primarstufe als zu speziell betrachten. Wir empfinden diesen Versuch als gebotene Notwendigkeit, weil unseres Wissens in der fachwissenschaftlichen Literatur (abgesehen von Engel, „Tragsysteme“) keine Beispiele für ein verständnisvolles „Sichtbarmachen“ der „Kraftumlenkungen“ vorliegen und auch im fachdidaktischen Bereich in den zahlreich genannten Veröffentlichungen außer Pfeilen keine „inneren Kräftewege“ gezeigt sind. Bisweilen werden dieselben Pfeile vom einen Autor für Druck, vom anderen für Zug benutzt, oder es geschieht gar, daß derselbe Autor innerhalb derselben Veröffentlichung dieselben Richtungs-Pfeile für Druck, das andere Mal für Zug benutzt.

Zum Vergleich mit unseren Vorschlägen zeigen wir in Abb. 86 zunächst die Darstellungsformen, die in der Statik für Druck und Zug benutzt werden.

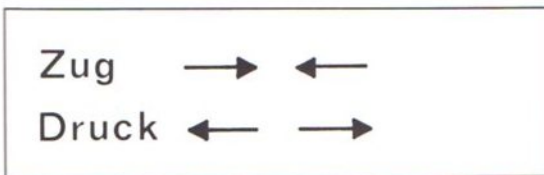


Abb. 86 Darstellungsformen für Zug und Druck, wie sie in der Statik üblicherweise (vorrangig in Fachwerken) benutzt sind.

Einem technischen Laien – und besonders unseren Schülern – erscheinen diese Symbole zunächst „gefühlsmäßig falsch“, weil aufeinander zustrebende Pfeile eigentlich als Druck- und auseinanderstrebende Pfeile als Zugbeanspruchungs-Symbole erwartet werden.

Wird unser Beispiel mit diesen Symbolen versehen, so ergibt sich folgende Darstellungsform in Abb. 87.

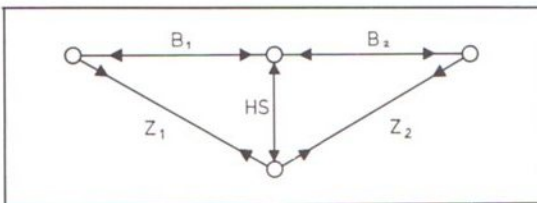


Abb. 87 Die in der Statik übliche Darstellungsform für Druck- und Zugbeanspruchung in einem unterspannten Balken

Zugbeanspruchung ist demnach nur in den Zugseilen Z1 und Z2, während in der Hängestütze HS und im Balken (B1 + B2) Druckbeanspruchung vorliegt.

Die beste Begründung für die Wahl dieser Symbole gab uns Dr. Linss: „Die Pfeile geben die Kraftrichtung an; die am **Knoten** wirkt, sie symbolisieren nicht die Kraft im **Stab**;

ZUG = VOM KNOTEN WEG,

DRUCK = ZUM KNOTEN HIN“.

(Knoten sind gelenkige oder feste Verbindungen von Stäben in einem Fachwerk, in der Zeichnung sind sie mit kleinen Kreisen dargestellt.)

Diese Begründung ist viel einsichtiger als diejenige, daß die Pfeile die „statischen Gegenmaßnahmen“ symbolisieren würden, die der Statiker durch bestimmte Ausbildungsart der Stäbe zu ergreifen habe.

Wir stellen in Abb. 88 den uns als wichtig erscheinenden „Fluß der Kräfte“ zur schadlosen Lastabtragung vor und „idealisieren“ diesen so, daß das „Abfließen“ deutlicher herausgestellt werden kann, als dies in Abb. 87 der Fall ist.

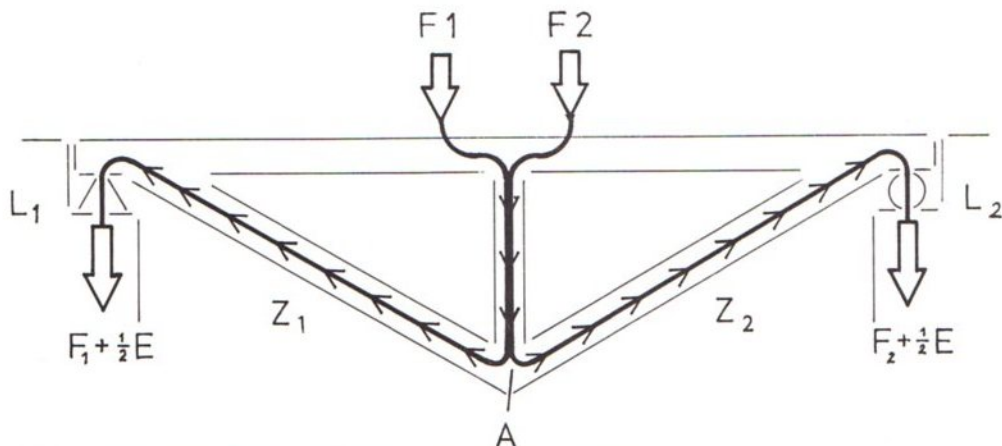


Abb. 88 Darstellung eines idealisierten Kräfteverlaufs in einem unterspannten Balken

In der Mitte des Balkens B steht ein PKW. F1 stellt die Last der Vorderachse, F2 die der Hinterachse dar. Die „idealisierten“ Kraftlinien werden im Balken nach der Innenseite zu „umgelenkt“ und in der Hängestütze „vereinigt“. Im Ansatzpunkt A „spalten sie sich auf“ in die beiden Zugseile Z1 und Z2, „kommen in die Balkenenden zurück“, werden dort in die Auflager umgelenkt und in den Erdboden abgetragen. Beim Lager L1 „kommt an Kräften an“: F1 + die Hälfte der Eigenlast; beim Lager L2: F2 + die Hälfte der Eigenlast.

„Falsch“ im Sinne der Kräftezerlegung ist hier die „Umlenkung“ durch „Rundungen“ der Pfeilrichtungen in den Zugseilen Z1 und Z2 – doch glauben wir, dies verantworten zu können, weil jetzt einmal zu sehen ist, **wie** und **wohin** das alles abfließt. Aus diesem Grunde verwenden wir auch bei L1 und L2 „normale“ Last-Pfeilsymbole und nicht die von uns sonst eingesetzten „Gegenkraft-Pfeile“.

Beim letzten Beispiel in Abb. 89 verfahren wir analog zu der soeben besprochenen Lastabtragung. Der „Fehler“ im Sinne der Kräftezerlegung liegt hier in den zur Mitte zu nach oben

„umgelenkten“ Pfeilrichtungen. Da diese aber als „Gegenkraft nach oben in die Streben abfließen“, ist diese Lösung durchaus vertretbar im Sinne des Darstellens einer „imaginären Kräftewanderung“. Ein weiterer „Fehler“ steckt jeweils noch im „Umlenkungspunkt“ über den Lagern L1 und L2. Im Sinne der Kräftezerlegung müßten hier Pfeile nach außen erscheinen. Da jedoch die Streben mittels Nieten, Schrauben, Bolzen oder dergleichen am Balken befestigt sind, werden nur vertikale Auflagerdrücke wirksam – deshalb die „Umlenkungen“ in die Vertikalen.

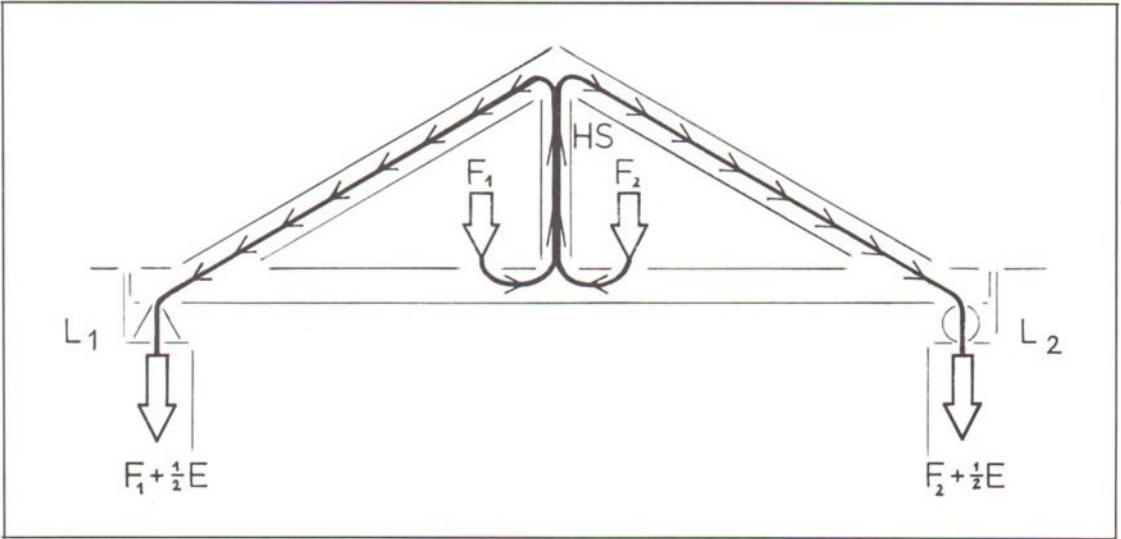


Abb. 89 Darstellung des Kräfteverlaufs in einem Hängewerk. F_1 und F_2 werden über die Hängesäule abgeleitet und durch die Streben in die Balkenenden zurück über die Auflager in die Widerlager und von da in den Erdboden abgetragen.

Wir sind der Meinung, daß diese Form der Kräftefluß-Darstellung den Schülern mehr Einsichten in die schadhafte Lastabtragung vermittelt, als dies bei den bisher bekannten Versuchen in den verschiedensten Werkbüchern und auch bei der Verwendung der in Abb. 90 besprochenen statisch richtigen Darstellungsform der Fall ist.

Wir bringen zum Abschluß des Abschnitts über die Hängewerke die übliche statische Darstellungsform und regen an, die folgende Abb. 90 mit der Abb. 87 zu vergleichen, weil auch durch die Symbolsprache der Pfeile nochmals verdeutlicht werden soll, daß die Beanspruchungsarten jeweils „umgekehrt“ sind: Wo beim einen Beispiel Zug vorliegt, herrscht beim anderen Druck – und umgekehrt.

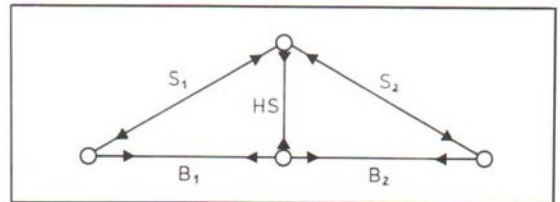


Abb. 90 Die in der Statik übliche Darstellungsform bei einem überspannten Balken (Hängewerk). Zugbeanspruchung ist nicht nur in der Hängesäule HS sondern auch im Balken ($B_1 + B_2$). Druckbeanspruchung liegt in den beiden Streben S_1 und S_2 vor.

1.11.4 Seilverspannte Balkenbrücken (Schrägseilbrücken)

Im heutigen Brückenbau nimmt die Schrägseilbrücke für mittlere bis größere Stützweiten eine dominierende Stellung ein. Wir schenken ihr deshalb besondere Aufmerksamkeit. Die vielfältige Anwendung des Prinzips der seilverspannten Balkenbrücken entnehmen wir dem Merkblatt 380 der Beratungsstelle für Stahlverwendung und bedanken uns an dieser Stelle für die Genehmigung des Abdrucks.

„Bei größeren Spannweiten greift man zunächst nach dem System des seilverspannten Balkens. Es ist wirtschaftlich in dem Raum zwischen Balkenträger und Hängebrücke und gestattet durch verschiedenartige Seilführung eine große Variation seiner Erscheinung. In den Bildern 38 bis 45 sind verschiedene Möglichkeiten der Seilführung dargestellt. Für kleinere Spannweiten wählt man im allgemeinen eine einfache Abspannung, für mittlere eine zwei- bis dreifache und für große eine vierfache. Dabei kann man die Seile nach Bild 47 als Büschel (1), Fächer (2), Harfe (4) oder Stern (5) anordnen. Bild 47 (3) zeigt eine Mehrfachabspannung, welche eine konstruktiv einfachere Einleitung der Abspannkräfte in die Stahlkonstruktion des Balkens ermöglicht. Eine weitere Variation wird in das System hineingetragen durch eine unterschiedliche Ausbildung der Pylonen nach Bildern 48 bis 52. Bild 49 zeigt die Rahmenform mit oberem Riegel, Bild 50 zwei einzelne Pylonen, eingespannt in den Balkenträgern, Bild 52 zwei einzelne Pylonen, eingespannt in den Pfeiler, Bild 48 einen Pylon in

A-Form, der die Seile der beiden Tragwände an seinem Kopf gewissermaßen in einem Punkt vereinigt und Bild 51 den Einzelpylon als Glied der Mittelträgerbrücke. Bei Ausführung einer Mittelträgerbrücke ist die Torsionssteifigkeit der Fahrbahnkonstruktion Voraussetzung. Sie ist hier durch den Mittelkasten und den biegesteifen Anschluß der beiden Randträger nach Art eines Trägerrostes sowie durch die entsprechende Auflagerausbildung des torsionssteifen Teiles der Brücke gesichert.“

Bei der Bildbeschreibung heißt es:

„Bild 38: Die erste in Deutschland entworfene und gefertigte Brücke dieser Art, die Stömsundbrücke in Schweden.

Bild 39: Die unsymmetrische Severinsbrücke in Köln. Pylon in A-Form.

Bild 40: Die Nordbrücke über den Rhein in Düsseldorf.

Bild 41: Die Rheinkniebrücke in Düsseldorf, zur Zeit ihrer Fertigstellung die weitestgespannte Schrägseilbrücke in Deutschland.

Bild 42: Die Autobahnbrücke über die Elbe in Hamburg. Mittelträgersystem.

Bild 43: Rheinbrücke in Bonn, ein Beispiel für Vielfachabspannung.

Bild 44: Die Batman-Brücke in Tasmanien mit zur Stromführung geneigtem Pylon in A-Form.

Bild 45: Die Donaubrücke in Bratislava mit zur Seitenöffnung geneigtem Pylon in A-Form und einem Kaffee-Espresso auf seiner Spitze.“

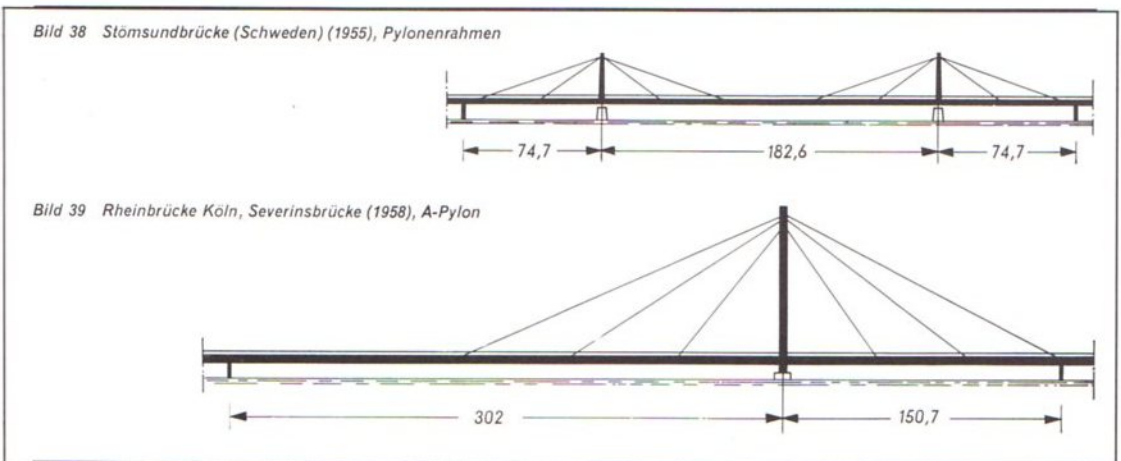


Bild 40 Rheinbrücke Düsseldorf, Nordbrücke (1957), Pylonenpaar ohne Riegel

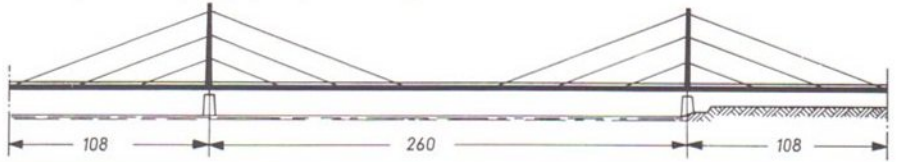


Bild 41 Rheinkniebrücke Düsseldorf (1969), Pylonenpaar ohne Riegel

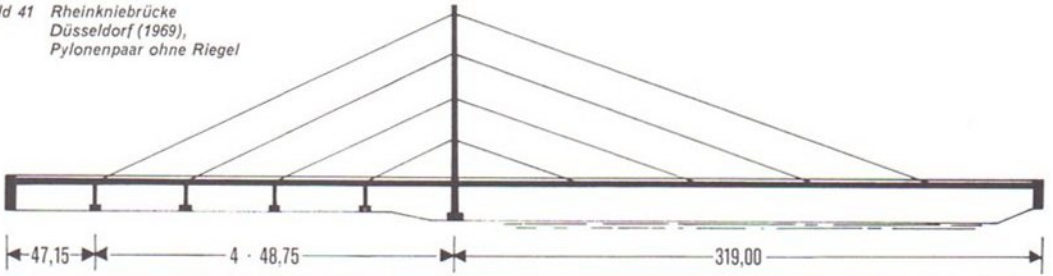


Bild 42 Elbebrücke Hamburg (1961), Mittelträger-Pylonen

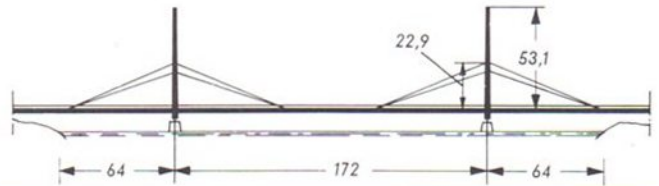


Bild 43 Rheinbrücke Bonn (1966), Mittelträgerpylonen

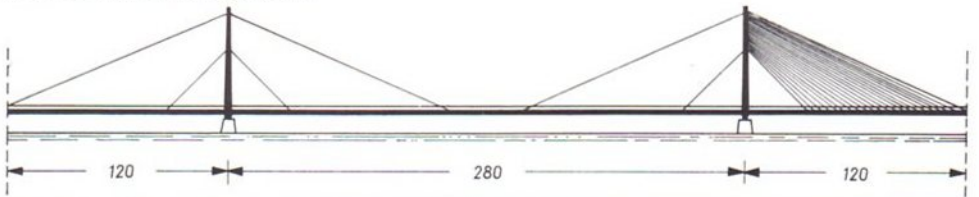


Bild 44 Batmanbrücke Tasmanien (1968), A-Pylon

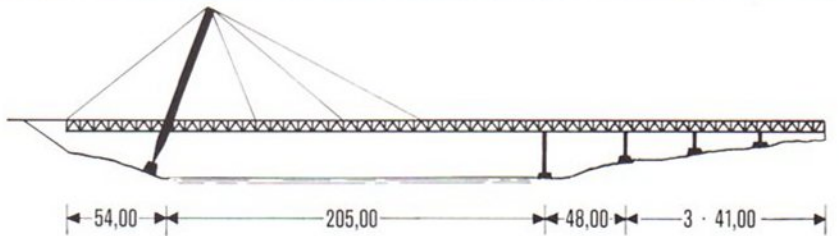
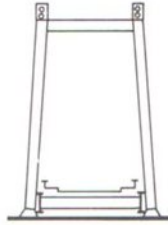


Bild 45 Donaubrücke Bratislava (1970), A-Pylon



*Bild 49 Pylonen mit Riegel,
hier: Strömsundbrücke
(zu Bild 38) Höhe rd. 32 m*



*Bild 50 Pylonen ohne Riegel;
hier: Nordbrücke Düsseldorf
(zu Bild 40), Höhe rd. 44 m*

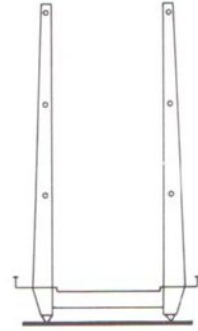
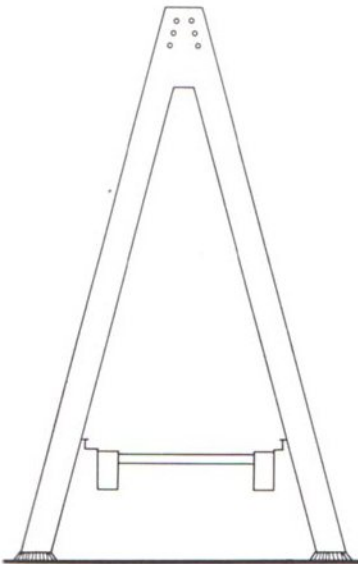
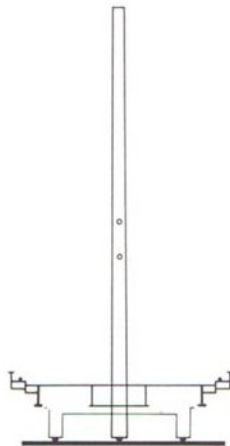


Bild 47
siehe nächste Seite

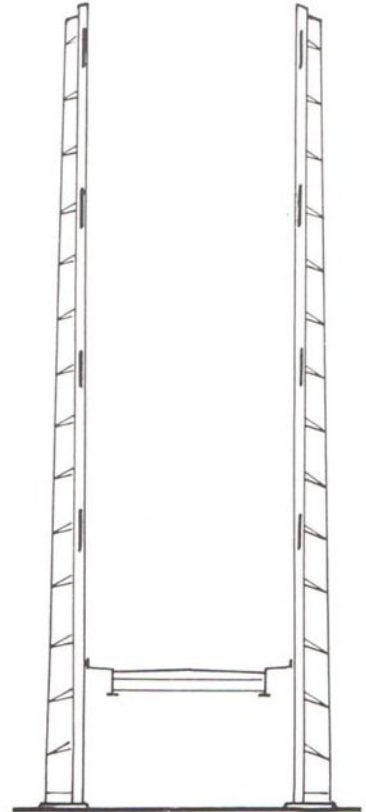
*Bild 48 Pylon in A-Form;
hier: Severinsbrücke Köln
(zu Bild 39), Höhe rd. 77 m*



*Bild 51 Mittelpylon;
hier: Autobahnbrücke Hamburg
(zu Bild 42 und 74),
Höhe rd. 114 m.*



*Bild 52 Pylonen ohne Riegel auf Fundament
eingespannt; hier: Rheinknie-
Brücke in Düsseldorf
(zu Bild 41), Höhe rd. 114 m*





(Merkblatt 380, Stählerne Straßenbrücken, S. 25–27.)

Statisch gesehen ist der Brückenbalken als Durchlaufträger zu betrachten. Er ist als torsionssteifer Kastenträger mit den verschiedensten Querschnitten ausgebildet, elastisch an Seilen aufgehängt. Ein großer Teil der auftretenden Kräfte wird über den Pylon, bzw. über die Pylone abgetragen. Die Seile sind immer auf Zug, die Pylonlager immer auf Druck belastet. Ebenso der Pylon selbst, der durch den hohen Druck bedingt, einer starken Knickbeanspruchung ausgesetzt ist.

Diese Beanspruchungsart sowie die im Brückenbalken durch den schrägen Zug der Seile auftretende Druckbeanspruchung, sind sehr anschaulich beim Modell des Planungsbeispiels Schrägseilbrücke der Ergänzungsmappe A durch Belastungsversuche mit vielen kp nachzuempfinden. Bei diesem Modell ist die Seil-Rückverspannung bewußt nicht in eine hinter den Pylon zu verlängernde Fahrbahn (wie es „beim großen Vorbild“ der Fall ist) eingeleitet, sondern als „Erdeverankerung“ ausgebildet. Dadurch ist der beim Freivorbau auftretende Horizontalschub den Schülern viel deutlicher zu zeigen – eine technisch „unstimmige“, didaktisch aber notwendige Maßnahme.

Zur Herstellung von Seilen siehe unter 1.13 Hängebrücken.

Wir beschließen den Abschnitt über die seilverspannten Balkenbrücken mit einigen Abbildungen der Kurt-Schumacher-Brücke zwischen Mannheim und Ludwigshafen.³²⁾

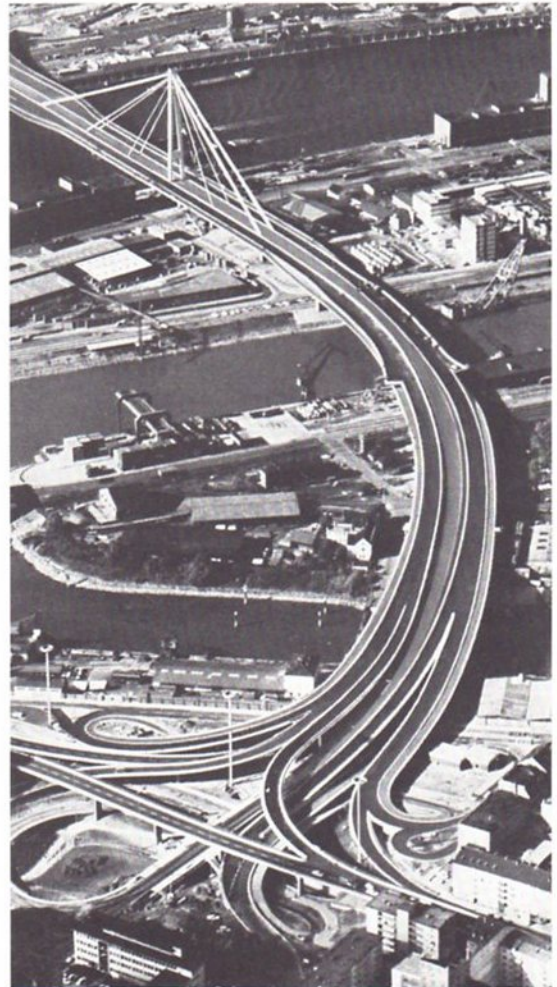


Abb. 91 dokumentiert sehr anschaulich, daß es gelungen ist, den Brückenschlag zwischen beiden Städten nicht nur in technisch qualifizierter Weise zu lösen, sondern auch in gestalterischer (ästhetischer) Hinsicht befriedigend zu vollenden.

Bei der Strombrücke, der eigentlichen Schrägseilbrücke, ist dies besonders augenfällig, weil die ungleiche Grundrißform – durch eine Verbreiterung zum linksrheinischen Brückenkopf hin bedingt – dazu anregte, das Prinzip der Asymmetrie in der gesamten Gestaltung dominieren zu lassen.



Abb. 92 Von der Ludwigshafener Seite aus aufgenommen, ist die Grundrißverbreiterung gut erkennbar. Der auf der Mannheimer Seite stehende 84 m hohe Pylon übernimmt das Gewicht des 290 m weit gespannten Feldes über dem Rhein. Die Schrägseile führen die Last zum sehr schlanken A-förmigen Pylonen (Mittelträgeranordnung), der in den rechtsrheinischen Spannbeton-Brückenteilen rückverankert ist. Die sehr schlanke Ausführung des Pylons paßt sich sehr gut der Hafen- und Industrielandschaft an, auch wirkt die Brücke trotz ihrer breiten Anlage sehr grazil (Schlankheitsgrad von Höhe zu Länge = 1 : 65).



Abb. 93 verdeutlicht aus der Bauphase des Freivorbaus, daß die gesamte Eigenlast des Balkens über die Schrägseile zum Pylon umgelenkt und von dort sowohl durch den Pylon selbst als auch über die Seilrückverankerung ins Erdreich abgeleitet wird. Das Auflegen des Balkens auf den Ludwigshafener Uferpfeiler ergibt innerhalb des Balkens andere statische Verhältnisse, als sie in der wiedergegebenen Baustufe bestehen.

Der relativ „leichte“ Stahlbalken ist torsionssteif, so daß auch bei dem weiten Freivorbau und bei der gut zu erkennenden Verbreiterung (Kasten am Fuß des Krans) der Brücke keine Deformationserscheinungen auftraten.

Bei dem Kran handelt es sich um eine schwere Form eines Derricks, der für Freivorbauten bei Brücken besonders geeignet ist.



Abb. 94 Die vor dem Ludwigshafener Uferpfeiler entstandene Aufnahme läßt ahnen, welche Lasten von den hier nicht sichtbaren Schrägseilen zu dem Pylon weitergeleitet werden. Deutlich sind wieder die äußeren Kästen für die Verbreiterung zu sehen, die den Freivorbau in dieser Phase erschweren. Der Freivorbau war so organisiert, daß jeweils bei den 10 „Schüssen“ des Gesamtvorbaus zuerst die vertikalen Stege, dann die Bodenplatten und schließlich die Fahrbahnplatten montiert wurden.

Die Aufnahme ist zu derselben Zeit entstanden wie die der Abb. 93.

1.11.5 Versteifte Balkenbrücken (Langerbalken)

Als letzte Untergruppe der Balkenbrücken stellen wir die Stabbogenbrücke, den nach seinem Erfinder genannten Langerschen Balken vor, der äußerlich zwar wie eine Bogenbrücke erscheint, aber **nicht** zu den Bogenbrücken einzuordnen ist.

Der Stabbogen, ein zu schwach ausgebildeter Bogen, ist nicht biegesteif genug. Er ist allein nicht in der Lage, die gesamte Last zu tragen und erhält durch einen versteiften Balken (Versteifungsträger als Vollwand- oder Fachwerkträger) die nötige Starrheit. Der Langerbalken ist so ausgebildet, daß der Horizontalschub des Bogens (wie beim überspannten Hängewerk) in den Versteifungsträger eingeleitet und von diesem

aufgefangen wird (zusätzliche Zugbeanspruchung). Auf die Auflager wirken demnach nur vertikale Auflagerdrücke. Das System ist äußerlich damit ein Balken auf zwei Stützen, es ist „äußerlich statisch bestimmt“.

Als Beispiel für eine technisch und ästhetisch gute Lösung eines „Langerbalkens“ zeigen wir die Autobahnbrücke über die Salzach bei Salzburg. Hier haben die Brückenbauer eine Mittelträger-Stabbogenbrücke gestaltet, die sich harmonisch in die Landschaft einordnet. Die gesamte Konstruktion zur Stabilisierung gegen die horizontalen Kräfte (wie Winddruck, Bremslasten usw.) ist unter die Fahrbahn angeordnet; über die Fahrbahn ragt nur der kastenförmige Mittelträger-Stabbogen zur zusätzlichen Lastabtragung.



Abb. 95 Die Entscheidung für eine Ausführung als Mittelträgerbrücke war richtig: Die Autobahnbrücke über die Salzach fügt sich gut in das Landschaftsbild ein.



Abb. 97 Ein Blick unter die Brücke zeigt, daß die Konstrukteure hier alle Konstruktionsnotwendigkeiten besonders auch im Hinblick auf die horizontalen Kräfte unter die Fahrbahn legten.

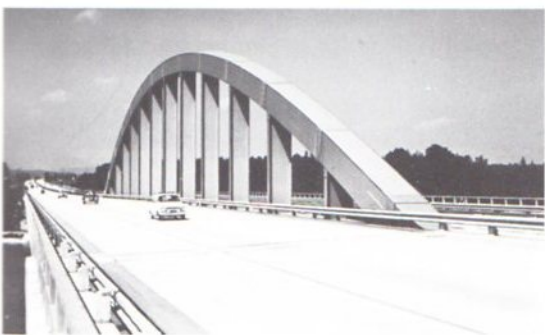


Abb. 96 Die Bogentragwerkkonstruktion im Mittelstreifen der Autobahn läßt dem Autoreisenden jeweils freies Gesichtsfeld nach außen.



Abb. 98 Gesamtansicht der Autobahnbrücke über die gestaute Salzach südlich von Salzburg.

Abb. 98 verdeutlicht das Typische eines Stabbogens, bzw. eines Langerbalkens: Der Bogen selbst ist zur Aufnahme und Umlenkung der auftretenden Kräfte zu schwach, er könnte in dieser Ausbildung diese Stützweite nicht bewältigen. Viel eher könnte man dies von dem stark ausgebildeten Balken erwarten – jedoch auch dieser könnte für sich ebenfalls nicht schadlos alle auftretenden Kräfte abtragen. Diesen „Rest“ übernimmt der „dünne“ Stabbogen und versteift somit den Balken durch einen zusätzlichen Gurt, den man auch als „dritten Gurt“ bezeichnet hat.

1.12 Bogenbrücken

Bogenbrücken können weit größere Hindernisse überspannen als die Balkenbrücken – wenn man von besonderen Ausführungsbeispielen absieht – erreichen aber nicht die großen Stützweiten der Hängebrücken. Die größte bisher ausgeführte Bogenbrücke steht in New York mit 510 m Spannweite (1912 erbaut).

Bogenbrücken, ob mit untenliegender, obenliegender oder durchgeführter Fahrbahn, lassen sich meist gut in die jeweilige Landschaft einpassen, weil die Bogenlinie eine besonders ansprechende Bauform darstellt. Außerdem ist die Bogenbrücke in ihrem Anwendungsbereich als wirtschaftliche Konstruktion bekannt.

Der Bogen ist ein Balken mit gekrümmter Stabachse; er bekommt bei Belastung im wesentlichen nur Längskräfte. Im Unterschied zum Balkenträger, der bei lotrechter Belastung nur lotrechte Auflagerdrücke erzeugt, bewirken bei einem Bogen die lotrechten Kräfte schräg ge-

richtete, sogenannte Kämpferdrücke. (Siehe Abb. 102, 104.) Im gleichmäßig gekrümmten Bogen verläuft die Stützlinie nahe der Stabachse; dies bringt nur geringe Biegespannungen. Ob die Bogenachse jedoch stetig gekrümmt oder geknickt wird, ist gleichgültig; deshalb gelten auch für die Rahmenbrücken die Kennzeichen des Bogens. Wir haben sie aus diesem Grunde in Tafel III in die zweite Hauptgruppe als Untergruppe (gestrichelte Linien) zu den Bogenbrücken mit Horizontalschub aufgenommen. Da beim Rahmen – im Gegensatz zum gleichmäßig gekrümmten Bogen – die Stützlinie von der Stabachse entfernt verläuft, treten große Biegespannungen auf.

1.12.1 Bogenbrücken mit Horizontalschub

Günstige Untergrundverhältnisse (am besten Fels), sind die Voraussetzungen für eingespannte Bogen – auch wenn sie mittels Lagern „eingespannt“ sind. In neuerer Zeit werden bei Stahlbrücken die Bögen meist in Kasten oder Rohrform hergestellt, also in Vollwandbauweise, doch können sie auch in Fachwerk ausgebildet sein, besonders bei größeren Stützweiten. Selbstverständlich sind auch viele Bogenbrücken aus Stahlbeton oder gar aus Natursteinen gemauert hergestellt worden. In diesem Zusammenhang sei an die Aquädukte der Römer und viele Massivbrücken in Bogenform erinnert, die durch viele Jahrhunderte in vielen Kulturkreisen erstellt wurden. Als ein typisches Beispiel solcher mehrfach sich gegenseitig abstützender Bogen bringen wir ein Bild der bekannten alten Heidelberger Brücke.



Abb. 99 Die alte Brücke in Heidelberg. Massivbauweise mit mehreren gegeneinander abgestützten Bögen. Nur jeweils am äußeren Ende der äußeren Bögen herrscht Horizontalschub.

Beidseitig fest eingespannter Bogen: Einspannbogen

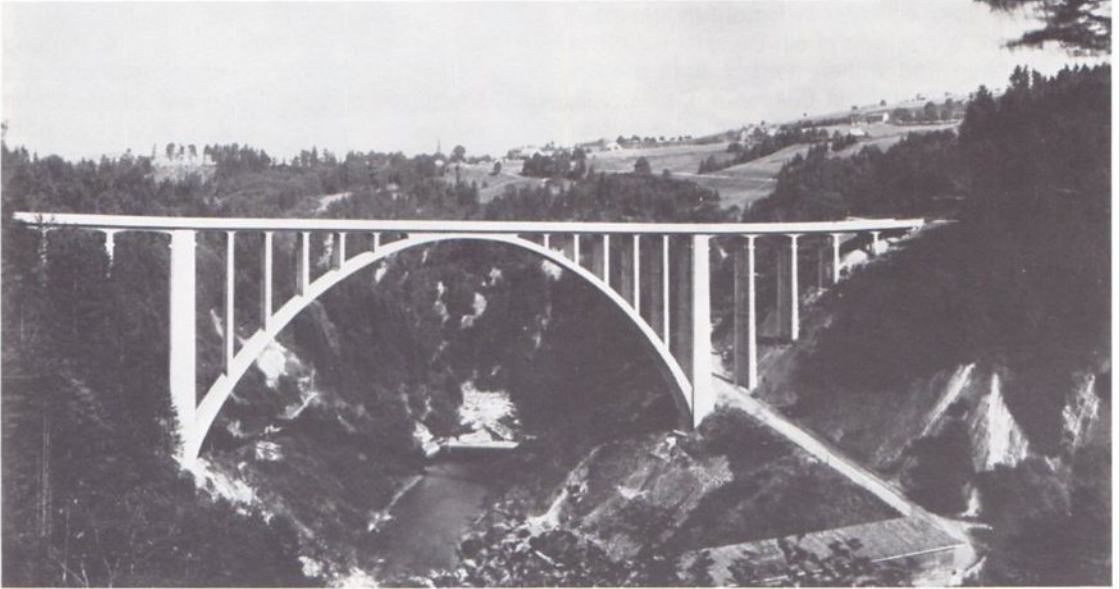


Abb. 100 Hundevilertobelbrücke im Kanton Solothurn in der Schweiz. Beispiel für einen fest eingespannten Bogen direkt im Fels.

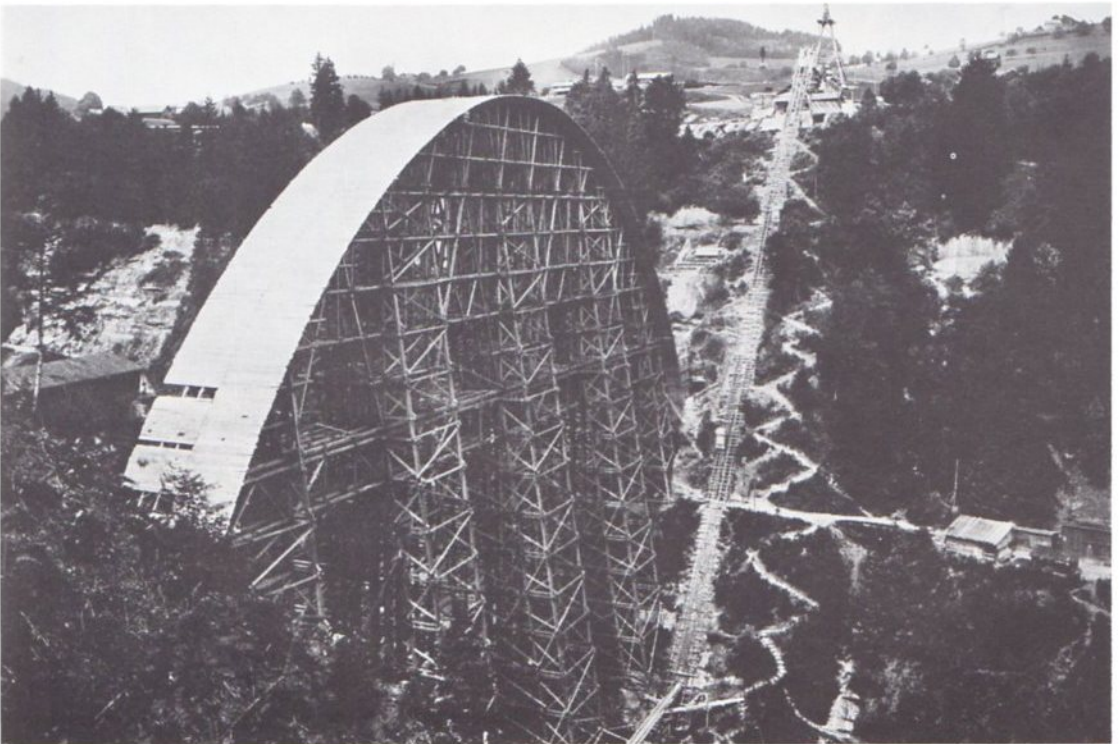


Abb. 101 Lehrgerüst der Hundevilertobelbrücke in der Schweiz. Für die aufzubringenden Betonmassen und Stahleinlagen ist eine sehr aufwendige statische Konstruktion in Fachwerkausbildung notwendig.

Voraussetzung für fest eingespannte Bogen ist ein absolut sicherer Baugrund. Man kann die Bogen entweder direkt in den vorhandenen Fels oder in darüber errichteten Betonfundamenten einspannen. Wir zeigen je ein Beispiel für diese Möglichkeiten und wollen hierbei auch die Erstellung der Brücken mit beachten. Da es z. B. typisch für die Schweiz ist, Bogenbrücken fast ausschließlich aus Stein oder neuerdings meist aus Stahlbeton herzustellen, wählen wir ein Beispiel einer sehr guten ästhetischen Lösung, näm-

lich die Hundeviltobelbrücke im Kanton Solothurn, die sich sehr organisch in die Landschaft einfügt (Abb. 100).

Welcher technische Aufwand zur Erstellung eines Bogens nötig ist, veranschaulicht das große Lehrgerüst (Abb. 101), das allein schon sehr viele statische Probleme in sich birgt. Abb. 102 gibt den fertigen Bogenträger wieder, über den später die ganzen Lasten des Bogenfeldes abgeleitet werden.

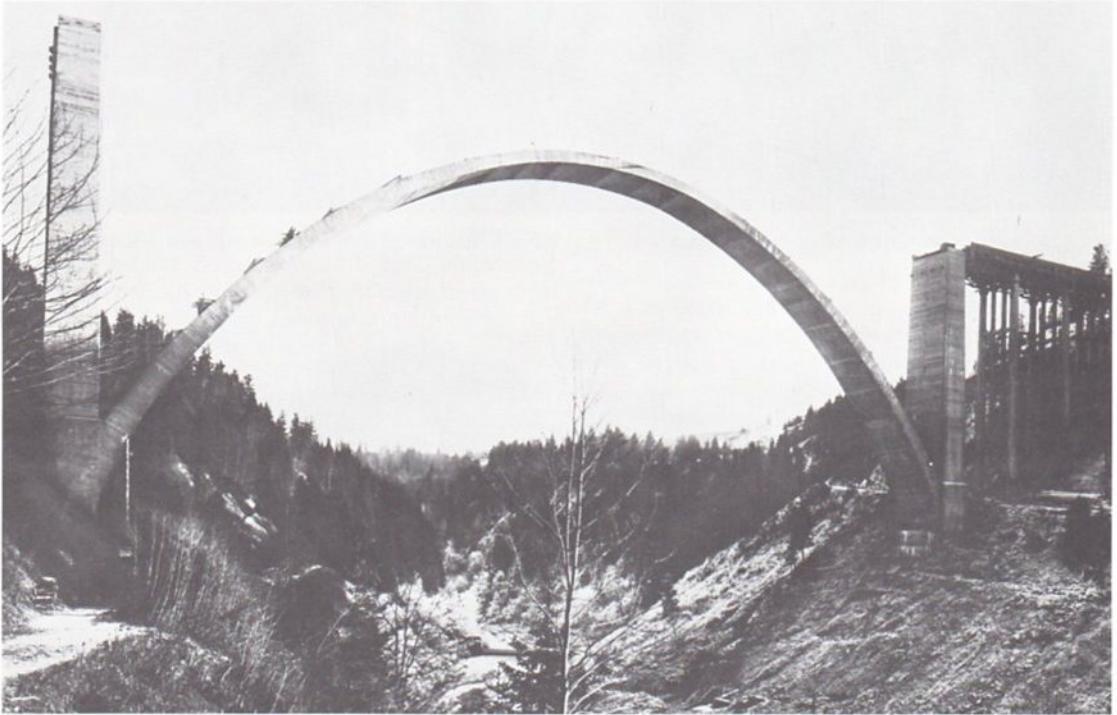


Abb. 102 Der fertige Bogenträger nach Abbau des Lehrgerüsts. Der Stützbogen ist jetzt in der Lage, alle auftretenden Kräfte im Feld zwischen den Hauptstützen direkt in den Fels abzuleiten.

Als Beispiel für das Einspannen in besondere Betonfundamente bringen wir die Brücke über den Askeröfjord in Schweden, die 1960 von deutschen Ingenieuren entwickelt wurde. Aus der Grundform der Fundamente (Kämpfer) ist sehr

klar die aktivierte Gegenkraft gegen die diagonal verlaufenden Schubkräfte zu erkennen (Abb. 103). Die Brücke hat eine Spannweite von 273 m, eine Breite von 9,4 m und eine lichte Durchfahrt von 41 m.



Abb. 103 Brücke über den Askeröfjord in Schweden. Ausführung der Stützbogen in Stahlrundprofilen mit einem Durchmesser von 3,8 m.

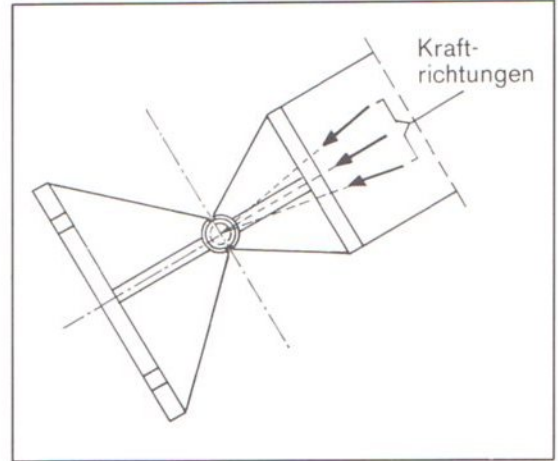


Abb. 104 Bolzenkipplager für Bogenbrücke.

Wir wollen an dieser Stelle ein Systemmodell vorstellen, und zwar nur einen Bogenträger allein, dessen Gelenke wir je in der letzten Nut einer Großbauplatte eingeschoben haben.

Belastungsversuche zeigen deutlich den Horizontalschub an den Gelenken: sie „wollen weg“ nach außen.

Beiden Beispielen gemeinsam ist die sogenannte Aufständigung der Fahrbahn. Diese geschieht grundsätzlich nur in der Vertikalen. Sobald es sich um diagonale Verstrebung handelt, liegt ein Fachwerk (Ausfachung) vor, auf das im Abschnitt 1.22 ausführlich eingegangen wird.

Bei beiden Beispielen ist außerdem eine vollkommene Einspannung vorhanden, wobei jede Bewegung des Einspannungsquerschnitts ausgeschlossen ist; die Stabachse im Einspannungsquerschnitt bleibt unveränderlich.

Beidseitig gelenkig gelagerter Bogen: Zweigelenkbogen

Zweigelenkbogen sind die am meisten für Eisenbahn-, Straßen- und Autobahnbrücken verwendeten Bogenbrückenarten.

Sie erhalten an den beiden Kämpferpunkten, wie Abb. 104 zeigt, ein Gelenk.

Derartige Gelenke gleichen auftretende Spannungen innerhalb des Bogens aus.

Im allgemeinen werden bis etwa 200 m Spannweite Vollwandbogen, darüber jedoch Fachwerkbogen verwendet.



Abb. 105 Prinzipmodell eines Bogenträgers. Die „Hängestangen“ sind hier mit Schnüren dargestellt, weil diese die Zugbeanspruchung besser symbolisieren. An der vorderen Seite des Fahrbahnträgers sind drei Streben 90 mittels Riegeln 6 und dazwischen gesteckten Riegelscheiben angebracht, damit die Schnüre an jeder Stelle befestigt werden und möglichst senkrecht die Last übernehmen und abtragen können.

Abschließend zeigen wir noch ein weiteres Beispiel für einen idealisierten Kräfte-Abfluß in einem Zweigelenkbogen-Tragwerk. Die schräge Richtung der „Gesamlastpfeile“ über den Lagern zeigt deutlich den (auch) vorhandenen Horizontalschub. Es wäre eine dankbare Aufgabe, hier auch die Kräftezerlegung durchzuführen.

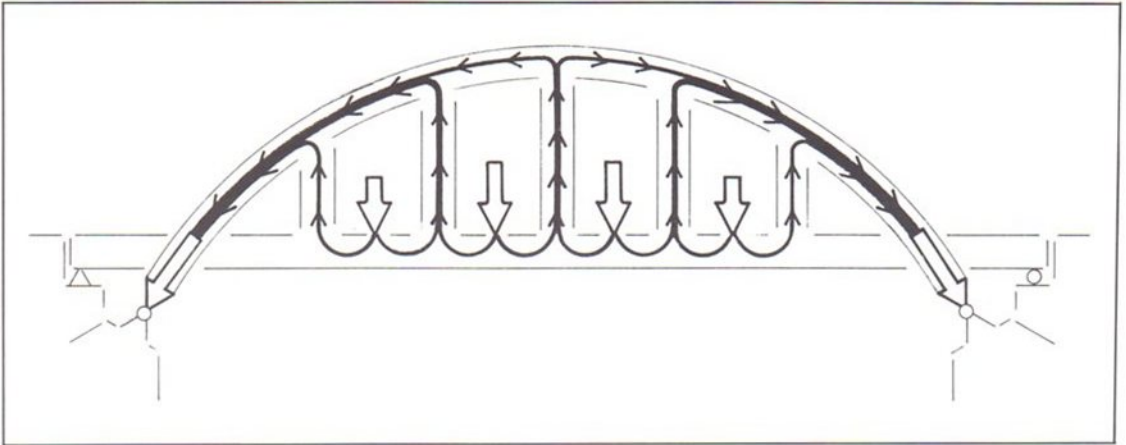


Abb. 106 Darstellung des Kräfteverlaufs in einem Bogentragwerk. Die Lasten werden (analog zum Beispiel des Hängewerks in Abb. 89) nicht direkt über den Balken- sondern über die Hängepfosten in den Bogenträger umgeleitet und in diesem über die Lager ins Erdreich abgeführt.

Beidseitig gelenkig gelagerter Bogen mit weiterem Gelenk im Bogenscheitel: Dreigelenkbogen

Dreigelenkbogen finden ihre häufigste Anwendung bei unsicherem Baugrund. Das dritte Gelenk hat den Vorteil, daß der Bogen hierdurch „statisch bestimmt“ wird, also auftretende Spannungen ausgleicht. Die elastische Linie der Fahrbahn über dem Scheitelgelenk bringt jedoch insofern Nachteile, als Stöße spürbar werden. Außerdem bedeutet das Mittelgelenk eine kompliziertere Bauform und kostspielige Unterhaltung.

Rahmenbrücken

Wie wir bereits auf Seite 54 feststellten, treten bei den Rahmen im Gegensatz zu den Bogen große Biegespannungen auf, weil hier die Stützlinie weit von der Stabachse entfernt ist. Die Rah-

menbrücken bestehen aus den waagrechten Riegeln und den senkrechten oder schräg gestellten Stielen, die meist gerade oder fast geradlinig ausgebildet sind. Dadurch gewähren die Rahmenbrücken eine größere Freihaltung bei Unterführungen aller Art. Auch ist die gerade Ausführung konstruktiv einfacher zu lösen.

Beidseitig eingespannter Rahmen: Einspannrahmen

In unserer Zeichnung in Tafel III sind die senkrechten Stiele fest in die Widerlager eingespannt. Diese und der waagrechte Riegel stehen zwar (durch die Momente) unter starker Biegespannung, halten aber einen sehr breiten Raum für den Durchgangsverkehr frei.

An Autobahnen findet sich des öfteren dieser Brückentragwerktyp; wir zeigen ein solches Beispiel in Abb. 107.



Abb. 107 Rahmenbrücke mit schräggestellten Stielen über die Autobahn bei Hallein in Österreich.

Beidseitig gelenkig befestigter Rahmen: Zweigelenrahmen

Das zweite Beispiel in Tafel III zeigt eine nur auf den waagrechten Riegel aufgelegte Fahrbahntafel. Die schräg gestellten Stiele sind hier in Gelenken gelagert. Auf den Widerlagern lasten Kämpferdrücke, also Vertikal- und Horizontal-schübe.

In der Technik wird der Rahmen jedoch nicht als besonderes Funktionselement betont, wie wir dies in der Abb. bei Tafel III bewußt herausstellten (durch den schwarz gezeichneten Riegel unter der Fahrbahntafel). Abb. 108 verdeutlicht dies sehr eindrucksvoll.

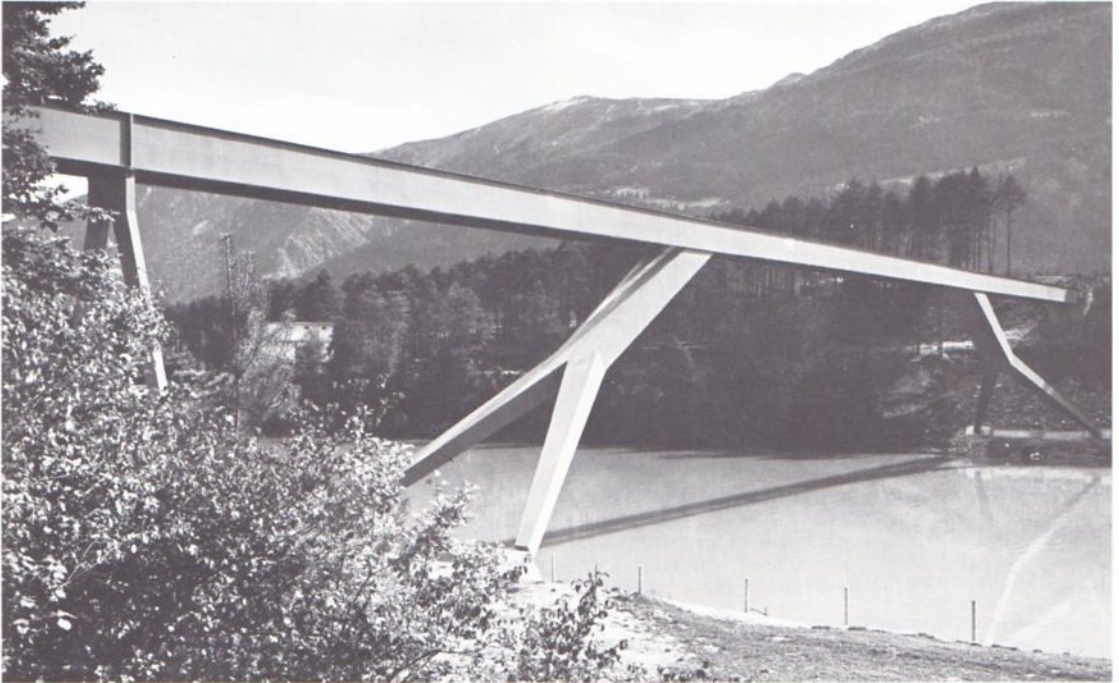


Abb. 108 Brücke über den Rhein bei Tamins, Schweiz. (Rohrleitungsbrücke).

1.12.2 Bogenbrücken mit aufgehobenem Horizontalschub

Im Gegensatz zum bereits unter den Balkenbrücken behandelten Langerschen Balken (versteifte Stabbogenbrücke) handelt es sich bei dem unter 1.32.2 gezeigten Beispiel um eine „echte“ Bogenbrücke, weil die Hauptträger so ausgebildet sind, daß die Lasten vom Bogen allein abgeführt werden. Jedoch hat diese Ausführungsart mit dem Langerbalken gemeinsam, daß der Horizontalschub in den Versteifungsträger (bzw. die Fahrbahntafel), bzw. in ein Zugband eingeführt und hier aufgenommen wird. Das Tragwerk setzt also an die Auflager nur lotrechte Auflagerdrücke ab. Damit verhält sich das Tragsystem äußerlich wie ein frei aufliegender Balken und wird deshalb auch Bogenbalkenträger genannt.

Solche Bogenträger können bei kleineren Stützweiten als zwei unabhängig voneinander tragende Bogen ausgebildet sein. In diesem Falle sind sie aber besonders gegen seitliches Ausknicken beansprucht. Ein Modellversuch soll diesen Effekt nachweisen.

In Abb. 109 ist ein mit 5 kp belasteter Fachwerkbogenträger mit Zugband stark deformiert: er ist zu instabil, um dieser starken Beanspruchung standzuhalten.

In diesem Falle ist es allein eine lotrechte Last, die bereits zu Stabilisierungsmaßnahmen führen muß. In der Technik werden deshalb zur Aufnahme der noch hinzukommenden waagrechten Lasten (Winddruck) und zur Stabilisierung des Haupttragwerks (also des Bogens) Verbände in der Horizontalen angebracht.

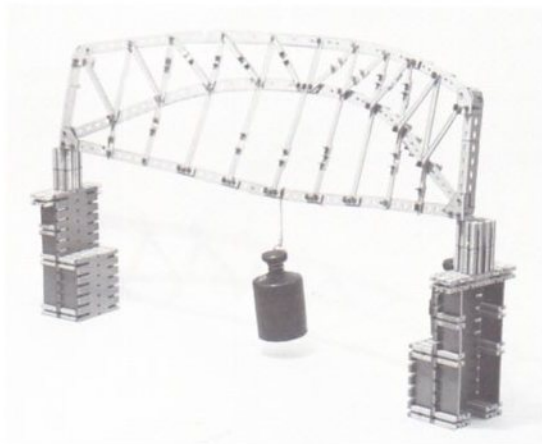


Abb. 109 Ein Fachwerkbogenträger mit aufgehobenem Horizontalschub weicht durch die starke vertikale Belastung seitlich aus („Kippen“). (Siehe hierzu auch die Versuche unter 1.21.)

Dies wird durch Verbände **über** oder **unter** der Fahrbahn erreicht, oftmals sowohl oben als **Windverband** als auch besonders bei Eisenbahnbrücken unter der Fahrbahn als **Schlingerverband**. Diese Verbände werden also weniger wegen der lotrecht auftretenden Kräfte, sondern vielmehr wegen der waagrechten Lasten (Wind, Bremsen, Anfahren) benötigt.

1.12.21 Windverbände

Wir bringen zu diesem statischen Problem 3 Beispiele, bei denen es gelungen ist, die technische Notwendigkeit in eine ästhetisch befriedigende oder gar ausgesprochen harmonische Form zu bringen.

Beim ersten Beispiel ist es gelungen, den Verband dem Anblick des Beschauers (wenigstens beim Überqueren der Brücke) zu entziehen (Abb. 110).



Abb. 110 Bogenbrücke mit obenliegender Fahrbahn (die selbst einen Verband darstellt). Es handelt sich um die Bogenbrücke in der Küstenstraße bei Zadar (Jugoslawien), bei der ein reiner Rautenverband vorliegt.

Als zweites Beispiel wählen wir eine Stabbogenbrücke (Langerbalken), die Rheinstraßenbrücke Duisburg–Ruhrort (Abb. 111). Das meist bevorzugte Rautensystem erhielt hier durch (rechtwinklig verlaufende) Pfosten eine nicht nur konstruktiv stabilere Festigkeit; diese erbringen auch eine aufgelockerte Struktur. Die beiden Verbänden sind als Portale ausgebildet.



Abb. 111 Stabbogenbrücke (Langerbalken, deutlich an der zu schwachen Ausbildung der Bogen und an der starken Ausbildung des Balkenträgers zu erkennen) mit Rautenverband und Pfosten. (Rheinbrücke zwischen Duisburg und Rheinhausen.)

Das dritte Beispiel stellt eine Spezialkonstruktion dar, bei der es u. E. in ganz vorzüglicher Weise gelungen ist, die übliche Form des Windverbandes zu umgehen. Es ist die sehr bekannte Fehmarnsundbrücke der sog. Vogelfluglinie. Die beiden Tragbogen haben eine Spannweite von 248 m, sie sind kastenförmig ausgebildet und so gegeneinander geneigt, daß sie im Scheitelbereich so geringen Abstand erhielten und miteinander durch eine Vollwandkonstruktion verbunden werden konnten, die nach den beiden Seiten ihre Fortsetzung als Verband in je nur zwei Rahmenpfosten (Vierendeelform) findet. Diese Bogenbrücke über die Schiffsfahrtsöffnung der Fehmarnsundbrücke ist eine hervorragende Leistung moderner Brückenbaukunst. Wir verweisen an dieser Stelle auf den ausgezeichneten Unterrichtsfilm „Neuer Weg nach Norden“, der in allen Bildstellen auszuleihen ist. In diesem Film können auch Schüler des Sekundarstufenbereichs I erlauben, welche großartige technische Leistung hinter einem solchen Brückenbauwerk steckt.

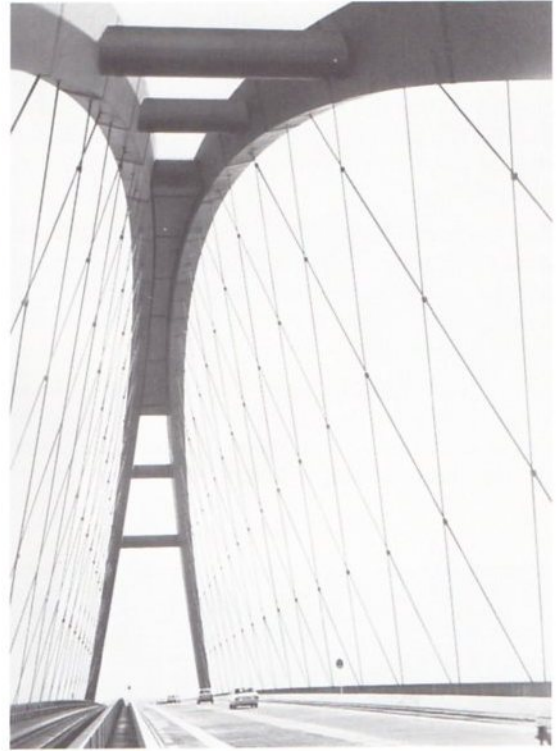


Abb. 112 Die gegeneinander geneigten biegesteifen Bogen sind im Scheitelbereich (beim Bau auf einem Lehrgerüst liegend) durch eine Vollwandkonstruktion miteinander verbunden. Zwei weitere Rahmenpfosten beschließen diese ästhetisch so sehr ansprechende Verbundart.



Abb. 113 Gesamtansicht der Fehmarnsundbrücke von der Inselseite aus aufgenommen. Hier sind deutlich die an die bogenüberspannte Schiffsfahrtsöffnung anschließenden Felder der Durchlaufräger (torsionssteife Kästen), die Balkenbrückenteile zu erkennen.

Diese geniale Brückenkonstruktion spricht auch den „statischen Laien“ sehr an, was u. a. die Häufigkeit des Fotografierens durch sehr viele Nordlandreisende nachweist. Wir vermuten, daß gerade von dieser Brücke im europäischen Raum derzeit die meisten Aufnahmen gemacht wurden bzw. werden.

Daß ein solch technisch und ästhetisch besonders zu beachtendes Brückentragwerk auch mit Elementen der fischertechnik-Lernbaukästen gebaut werden kann, mögen nachfolgende Abbildungen zeigen.

Das Großmodell in Abb. 115 stellt allerdings einen Sonderfall dar, der im normalen Unterricht aus zeitökonomischen Gründen nicht zu realisieren ist. Jedoch könnten Schüler der Sekundar-

stufe I eventuell nach Vorführung des erwähnten Filmes in einer speziellen AG, während eines Schullandheimaufenthaltes (bei schlechtem Wetter) oder als freiwillige Ferienarbeit ein solches Großmodell erstellen. Sehr wertvoll wären hierzu Erfahrungen im arbeitsteiligen Verfahren, wie es u. a. beim „Planungsbeispiel Schrägseilbrücke“ angewendet wurde. (Ergänzungsmappe A zu diesem Lehrerhandbuch.) Für den interessierten Lehrer der sich eventuell der Mühe unterziehen will, für seine Schüler selbst ein „Planungsbeispiel Fehmarnsundbrücke“ zusammenzustellen, geben wir in der Ergänzungsmappe B weitere Hinweise und Anregungen in Form von Detailaufnahmen und kurzen Bildbeschreibungen.



Abb. 114 Luftaufnahme des Bogentragwerks der Fehmarnsundbrücke. Diese Aufnahme zeigt auch sehr anschaulich die kreuzweise verlaufenden, untereinander mit Spannschlössern verbundenen, vorgespannten Hänger. Da die Brücke einseitig auch für den Eisenbahnverkehr konzipiert wurde, sind die auf dieser Seite verwendeten Hänger etwas stärker dimensioniert.

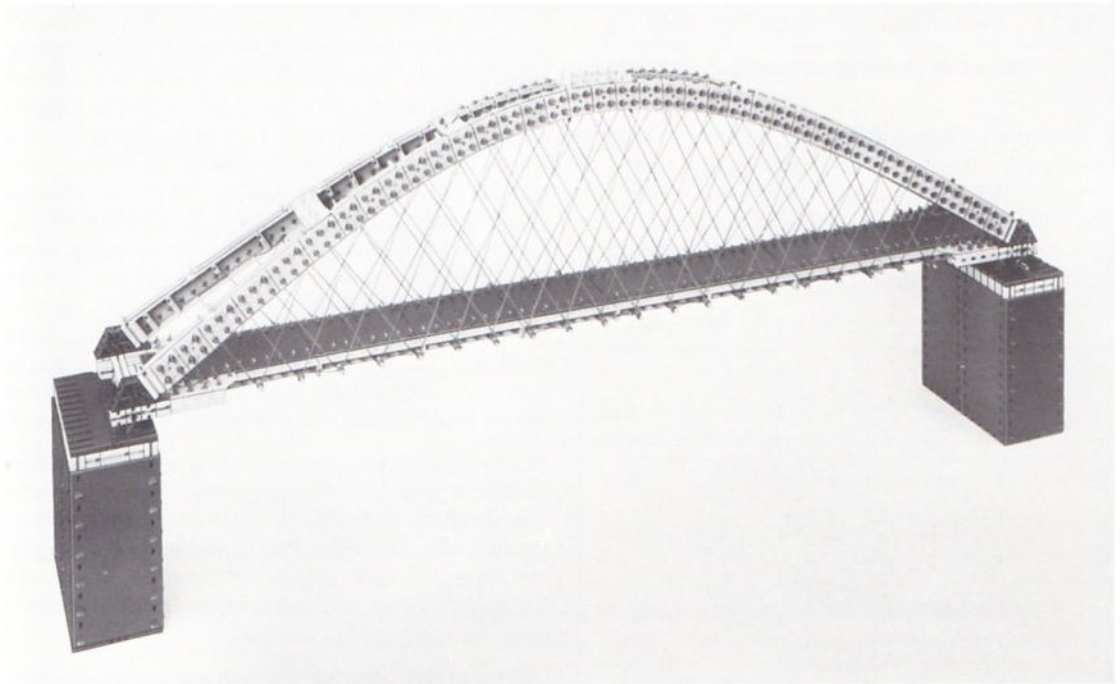


Abb. 115 Modell der Fehmarnsundbrücke aus Bauteilen von je zehn Lernbaukästen u-t 1 und u-t S.

1.13 Hängebrücken

Das statische System der Hängebrücke gibt dem Konstrukteur die Möglichkeit, „die weitestgespannten Ziele des Brückenbaus zu erreichen“³³). Stützweiten der Mittelöffnung (von Pylon zu Pylon) von 1300 m sind bereits realisiert und bei der Straße von Messina sogar bis 3000 m projektiert. (Siehe die Übersicht aus Merkblatt 380 auf S. 65 u. 66.)

Hängebrücken wurden zwar auch aus ästhetischen Gründen schon für kleinere Spannweiten gebaut; ihre Wirtschaftlichkeit beginnt aber erst etwa ab 300 m.

Typisch für das Tragsystem der Hängebrücke ist eine relativ starke Durchbiegung der Fahrbahn und ebenso eine starke vom Wind hervorgerufene Schwingung. Dies zwingt in jedem Falle zur Stabilisierung durch Versteifungsträger. Hängebrücken dienen hauptsächlich als Straßenbrücken, seltener als Eisenbahnbrücken, bei kleineren Spannweiten auch als Fußgänger- oder Rohrleitungs- und Energiebrücken.

Wir folgen den meisten Einteilungsvorschlägen und unterscheiden zwei Gruppen: die erdverankerten, sogenannten „echten Hängebrücken“ (die in der Herstellung meist trotz der Fundamente billiger sind) und die „Hängebrücken mit aufgehobenem Horizontalschub“, die auch als

„in sich verankerte Hängebrücken“ bezeichnet werden.

Die Hängebrücken sind auch in den Augen von „technischen Laien“ das am ehesten verständliche und auch ästhetisch am meisten befriedigende Brückentragwerk, weil der relativ schlank wirkende Versteifungsträger optisch zurück- und die Hängelinie des Hängeseils als Haupttragelement klar hervortritt.

1.13.1 Erdverankerte Hängebrücken („Echte“ Hängebrücken)

Bei dieser Bauart werden die Tragbänder – auch Hängegurte genannt – entweder direkt in felsigem Grund oder auch in besonders zu erstellenden, massiven Ankerblöcken befestigt. Sie werden über zwei Pylone geführt, die (wie bei Schrägseilbrücken) in der Hauptsache druckbelastet sind; dies führt zur Knickbeanspruchung. Da die Pylone oft in den Fundamenten fest eingespannt sind, werden sie außerdem noch auf Biegung beansprucht.

Die Hängegurte bestanden früher aus geschmiedeten Kettengliedern oder Drahtschlaufen. Bei den neueren Hängebrücken werden ausschließlich Kabel verwendet, nachdem die Kabelherstellung einen hohen Stand der Technik und Wirtschaftlichkeit erreicht hat.

1.13.11 Verfahren der Kabelherstellung

Bei der **Kabelherstellung** werden zwei Verfahren angewandt:

1. „**Geschlagene Seile**“, in Spezialwerkstätten hergestellt, werden auf hölzernen Trommeln aufgewickelt, zur Baustelle geliefert, dort einzeln über die Pylonen gespannt und durch Schellen zum Kabel zusammengefaßt. Dieses Verfahren wurde in Europa bis vor kurzem fast ausschließlich angewandt.

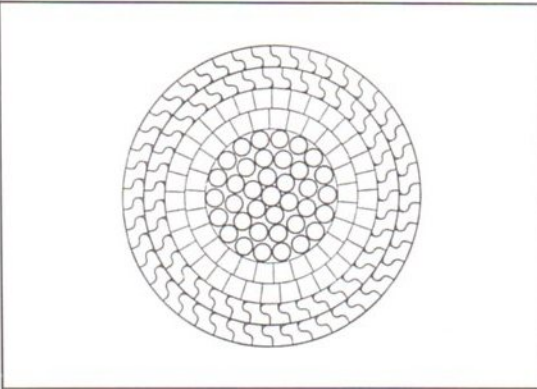


Abb. 116 Querschnitt eines geschlagenen Seils.



Abb. 117 Kabelmontage der 1965 erbauten Rheinbrücke Emmerich-Kleve. Im Hintergrund erkennt man oben die Kabelsattelager auf dem Pylon, links das aus vielen geschlagenen Seilen bestehende sechseckige, durch provisorische Bindungen zusammengefaßte Kabel, das auf dem Arbeitssteg aufliegt.

2. Beim in Amerika entwickelten „**Luftspinnen**“ werden die bisweilen fast einen Meter (oder mehr) dicken Paralleldrahtkabel aus vielen 5 mm starken Einzeldrähten hergestellt. Diese Einzeldrähte werden von der Lieferspule des Drahtwerks abgewickelt. Sogenannte „Spinnen“ lassen die Drähte rasch ablaufen und ziehen sie von einem Ankerblock über die Pylonsättel zum anderen Ankerblock, wo sie jeweils befestigt werden. Die bündelweise zusammengefaßten Drähte werden dann mittels Flachbändern zu Litzen vereinigt und nach Fertigstellung aller Litzen wird das Kabel hydraulisch in eine Kreisform gebracht, maschinell mit Draht umwickelt und durch einen Schutzmantel gegen Rost gesichert.

Erst wenn diese nur auf Zug beanspruchten Haupttragbänder (Hängegurte), deren Durchhängung der Seil-Hänge-Linie entspricht, fertiggestellt sind, können daran mittels Schellen die vertikalen Hänger angebracht und an diesen die Fahrbahn, samt Versteifungsträger, Windverband usf. angehängt werden.

Dem **Versteifungsträger** (bei kleineren Spannweiten meist als Vollwand- bei größeren meist als Fachwerkträger ausgebildet) fällt die Aufgabe zu, punktuell auftretende Verkehrslasten aufzunehmen, sie in Brückenlängsrichtung auf die Hänger zu verteilen und auf das Tragkabel zu übertragen. Diese lastverteilende Funktion des Versteifungsträgers wurde relativ spät erkannt. Ohne den Versteifungsträger würde eine Schwingungsform entstehen, wie sie in Abb. 118 gezeigt ist.

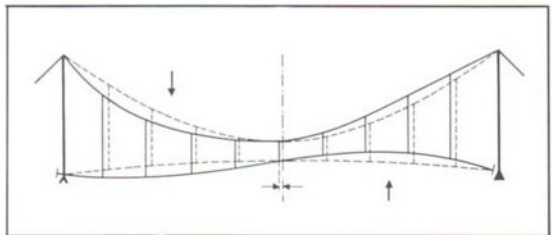


Abb. 118 Schwingungsform einer Hängebrücke.

Zu erwähnen bleibt noch, daß diese Schwingungen auch durch gleichmäßig strömenden Wind hervorgerufen werden können. Diese Schwingungen können sogar zum Einsturz der Hängebrücke führen. (Beispiel hierfür: Der Einsturz der Tacoma-Straßen-Hängebrücke im Staate Washington, USA, im Jahre 1940.)

Bild 59 Rheinbrücke Köln-Mülheim (1951)



Bild 60 Rheinbrücke Köln-Rodenkirchen (1954)



Bild 61 Rheinbrücke Emmerich (1965)



Bild 62 Severnbrücke bei Chepstow (England), (1966)



Bild 63 Firth-of-Forth-Brücke, England (1964)

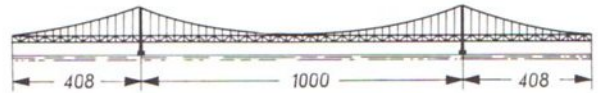


Bild 64 Tejobrücke in Lissabon (1966)

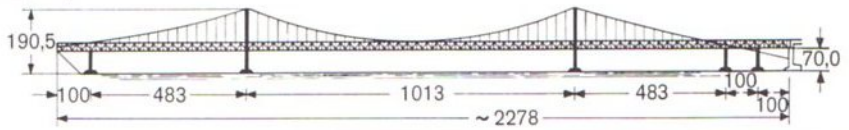


Bild 65 Bosphorusbrücke bei Istanbul, Türkei (1973)

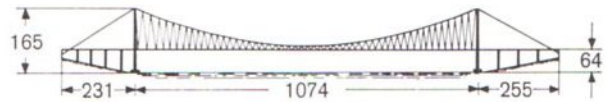


Bild 66 Narrowsbrücke bei New York, USA (1964)



Bild 67 Akashibrücke von Honshu nach Shikoku, Japan (Projekt)

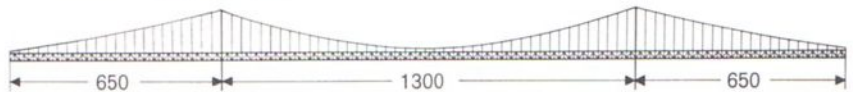


Bild 68 Humberbrücke bei Hull, England (Projekt)

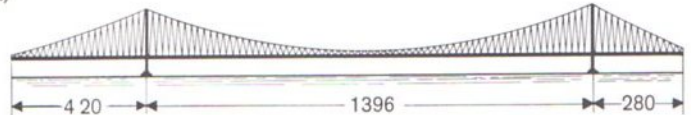


Bild 69 Brücke über Meerenge von Messina, Italien (Projekt)



Wir übernehmen hier eine Übersicht von erdverankerten Hängebrücken aus dem Merkblatt 380. Sie gibt sehr anschaulich die Größenverhältnisse wieder. Außerdem fügen wir aus demselben Merkblatt das neue Projekt zur Überbrückung der Meerenge von Messina an, das einem internat. Wettbewerb erwuchs (1970). Seine Ausführung würde größtmäßig eine neue Phase des Brückenbaus einleiten. Der unter 143 Einsendungen mit dem ersten Preis versehene Entwurf des italienischen Professors Dr.-Ing. Musmeci sieht eine verspannte Hängebrücke mit einer Mittelöffnung von 3 Kilometern vor. Gründe für diese Gestaltung sind: Große Wassertiefen (in Ufernähe 95–130 m, in der Mitte der Meerenge 200 m), starke Strömungen bis 11 km/h, starke Winde, große Erdbebengefahr.

Vorgesehen sind 4 Pylone mit einer Höhe von 600 m! Die Hauptkabel weisen einen Durchmesser von 134 cm auf – Größenordnungen, die für statische Laien kaum vorstellbar sind.

Das Prinzip der verspannten Hängebrücken läßt sich mit Schülern wohl am besten an Beispielen von Energie- und Rohrleitungsbrücken aufzeigen. In Abb. 119 ist die Hängebrücke mit einer Rohrleitung über den Mississippi, der größten Energiebrücke der Welt, gezeigt. Deutlich sind hier am Pylon die seitlich angebrachten Ausleger zu erkennen. An ihnen sind ganz außen die Windseile angebracht, von denen aus die horizontal verlaufenden „Hänger“ das Rohr gegen Winddruck stabilisieren.

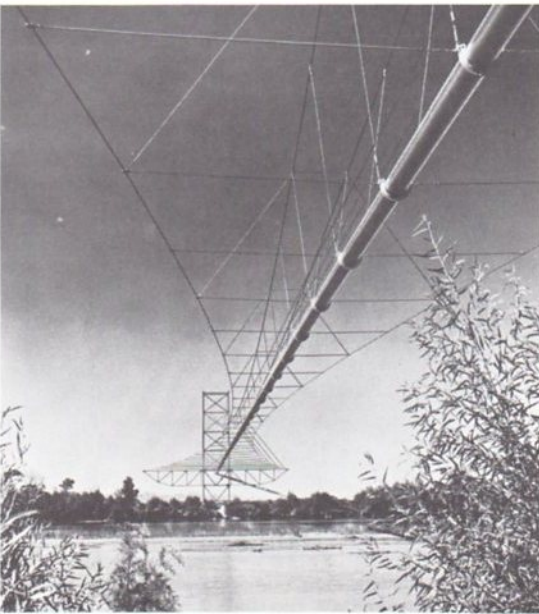
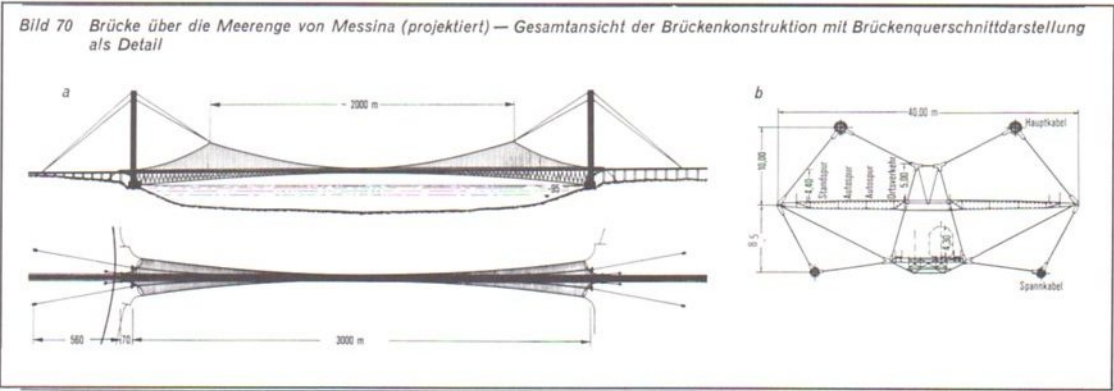


Abb. 119 Rohrleitungsbrücke über den Mississippi.

Solche Modelle von verspannten Rohrleitungsbrücken können im Technikunterricht aus zeitökonomischen Gründen wohl kaum in Angriff genommen werden. Sie eignen sich jedoch für Arbeitsgemeinschaften, Schullandheimaufenthalte oder, wie bei dem gezeigten Beispiel (Abb. 120), für freiwillige Ferienarbeit interessierter Schüler. Nähere Einzelheiten zur Konstruktion bringt die Ergänzungsmappe B.

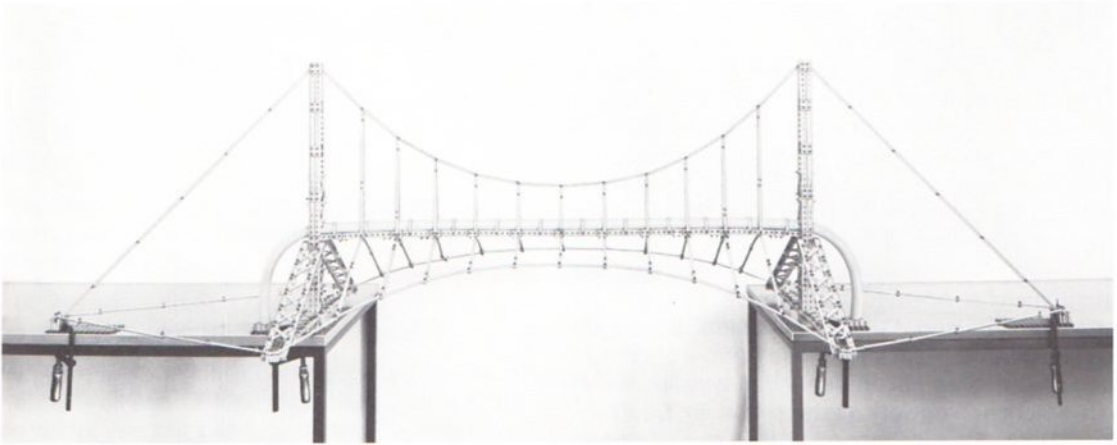


Abb. 120 Rohrleitungs-Hängebrücke aus 8 u-t S und 4 u-t 1-Lernbaukästen. Gruppenarbeit zweier Schüler aus dem 9. Schuljahr (freiwillige Ferienarbeit).

1.13.2 Hängebrücken mit aufgehobenem Horizontalschub

Bei dieser Konstruktionsart sind die Tragkabel nicht in Ankerblöcken, sondern an den Enden des Versteifungsträgers angeschlossen. Dadurch wird der Versteifungsträger zusätzlich auf Knicken beansprucht, weil die waagrechte Komponente als Druckkraft eingeleitet wird. Diese Form stellt den umgekehrten – aber in der Wirkung gleichen – Vorgang bei Bogenbrücken mit aufgehobenem Horizontalschub dar – also bei den unter 1.12.2 gezeigten Beispielen. In beiden Fällen sind nur vertikale Auflagerdrücke vorhanden; der Unterschied besteht nur darin, daß bei Hängebrücken im Versteifungsträger Druck- und im Fahrbahnträger der Bogenbrücke Zugbelastung herrscht.

Diese Kräftwirkungen sind jedoch an kleineren Modellen nicht sichtbar darzustellen. Wir raten deshalb davon ab, Hängebrücken aus Bauteilen nur eines Lernbaukastens u-t S bauen zu lassen, weil dieses Unterfangen nur zu oberflächlichen Modellspielereien führt, ohne daß die Schüler zu echten Einsichten kommen können.

Als Beispiel für eine „kräftwirksame“ Lösung einer in sich verankerten Hängebrücke zeigen wir das Modell der Abb. 121, das wiederum nicht im „normalen“ Technikunterricht entstand; es wurde von drei interessierten Schülern in freiwilliger Ferienarbeit erstellt. Nähere Einzelheiten sind in der Ergänzungsmappe B zu ersehen.

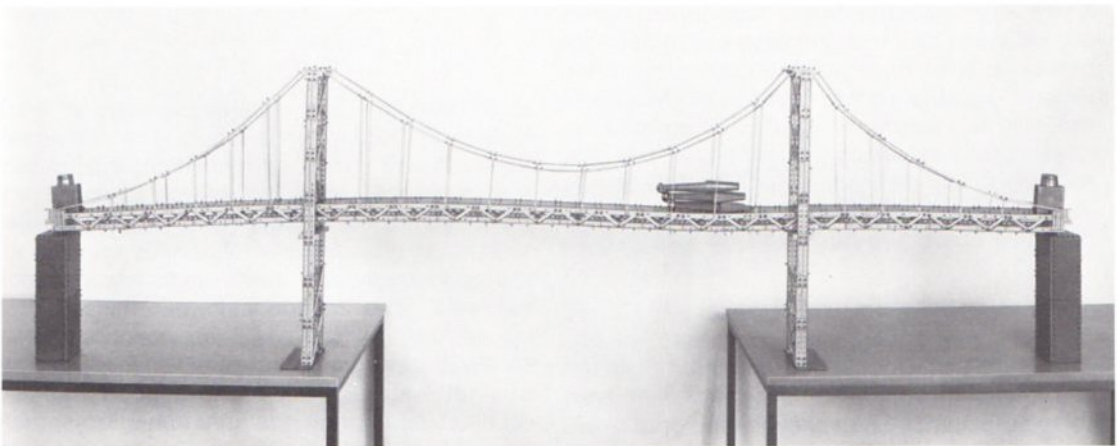


Abb. 121 Modell einer in sich verankerten Hängebrücke (mit aufgehobenem Horizontalschub). Die punktuelle Belastung bewirkt eine wellenartige Durchbiegung der Fahrbahn – eine typische Erscheinung der Hängebrücken, die durch besonders starke Ausbildung der Versteifungsträger aufgefangen wird. Erstellt aus 12 u-t S und 6 u-t 1-Lernbaukästen.

Beim zweiten Beispiel unter 1.13.2 in Tafel III, der sog. Zügelgurtbrücke, die in ihrer äußeren Erscheinung der Hängebrücke entspricht, sind die Tragkabel nicht nur außen, sondern auch im Mittelfeld am Versteifungsträger angeschlossen. In ihrer statischen Wirkung gehört sie deshalb genommen nicht zu den Hängebrücken, sondern zu den einfach abgespannten Balken. Dies System ist verhältnismäßig selten und wird auch in Zukunft keine Bedeutung gewinnen, weil der etwa gleiche Anwendungsbereich des seilverspannten Balkens wirtschaftlichere Lösungen bietet. Im Unterricht wird diese Form wohl nur in den besonderen Fällen behandelt werden, wenn ein solches Tragwerk (sehr selten in Deutschland!) im Einzugsbereich der Schule stehen sollte.

1.2 Feste Brücken nach konstruktiver Ausbildung der Hauptträger

In diesem Kapitel wird die konstruktive Ausbildung der Hauptträger unter folgenden Aspekten dargestellt:

- es werden die einzelnen Trägerarten (Vollwandträger, Fachwerkträger, Rahmenträger) beschrieben,
- es werden Kriterien genannt, die für den Einsatz bestimmter Trägerarten sprechen,
- es wird in Form eines Lehrgangs die Belastung eines Vollwand-Biegeträgers und eines Fachwerkträgers mit Lernbaukasten-Bauteilen dargestellt,
- es werden Demonstrationsmodelle aus Statik-Bauelementen vorgestellt.

Dieses Kapitel enthält demnach die Analyse der für das Unterrichten im Sachbereich Bautechnik notwendigen Grundkenntnisse unter dem Aspekt der konstruktiven Ausbildung der Hauptträger von Brückentragwerken.

Der zweite wichtige Aspekt der Lastabtragung in den Brückentragwerken ist die konstruktive Ausbildung der Hauptträger, oder wie Koch es nennt, „die Gliederungsart der Hauptträger“³⁴. Hierbei werden als „Mechanismen der Lastabtragung“ **Vollwandträger**, **Fachwerkträger** und **Rahmenträger** verwendet. (Sonderausführungen, auch Verbundträger aus Stahl und Stahlbeton, werden hier nicht berücksichtigt.)

Tafel IV veranschaulicht, daß Vollwandträger, Fachwerkträger und Rahmenträger als Lastabtragungsmechanismen bei den 3 Primärformen der Brückentragwerke (Balken, Bogen, Hänge-seil) einsetzbar sind – wobei die Entscheidung für die eine oder andere Ausführung hauptsächlich von wirtschaftlichen, geographischen und ästhetischen Gesichtspunkten oder bisweilen wohl auch von der persönlichen Ansicht des Brückenkonstruktors abhängig war. (Daß wir bei den Hängebrücken kein Beispiel für eine Rahmenträgerkonstruktion bringen, ist damit begründet, daß wir in der zahlreichen Literatur keine solche Anwendung fanden. Doch bedeutet dies u. E. nicht, daß eine solche Konstruktion grundsätzlich nicht durchführbar wäre.)

Der aufmerksame Betrachter erkennt unter 1.22 Fachwerkträger bei Balkenbrücken zwei Zeichnungen, die man im oberen Beispiel als Bogenbrücke, im unteren Beispiel als Hängebrücke bezeichnen könnte. Dies ist jedoch nicht der Fall: Es handelt sich bei beiden Zeichnungen tatsächlich um zwei Lastabtragungssysteme von Balkenbrücken. Näheres hierzu auf den Seiten 35, Abb. 54; 86, Abb. 167; 106, Abb. 202; 118, Abb. 230.

1.21 Vollwandträger

Wir beschränken uns bei den folgenden Ausführungen bewußt nur auf Vollwandträger bei Balkenbrücken, weil hierbei die eigentliche Problematik der Biegung (Biegebeanspruchung) und ihrer konstruktiven „Gegenmaßnahmen“ deutlicher als bei der Bogenbrücke herausgestellt werden kann.

Für den Techniker ist ein Vollwandträger **nicht** ein „voller“ – also ein massiver – Träger, sondern der

„Vollwandträger ist ein aus einem oder mehreren → Stegen und den Flanschen, → Gurte (Unter- und Obergurt) bestehender Biegeträger, der sowohl aus einem Walzprofil als auch aus einem Blechträger in genieteteter und geschweißter Ausführung bestehen kann; er bildet bei großen Brücken den I-förmigen (oder auch kastenförmigen) Hauptträger. Bei einfeldrigen V. erhält der Untergurt i. a. Zugspannungen und der Obergurt Druckspannungen, dieser ist infolgedessen gemäß DIN 4114 auf seine Stabilität gegen seitliches Ausweichen (Kippen) zu untersuchen, zusätzlich sind für Druckgurt und Stege Beulnachweise zu führen.“³⁵)

Der für den technischen Unterricht nicht ausgebildete Lehrer wird hier zunächst einige Schwierigkeiten haben, diese „technische Sprache“ zu verstehen. Wir wollen deshalb versuchen, unter Benutzung der verwendeten Fachausdrücke, die Sache so darzustellen, daß die schon eingangs angesprochenen komplexen Balkenbiegungs-Probleme noch anschaulicher beschrieben werden.

1.2 Einteilung der festen Brücken nach konstruktiver Ausbildung der Hauptträger

1.21 Vollwandträger

bei Balkenbrücken



als BALKENTRÄGER



als DURCHLAUFTRÄGER

bei Bogenbrücken

als eingespannter
BOGENTRÄGER
mit aufgeständerter
Fahrbahn



als
DREIGLENK-
BOGENTRÄGER
mit angehängter
Fahrbahn



bei Hängebrücken



als Versteifungsträger einer Zügelgurtbrücke

1.22 Fachwerkträger

bei Balkenbrücken

als
BALKENTRÄGER
mit gekrümmtem Obergurt



als
DURCHLAUF-
TRÄGER mit
über dem
Mittelpfeiler
vergrößerter
Systemhöhe



bei Bogenbrücken

als
BOGENTRÄGER mit
aufgehobenem Horizontal-
schub (Zugband)

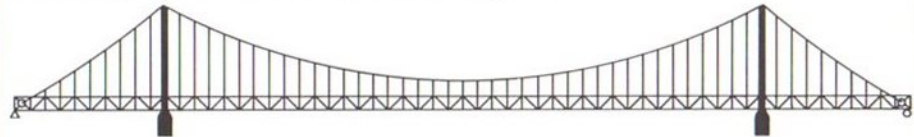


als
BOGENTRÄGER mit
Horizontalschub und
aufgeständerter Fahrbahn



bei Hängebrücken

als Versteifungsträger einer in sich verankerten „unechten“ Hängebrücke



1.23 Rahmenträger

bei Balkenbrücken

als
BALKENTRÄGER



als
BALKENTRÄGER
(Halbparabelträger)

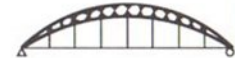


bei Bogenbrücken

als
BOGENTRÄGER
mit aufgehobenem
Horizontalschub
(Zugband)



als
BOGENTRÄGER
(„Sichelbogen“)
mit aufgehobenem
Horizontalschub
(Zugband)



1.21.1 Lehrgang zum Stabilisieren eines Vollwand-Biegeträgers

Wir wählen hierzu eine Form des Lehrgangs und zeigen die statischen Sachverhalte mit „größeren“, trotz ihrer Instabilität sehr strapazierfähigen Bauelementen des Lernbaukastens u-t S, weil wir in der Sekundarstufe I die Erfahrung sammeln konnten, daß die Schüler diesen Materialien gegenüber dem Papier und der Pappe den Vorzug geben. Dies wohl u. a. auch deshalb, weil bei den Belastungsversuchen größere Beanspruchungen möglich sind. Daß mit dieser Aussage die vielen guten Beispiele, die Biester, Dinter, Mehrgardt, Sellin u. a. vorgestellt haben, nach wie vor für den technischen Werkunterricht ihre große Bedeutung behalten sollen, sei hier deutlich hervorgehoben: Der Einsatz von vorgefertigten Teilen der Lernbaukästen will das Arbeiten, das „Machen“ mit herkömmlichen Materialien nicht verdrängen. Lernbaukästen sind auch im Sachbereich Bau ein lernökonomisches Medium.

Wir empfehlen, die einzelnen Versuche in der von uns vorgeschlagenen Reihenfolge durchzuführen zu lassen. Hierbei ist es durchaus denkbar, daß einige Schüler zuvor mit der Vorbereitung betraut werden.

Um die Belastungsversuche mit den „Biegeträgern“ besonders instruktiv zu gestalten, sollen sie mit relativ großen Wägestücken durchgeführt werden. Deshalb benötigen wir zwei sehr stabile Widerlager. Abb. 122 zeigt eine einfache Lösung, bei der jeweils ein Lernbaukasten u-t 1 erforderlich ist. Für den ersten Teil der Versuche kommen wir mit dieser Lösung gut aus.

Anstelle der hier gezeigten Widerlager können gut auch diejenigen aus dem „Planungsbeispiel Schrägeilbrücke“ (Konstruktionsaufträge für Schüler, Gruppe A, Bau der Widerlager A I und A II) verwendet werden.

Belastet man einen aus 3 Bauplatten gebildeten I-förmigen Träger, so zeigt sich, daß besonders in der oberen Zone eine Verformung entsteht (siehe Abb. 123). Dieses „seitliche Aus-

weichen (Kippen)“, wie es in dem Zitat über Vollwandträger im Lueger-Lexikon heißt, erfolgt in der horizontalen Dimension. Durch Pfeile haben wir die möglichen Richtungen angezeigt, in denen dieses seitliche Ausweichen stattfinden kann (R 1, R 2).

Aus der allgemeinen Einführung in elementare statische Zusammenhänge im 1. Abschnitt (siehe S. 14) wissen wir, daß die Einwirkungen von Kräften auf Gegenstände zu Bewegungen in ihrer Resultierenden führen. Weiter wissen wir, daß eine Stabilisierung der Gegenstände, d. h. der Ruhezustand von Gegenständen bei ständig einwirkenden Kräften nur durch Gegenkräfte aus entgegengesetzter Richtung erreicht werden kann. Für unser Beispiel bedeutet dies, daß den horizontal auftretenden Verformungstendenzen des senkrecht stehenden Flachprofils **horizontal** wirkende Gegenkräfte entgegengesetzt werden müssen.

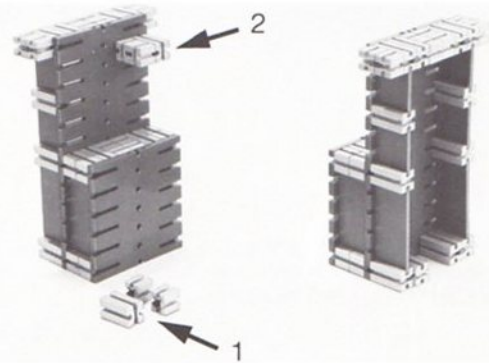


Abb. 122 Widerlager für die Versuchsreihe. Die mit Pfeil 1 gekennzeichneten Bausteine werden zusammengesteckt und nach der bei Pfeil 2 bezeichneten Weise als Halterung (verschiebbar) benutzt.

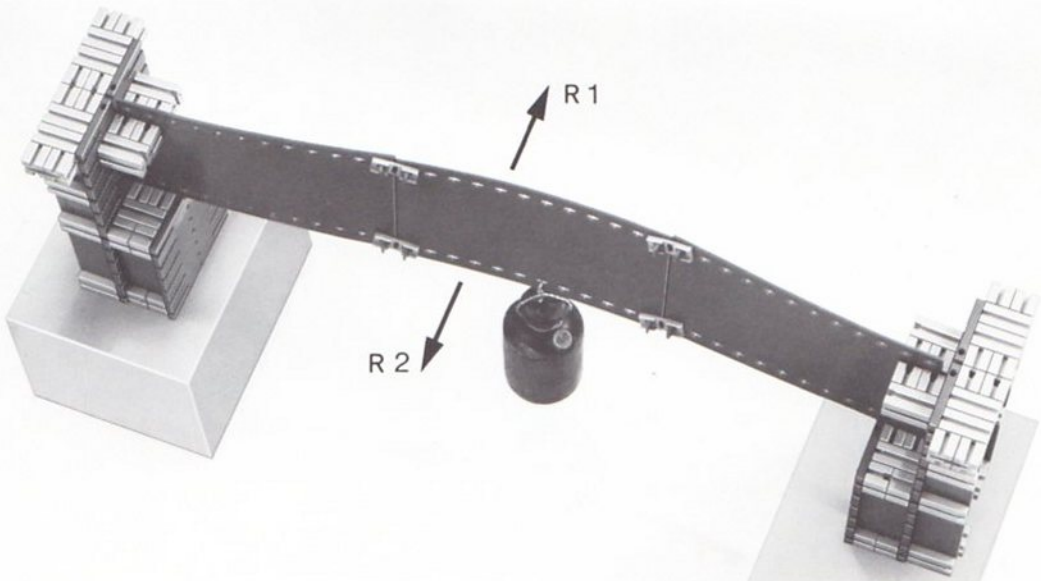


Abb. 123 Drei Bauplatten 180/90 sind jeweils mit 2 Verbindungsstücken 15 und je 2 Riegeln 4 miteinander verbunden. In der Mitte der unteren Zone (Zugzone) wird ein 1 kp-Wägestück mittels Drahtschlinge eingehängt. An den Nahtstellen erkennt man die Unzulänglichkeit dieser Verbindung: die Platten verschieben sich in der Vertikalen (Schererscheinung). Außerdem zeigt das Flachprofil sehr starkes „seitliches Ausweichen (Kippen)“.

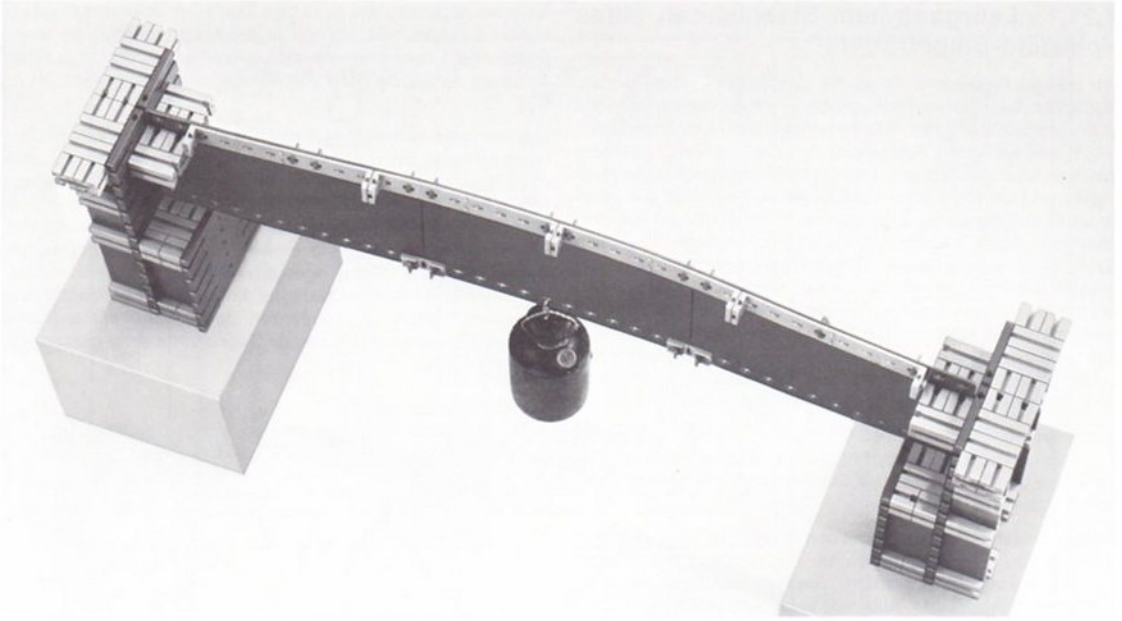


Abb. 124 Um die vertikale Verschiebung der Bauplatten zu verhindern, werden anstelle der Verbindungsstücke 15 vier ineinander gesteckte Flachträger in der oberen Zone (Druckzone) angebracht. Der Belastungsversuch mit demselben Gewicht zeigt noch immer „seitliches Ausweichen (Kippen)“.

In Abb. 125 haben wir einseitig ein Winkelprofil in der oberen Zone (Druckzone) durch Einsetzen der Flachstücke angebracht. Der Belastungsversuch mit dem doppelten Gewicht (2 kp) zeigt jetzt im Gegensatz zum vorherigen Versuch nur noch geringes seitliches Ausweichen, weil das „angeflanschte

Winkelprofil (wobei die S-Riegel die Funktion von Nieten simulieren) den in den Richtungen R_1 und R_2 wirkenden Kräften als „Obergurt“ entgegenwirkt. Allerdings bräute eine weitere Belastung erneutes „seitliches Ausweichen (Kippen)“ – was neue Gegenkräfte erforderlich macht.

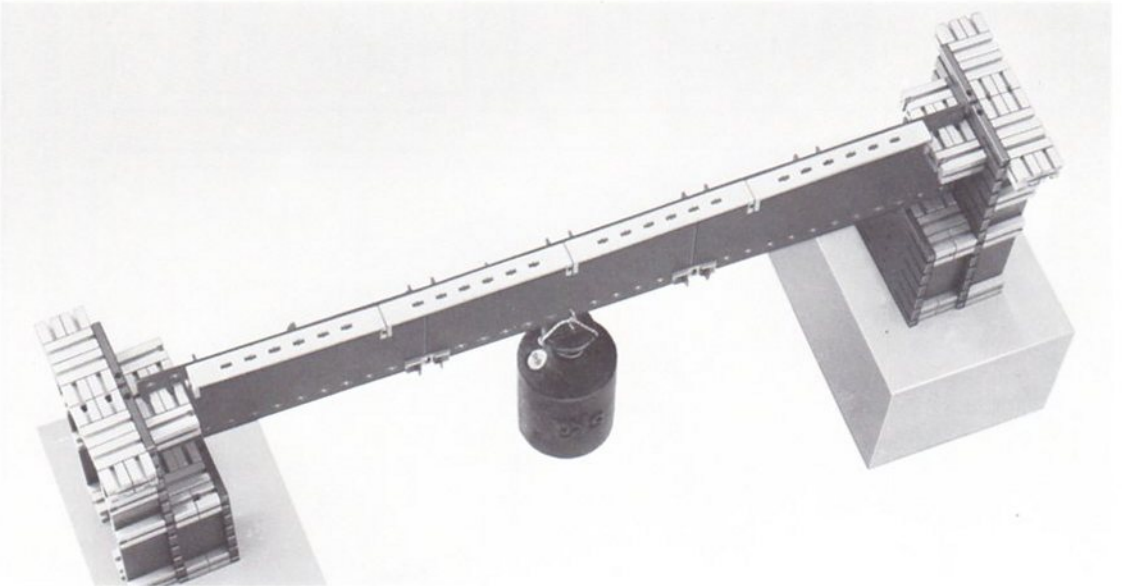


Abb. 125 In die Flachträger sind jetzt Flachstücke eingesetzt. Dadurch wird ein Winkelprofil gebildet, das die Funktion eines einseitigen Obergurts erfüllt. Im Vergleich zu den beiden letzten Abbildungen ist zu erkennen, daß durch das Winkelprofil eine zusätzliche Fläche in der Horizontalen (Wirkungslinie von $R_1 - R_2$) entstanden ist. Diese ist imstande, dem Träger (bestehend aus dem senkrechten „Steg“ und dem waagrechten „Flansch“) die doppelte Belastung zuzumuten.

Unterbricht man die obere Fläche des Winkelprofils an einer Stelle (Abb. 126), so zeigt sich im Vergleich zur Belastungsprobe in Abb. 124 kaum ein Unterschied. Selbstverständlich müssen die Winkelprofile durchgehend am ganzen Steg angebracht sein.

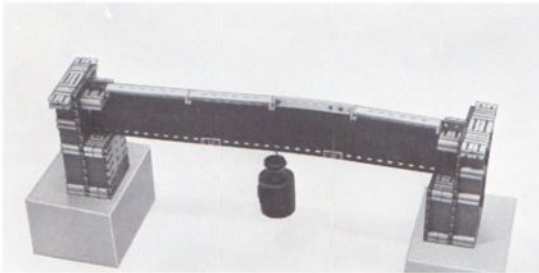


Abb. 126 Eine Unterbrechung der stabilisierenden Wirkung der horizontalen Fläche zerstört die gesamte Stabilität. Das Profil ist im Vergleich mit Abb. 124 nicht stärker belastbar.

Bei einer zusätzlichen Belastung des einseitigen Trägers mit einem weiteren Wägestück von 1 kg (insgesamt 3 kp) zeigt sich erneut ein stärkeres seitliches Ausweichen (Abb. 127). Analog zu der Stabilisierungsmaßnahme in Abb. 125 kann durch Schaffung einer zweiten horizontalen Fläche ein größerer Festigkeitsgrad erreicht werden. Man erhält somit einen einfachen T-Träger, der, wie Abb. 128 zeigt, bei nur geringem seitlichen Ausweichen 12 kp tragen kann.

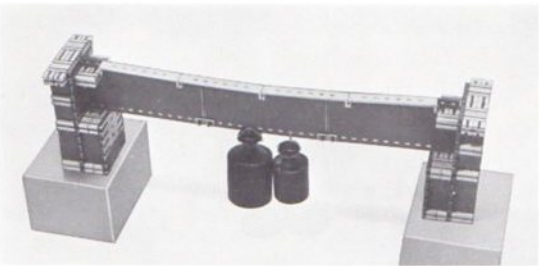


Abb. 127 Der nur einseitig angebrachte Obergurt kann ein seitliches Ausweichen nur bedingt verhindern.



Abb. 128 Auf beiden Seiten des Stegs sind nunmehr mit S-Riegel 6 je zwei Winkelträger 30 und vier Winkelträger 120 angebracht.

Dadurch entsteht eine gleichmäßige Flanschwirkung gegen seitliches Ausweichen. Der einfache T-Träger könnte durchaus noch schwerer belastet werden als mit den hier angehängten 12 kp.

Eine Belastungsprobe wie in Abb. 128 zeigt nur eine geringe Verformung der oberen Zone (Druckzone). Der hier auftretenden Druckspannung, die ein seitliches Ausweichen bewirken will, leisten primär die angebrachten horizontalen Flächen und nur ganz minimal die vertikalen Flächen des Winkelprofils als Verstärkungsflächen des Stegs Widerstand. Abb. 129 verdeutlicht dies durch die enge Schraffur bei der Horizontalen des Obergurts. Wir ergänzen diese Schnittzeichnung durch eine weitere aus der technischen Wirklichkeit (Abb. 130). Zur Verstärkung des Obergurts werden hier zusätzlich oben eine oder mehrere Gurtplatten mittels Nietern angebracht. Wir ergänzen die Abbildungen jeweils mit den vereinfachten Systemzeichnungen und benutzen im folgenden immer diese Darstellungsform.

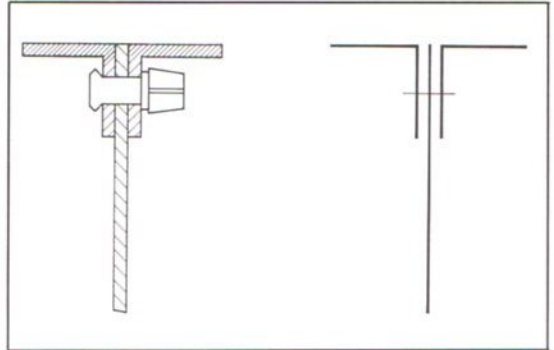


Abb. 129 Schnittzeichnung des Modell-T-Trägers mit System-skizze.

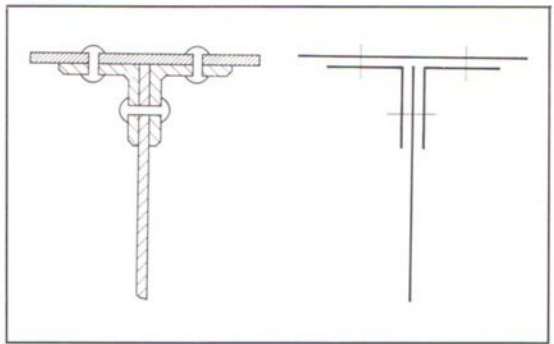


Abb. 130 Schnittzeichnung eines T-Trägers mit zusätzlich angebrachter Gurtplatte.

Abb. 131 zeigt sehr deutlich die in der unteren Zone wirksame Zugspannung, die sich besonders an den Nahtstellen durch Auseinanderstreben der Bauplatten bemerkbar macht. Die einfache Verriegelung mit je einem Verbindungsstück 15 und nur zwei S-Riegeln 4 ist zu schwach – hat jedoch zunächst den großen Vorteil, daß die Auswirkung der Zugbelastung sehr klar zu erkennen ist. In der Bautechnik wird diese Zugspannung durch Schweißen oder durch Nietern abgefangen. Mit den Bauteilen des u-t S ist eine nach Abb. 132 zu ersiehende Anbringung von Flachstücken mittels jeweils sechs Riegeln 4 immerhin imstande, dem Auseinanderstreben mehr Einhalt zu gebieten.

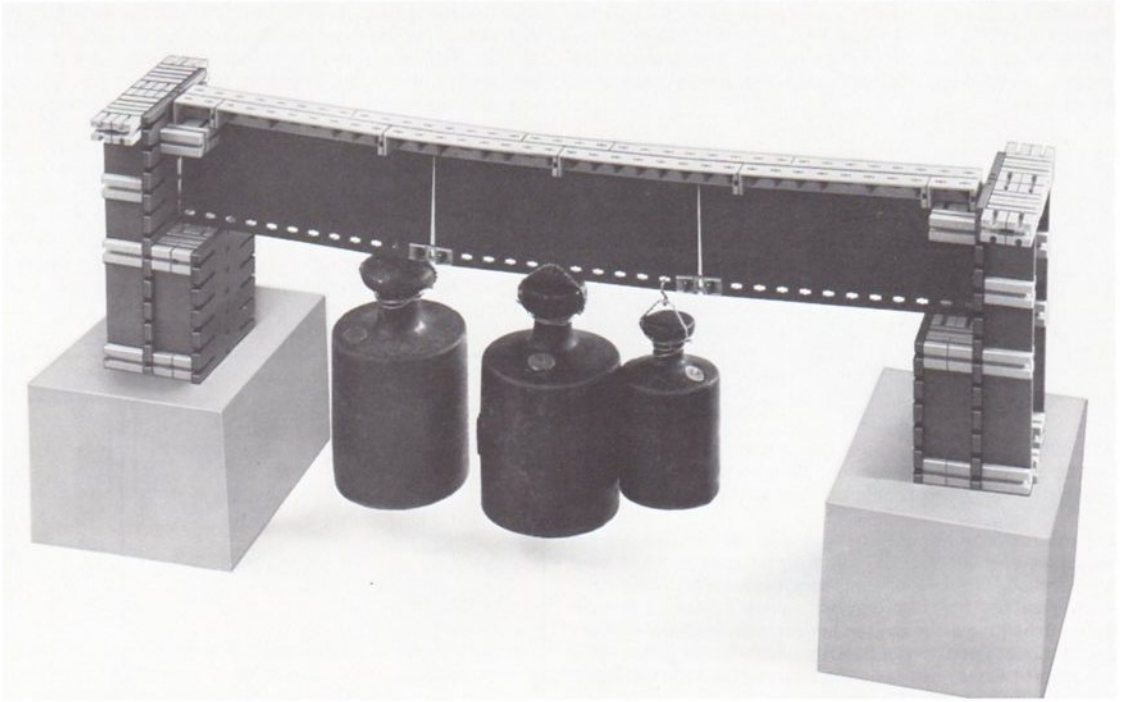


Abb. 131 Zugspannung in der unteren Zone bewirkt ein Auseinanderstreben der Bauplatten. Die zwei Verbindungsstücke 15, jeweils nur mit zwei Riegel 4 verbunden, können kaum der starken Zugbelastung standhalten.

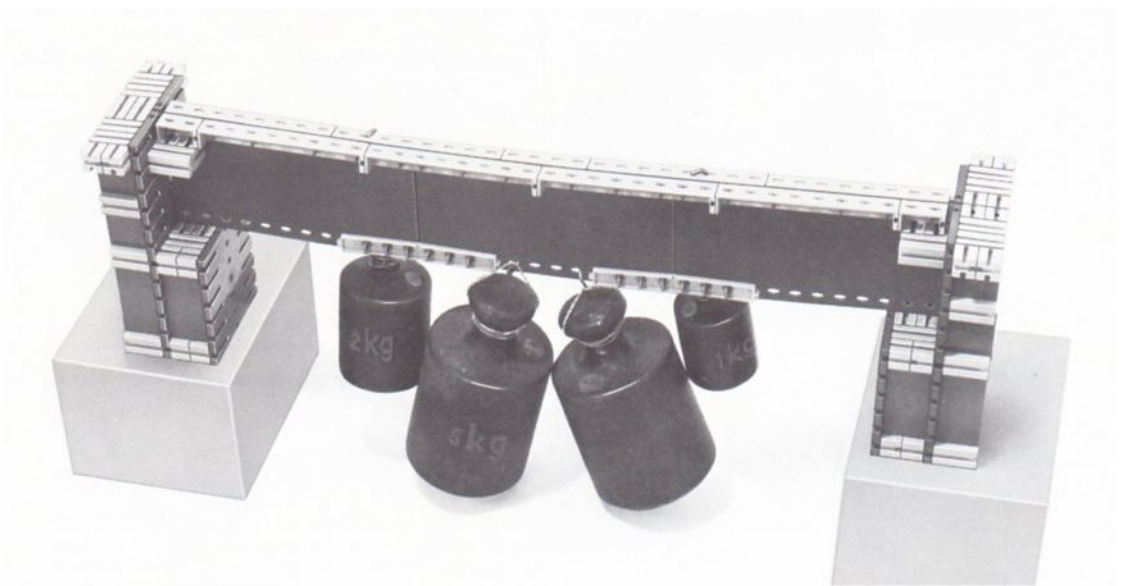


Abb. 132 Jeweils sechs Riegel 4 können der Zugspannung mehr „Formschlußwirkung“ entgegensetzen als nur je zwei Riegel 4 in Abb. 131.

In der Technik werden die Stoßstellen an den Steg- und den Flanschteilen mit Laschen gedeckt, wie aus Abb. 133 zu

ersehen ist. Damit entsteht ein „biegefester Stoß“, der für die „Biegesteifigkeit“ eines Biegeträgers von großer Wichtigkeit ist.

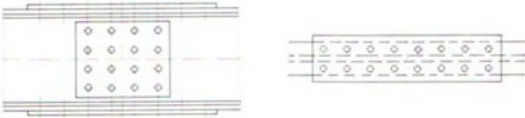


Abb. 133 Biegeester Stoß. Für die Biegebeanspruchung werden die Steg- und die Flanschteile mit sog. Laschen entweder mittels Schrauben, Nieten oder durch Schweißung verbunden.

Nachdem wir durch Anbringen von horizontal gelegenen Flächen an dem Steg eine deutlich zur Wirkung kommende Verstärkung erreicht haben, wollen wir untersuchen, wie dieser Träger sich bei Belastung in der „Umkehrung“ verhält.

Aus Abb. 134 ist zu ersehen, daß wir den bisher unter Druckspannung stehenden Obergurt nunmehr als Untergurt einsetzen. Der Träger, bisher imstande 12 kp und mehr zu tragen, zeigt dieselbe Erscheinung des seitlichen Ausweichens in der oberen Zone (Druckzone). Nicht einmal 2 kp können so ohne wesentliche Deformation angebracht werden. – Ein Hinweis darauf, daß der T-Träger, wenn er überhaupt als Biegeträger Verwendung findet, nur so eingesetzt werden kann, daß er in der Druckzone einen Druckgurt erhält.

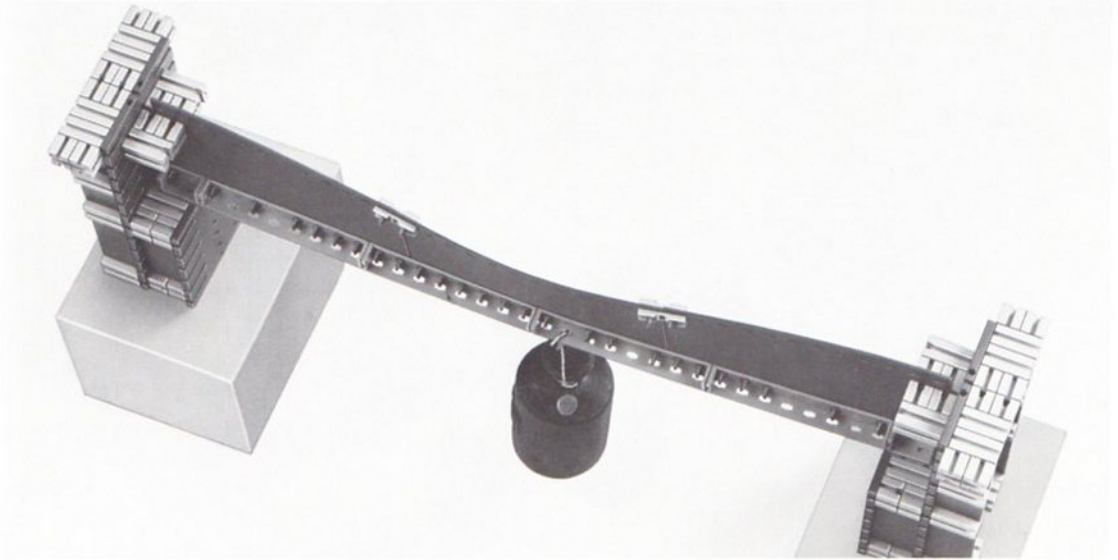


Abb. 134 Der in der Abb. 131 „zum Tragen gebrachte“ einfache T-Träger liegt nun so auf den Widerlagern, daß der angebrachte Gurt als Untergurt (Zugspannung) wirkt. Es zeigt sich dasselbe seitliche Ausweichen in der oberen Zone, wenn keine versteifenden Horizontalflächen wirken können.



Abb. 135 Der Träger in Doppel-T-Form ist der geeignetste Biegeträger. Obergurt und Untergurt bringen den optimalen Stabilisierungseffekt oder (wie der Techniker sagt), die größte Biegesteifigkeit.

Wird nunmehr auch noch ein zweiter Gurt angebracht, so daß jeweils am Ende des Stegs, wo die Gegenkräfte am wirksamsten ansetzen können, stabilisierende Flächen angreifen, so erhalten wir die optimale Form eines einfachen Biegeträgers, den Doppel-T-Träger. Abb. 135 veranschaulicht, daß bei einer Kräfteinwirkung von 13 kp nur eine leichte Verformung vorliegt, die auch durch ein ungleichmäßiges Anhängen der Wägestücke bedingt ist.

In Abb. 136 ist dies demonstriert, indem wir 3 kp an der äußeren Seite des Obergurts anbrachten. Die Flexibilität der aus „Nylon“ hergestellten Statik-Bauteile bewirkt ein deutlich sichtbares seitliches Ausweichen der Druckzone.

Die Krafrichtung bei den bisherigen Belastungsversuchen an den verschiedenen Trägern verlief fast immer genau vertikal, d. h. **durch** den senkrechten Steg. Die in Brückenbauwerken eingesetzten Doppel-T-Träger werden jedoch keineswegs immer nur in der oben beschriebenen Weise belastet. Die Kräfteinwirkung kann an jeder beliebigen Stelle und in jeder beliebigen Richtung auch des Ober- und Untergurts einsetzen.

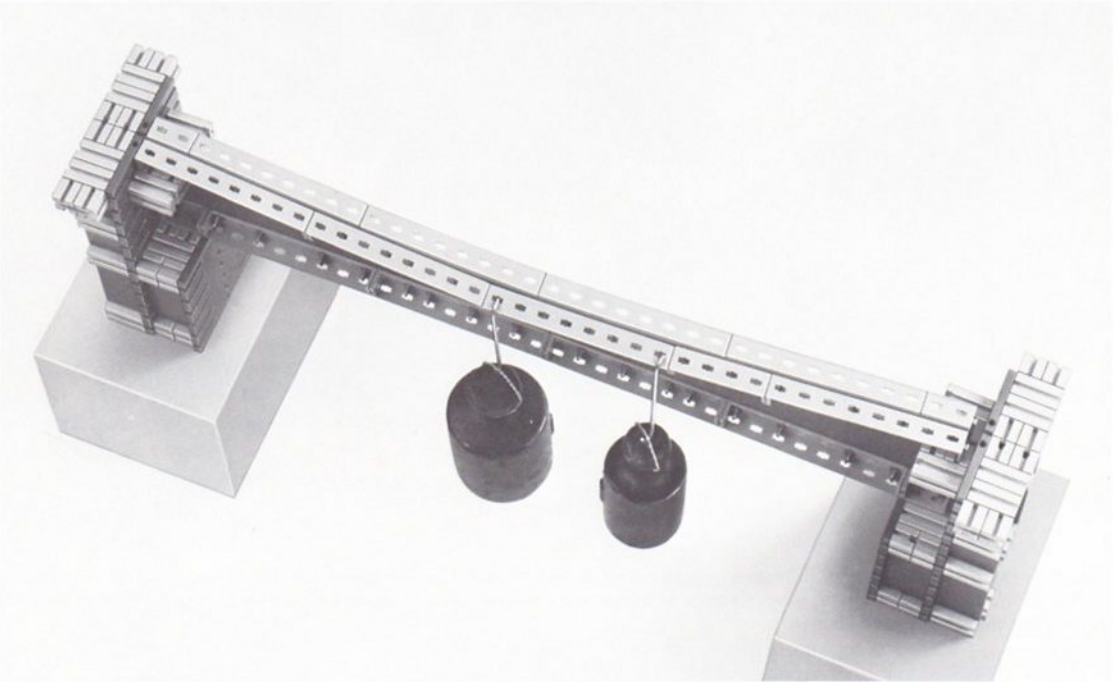


Abb. 136 Die Kräfteinwirkung von 3 kp an der Außenseite des Obergurts bewirkt eine starke „Verwindung“ des Trägers.

1.21.2 Kombinierte Formen mit Doppel-T-Trägern

Die unten offenen Vollwandbrücken haben unter der Fahrbahntafel mindestens zwei solcher Doppel-T-Träger. Da die auf eine Brücke einwirkenden Kräfte jedoch nicht nur vertikal ansetzen, sondern auch horizontal angreifen, wie z. B. Winddruck und Schubkräfte, die beim Bremsen und Beschleunigen von Fahrzeugen (Kfz, Eisenbahnen) entstehen, müssen die Doppel-T-förmigen Vollwandträger auch im Hinblick auf diese horizontal wirkenden Kräfte stabilisiert werden. Hierfür gibt es verschiedene Lösungen:

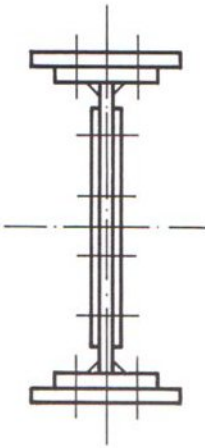


Abb. 137 Beispiel zur Versteifung von Biegeträgern (Zusammengesetzte Querschnitte, meist durch Nietung).

a) Sehr starke Ausbildung der Träger mit größeren Querschnitten (starke Dimensionierung) und Verstärkungen von Stegen und Gurten.

b) Kombination mehrerer Biegeträger zu einem Trägerrost.

Zu a): Abb. 137 zeigt eine Möglichkeit der Verstärkung.

Zu b): Träger-Roste dienen der Verteilung örtlich angreifender Lasten in Längs- und Querrichtung. Diese Tragsysteme erreichen eine weitgehende Entlastung einzelner Tragglieder durch Einbeziehung von nicht direkt belasteten Bauteilen; sie finden jedoch im heutigen Brückenbau kaum Anwendung.

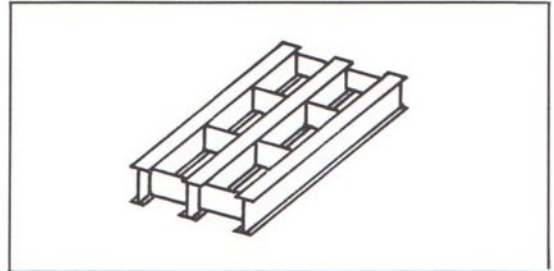


Abb. 138 Trägerrost (Rosttragwerk).

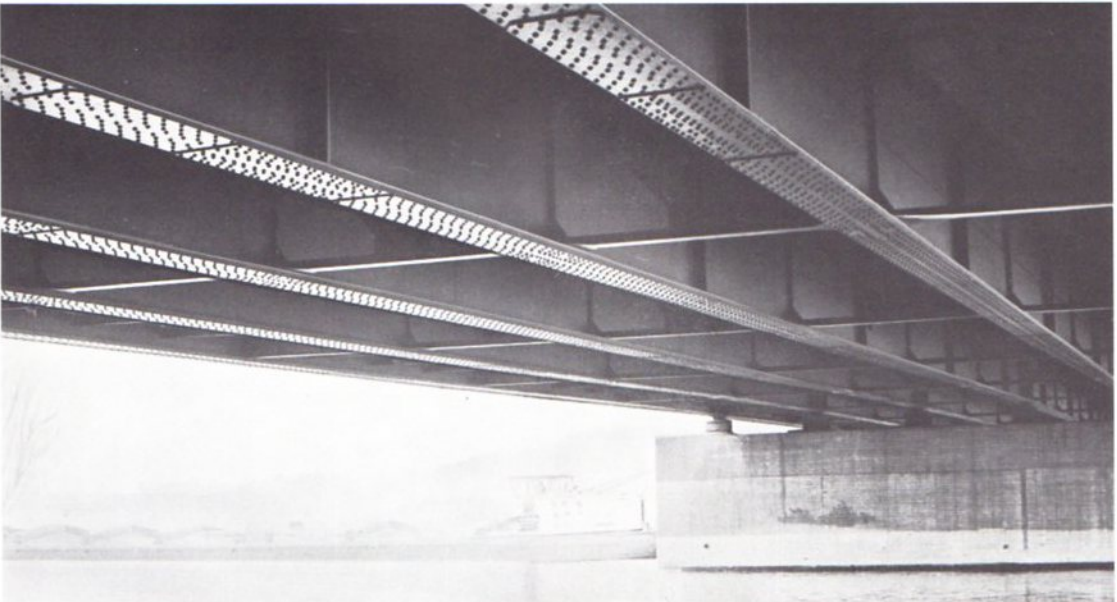
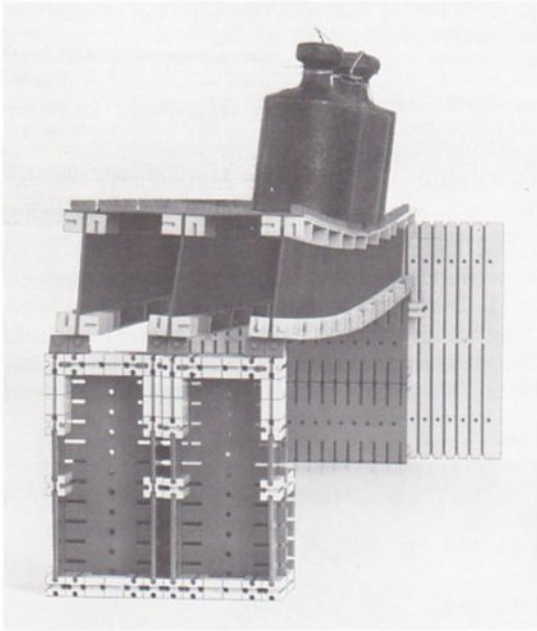


Abb. 139 Blick unter die Ernst-Walz-Brücke in Heidelberg. Beispiel einer unten offenen Vollwand-Brücke in Rosttragwerk-Konstruktion. Deutlich sind hier auch die zur Feldmitte hin verstärkten Untergurte (vernietete Bleche) zu erkennen.



Die Notwendigkeit, die einzelnen Doppel-T-Träger in Querrichtung untereinander zu verbinden, kann durch zwei Versuche nachgewiesen werden, bei denen sehr anschaulich die Auswirkungen einseitiger Belastung, bzw. seitlicher Beanspruchung zu sehen sind. Im ersten Beispiel werden die Wägestücke seitlich aufgelegt: Die Tragkonstruktion verschiebt sich, die Träger verdrehen sich. Es sind keine Tragglieder vorhanden, die entlasten können.

Beim zweiten Beispiel wird ein diesmal fest auf den Auflagern eingespannter unten offener Vollwand-Träger (aus zwei Doppel-T-Trägern bestehend) nach der Seite mit 5 zusammengesteckten Kraftmessern weggezogen (Winddruck – das „Ziehen“ entspricht in der Wirkung genau dem „Drücken“ des Windes).

Abb. 140 Seitlich aufgesetzte Wägestücke (15 kp) sollen das einseitige Belasten einer Tragkonstruktion mit 3 Doppel-T-Trägern simulieren. Die Folge ist ein seitliches Wegschieben der gesamten Konstruktion; nur Querverbindungen oder ein „Schließen“ der unten offenen Tragkonstruktion können bewirken, daß nicht direkt belastete Bauglieder mittragen und somit stabilisieren.

Ein weiteres Beispiel für die Querverteilung der Lasten ist in Abb. 142 gezeigt. Die große Anzahl der starren Querscheiben vergrößert die Rostwirkung.

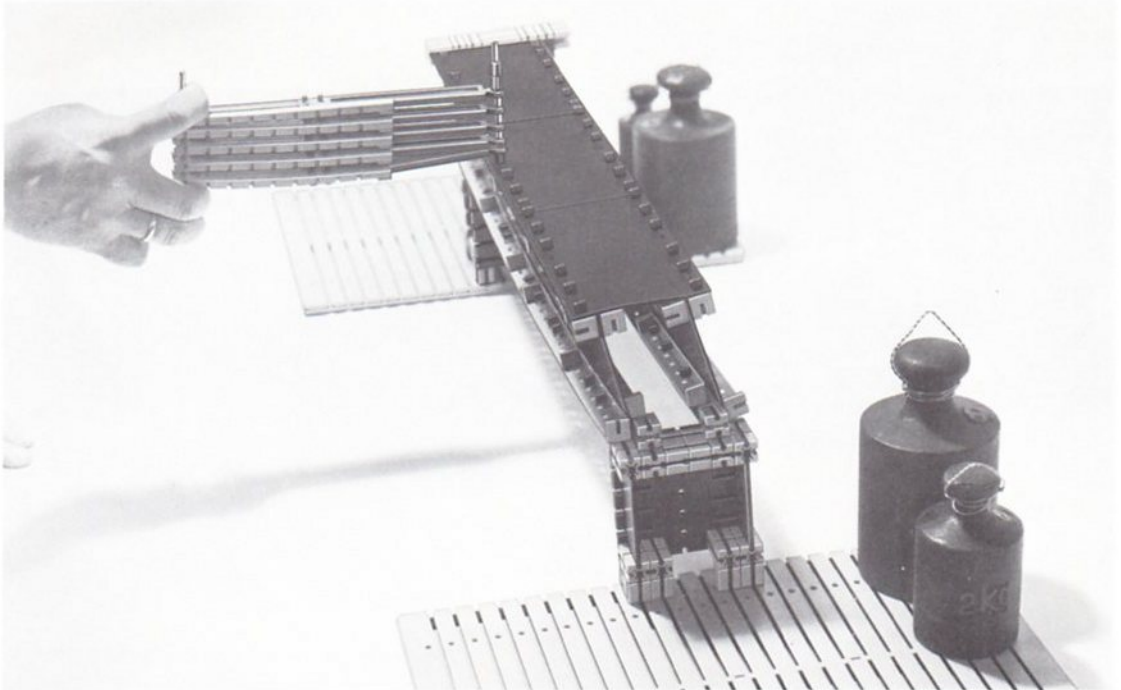


Abb. 141 Eine fachwerkartige oder in Vollwandkonstruktion ausgeführte Querverbindung würde das seitliche Wegschieben verhindern.



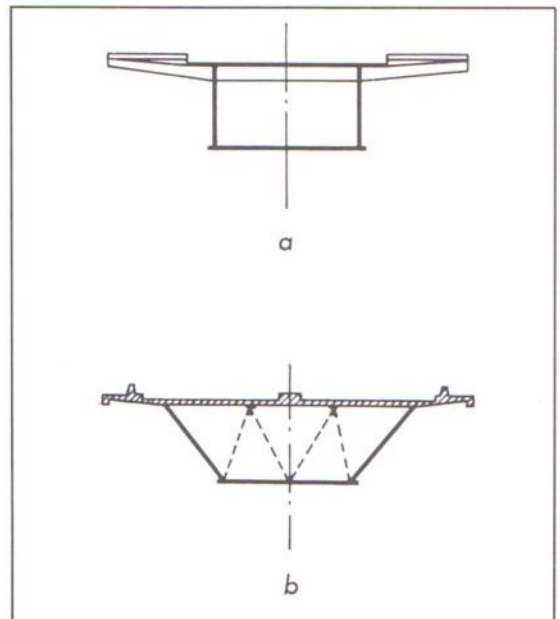
Abb. 142 Längs- und Querträger der Brücke über die Autobahn zwischen Karlsruhe und Durlach.

1.21.3 Kastenförmige Ausbildungen

Im heutigen Brückenbau gewinnt die kastenförmige Ausbildung des Hauptträgers immer mehr an Bedeutung. Wir übernehmen hier aus Merkblatt 380 einige Ausführungen und Bilder. Dort heißt es auf S. 20:

„8.4. Hauptträger in Kastenform

Unter Einbeziehung der Fahrbahnplatte (Stahlbetonverbundplatte oder orthotrope Platte) und des Untergurtverbandes, der dann vielfach vollwandig ausgeführt wird, entsteht das kastenförmige Tragwerk. Die charakteristischen Formen sind in Bild 26 dargestellt. Querschnitt ‚a‘ zeigt den rechteckigen Kasten mit weitausladenden Konsolen, ‚b‘ den trapezförmigen Kasten, ‚c‘ zwei Rechteckkästen, die durch Querscheiben zu gemeinsamer Wirkung nach Art der Roste verbunden sind, ‚d‘ einen breiten Rechteckkasten, unterteilt durch zwei Längsschotte. Hier kann die große Breite des Untergurtes zu un-



wirtschaftlichem Materialaufwand führen, weil man unter eine gewisse Blechstärke praktisch nicht hinuntergehen kann. Die Böden der Kästen sind ebenfalls mit Aussteifungen zu versehen und in Zonen von Druckbeanspruchung, wie beispielsweise in Durchlaufträgern unter negativen Momenten, auf Beulsicherheit zu untersuchen.

8.5. Kombinieren von Kästen und Rost

Bild 26 f zeigt einen mittleren Kasten und zwei Rand-Hauptträger, die insgesamt durch Querscheiben zu Rostwirkung verbunden sind (232).

8.6. Zwei außenliegende Kästen

Außenliegende Kästen nach Bild 26 e sind des öfteren aus konstruktiven und praktischen Überlegungen ausgeführt worden. Gegenüber zwei einwandigen Vollwandträgern ist der erhöhte Materialaufwand für die doppelten Stegbleche zu beachten. Günstig in Zonen negativer Momente die größere Seitensteifigkeit und Knicksicherheit als bei dem einwandigen Träger. Eine zu große unwirtschaftliche Untergurtbreite wie nach Bild 26 d dagegen ist vermieden.“

Wenn diese Ausführungen eigentlich für Techniker gedacht sind, so zeigen sie doch auch Probleme auf, die im Unterricht durchaus angesprochen werden können. Wir haben bereits im Planungsbeispiel Schrägseilbrücke (Ergänzungsmappe A zu diesem Lehrerhandbuch) eine einfache Kastenform gewählt und zeigen hier noch einige aufwendigere Varianten, die sich für Experimente zur Erkundung der besten Verhältnisse von Eigengewicht zu Lastaufnahme eignen.

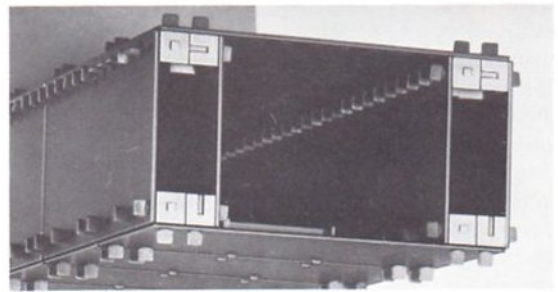
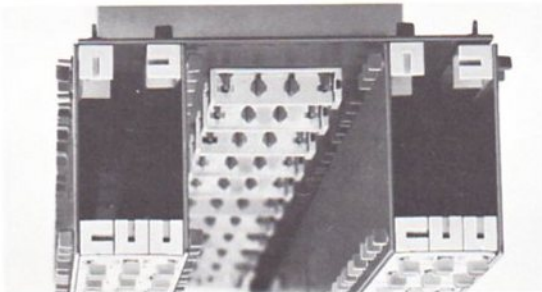
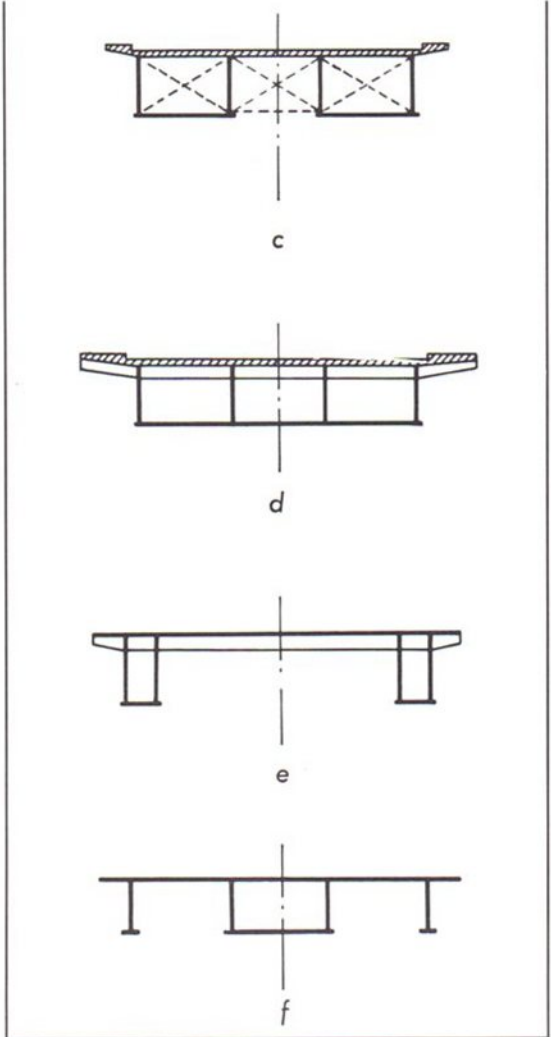


Abb. 143 Zwei Varianten von Vollwand-Hauptträgern. Das linke Beispiel entspricht der Zeichnung e, das rechte der Zeichnung d.

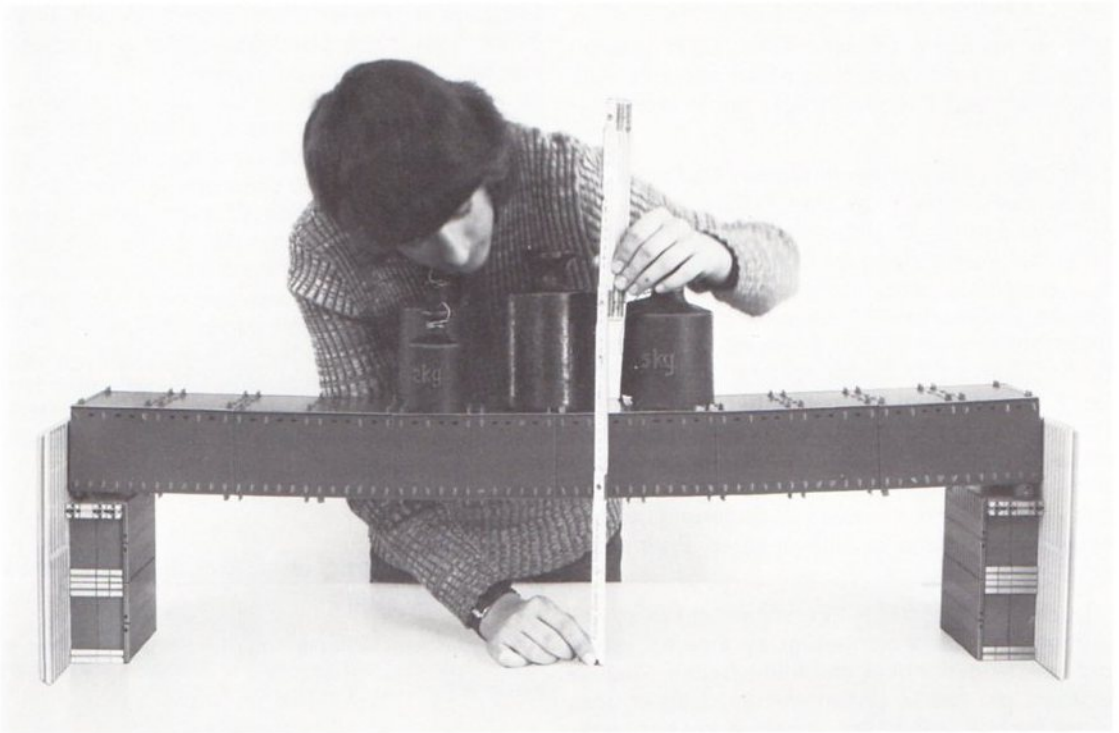


Abb. 144 Ein Schüler beim Feststellen der Durchbiegung eines Vollwand-Hauptträgers, der mit 20 kp belastet ist. Interessant auch der Vergleich bei „hochkant“ aufgelegten Trägern.

Wir beschließen den Abschnitt über die Vollwandträger mit zwei Versuchen an einem aus zwei u-t S hergestellten rechteckigen Träger. Große Durchbiegung ergibt der erste Versuch

mit dem flach aufgelegten Biegeträger; geringere Durchbiegung bei noch größerer Belastung bringt der zweite Versuch beim „hochkant“ aufgesetzten Biegeträger.

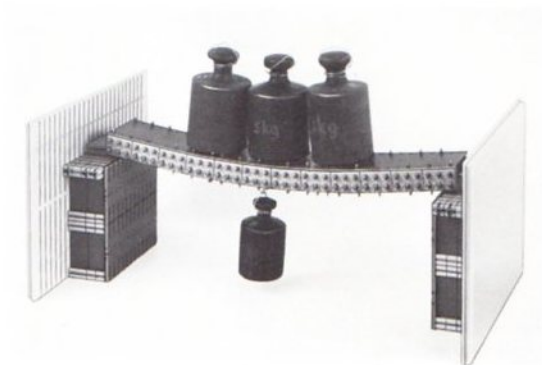


Abb. 145 17 kp bewirken eine starke Durchbiegung des „flachkant“ aufgelegten Biegeträgers.

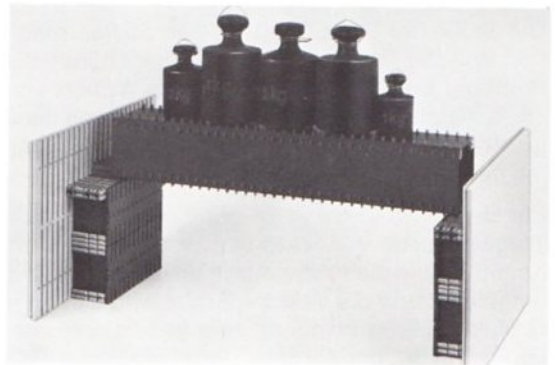


Abb. 146 18 kp bewirken nur eine ganz geringe Durchbiegung beim „hochkant“ aufgelegten Biegeträger.

1.22 Fachwerkträger

Vorbemerkung: Wir beschränken uns in unseren Ausführungen analog zum Abschnitt 1.21 ausschließlich auf Fachwerkträger bei Balkenbrücken.

Zum Begriff des Fachwerkträgers: Als Fachwerkträger bezeichnet man eine Trägerart, die aus einem stabförmigen Unter- und Obergurt besteht und eine Ausfachung zwischen diesen beiden aus gleichfalls stabförmigen Gliedern besitzt. Diese stabförmigen Konstruktionsglieder (Stäbe) übertragen wegen ihres geringen Querschnitts (im Verhältnis zur Länge) nur Kräfte in Stabrichtung, d. h. die sog. Normalkräfte (Zug und/oder Druck) sind bestimmend für Druck- oder Zugstäbe. Druck- und Zugstäbe im Dreiecksverband bilden ein stabiles in sich geschlossenes Gefüge, das bei entsprechender Auflagerung unterschiedliche Lasten an die äußeren Endpunkte abträgt.

„Druck- und Zugstäbe, in bestimmter Weise geordnet und zusammengefügt zu einem System mit gelenkigen Knotenpunkten, bilden Mechanismen, die Kräfte umlenken und Lasten über weite Räume stützenfrei abtragen können: vektoraktive Tragsysteme.

Kennzeichen der vektoraktiven Tragsysteme ist der Dreiecksverband“³⁶⁾.

Die von Engel als vektoraktive Tragsysteme bezeichneten Fachwerkträger bewirken die Kraftumlenkung dadurch, daß sie die äußeren Kräfte mittels zweier oder dreier Stäbe in verschiedene Richtungen aufspalten (zerlegen). Geeignete Gegenkräfte (Vektoren) halten sie im Gleichgewicht.

Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf den Abschnitt „Zum Zerlegen einer Kraft mit dem Kräfdreieck“ auf den Seiten 14, 15, 37; 41 ff.

Die Größe der Vektorkräfte in den Stäben resultiert aus der Stellung der Stäbe gegenüber der Richtung des äußeren Kraftangriffs. Winkel von 45–60 Grad gegenüber der Krafrichtung sind günstig und bewirken eine wirksame Umlenkung mit geringen Vektorkräften.

Für den Brückenbauer ist zur Entwicklung von Tragwerkideen auf vektoraktiver Grundlage die Kenntnis, wie die Kräfte durch Vektorensplattung umgelenkt und die Vektorenkräfte selbst in ihrer Größenordnung bestimmt und kontrolliert werden können, unerläßliche Voraussetzung und Grundlage. Für die Arbeit in der Schule ist dies jedoch nicht der Fall. Hier können als Voraus-

setzung für eine lernzielorientierte Arbeit allgemeine Kenntnisse über Fachwerkträger, wie sie hier beschrieben sind, durchaus genügen – wenn es auch als durchaus positiv zu bewerten ist, wenn der Lehrer über das didaktisch Machbare hinaus Sachkenntnisse erworben hat. Wir verweisen an dieser Stelle außerdem auf den Band 5 der fischertechnik-hobby-Bücher (hobby 1 Band 5), in dem auf den Seiten 20–32 nähere Einzelheiten über Fachwerkarten, Bildungsgesetze von Fachwerken usw. zu ersehen sind. Außerdem machen wir auf die lehrgangsmäßigen Ausführungen von Horst Dinter³⁷⁾, aufmerksam, an die wir uns mit den Abbildungen 147–158 anlehnen. Horst Dinter läßt seine Schüler mit in Arbeitsteilung hergestellten Holzstäbchen und Heftzweckklammern einfache Fachwerke finden.

1.22.1 Lehrgang zum Stabilisieren eines Fachwerkträgers

Wir zeigen diesen Lehrgang hier mit fischertechnik-I-Streben 75 und X-Streben 106, bzw. dünner Schnur in etwas abgewandelter Form.



Abb. 147 Vier Streben 75 sind mittels vier Riegel 6 und vier Riegelscheiben zu einem Viereck zusammengesteckt.

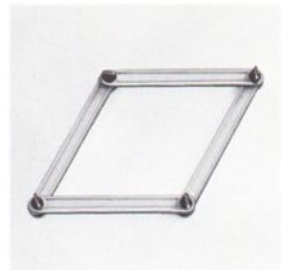


Abb. 148 Vier Streben in vier Knotenpunkten zusammengehalten, ergeben keine Stabilität. (Es handelt sich hier um das sog. „Gelenkviereck“ oder auch „Viergelenkette“ genannt.)



Abb. 149 Das Dreieck ist das kleinste in sich starre Fachwerk. – Der eine „weggelassene“ Stab erbringt absolute Stabilität auch bei gelenkiger Verbindung in den Knotenpunkten; Stabilität = Starrheit ist dann gegeben, wenn drei Stäbe in drei Knotenpunkten gelenkig verbunden sind; die Form des Dreiecks ist nicht entscheidend.



Abb. 152 Eine Strebe „zuviel“ (siehe Abb. 150) erbringt zwar anscheinend mehr Starrheit; sie ist jedoch im Sinne der Stabilität nur dann nötig, wenn sie zur Aufnahme besonderer Druck- oder Zugkräfte erforderlich wird.



Abb. 150 Das Viereck der Abb. 147, 148 ist geöffnet worden: Im oberen linken und im unteren rechten Knotenpunkt sind jetzt S-Riegel 8 verwendet und eine X-Strebe 106 eingesetzt, die das Viereck in zwei rechtwinklige Dreiecke aufteilt und somit das kleine Fachwerk stabilisiert, d. h. stabil macht. – Anders ausgedrückt: Zwei zusammengesetzte rechtwinklige Dreiecke bilden ein starres Klein-Fachwerk.



Abb. 153 Zwei Schnüre als Diagonalen im Viereck eingesetzt, ergeben auch eine Starrheit der Konstruktion, weil jetzt zwei Dreiecke gebildet werden. Die Schnüre sind jeweils Zugstreben.

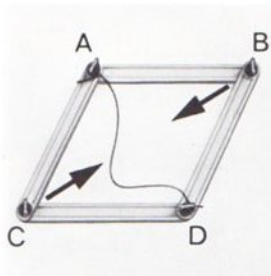


Abb. 151 Anstelle einer Strebe ist hier eine Schnur eingesetzt; diese stabilisiert zwar bei Druck in Richtung der Pfeile, B-C („Zugstrebe“), nicht aber in der Diagonalen von A nach D. Schnüre – in der Technik Seile – sind grundsätzlich nur zugbelastbar.



Abb. 154 Zwei Dreiecke an ein Viereck angesetzt, scheint für manchen Betrachter eine starre Konstruktion zu ergeben. Dem ist aber nicht so!



Abb. 155 beweist, daß eine „Parallelverschiebung“ innerhalb des Vierecks möglich ist, weil der „Obergurt“ nicht starr, sondern gelenkig ausgebildet ist.



Abb. 156 Erst wenn der Obergurt in sich starr ausgebildet ist, kann das Fachwerk als starr bezeichnet werden.

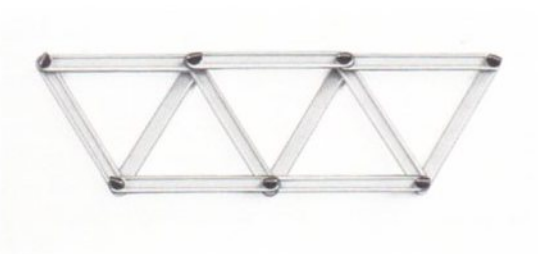


Abb. 157 Fünf wechselseitig zusammengefügte Dreiecke ergeben ein starres größeres Fachwerk.

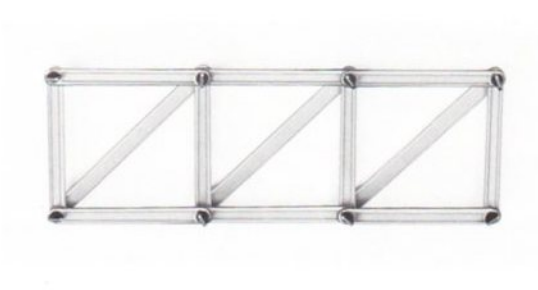


Abb. 158 Eine weitere Kombination: Drei Vierecke, jeweils in zwei Dreiecke – und damit starr – aufgeteilt, ergeben insgesamt ein starres Fachwerk.

Alle bisher gezeigten Beispiele zählen zu den Gelenkfachwerken. Diese wurden früher sehr viel eingesetzt. Im heutigen Brückenbau finden fast ausschließlich Fachwerke mit **biegesteifen** Knoten Verwendung. Die Stäbe werden hier an Knotenbleche geschraubt, genietet oder geschweißt. Wir übernehmen 3 Zeichnungen solcher Knotenverbindungen aus dem Kapitel Fachwerkarten des erwähnten fischertechnik-hobby-Buchs hobby 1 Band 5, S. 20.

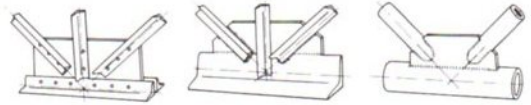


Abb. 159 Drei Beispiele für heute übliche Ausführungsarten biegesteifer Knotenverbindungen.

Wichtig für die Gestaltung der Knotenverbindungen ist das Schneiden der Stabachsen in einem Punkt.

Diesem wichtigen Prinzip wird bisweilen im Technikunterricht nicht die gebührende Beachtung geschenkt, und es entstehen bei Brückenkonstruktionen „falsche“ Lösungen. Wir zeigen in den Abb. 160–163 zunächst vier Ausschnitte aus verschiedenen Fachwerkarten, die höchstens für vertikale Gittermastkonstruktionen geeignet sind – nicht jedoch bei horizontal verlaufenden Fachwerkträgern zum Einsatz kommen dürfen.

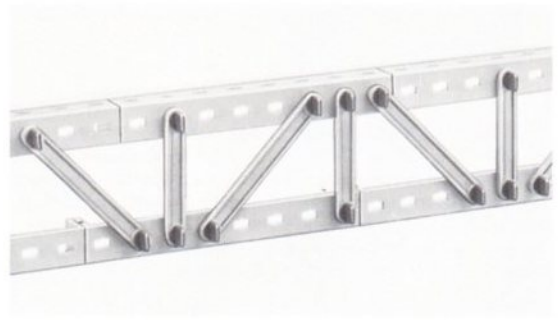


Abb. 160 Als senkrechte „Pfeiler“ sind hier I-Streben 45, als „Diagonalen“ (auch „Schrägen“ genannt) sind X-Streben 63,6 verwendet; diese sind in wechselnder Richtung angebracht.

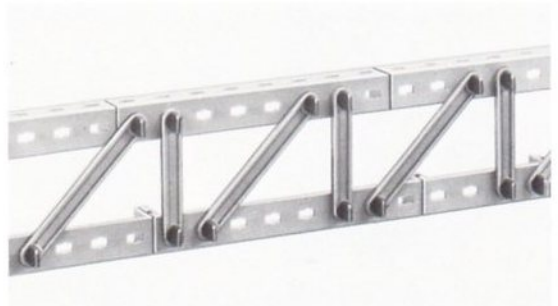


Abb. 161 Verwendung der gleichen Streben wie bei Abb. 160, jedoch in paralleler Anordnung der Diagonalen.



Abb. 162 Überkreuzte Diagonalen.



Abb. 165 Ebenfalls richtige Lösung bei der Ausfachung nach Abb. 161. (Einsatz von S-Riegeln 6.)

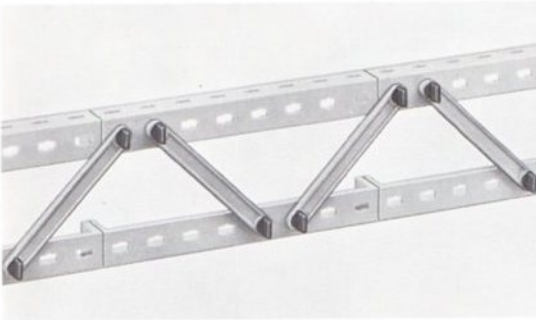


Abb. 163 Wechselseitig angeordnete Diagonalen.

Die in den Abb. 160–163 begangenen Fehler liegen im „Nebeneinander“ der Befestigung von Streben und Pfosten, bzw. der Streben allein. Richtige Lösungen wären entweder im „Bündeln“ der Streben in einem Angriffspunkt unter Verwendung von S-Riegeln 8 oder der Einsatz von Knotenplatten.

Diese beiden „richtigen“ Lösungen haben jedoch einen anderen Fehler: Die langen S-Riegel 8 und auch 6 – in der Technik wären es lange Bolzen, Nieten und dgl. – werden sehr stark auf Abscheren belastet (Scherbelastung). Deshalb ist der Einsatz von Knotenblechen weitaus günstiger. Wir zeigen eine Lösung in Abb. 166.



Abb. 166 Die über die Gurte hinausragenden Doppelknotenplatten ermöglichen eine sachlich korrekte Befestigung der Streben: Der Schnittpunkt der Stabachsen liegt im mittleren Riegelloch der Knotenplatten im Zentrum der Gurte.



Abb. 164 Richtige Lösung im Sinne der guten Gestaltung einer Knotenverbindung, bei der sich die Stabachsen im Befestigungspunkt schneiden. (Einsatz von S-Riegeln 8.)

Hauptgrund für das Einleiten der Streben (Schnittpunkt der Stabachsen) in **einem** Angriffspunkt der Kräfte ist die ideale Form des Fachwerks: nur Normalkräfte (Zug- und Druckkräfte) weiterzuleiten. Setzt man die Angriffspunkte wie in den Abb. 160–163 nebeneinander und damit auseinander, so entstehen in den Gurten Momente, die zu Scher-, Biege- und damit zu Knickbeanspruchungen führen.

Bei vertikalen Fachwerkausbildungen (Türme, Masten, Kräne) ist es jedoch üblich, die Stäbe – und damit die Kräfte – nebeneinander einzuleiten, also ohne Verwendung von Knotenblechen.

1.22.2 Modellbeispiele

Im Wissen um diese Zusammenhänge können jedoch auch Brückenmodelle von Schülern gebaut werden, bei denen die Ausfachung ohne den Einsatz von Knotenplatten oder durch Zusammenführen der Streben in einem Angriffspunkt vorgenommen wird. Wir zeigen neben den Beispielen im didaktischen Teil hier noch einige Modelle, die verschiedene „Fehler“ haben. Wir sind der Meinung, daß diese „produktiven Fehlleistungen“ mehr Einsichten in die Sache erbringen.

In Abb. 167 ist eine **Balkenbrücke** mit gekrümmtem Obergurt gezeigt. Der gekrümmte Obergurt läßt durch seine Bogenform zwar vermuten, daß es sich hier um eine Bogenbrücke handelt. Da hier aber eine Fachwerkausbildung mit (wenn auch steil gestellten) Schrägen vorliegt, handelt es sich um das Tragsystem eines Balkenträgers. Bei der echten Bogenbrücke sind die Hänger senkrecht entweder gelenkig oder biegesteif an Stützbogen und Versteifungsträger (Fahrbahn-tafel) angebracht. Dies Modell entspricht, auch bei etwas anderer (und „falscher“) Ausführung dem ersten Beispiel bei 1.22 der Tafel IV.

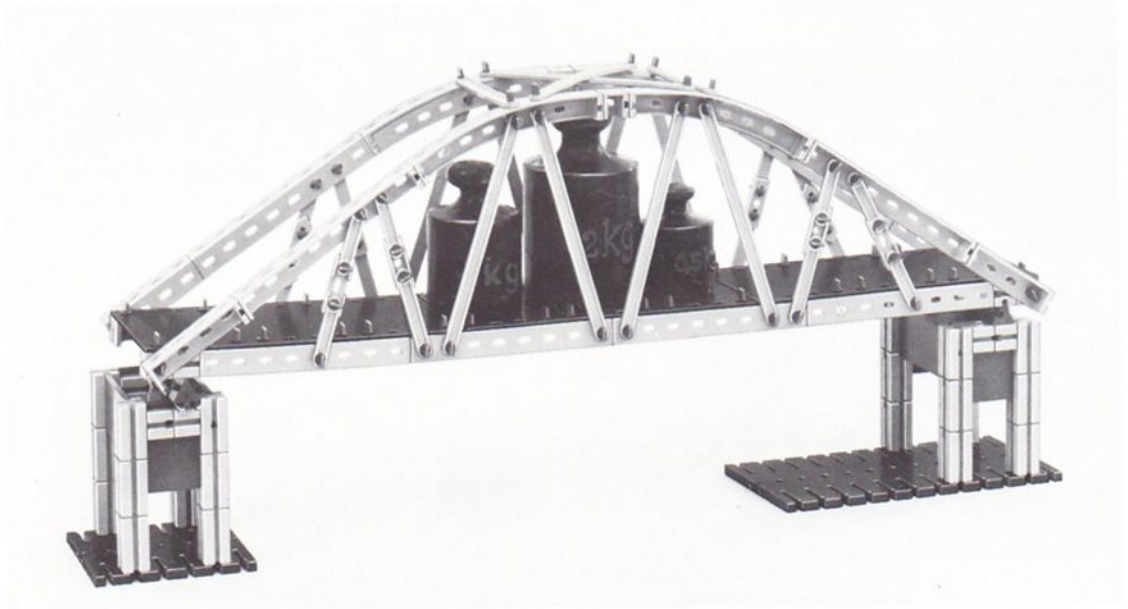


Abb. 167 Mit 8 kp belastete Fachwerk-Balkenbrücke mit gekrümmtem Obergurt (keine „echte“ Bogenbrücke“). Benötigtes Baumaterial: 1 u-t 1, 1 u-t S. Rechts das Festlager (Kippmöglichkeit: Spitze des Winkelsteins 60 Grad in Nut des Bausteins 15), links das Loslager (Winkelsteine 60 Grad lose auf 2 Achsen 110 rollend. Siehe auch Zeichnung Abb. 168. Die Anordnung der Streben („Schrägen“) ist, wie bereits mehrfach beschrieben, statisch nicht „richtig“ – doch für Schülerarbeiten akzeptabel.

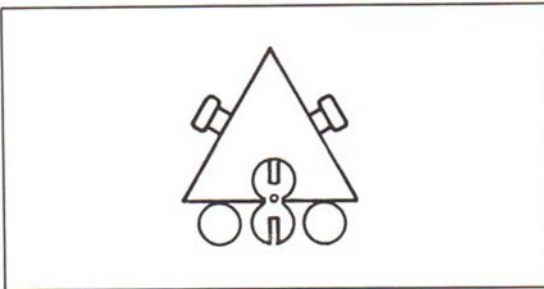


Abb. 168 Zeichnung des Loslagers mit Bauelementen des u-t 1. In den Winkelstein 60 Grad ist in die Nut ein Verbindungsstück 15 eingesetzt, damit eine bessere Führung gegeben ist und die Achsen nicht so leicht wegrollen.

Beim zweiten Beispiel einer Fachwerk-Balkenbrücke in Abb. 169 ist die Ausfachung falsch: sie muß symmetrisch aufgebaut sein. (Im mittleren Feld sollte eine 2. Diagonale eingesetzt [Überkreuzung] und in den beiden rechten Endfeldern die beiden Streben S in der gezeichneten Anordnung befestigt werden.)

Die nicht untereinander verbundenen Fachwerkscheiben weichen bei Belastung seitlich aus (Kippen). Ein oberer Verband (Windverband) verhindert dies, wie Abb. 170 zeigt.

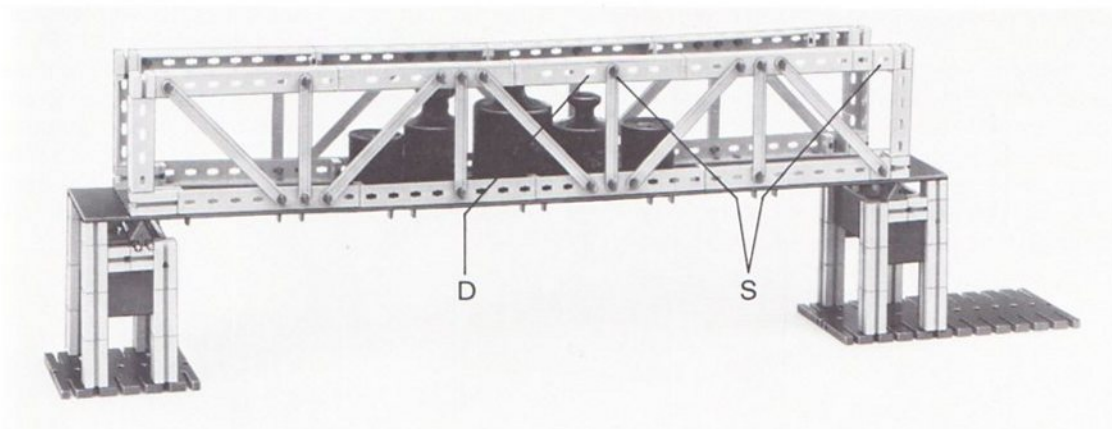


Abb. 169 Balkenbrücke mit 2 nicht untereinander verbundenen Fachwerkhauptträgern, hergestellt aus einem u-t 1 und einem u-t 5. Die Belastung bewirkt Druck (= Knickbeanspruchung) in den Obergurten, sie knicken seitlich aus.

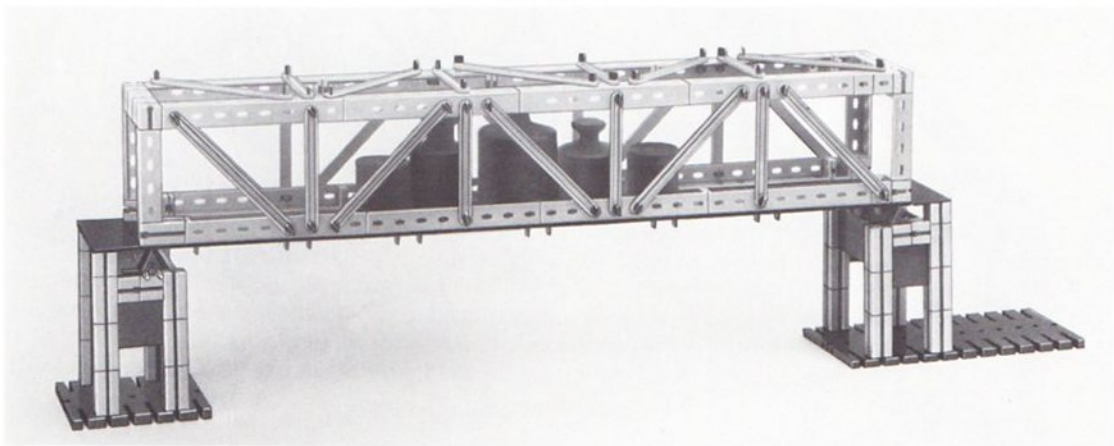


Abb. 170 Der obere Verband (Windverband) wirkt in der horizontalen Ebene dem Verwinden der beiden vertikalen Ebenen entgegen. Der Fachwerkbalken ist somit auch torsionssteif.

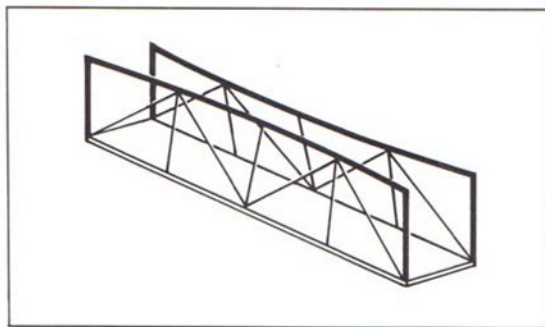


Abb. 171 Diese Zeichnung zeigt das Ausknicken noch deutlicher. Bei nicht flexiblem Material, wie Stahl, würde das Knicken an einer Stelle stattfinden, also zum Bruch führen.

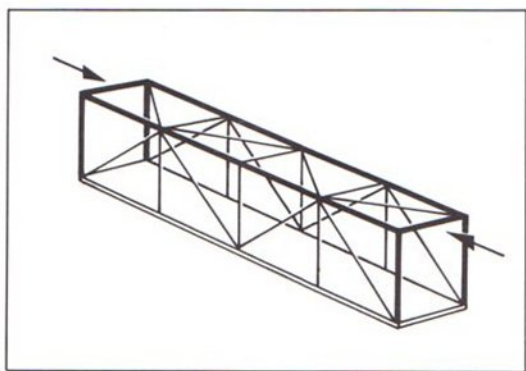


Abb. 172 Vertikale Belastung bewirkt in Richtung der Pfeile Druck im Obergurt. Durch den oberen Verband ist eine weitere (horizontale) Fachwerkscheibe wirksam, die ein Ausknicken verhindert und auch bei seitlich angreifenden Kräften (Wind) das Tragwerk stabilisiert.

Im dritten Beispiel (Abb. 173) treten einige Fehler offen zutage: Neben der bereits erwähnten „Aneinanderreihung“ der Streben sind die mit D bezeichneten Schrägen als absolut ungeeignet zu bezeichnen, weil sie sich bei Belastung durchbiegen: sie sind als flache Streben nicht in der Lage, einer Druckbeanspruchung standzuhalten; sie biegen sich durch (Knickbeanspruchung). Hier müßten also, wie in den Abb. 175

und 177 „richtige“ Bauteile, also Winkelträger verwendet werden, weil diese bei Druck in Stabrichtung nicht ausknicken. Zwar sollen wohl die beiden nebeneinander gesetzten Streben D andeuten, daß hier eine Versteifung nötig ist, doch vermögen sie es auch trotz der eingesetzten kleinen Streben S nicht, starkem Druck (= Knicken) standzuhalten; sie biegen sich nach außen durch.

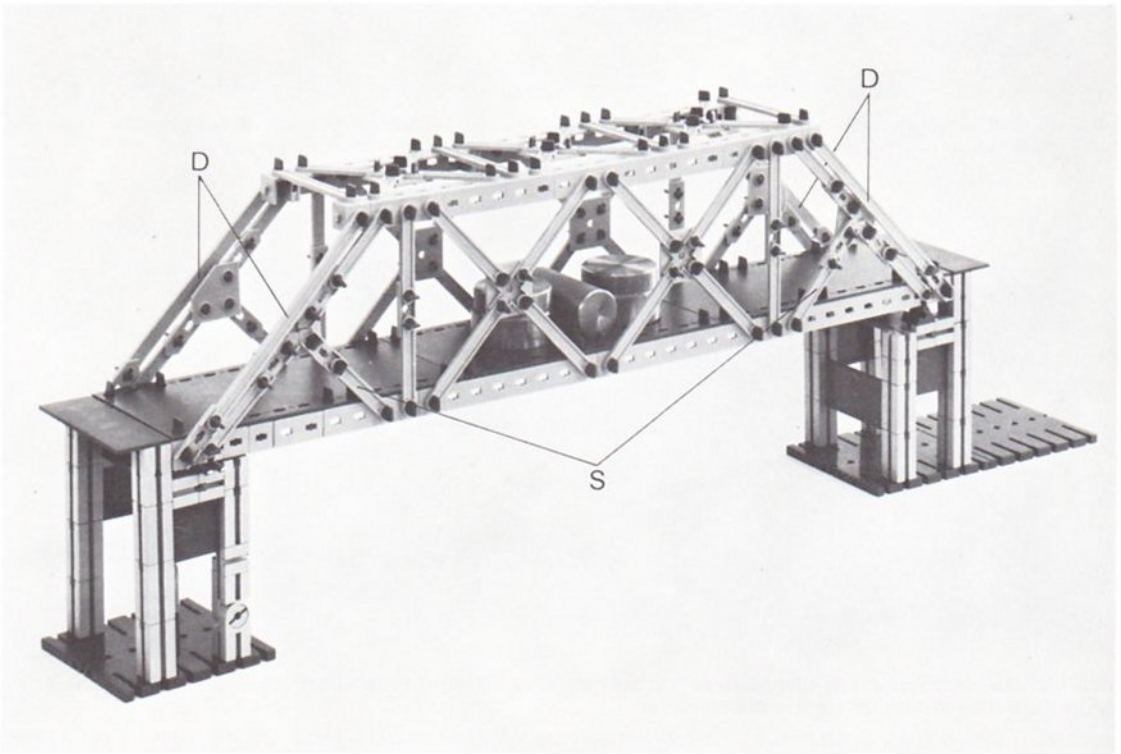


Abb. 173 Modell einer Fachwerk-Balkenbrücke, gebaut mit einem u-t 1 und einem u-t S. Neben anderen, bereits erwähnten Schwächen in der konstruktiven Gestaltung, sind in der Grundkonzeption der Ausfachung erhebliche Mängel festzustellen. (Siehe auch die Übersicht Formen von Fachwerken beim Brückenbau auf Seite 224.)

Ein Beispiel für eine „richtig“ erkannte Umkehrung der zuletzt behandelten Probleme zeigt die Abb. 174. Hier sind die äußeren Schrägen als zugbeanspruchte Teile des Untergurts durchaus zu recht mit Streben ausgebildet. Günstig (wenn auch in der Mitte etwas aufwendig) die auf Druck beanspruchten Pfosten (Senkrechten) in der gewählten Anordnung mittels Winkelträgern 120.

Der Hauptfehler liegt hier wohl in der Anordnung der außerhalb der äußeren Pfosten am Untergurt angebrachten doppelten Streben ST. Beim Belastungsversuch im Modell wird hier zwar kaum ein Moment zu erkennen sein. In der technischen Wirklichkeit wäre eine solche Konstruktion jedoch nur bei Verwendung von Knotenblechen denkbar.

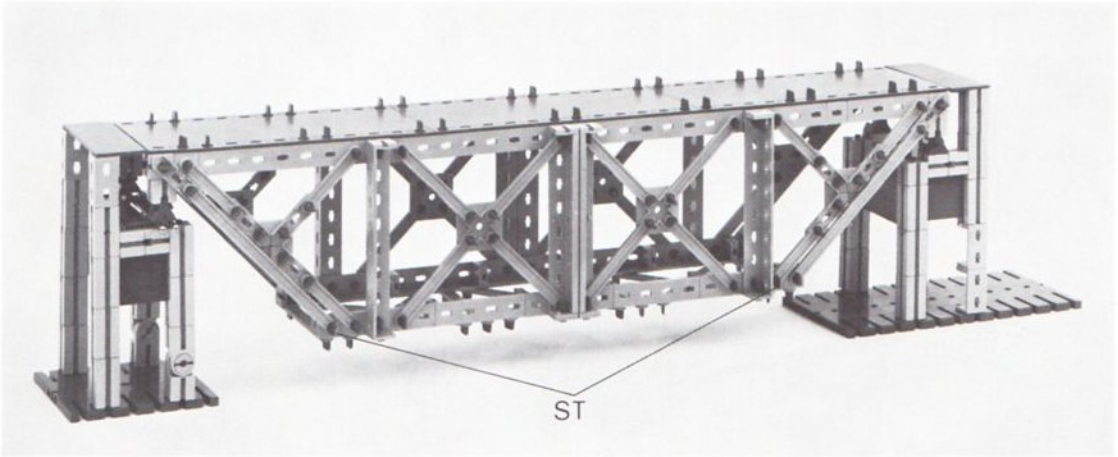


Abb. 174 Modell einer Fachwerkbrücke mit „umgekehrter“ Anordnung der Gurte. Hier sind alle eingesetzten Bauelemente im Sinne der Statik „richtig“ verwendet. Der auf Zug beanspruchte Untergurt muß nicht unbedingt in Winkelprofilen ausgebildet sein. Das Modell ist ebenfalls mit einem u-t 1 und einem u-t S zu bauen. Rechts wieder das Fest-, links das Loslager.

In Abb. 175 ist ein Modell dargestellt, das eine größere Spannweite, als bei den bisher mit drei Plattenlängen gebauten besitzt. Es entspricht im Großen und Ganzen der bevorzugten Fachwerkträgerform moderner Straßen- und Eisenbahnbrücken – allerdings ohne die obligatorischen Knotenbleche. Es ist bis auf die nicht in einem

Punkt sich schneidenden Stabachsen als gut gelungenes Modell aus einem u-t 1 und einem u-t S zu bezeichnen, das auch einer Belastung von 9 kp und mehr standhält.

Ein Vergleich mit der technischen Wirklichkeit bringt Abb. 176.

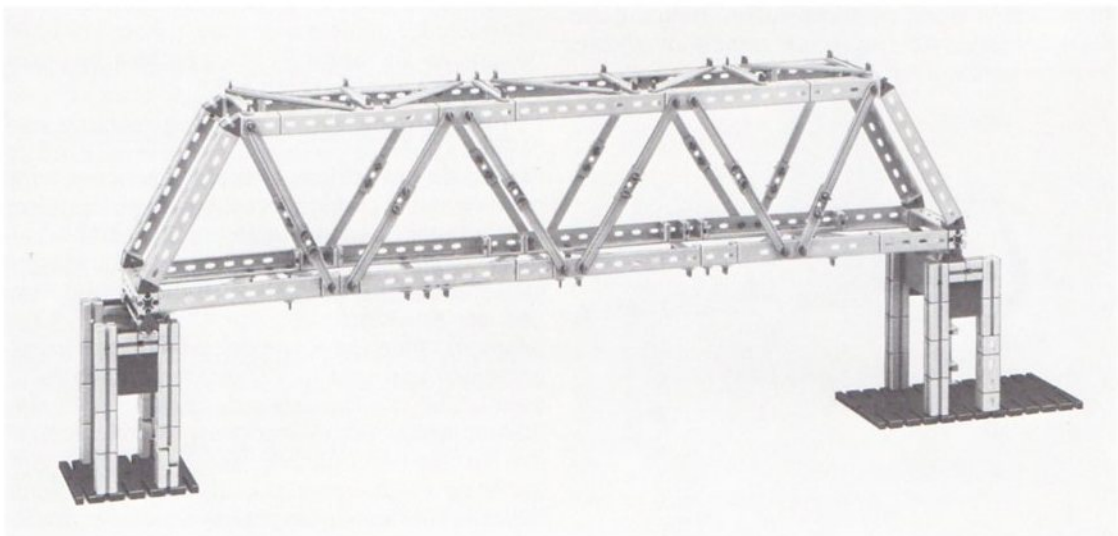


Abb. 175 Modell einer modernen Straßen- und Eisenbahnbrücke hergestellt aus einem u-t 1 und einem u-t S – größere Spannweite als bei den vorher gezeigten Beispielen.



Abb. 176 Straßenbrücke über den Rhein bei Neuwied. Statisches System eines Durchlaufträgers über drei Öffnungen mit 212–66–179 m Stützweite und 13,5 m Brückenbreite. Konstruktionsgewicht 41 441 t.

Zum Abschluß dieser Reihe von Brückenmodellen zeigen wir noch eine „fast richtige“ Lösung. Die Ausfachung unter Verwendung von Knotenplatten läßt einen Vergleich zu dem unter 2 gezeigten Beispiel der Übersicht von Fachwerkformen zu – wenn auch die äußere Neigung der Gurt-Schrägen (60 Grad) nicht ganz stimmig zum inneren Verband mit 45 Grad ist.

1.22.3 Stabquerschnitte beim Brückenbau

Welche Arten von Querschnitten der Gurte, Streben und Pfosten bei Fachwerkbrücken Verwendung finden, zeigt die in Abb. 178 übernommene Übersicht für genietete und die in Abb. 179 übernommene Darstellung für geschweißte Konstruktionen aus Merkblatt 426.

„3.3.1.2. Brückenbau, Gurte und Ausfachung

Für Gurte bevorzugte man den Hutquerschnitt nach Nr. 1 als Grundquerschnitt, der sich durch in allen drei Ebenen beigelegte Flachstähle verhältnismäßig leicht der Größe der Gurtkräfte anpassen ließ. Er entsprach auch den Anforderungen der Knickfestigkeit. Für einen nur auf Zug beanspruchten Untergurtstab wählte man im allgemeinen den geteilten Querschnitt nach Nr. 2, der hier mit Verstärkungen dargestellt ist. Für die Füllungsstäbe setzte man nach Möglichkeit IP ein. Wo sie nicht günstig waren, griff man zum genieteten I-Querschnitt nach Nr. 4. Für leichte Brücken führte man vergitterte oder verschnallte [-Querschnitte nach Nr. 5 aus. Den Querschnitt der Druckstrebe einer Großbrücke zeigt Nr. 6.“ (Merkblatt 426, Seite 10.)

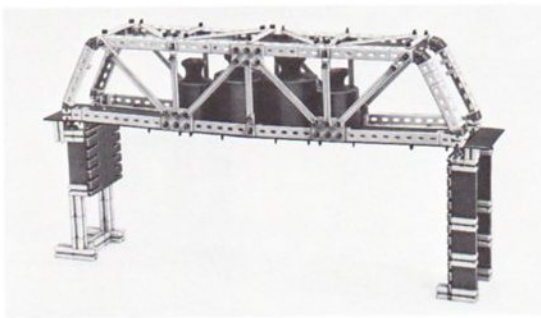


Abb. 177 Fachwerk-Balkenbrücke mit Knotenplatten-Ausbildung im Inneren des Fachwerkverbandes.

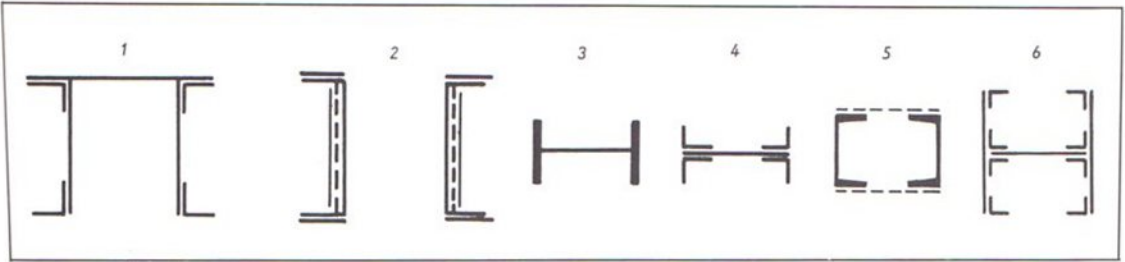


Abb. 178 Geneigte Gurte und Streben (Pfosten).

„3.3.2.2. Brückenbau, Gurte und Ausfachung

Für den geschweißten Fachwerkträger des Brückenbaues verwendet man kastenförmige aus je vier Flachstählen zusammengeschweißte Querschnitte: nach Nr. 1 als Obergurt, Nr. 2 als Untergurt. Die Querschnitte sind leicht abzustufen durch Wahl von Flachstählen verschiedener Dicke. Die Knotenbleche werden bündig in die senkrecht stehenden Wände geschweißt. Die

Deckbleche werden zweckmäßig geneigt angeordnet, um das Abfließen des Regenwassers zu erleichtern. Für die Ausfachung kommen ebenfalls Kastenprofile in Frage – besonders für Druckstäbe. Für Zugstäbe wählt man nach Möglichkeit IPE oder IPB nach Nr. 3, wegen geringerer Fertigungskosten.“³⁸⁾

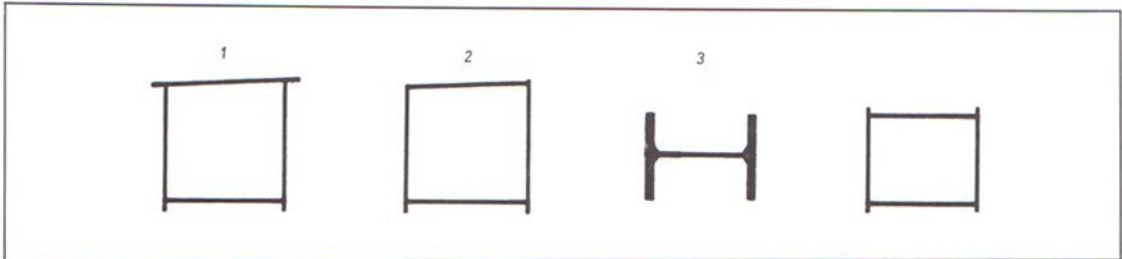


Abb. 179 Stabquerschnitte bei geschweißten Gurten und Streben.

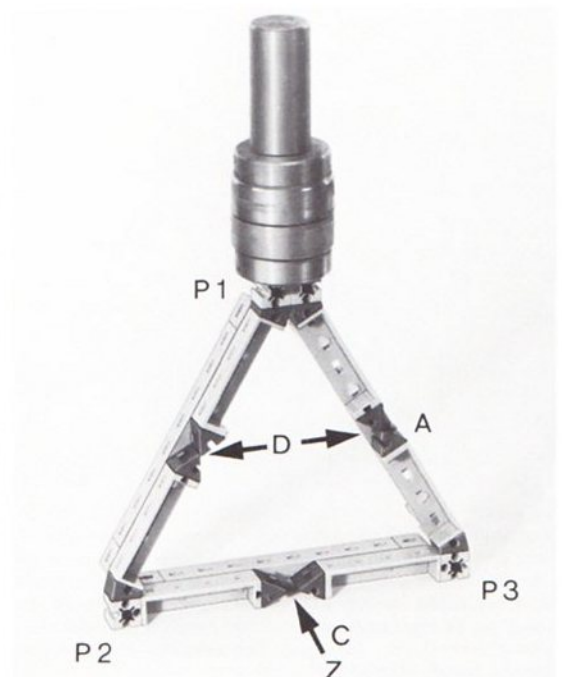
Zum Abschluß des Kapitels über die Fachwerkhauptträger stellen wir noch eine Bildreihe einer Fachwerkkonstruktion vor, die sehr gut geeignet ist, Einsichten in die „inneren Zusammenhänge“ von Fachwerken im Hinblick auf Zug- und Druckstäbe zu ermöglichen.

1.22.4 Demonstrationsmodell einer kleinen Fachwerkbrücke zum Sichtbarmachen der Kräfte.

Abb. 180 zeigt ein mit Bauelementen PUS u-t 1 und u-t S erstelltes Dreieck, das mit einigen Stahlrunden belastet ist. Diese Konstruktion ist imstande, die auftretenden Kräfte sichtbar zu machen: Bei Druck gehen die beiden „Kraftanzeiger“ (gleichseitige Winkelsteine 60 Grad) aufeinander zu (D), bei Zug streben sie auseinander (Z).

Abb. 180 Modell zur Sichtbarmachung der in den Stäben eines Fachwerks auftretenden Kräfte.

Durch den Einsatz der flexiblen Prüfriegel ist es möglich, Stäbe herzustellen, die „in sich“ nachgeben, also sich zusammendrücken oder auseinanderziehen lassen.



Um den Nachbau dieses Kräfteanzeigemodells und auch der kleinen Fachwerkbalkenbrücke der Abb. 182–184 zu erleichtern, zeigen wir in Abb. 181, wie die benötigten Bauteile erstellt werden sollten. Dort ist zu erkennen, daß an einem festen Stab (1) mittels Prüfriegel P zwei kleinere Stäbe (Winkelträger 60) befestigt werden (2). An den beiden äußeren Enden werden jeweils gleichschenklige Winkelsteine (30 Grad) so angebracht, daß ihre Außenflächen parallel verlaufen. Ein Vergleich

mit Abb. 181 verdeutlicht dies. An den beiden inneren Enden werden jeweils gleichseitige Winkelsteine eingebracht; sie dienen als „Meßpfeile“ für Druck oder Zug. Es ist darauf zu achten, daß bei 3 und 4 ein Wechsel in der Anordnung der äußeren gleichschenkligen Winkelsteine (30 Grad) vorgenommen werden muß und bei 5 zwei Bausteine 15 angebracht werden müssen.

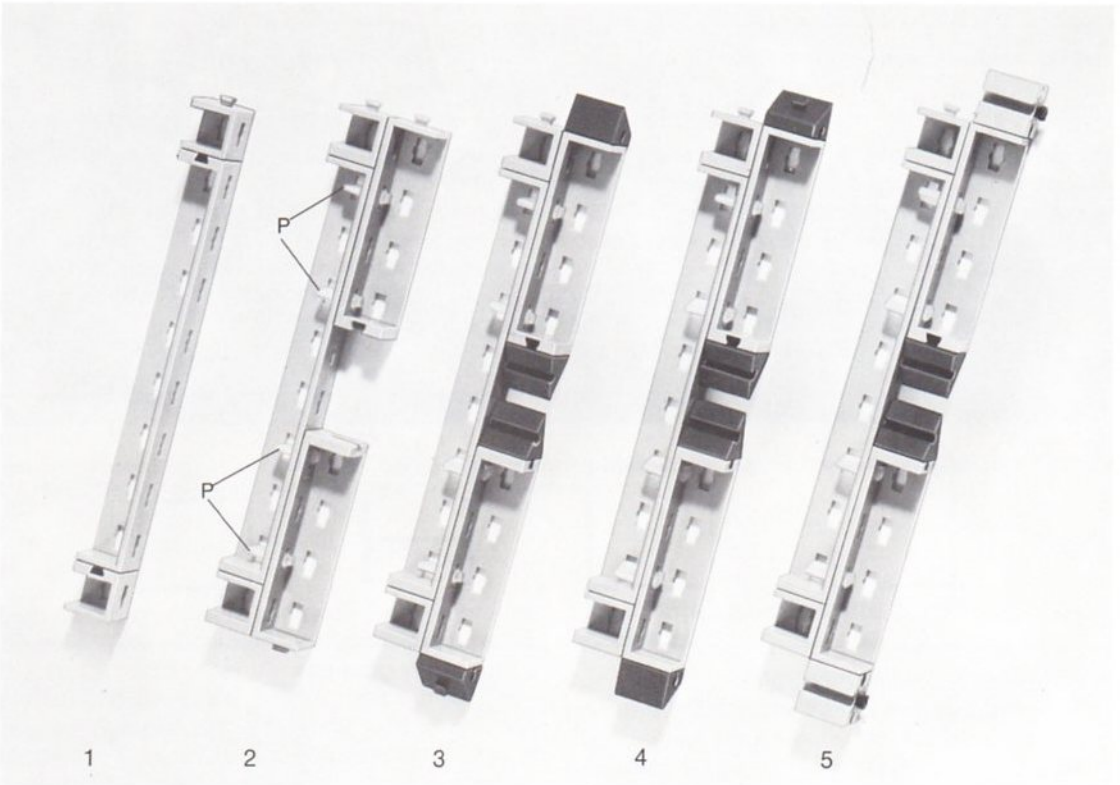


Abb. 181 Die für ein „Kräfte-Anzeige-Dreieck“ benötigten Bauteile (3, 4, 5) werden in der nach 1 und 2 gezeigten Weise mit Prüfriegen (P) zusammengebaut.

Eine aus vier solcher Dreiecke zusammengesetzte kleine Fachwerkbücke – nimmt man die Obergurte hinzu, sind es sechs solcher Dreiecke – zeigt Abb. 182.

Mit diesem Modell lassen sich die auftretenden Kräfte gut veranschaulichen, weil alle Stäbe des Fachwerks – einschließlich der Ober- und Untergurte – analog zu Abb. 181 ausgebildet sind. Wichtig für ein einwandfreies Funktionieren – und damit Sichtbarmachen der Kräfte – ist, daß diese nie auf den festen Teil eines Stabes übertragen werden, sondern immer in dem „überbrückten“, nachgebenden Teil ansetzen. M. a. W., der feste, stützende Stabteil muß immer innen sitzen.

In Abb. 183 ist der obere Verband (Windverband) entfernt worden. Starke Belastung durch Druck auf die eingeschobenen Achsen bewirkt, daß die auf Druck belasteten Obergurte (die „Meßpfeile“ streben aufeinander zu) seitlich ausknicken.

Ist der obere horizontale Verband wieder eingesetzt, so wird das Ausknicken unterbunden. In Abb. 183 ist die Beanspruchungsart der einzelnen Stäbe im Fachwerk gut zu erkennen.

Es wäre durchaus denkbar, daß ein größeres Modell dieser „Sonderbauart“ in arbeitsteiligem Verfahren hergestellt wird, weil dann im größeren Fachwerkverband bei außerordentlicher Belastung festgestellt werden kann, daß die im einen Falle auf Zug beanspruchte Strebe bei anderer Belastung als Druckstrebe wirkt.

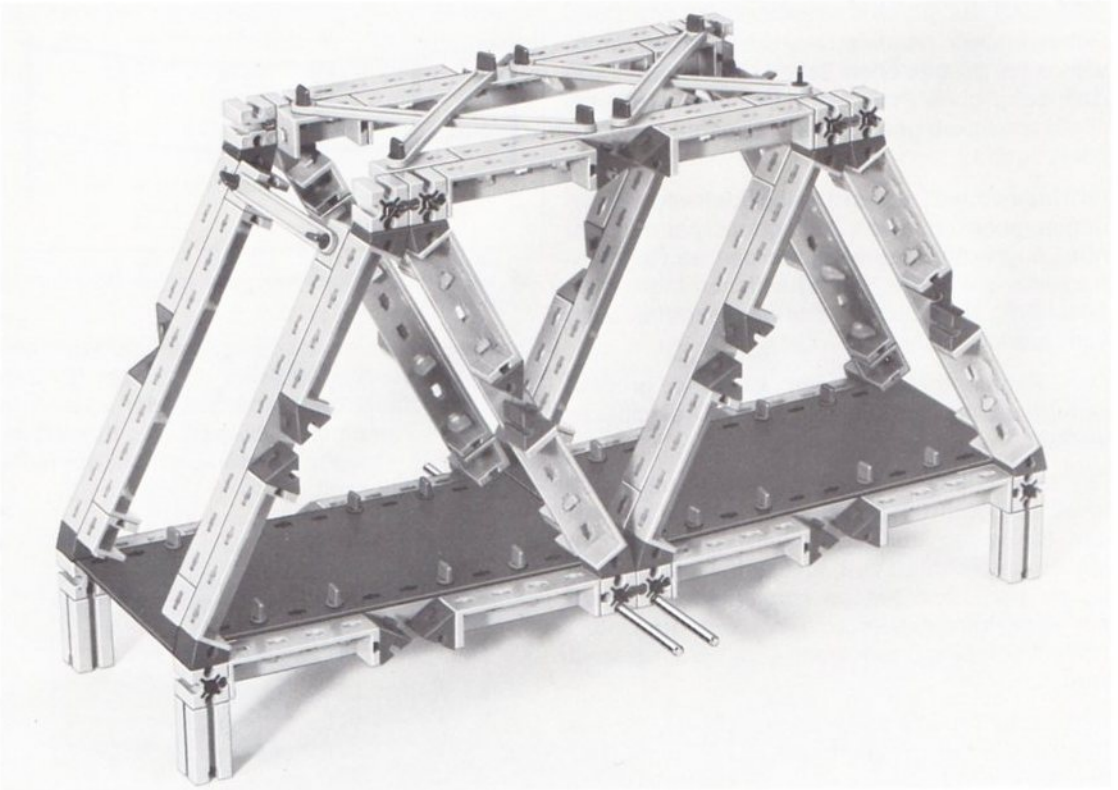


Abb. 182 Modell einer kleinen Fachwerkbrücke. Spezialkonstruktion zur Demonstration von Druck- und Zugbeanspruchungen im Fachwerkverband. Die in der Mitte unten eingeschobenen Achsen dienen zur Aufnahme der Last auf die Fahrbahn.

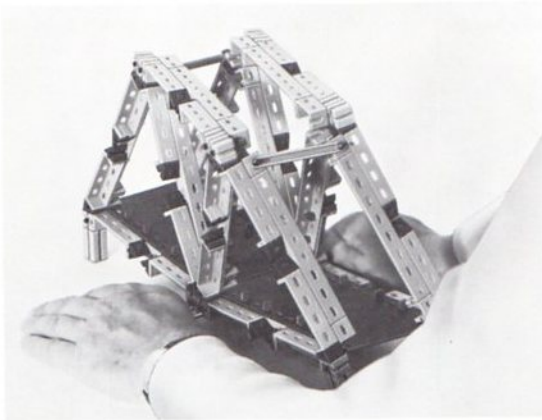


Abb. 183 Belastungsversuch am Demonstrationsmodell (ohne oberen horizontalen Fachwerkverband). Deutlich ist zu erkennen, wie die einzelnen „Meißpeile“ auseinander- bzw. zusammenstreben.

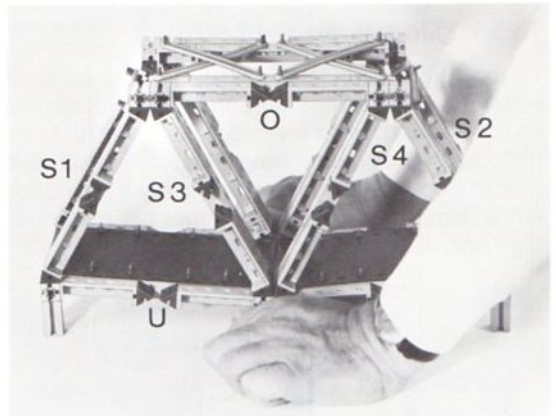


Abb. 184 Belastungsversuch mit eingesetztem oberem Fachwerkverband. Das hier wieder stabilisierte Modell zeigt anschaulich die Kräfte: **Druck** im Obergurt O und den äußeren Streben S 1 und S 2; **Zug** in den inneren Streben S 3 und S 4 sowie im Untergurt U (Fahrbahntafel).

1.23 Rahmenträger

Rahmenträger sind strebenlose Pfostentragwerke mit biegesteifen Ecken. Sie wurden von dem belgischen Professor Vierendeel (1852 bis 1940) entwickelt und nach ihm benannt („Vierendeelträger“).

Im Unterschied zu den Dreieckfachwerken, bei denen (abgesehen von Zwängungsspannungen) nur Längskräfte auftreten, werden im Rahmentragwerk alle Stäbe, von erheblichen Momenten beeinflusst, zusätzlich zu den Längskräften auch von Querkraften beansprucht.

Den Rahmenträgern eigen ist eine größere Durchbiegung als diejenige bei Dreieckfachwerken.

Die unter 1.23 gezeigten Beispiele stellen die meist ausgeführten Brückentragwerke dieser Art dar. Sie wären im technischen Werkunterricht mit fischertechnik-Lernbaukästen sachlich richtig zu erarbeiten, jedoch empfehlen wir hierzu nur einen kurzen Lehrgang, bei dem das Unterschiedliche zum Dreieckfachwerk herausgestellt wird.

Daß wir in Tafel IV nur je zwei Beispiele für die Balken- und die Bogenbrücken bringen – und kein Beispiel für die Verwendung eines Rahmenträgers als Versteifungsträger einer Hängebrücke – findet seine Begründung darin, daß wir den uns zur Verfügung stehenden Bildunterlagen nirgendwo ein solches Beispiel finden konnten. Wir nutzen deshalb den freien Platz für das Hängebrückenbeispiel mit Fachwerk-Versteifungsträger.

1.23.1 Modellbeispiele

In Abb. 185 ist eine falsche Lösung gezeigt: Auch wenn die äußere Erscheinung an einen Rahmenträger erinnert, das Wesen der Sache ist nicht erfüllt: Auch die senkrechten Pfosten müssen biegesteif angebracht werden, so ist die Verbindung ein Gelenk und der Träger nimmt bei Belastung die Form der Zeichnung in Abb. 186 an.

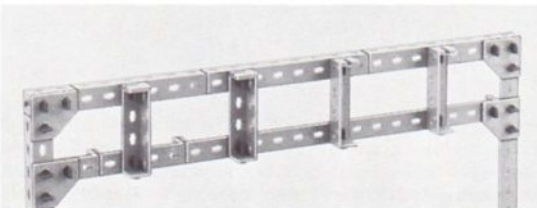


Abb. 185 Falsch verstandener Rahmenträger: die senkrechten Pfosten sind nur gelenkig und nicht biegesteif an den Gurten befestigt.

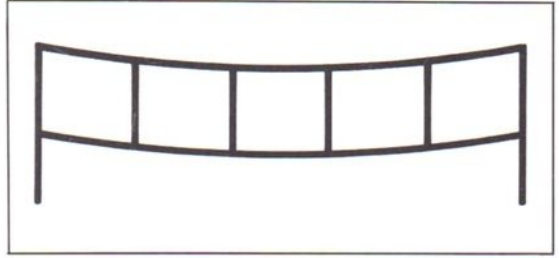


Abb. 186 Bei gelenkiger Verbindung ist keine Stabilität im Rahmenträger.

Eine weitaus bessere Lösung stellt der Rahmenträger aus Bausteinen des u-t 1 in Abb. 187 dar. Der formschlüssige Kraftschluß der Zapfen in den Nuten kommt einer biegesteifen Eckverbindung näher, entspricht natürlich nicht der technischen Wirklichkeit.

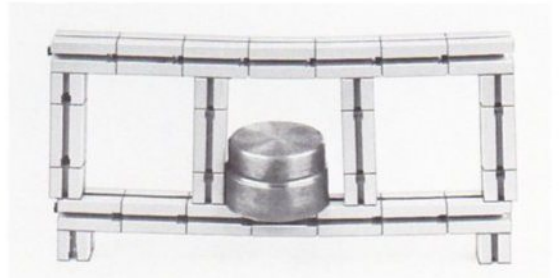


Abb. 187 Rahmenträger aus Bausteinen des u-t 1. Bei Belastung schieben die Pfosten nach außen weg (Querkräfte).

Die auftretenden Momente und die daraus resultierenden Querkräfte sind noch anschaulicher bei dem Rahmenträger der Abb. 188 zu erkennen: Die Pfosten verbiegen sich hier leicht S-förmig.

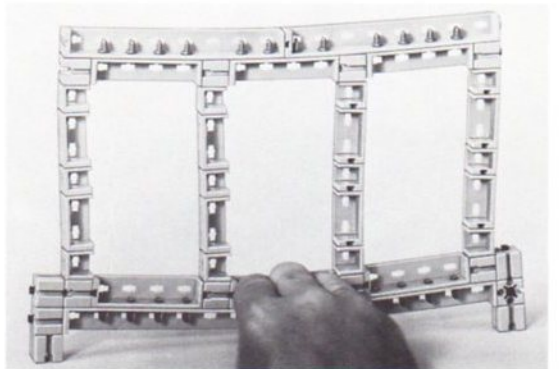


Abb. 188 Belasteter Rahmenträger aus Bauteilen eines u-t 1 und eines u-t S. S-förmige Verspannungen in den Pfosten sind die Folge – ein weiteres Beispiel für die Vorteile instabiler Bauelemente, die die Folgeerscheinungen der einwirkenden Kräfte viel besser dokumentieren können, als dies bei stabilen Metallbaukästen der Fall ist.

Für die ganz genaue Darstellung der Momente und der damit verbundenen Deformationen durch eine „Kombination“ aus Längs- und Querkraften in einem Rahmenträger zeigen wir als Abschluß zu diesen sachanalytischen Ausführungen ein etwas aufwendigeres Modell, das aus 5 Lernbaukästen u-t S und 2 u-t 1 gebaut ist.

Durch die besondere Anordnung und Auswahl der Bauelemente ist es gelungen, die auftretenden Kräfte noch besser sichtbar zu machen als dies schon bei dem Modell der Abb. 188 der Fall war.

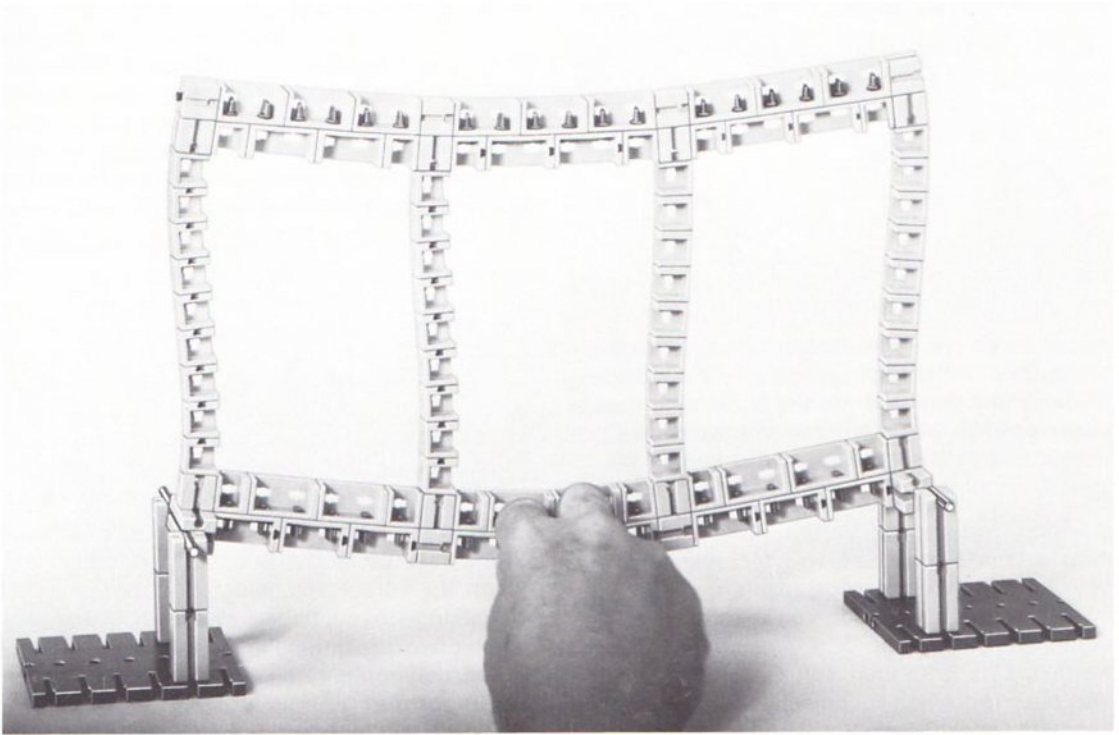


Abb. 189 Funktionsmodell zur Demonstration der Kräfte in einem Rahmenträger. Die mittige Belastung bewirkt unterschiedliche Deformation der einzelnen Bauteile.

2. Brücken – Didaktischer Teil

2.0 Einführung in die didaktische Konzeption

Grundprinzipien für eine Erziehung zum technischen Denken

Technische Gebilde unserer Umwelt sind Manifestationen menschlichen Geistes. Ist die Daseinserleichterung ein Hauptmotiv für die technische Entwicklung, dann sind technische Erfindungen konkrete und anschauliche Methoden, um grundlegende Bedürfnisse zu befriedigen. Auf keinem anderen Gebiet – mit Ausnahme der Medizin – wird dabei die Nützlichkeit oder Untauglichkeit der Methoden wohl so direkt und unmittelbar erfahren wie hier.

Außer durch Neuschöpfungen zeichnet sich die technische Entwicklung durch Verfeinerung (Differenzierung) und Modifikation technischer Lösungen sowie durch immer wieder neue Kombination von Methoden aus.

Die Produktion von neuen, realisierbaren Ideen, die Modifikation und Verfeinerung von Methoden, setzen Kenntnisse von technischen bzw. physikalischen Gesetzmäßigkeiten voraus, die ihrerseits durch Analysen von technischen Phänomenen gewonnen und einsichtig gemacht werden. Das Erkennen von Gesetzmäßigkeiten und die Produktion technischer Gebilde stehen in einem dialektischen Verhältnis zueinander, sie bedingen ihre gegenseitige Entwicklung.

Eine Didaktik, die sich an der Technik orientiert, wird dieses wechselseitige Verhältnis von produktivem Gestalten und dem Erkennen technischer Gesetzmäßigkeiten zum Prinzip erheben und dem Schüler die Möglichkeit einräumen, selbst zu gestalten und die physikalischen und technischen Sachverhalte seiner eigenen Konstruktionen sowie der aus der technischen Wirklichkeit zu erfassen und zu begreifen.

Die Technik bietet oft für ein und dasselbe Problem mehrere Lösungsmöglichkeiten an und dokumentiert damit die unterschiedlichen Denkrichtungen und Vorstellungen, die Vielfalt individueller Lösungen, die sich durch Originalität, Einfallsreichtum und Genialität voneinander unterscheiden. Es wäre interessant, die wirtschaftliche Konkurrenz einmal unter diesem Aspekt zu betrachten. Neben diesen interindividuellen Unterschieden hinsichtlich der Lösungs-

angebote für ein und dasselbe Problem, gibt es auch intraindividuelle Variationen. Erfahrungen mit der eigenen Lösung, Unzufriedenheit, plötzliche Einsicht führen ebenfalls zu Alternativen und lassen uns immer wieder neu ansetzen.

Die Vielfalt bisheriger Lösungen und die Wahrscheinlichkeit zukünftiger Erfindungen und technischer Alternativen zeugt von der Kreativität menschlichen Geistes, von dem Schöpferischen im Menschen. Die Förderung kreativer Fähigkeiten und Verhaltensweisen ist eine unserer Hauptaufgaben. Kreatives Verhalten ist nur möglich aus dem Bewußtsein, daß es mehrere Lösungen geben kann, geben muß, daß mit einer angebotenen oder selbstgefundenen Lösung noch nicht unbedingt das non plus ultra erreicht ist.

Wenn wir hier die Erziehung und Ausbildung kreativer Fähigkeiten fordern, dann meinen wir damit in erster Linie das, was Guilford mit „divergent thinking“ (divergentem Denken) beschrieben hat. Er meint damit ein Denken, das in verschiedenen Richtungen fortschreitend Lösungen sucht und produziert.³⁹⁾ Diese Art des Denkens scheint uns dem menschlichen Problemlösungsverhalten und der Mannigfaltigkeit individueller Denkstile angemessen. Das heißt jedoch nicht, daß jeder Schüler möglichst viele Lösungen selbst finden soll, sondern daß er frei ist von im Voraus festgelegten Lösungen, daß er die Möglichkeit haben muß, auf unkonventionelle Weise originelle Lösungen zu entdecken, daß er mehrere Lösungen kennenlernen soll, um so für die Mannigfaltigkeit, die Alternativen in der technischen Welt und damit für das technische Denken offen zu werden.

Konstruieren unter Berücksichtigung physikalischer Gesetzmäßigkeiten, Analysieren von technischen Gebilden (insbesondere im Hinblick auf Fehlerquellen), Entwicklung und Diskussion von alternativen Lösungen sind die Hauptmerkmale technischen Denkens. Eine Didaktik der technischen Bildung wird entsprechend von diesen Aufgaben und Denkprozessen her bestimmt.

Strukturmodell kreativitätsorientierter Lernzielsequenzen

Im Werkunterricht geht es uns vor allem um die Förderung kreativer Fähigkeiten und Verhaltensweisen. Dies ist ein Hauptanliegen. Mögen die im didaktischen Teil enthaltenen Arbeitsaufträge, Hinweise zur Unterrichtsorganisation Grob- und Feinzielformulierungen beim ersten Lesen den Eindruck von Algorithmen, d. h. von Verfahrensvorschriften für den Unterrichtsverlauf er-

wecken. Man darf sie keinesfalls als Programmierung des Lehr- und Lernverhaltens verstehen. Damit ist unserem oben aufgestellten Postulat auch keineswegs widersprochen. Aber – und dies sei hier ausdrücklich betont – Erziehung zur Kreativität bedeutet nicht didaktische Willkür, bedeutet nicht Verzicht auf jegliche Unterrichtsplannung – im Gegenteil – gerade diese pädagogische Aufgabe erfordert ein hohes Maß an Vorüberlegungen und Planungen. Kreative Prozesse sind von äußeren Bedingungen und Determinanten abhängig, die machbar und planbar sind. Auch kreatives Verhalten kann geplant werden, nur muß dies anders geschehen als sonst. Der Akzent liegt hier nicht auf der Planung der Lernschritte, der Bereitstellung von Lösungswegen, die für die Schüler **Verbindlichkeit** beanspruchen, sondern er liegt in der Schaffung von Anfangssituationen (Problemstellungen, Fragestellungen), die produktives Verhalten ermöglichen. Die Lösung von Problemen muß dabei auf **verschiedenen** Wegen möglich sein. Erziehung zur Kreativität heißt ins Didaktische übersetzt, Formulierung von Aufgabenstellungen, die mehrere Lösungen implizieren. Die Mannigfaltigkeit konkreter Lösungsangebote hängt ab von der Individualität der Schüler, d. h. von ihrem jeweiligen Vorwissen, ihrer spezifischen intellektuellen Ausstattung, insbesondere von ihrer Flexibilität und Originalität.

Der kreative Lernprozeß bedingt individuell verschiedene Lernzielsequenzen. Neben allgemein verbindlichen Lernzielen auf höherer Ebene werden im kreativitätsorientierten Unterricht die Feinlernzielfolgen von Schüler zu Schüler variieren. Die Individualisierung des Unterrichts bezieht sich demnach nur auf die Feinzielebene, die Richtziele und Grobziele bleiben davon ausgenommen. Hinsichtlich des Unterrichtsverlaufs ist somit folgendes Strukturmodell der Lernziele denkbar:

Richtziele sind nach Christine Möller „Lernziele auf Abstraktionsniveau III mit geringem Grad an Eindeutigkeit und Präzision, mit umfassenden, unspezifischen Begriffen formuliert, durch das die Richtung deutlich wird, in der Lernen erfolgen soll, ohne daß damit bereits konkrete Verhaltensweisen und Inhalte angegeben werden.“⁴⁰⁾ Darüber hinaus aber sollten aus den Richtzielen die Gründe und Kriterien deduzierbar sein, die für die Aufnahme eines Themas in den Lehrplan ausschlaggebend waren. Das oberste Richtziel für das Technische Werken könnte heißen:

Die Schüler sollen sich in der technischen Wirklichkeit zurechtfinden.

Von einem solchen Richtziel her ist gleichsam alles legitimiert, was im Werkunterricht an Inhalten, Verhaltensweisen und Methoden vermittelt wird.

Grobziele sind „Lernziele von Abstraktionsniveau II mit mittlerem Grad an Eindeutigkeit und Präzision, die nur einige Alternativen ausschließen, eine vage Endverhaltensbeschreibung ohne Angaben des Beurteilungsmaßstabes zeigen und bei denen bereits ein Inhalt angegeben wird, an dem sich das im Richtziel vage ausgedrückte Lernen vollziehen soll“⁴¹⁾. Die Grobziele sind unter die Richtziele subsumierbar. Mit ihnen werden schon erste didaktische Realisierungsmöglichkeiten aufgezeigt. Ein Grobziel, das sich ohne Schwierigkeiten dem vorhin erwähnten Richtziel unterordnen ließe, könnte z. B. lauten: Schüler sollen die Stabilisierungsmöglichkeiten von Brückenfahrbahnen kennenlernen. Mit den Begriffen „Stabilisierungsmaßnahmen an Brückenfahrbahnen“ und „Kennenlernen“ liegen im Vergleich zum Richtziel hier schon hinsichtlich des Inhalts und des Verhaltens präzisere Angaben vor. Weitere Grobziele zu dem oben angeführten Richtziel könnten lauten: Konstruktion von Lenksystemen, Formulierung von statischen Gesetzmäßigkeiten an Masten usw.

Feinziele sind nach Christine Möller „Lernziele von Abstraktionsniveau I, mit höchstem Grad an Eindeutigkeit und Präzision, die alle Alternativen ausschließen und die die drei Merkmale Endverhaltensbeschreibung, nähere Bestimmung des Endverhaltens und Angabe des Beurteilungsmaßstabes aufweisen“.⁴²⁾ Wenn wir die oben begonnene Deduktion auf die Feinzielebene fortsetzen, dann könnten wir als Lernziele auf dieser Ebene formulieren (s. S.100): Die Schüler sollen die statischen Gesetzmäßigkeiten bei Balkenbrücken (Feinzielgruppe A), bei Bogenbrücken (Feinzielgruppe B) und bei Hängebrücken (Feinzielgruppe C) kennenlernen.

Dem Kenner der Materie ist bekannt, daß die einzelnen Brückentypen (Balken-, Bogen- und Hängebrücken) nach den spezifischen Konstruktionen, Tragwerksystemen, Formen der Lastabtragung usw. noch weiter differenziert werden können (siehe auch Tafel III, S.30). Entsprechend den wichtigsten Untergruppen wurden deshalb hier nach der Einteilung auf Seite 99 Lernzielgruppen gebildet, die wiederum in Teillernziele bzw. Funktionsziele unterteilt werden können. So könnte beispielsweise das Lernziel A 3 lauten: Die Schüler sollen ein Hängewerk

konstruieren und dessen statische Funktion beschreiben können. Die Anfertigung einer Skizze über den Kräfteverlauf in den einzelnen Bauteilen könnte ein Teillernziel (z. B. A 3, 2) sein (s. S. 46).

Über die **Richtziele** im technischen Unterricht informieren uns die Lehrpläne der einzelnen Bundesländer. Eine vergleichende Betrachtung auf dieser Lernzielebene läßt einen weitgehenden Konsens in der BRD erkennen. So finden wir beispielsweise in dem Curriculum Technik, das das der Minister für Kultus, Unterricht und Volksbildung des Saarlandes herausgegeben hat, als Ziel der „technischen Geistesbildung“ den Menschen „der denkend/nach-denkend für sich den Zugang zu den technischen Dingen und den technischen Vorgängen seiner Umwelt zu suchen fähig ist“⁴³). Oder im Lehrplan für Bayern: „Aufgabe des technischen Werkens ist die Auseinandersetzung mit technischen Gegenständen und Prozessen. Das werkende, informierende, handelnde und produzierende Kennenlernen dieser Gegenstände und Prozesse fördert das Denken in technischen Kategorien, bahnt ein kritisch werdendes Verhalten dieser Umwelt an und bildet den Willen zur Gestaltung“⁴⁴). Im Rahmenplan für TNU der Stadt Berlin wird „kognitive Erschließung der Umwelt und ihre technische Bewältigung“ sowie Sensibilisierung gegenüber Natur und Technik und eine „differenziertere Erlebnissfähigkeit“⁴⁵) gefordert.

Auch die Autoren dieses Buches sehen ihre Aufgabe in der Erziehung zum Verstehen technischer Phänomene und Gesetzmäßigkeiten und glauben, daß der Sinn ihres Unternehmens von diesem pädagogischen Axiom bestimmt werden kann. Technisches Verstehen und Denken, sowie das Erkennen technischer Zusammenhänge sind somit Postulate auf der Richtzielebene, die alle folgenden Maßnahmen und Entscheidungen zu bestimmen haben.

Mit den **Grobzielen** werden die Gegenstandsbereiche und Phänomene genannt, an denen sich technisches Denken und Lösungsverhalten vollziehen kann. Die ausgewählten Grobziele sind dem Aufgabenbereich Brücken entnommen, nicht nur, weil wir uns hier an den Lehrplänen orientieren, sondern weil diese technischen Gebilde aus dem Beobachtungsfeld der meisten Schüler stammen und an ihnen exemplarisch Einsicht in technische Probleme, Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten vermittelt werden kann.

Das im Richtziel geforderte technische Denken kann auf der **Feinzielebene**, in der konkreten

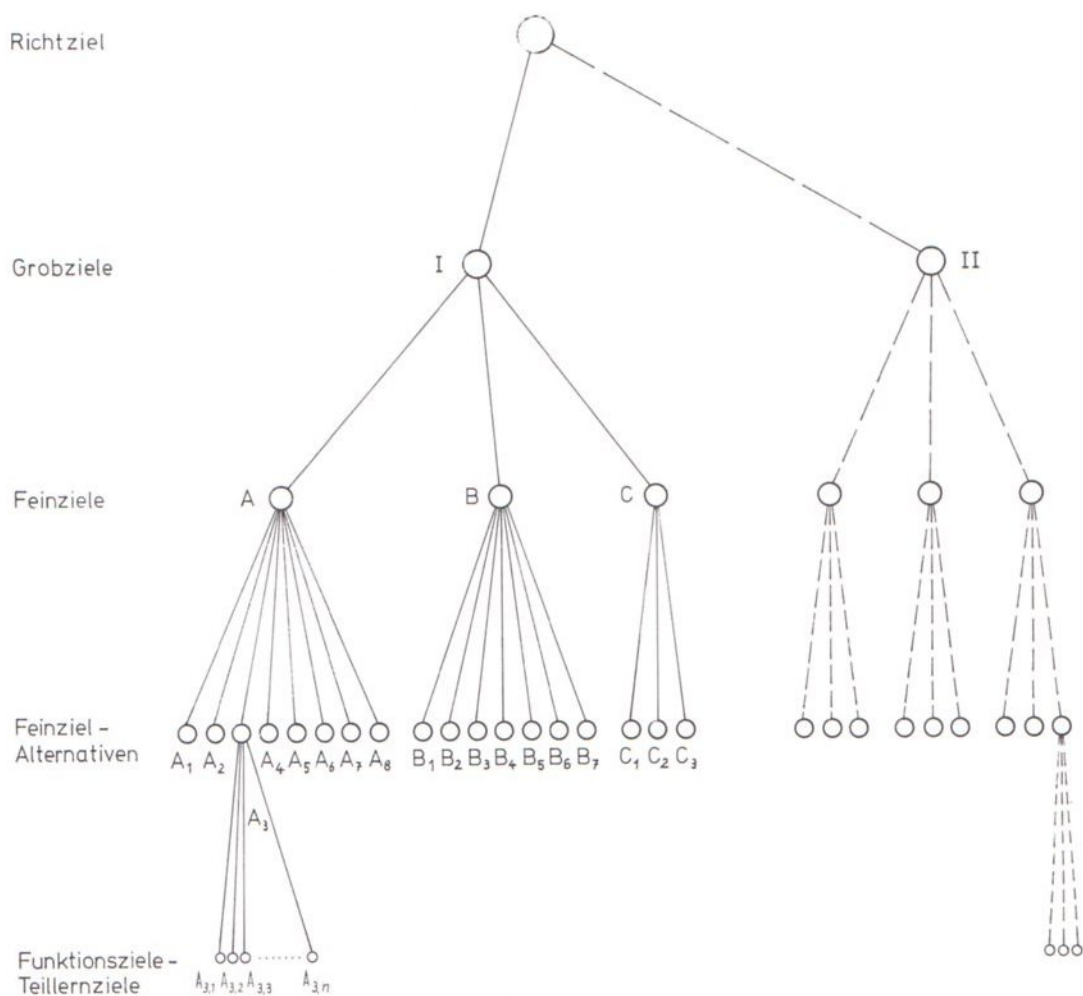
Unterrichtssituation, nur dort optimal erreicht werden, wo die Schüler von konkreten Problemstellungen ausgehend, selbst Lösungen finden. **Angemessene Lösungen sind dann die Feinziele.** In einem derartigen kreativitäts-orientierten Unterricht bestimmt innerhalb eines größeren Rahmens der Schüler selbst, was Feinziel wird. Mit **seinen** Lösungsvorschlägen peilt er die Lernziele an. Auf diese Art und Weise läßt sich die Erziehung zur Kreativität realisieren, ohne auf Lernziele zu verzichten.

Die Feinziele in der Übersichtstabelle (s. S. 99) sind als Alternativen gedacht. Sie zahlenmäßig endgültig festzulegen, ist nicht sinnvoll; dies würde voraussetzen, daß alle denkbaren und brauchbaren Schülerlösungen antizipiert werden müßten. Das gleiche gilt für die Reihenfolge der Teillernziele. Auch diese kann nicht festgelegt werden, weil gerade dadurch der von uns propagierte individuelle und kreative Lernprozeß durch zu starke Programmierung und Steuerung verhindert würde.

Es muß vielmehr damit gerechnet werden, daß die Schüler neue und originelle Lösungsbeiträge bieten, die in unserer Lernzielübersicht nicht aufgenommen sind. In solchen Fällen muß der Lehrer in der Lage sein, die Schülerlösung auf ihre sachliche Richtigkeit hin zu überprüfen und gemeinsam mit dem Schüler die Lernzielformulierung vorzunehmen (z. B. eine statische Begründung der vorgelegten technischen Konstruktion in der die Erkenntnis des Schülers ihren Ausdruck findet).

Um die Feinzielfindung in der beschriebenen Weise zu ermöglichen, ist es wichtig, daß am Anfang des Lernprozesses Problemstellungen formuliert werden, die durch ihren Komplexitätsgrad und durch ihre Struktur divergentes Denken ermöglichen.

Die prinzipielle Offenheit unserer didaktischen Konzeption bedeutet also nicht, daß wir auf die Formulierung von Lernzielen auf dieser Ebene verzichten. Lernziele werden im Anschluß von Problemstellungen als adäquate Lösungen immer denkbar sein. Sie sind hier als **Alternativen** für die Hand des Lehrers gedacht und sollen ihm, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, exemplarische Lösungen in die Hand geben und ihn dadurch in die Lage setzen, Schülerarbeiten entsprechend zu beurteilen. Die ausgefüllte Übersichtstafel ist nur ein Beispiel für den möglichen Ablauf eines kreativitätsorientierten Unterrichts.



Der didaktische Teil auf den Seiten 96 bis 151 ist nicht als systematischer Teil gedacht – dies widerspräche unserer Konzeption. Die Reihenfolge und die Auswahl der Lernziele bestimmen allein die Schüler durch ihr spezifisches Problemlöseverhalten. Es wäre durchaus denkbar, daß das letztgenannte Lernziel „Konstruktion

verschiedener Brückenlager“ zuerst erreicht wird. Erziehung zur Kreativität erfordert kreative Lehrer, d. h. Lehrer, die in einer konkreten Unterrichtssituation, von einer Schülerarbeit ausgehend in der Lage sind, die jeweils möglichen Lernziele zu antizipieren und dem einzelnen Schüler helfen zu können, sie zu erreichen.

Richtziel: Die Schüler sollen sich in der technischen Wirklichkeit zurechtfinden.

Grobziele: Stabilisierungsmaßnahmen von
Brückenfahrbahnen kennenlernen.

Konstruktion von Lenksystemen

Feinziele: Die Schüler sollen die statischen Gesetzmäßigkeiten bei
Balkenbrücken
(Feinzielgruppe A)

Hängebrücken
(Feinzielgruppe C)

Bogenbrücken
(Feinzielgruppe B)
kennen lernen.

Feinzielalternativen:

A 1
Einfache Balkenbrücken
Balken auf zwei Stützen:
BALKENTRÄGER

A 2
Zwischengestützte Balkenbrücken
Balken auf mehreren
Stützen ohne Gelenke:
DURCHLAUFTRÄGER

A 3
Balken auf mehreren
Stützen mit Gelenken:
GELENKTRÄGER
(GERBERTRÄGER)

A 4
Verstärkte Balkenbrücken
Durch geneigte Streben
unterstützter Balken:
SPRENGWERK

A 5
Überspannter Balken:
HÄNGEWERK

A 6
Unterspannter Balken:
HÄNGEWERK

A 7
Selverspannte Balkenbrücken
SCHRAGSEILBRÜCKE

A 8
Versteifte Balkenbrücken
LANGERBALKEN
(Auch als versteifter
Stabbogen statisch ein
Balken)

B 1
Bogenbrücken mit Horizontalschub
Beidseitig fest ein-
gespannter Bogen:
EINSPANNBOGEN

B 2
Beidseitig gelenkig
gelagerter Bogen:
ZWEIGELENK-
BOGEN

B 3
Beidseitig gelenkig
gelagerter Bogen mit
weiterem Gelenk
im Bogenseitel:
DREIGELENK-
BOGEN

B 4
Rahmenbrücken
Beidseitig eingespannter
Rahmen:
EINSPANNRAHMEN

B 5
Beidseitig gelenkig
gelagerter Rahmen:
ZWEIGELENK-
RAHMEN

B 6
**Bogenbrücken mit aufgehobenem
Horizontalschub**
An Fahrbahntafel oder
besonderem Zugband
befestigter Bogen:
BOGEN MIT ZUGBAND

B 7
Mehrere sich gegenseitig
abstützende Bogen:
BOGEN ÜBER
MEHRERE OFFNUNGEN

C 1
**Erdverankerte Hängebrücken
mit Horizontalschub**
In Fundamentblöcken verankerte Tragbänder
(Kabel, Ketten usw.):
ECHTE HÄNGEBRÜCKE

C 2
**Hängebrücken mit aufgehobenem
Horizontalschub**
An Versteifungsträger (außen) befestigte
Tragbänder:
IN SICH VERANKERTE HÄNGEBRÜCKE

C 3
An Versteifungsträger (außen und innerhalb der
Mittelloffnung) befestigte Tragbänder:
ZÜGELGURTBRÜCKE

Teilernziel:

z. B. zu A 5 (A 5, 3)
Die Schüler sollen
über den Kräfteverlauf
in den Bauteilen
eines Hängewerks eine
Skizze anfertigen.

Mögliche Hilfen für die Lernorganisation

Was können wir nun von unserer Seite dem Lehrer an didaktischen Hilfen anbieten, damit technisches Denken und die Vermittlung von technischem Wissen gefördert und möglich werden?

Denken setzt immer Problem- und Aufgabenstellung voraus. Aufgaben- und Problemstellung sind mithin die initiierten Maßnahmen von Lernprozessen. Die **Formulierung von Problemstellungen** ist somit eine wesentliche Aufgabe der Unterrichtsvorbereitung. Wir bieten deshalb, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, eine Reihe von Aufgabenstellungen aus dem Bereich der Brücken, Türme und Masten an, die mit den Lernbaukästen zu lösen sind.

Problemstellungen verlangen immer nach Lösungen. Nach unserer didaktischen Konzeption sollten in einem kreativitäts-orientierten Unterricht immer mehrere Lösungen möglich sein. Wir werden deshalb zu den einzelnen Problemstellungen denkbare Lösungen als **Alternativen** in einem Lernzielkatalog zusammenstellen.

Zur Veranschaulichung und Präzisierung von Problemen werden wir dort, wo es uns geboten erscheint oder wo eigene Unterrichtserfahrungen vorliegen, **Vorschläge zur Unterrichtsorganisation**, d. h. in erster Linie zum Arrangement der Anfangssituation machen.

Für die Fälle, wo die Problematik den Schülern nicht einsichtig wird, bzw. wo falsche Lösungen nicht als solche erkannt werden, können **Vermittlungshilfen** weiterführen.

2.1 Grobziel: Konstruktionsprinzipien von Brücken

2.11 Feinlernziel: Erkennen der zwei fundamentalen Konstruktionsprinzipien „Fahrbahn von unten stützen“ und „Fahrbahn nach oben aufhängen“.

Die Verkehrshindernisse, die durch den Bau von Brücken überwunden werden sollen, sind verschiedenster Art. Einmal brauchen wir Brücken über stark befahrene Flüsse. Außerdem Straßenbrücken, Autobahnbrücken sowie die Überbrückung von Schluchten und Tälern. Sie alle erfordern auf Grund der örtlichen und der verkehrstechnischen Bedingungen unterschiedliche statische Lösungen. Stark von der Schifffahrt frequentierte Flüsse oder Kanäle erlauben aus Sicherheitsgründen für die Schifffahrt keine

teuer werden. Welche Überlegungen müssen angestellt werden, welche Gesetzmäßigkeiten und Konstruktionsprinzipien angewendet werden, um für die unterschiedlichsten äußeren Bedingungen Lösungen zu finden?

Die Schüler sollen erkennen, daß es **verschiedene** Möglichkeiten gibt, eine Brückenfahrbahn zu stabilisieren.

Die Schüler sollen erkennen, daß die zur Stabilisierung der Fahrbahn erforderlichen Gegenkräfte durch zwei Konstruktionsprinzipien

1. Fahrbahn von unten **stützen**,
 2. Fahrbahn nach oben **aufhängen**,
- gewonnen werden können.

2.11.1 Feinlernziel: Für das Konstruktionsprinzip „Fahrbahn von unten stützen“ möglichst viele Lösungen finden.

Die Schüler sollen durch eigenes Bauen und Konstruieren mit den fischertechnik-Lernbaukästen u-t S und u-t 1 für das Konstruktionsprinzip „Fahrbahn von unten stützen“ möglichst viele Lösungen finden und im Modell statisch überprüfen.

2.11.2 Feinlernziel: Für das Konstruktionsprinzip „Fahrbahn nach oben aufhängen“, möglichst viele Lösungen finden.

Die Schüler sollen für das Konstruktionsprinzip „Fahrbahn nach oben aufhängen“ mehrere Lösungen suchen und diese in Modellen statisch überprüfen.

2.11.3 Feinlernziel: Ordnen von Brücken nach den beiden Konstruktionsprinzipien.

Die Schüler sollen ihre Brückenmodelle nach den beiden Konstruktionsprinzipien „Fahrbahn von unten stützen“ und „Fahrbahn nach oben aufhängen“ ordnen. Wo **beide** Prinzipien an einem Modell verwendet wurden, soll eine besondere Gruppe gebildet werden.

2.11.4 Hinweise zur Unterrichtsorganisation der Feinlernziele 2.11.1–2.11.3

Zugangsweise

In der Anfangssituation des Unterrichts wird den Schülern eine lose, auf Brückenpfeilern aufgelegte instabile Fahrbahn im Modell vorgestellt. (Siehe Abb. 190.)



Abb. 190

Mit dieser Vorgabe ist auch der Rahmen abgesteckt, innerhalb dessen das Bauvorhaben erfolgen kann. Geht man davon aus, daß jeder Schüler im Besitz der fischertechnik-Lernbaukästen u-t S und u-t 1 ist, dann kann innerhalb der in Abb. 190 angedeuteten Größenordnung durchaus sinnvoll gebaut werden, d.h. das vorhandene Material reicht aus, um den Schülern die wichtigsten Gesetzmäßigkeiten und Einsichten zu vermitteln. Darüber hinaus weist die durch das Eigengewicht bedingte starke Durchbiegung der Brückenfahrbahn auf das intendierte Problem direkt hin: Finden von Stabilisierungsmaßnahmen für die Brückenfahrbahn.

Um den Schülern die beiden Grundprinzipien aller denkbaren konstruktiven Lösungen deutlich zu machen, wird die Skizze der Abbildung 191 empfohlen.

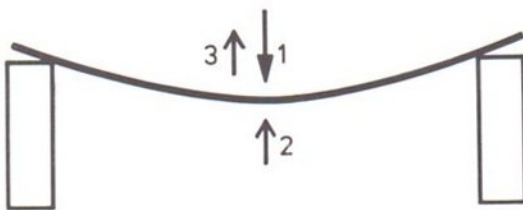


Abb. 191

Dort symbolisiert Pfeil 1 die Richtung der auf die Fahrbahn einwirkenden Kraft. Die Schüler sollen durch Pfeile die Richtung der zur Stabilisierung erforderlichen Gegenkraft („Gegenkräfte“) einzeichnen. Richtige Lösungen sind entweder Pfeil 2 oder Pfeil 3 (bzw. Kombinationen derselben, und – wenn man die Pfeile als Resultierende auffaßt – entsprechende Kräfteparallelogramme).

Der Lehrer kann eine Vermittlungshilfe anbieten, indem er entweder die durchhängende Fahrbahn mit der Hand von unten stützt (nach oben drücken/Druck) oder sie nach oben zieht.(Zug). Dies kann zu konstruktiven Lösungen anregen, ohne daß bestimmte Tragwerktypen vorgegeben werden.

Erster Arbeitsauftrag

„Über einen Schiffahrtskanal soll eine Brücke gebaut werden. Da der Kanal in seiner ganzen Breite für einen ungehinderten Schiffsverkehr zur Verfügung stehen muß, darf im Kanalbett kein Brückenpfeiler errichtet werden. Die Fahrbahn kann demnach nur auf den Pfeilern an den beiden Ufern aufliegen. Die Brücke soll so konstruiert sein, daß die lichte Höhe zwischen Wasser- und Unterseite der Brückenkonstruktion im Modell mindestens 9 cm beträgt.

Baut die Pfeiler und die Fahrbahn nach den Abb. 190, 192, 193, bzw. nach den Abbildungen in der Ergänzungsmappe B.

Wenn Ihr die Fahrbahn auf die Pfeiler auflegt, erhaltet Ihr eine Stützweite von etwa 50 cm. Wenn Ihr auf die ohnehin schon stark durchgebogene Fahrbahn noch ein kleines Gewicht auflegt, werdet Ihr sehen, daß sie in diesem Zustand noch nicht belastet werden kann.

An der Tafel seht Ihr eine Skizze unseres unvollkommenen Brückenmodells. Der Pfeil über der Fahrbahn zeigt die Richtung der auf die Fahrbahn einwirkenden Kraft an. Übertragt die Skizze auf ein Blatt. Jeder versucht für sich durch einen Pfeil anzuzeigen, in welcher Richtung die Gegenkraft wirken muß, um das Durchhängen der Fahrbahn aufzufangen."

Hinweise zum 1. Arbeitsauftrag

Die Bestandteile des Brückenmodells können auch aus zeitökonomischen Gründen zu Beginn des Unterrichts den Schülern vorgegeben werden. Für die Pfeiler werden Bauelemente des Lernbaukastens u-t 1 verwendet, sollte dieser nicht vorhanden sein, so können als Pfeiler auch Bücher, Schachteln, Brettstücke u. a. m. dienen. Auch sollte darauf geachtet werden, daß die Pfeilerhöhe etwa 18 cm beträgt.



Abb. 192 Ebenso wie im oberen Teil der großen Grundplatte werden hier die eingeschobenen Bausteine 30 durch die Flachbausteine 60 verbunden. Der untere Teil ist einfach gehalten, so daß möglichst wenig Bausteine gebraucht werden.

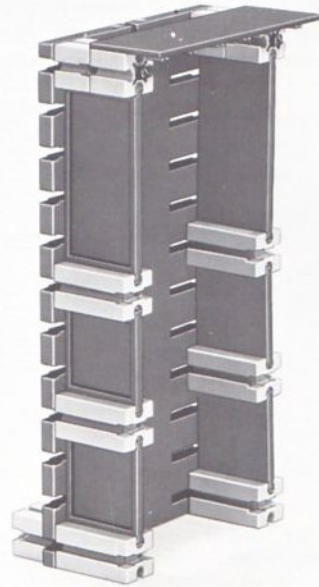


Abb. 193 In die große Grundplatte werden von unten her pro Seite je drei Bausteine 15 eingeschoben und mit Flachbausteinen 30 verbunden. Die Auflagefläche besteht aus einem Baustein 15 und einem Baustein 15 DV; dadurch kann, wie in den folgenden Beispielen zu sehen ist, die Bauplatte als „Anedeutung“ zur Weiterführung der Fahrbahn durch einen Baustein 30 KL hochgehoben werden.

Zweiter Arbeitsauftrag

„Nachdem Ihr die Richtung der erforderlichen Gegenkraft (Gegenkräfte) in Eure Skizze eingetragen habt, versucht jetzt bitte die Brückenfahrbahn des Modells (Abb. 190) so zu stabilisieren, daß sie stärker belastet werden kann.

Bei der Stabilisierung der Fahrbahn darf jeder von Euch seine eigenen Ideen verwirklichen. Außer den Bauteilen der Lernbaukästen steht Euch zusätzlich noch Schnur zur Verfügung.

Wenn Ihr Eure Brücken gebaut habt, wollen wir sie nach Konstruktionsarten ordnen.“

Hinweise zum zweiten Arbeitsauftrag

Die Schüler erkennen die Notwendigkeit einer nur lose auf den Pfeilern aufliegenden Fahrbahn erfahrungsgemäß nicht von selbst. Die Vorteile einer freien Auflage bzw. die Nachteile einer festen Pfeiler-Fahrbahn-Verbindung kann der Lehrer den Schülern zeigen, indem er das eine Fahrbahnde nach innen neigt, während sich

auf der anderen Seite die Fahrbahn über den Pfeiler schiebt (siehe Abb. 194). Die technischen Gründe, die eine freie Auflage notwendig machen, können in einem Unterrichtsgespräch herausgearbeitet werden (siehe auch Feinziel 2.52.1 u. 2.52.2).



Abb. 194



Abb. 195 Das Anbringen von Winkelträgern zu einem L-Profil auf den Fahrbahn-Platten erbringt gerade soviel Stabilität, daß die Konstruktion ihr Eigengewicht trägt. Die in der Mitte angebrachten Stützen werden durch die gespannten Seile jedoch nach unten gedrückt und biegen dadurch die Fahrbahn etwas durch; sie bewirken somit genau das Gegenteil dessen, was der Schüler beabsichtigte.

Bei der Verwendung von Schnüren ist zu empfehlen, möglichst dünne, starke Hanfschnur (Drachenschnur) oder dergleichen zu benutzen; eine stark dehnbare Schnur ergibt nicht die notwendige Stabilität, hat jedoch den Vorteil, daß durch die Dehnung der Begriff der Zugbeanspruchung einsichtiger werden kann.

Analyse und Prüfung der Schülerarbeiten

Die Arbeitsaufträge 1. und 2. ermöglichen eine Vielfalt von Lösungen, die sich in ihren Konstruktionen und statischen Qualitäten voneinander unterscheiden werden (siehe Abb. 195 bis 199) – dies ist auch beabsichtigt.

Von Klasse zu Klasse werden die Schülerarbeiten anders ausfallen. In den seltensten Fällen werden die Lösungen auch statisch korrekt und vertretbar sein. Um dies im einzelnen festzustellen, müssen gleichsam als Lernkontrollen Belastungsproben durchgeführt werden. Bei den Belastungsproben in der Prüfsituation werden die Schüler feststellen, daß die Tragfähigkeit ihrer Brückenfahrbahnen verglichen mit dem Ausgangsmodell größer wurde, der erwartete Stabilitätsgrad jedoch nicht erzielt werden konnte, bzw. daß eine Reihe von konstruktiven Maßnahmen völlig überflüssig und ineffektiv sind (siehe Abb. 195–199).

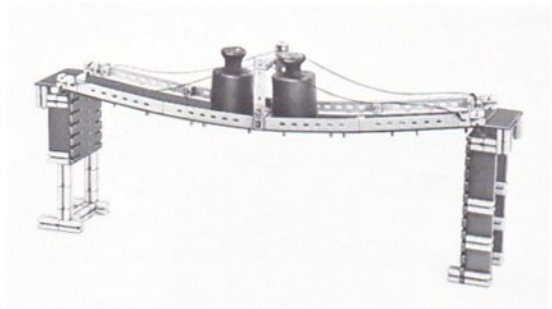


Abb. 196 Beim Belastungsversuch wurde dem Schüler deutlich, daß er die Aufgabe „verkehrt“ angepackt hatte – aus diesem Irrtum erwuchs jedoch die nachfolgende gute Lösung (s. Abb. 197).

Die Überprüfung der Modelle macht den Schülern ihre Fehler deutlich und motiviert sie, die Arbeiten zu verbessern bzw. neue Konstruktionen zu versuchen (siehe Abb. 200. 201).

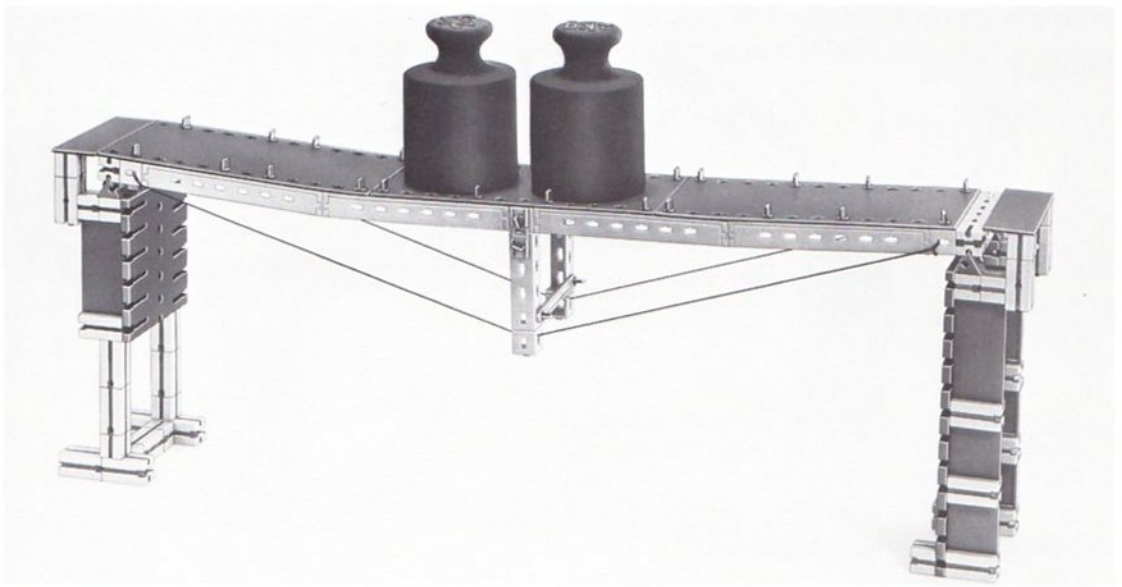


Abb. 197 Die „umgekehrte“ Konstruktionsform zeigt, wie mit geringen Mitteln eine beachtliche Belastung erzielt wird. Die auf Druck (– Knickbeanspruchung) belasteten Stützen werden durch die auf Zug beanspruchten Seile nach oben gedrückt und wirken somit als Gegenkraft. Wären die Seile noch mehr gespannt („vorgespannt“), so wäre eine weit größere Belastung möglich. (Diese Lösung ist in der erwähnten Rangfolge nicht an dieser Stelle einzuordnen; dies geschieht hier nur wegen der „Umkehrung“ der statischen Verhältnisse.

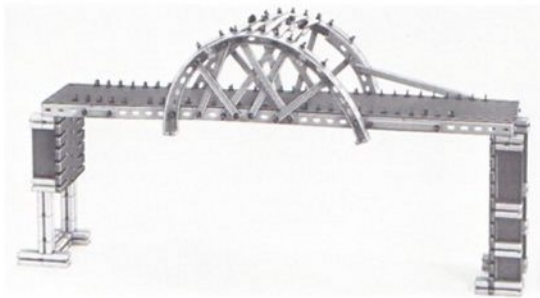


Abb. 198 Typisches Beispiel einer durch unreflektiertes „Vorwissen“ zustande gekommenen „Bogenbrücke“. Ohne Belastung erscheint die Lösung zunächst tauglich, weil die eingezogenen L-Winkelprofile als „Balken“ wirken.



Abb. 200 Richtiges Anbringen der Bogenträger über den Auflagern bedeutet noch keine Stabilität der Fahrbahn. Es fehlt hier die Hauptsache: die „Verbindung“ zwischen tragendem Bogen und Fahrbahn in Form von Schnüren oder Streben.



Abb. 199 Hier wird deutlich, daß die Bogenkonstruktion nur die von ihr überspannte Strecke versteift; auch die rechts hinten angebrachte Strebe (– Knickbelastung) ist nicht imstande, die Kräfte auf die Auflager zu übertragen: nur wenn der Bogen über den Auflagern „eingespannt“ wird, ist er imstande, die Last abzutragen.

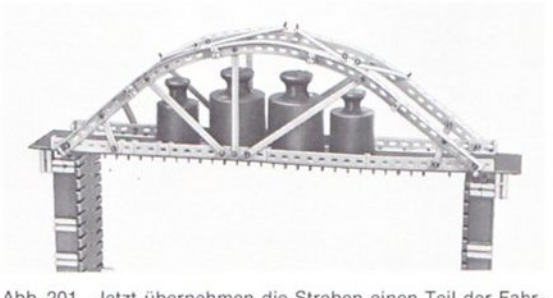


Abb. 201 Jetzt übernehmen die Streben einen Teil der Fahrbahnlast, „übergeben“ sie an die Bogenträger und diese „leiten“ sie auf die Auflager ab. (Daß die Streben hier noch nicht symmetrisch angeordnet sind, und auch nur an einem Punkt der Fahrbahn angreifen, so daß sich besonders rechts noch Biegung zeigt, führte den Schüler zu einer gleichmäßigen über die ganze Fahrbahn verteilten Verstrebung (s. Abb. 202).



Abb. 202 Eine „gute“ Lösung einer „Bogenbrücke“, bei der auch die Brückenfahrbahn leicht gekrümmt ist. Der Schüler hat, durch die ersten Konstruktionsversuche angeregt, Brücken beobachtet und dieses neu erworbene Wissen „eingebaut“. (Daß bei unseren Unterrichtsversuchen relativ viele Schüler eine Bogenbrücke bauten, hat seinen Ursprung in dem allgemeinen Vorstellungsbild eines Brückenbogens; Einsichten in die Funktion des Bogens sind meistens nicht vorhanden und werden erst durch Experimentieren und Konstruieren vermittelt.) Bei den Abb. 201 u. 202 handelt es sich „statisch exakt“ gesehen **nicht** um eine Bogenbrücke, weil die Hänger nicht senkrecht verlaufen; es liegt eine Ausfuchung vor, deshalb handelt es sich um eine Fachwerk-Balkenbrücke mit gekrümmtem Obergurt.

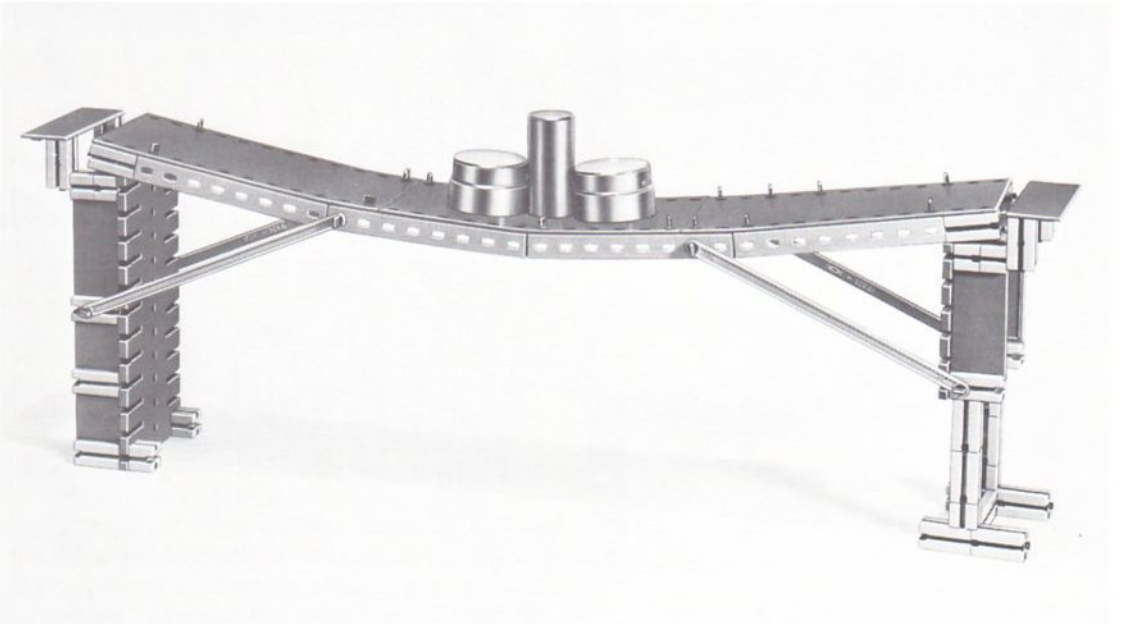


Abb. 203 Modell eines „Sprengwerks“. Der Schüler hat hier der Aufgabenstellung gemäß die Fahrbahn von unten „unterstützt“, sie also hochgehoben. Daß die auf Druck belasteten schrägen Stützen bei Belastung sich durchbiegen (= knicken), führt zu einer Verbesserung dieser Konstruktionselemente durch den Einsatz von Winkelträgern.



Abb. 204 Noch zu verbesserndes Modell einer „Fachwerk-Balkenbrücke“.

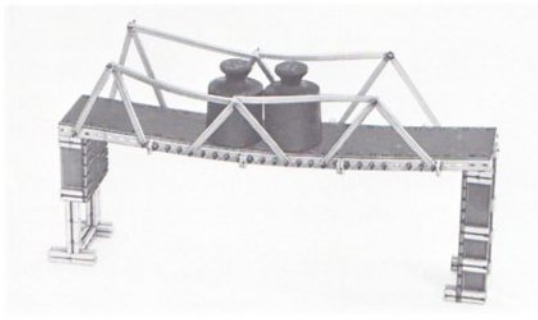


Abb. 205 Der Belastungsversuch zeigt, daß die verwendeten Streben wegnicken (Knickbeanspruchung durch Druckkräfte hervorgerufen). Das Material hält ohne Profilgebung (L- bzw. U-Profile) der Beanspruchung nicht stand, weil die Kräfte nicht auf die Auflager abgeleitet werden können. Für den Obergurt müssen stabilere Teile verwendet werden.

Wie auch immer die Schülerarbeiten im einzelnen ausfallen, die Belastungsproben sollen in jedem Fall durchgeführt werden, weil sie für die Schüler eine Art Lernkontrolle darstellen, ihnen Fehlerquellen zeigen und ihnen die Richtung weisen, in der angemessene Lösungen gefunden werden können.

3. Arbeitsauftrag

„Wir wollen jetzt eine Belastungsprobe durchführen, indem wir auf die Fahrbahnen der Brückenmodelle Gewichte stellen. Versucht die Brücken nach ihrer Stabilität zu ordnen und eventuelle Konstruktionsfehler nachzuweisen. Dabei ist es wichtig, daß Ihr herausfindet, wo und wie die Belastung der Kräfte auf die einzelnen Bauteile wirken. Ihr könnt zu diesem Zweck eine Skizze Eures Modells anfertigen und dort

die Richtung der Wirkkräfte durch Pfeile anzeigen. Stellt gegebenenfalls fest, warum Eure Modelle die Belastungsprobe nicht bestehen.“

Hinweise zum Arbeitsauftrag

Die Schüler sollen bei den falschen Lösungen zwei Kategorien deutlich voneinander unterscheiden:

1. Solche Konstruktionen, bei denen die für die Stabilisierung der Fahrbahn erforderlichen Gegenkräfte falsch angesetzt wurden (siehe z. B. Abb. 196).
2. Konstruktionen, die im Prinzip richtig konzipiert sind, bei denen jedoch die Gegenkräfte nicht ausreichen (z. B. dünne oder zu schwach gespannte Schnüre bei Zugbeanspruchung, durchgebogene Streben bei Druck- oder Knickbeanspruchung usw. siehe z. B. Abb. 205).

Von der zweiten Kategorie her kann den Schülern die Notwendigkeit statischer Berechnungen deutlich gemacht werden.

Bei der Fehleranalyse sollte Wert darauf gelegt werden, daß die Kraftwirkungen und Krafrichtungen der Stabilisierungsmaßnahmen deutlich gemacht werden. Dies kann z. B. bei Modellen, wie wir sie in Abb. 201 dargestellt haben, dadurch geschehen, daß man die an der Brückenfahrbahn angreifende Strebe löst und damit zeigt, daß sich die Fahrbahn nach unten durchbiegt, d. h. daß bei einer derartigen Bogenbrücke die Fahrbahn nach oben aufgehängt ist.

Je nach Klassenstufe und nach der Erfahrung im Umgang mit der technischen Wirklichkeit werden die Lösungsvorschläge der Schüler variieren. Um den Lehrer im Hinblick auf die Feinziele 2.11.1 und 2.11.3 eine Hilfe bei der Kategorisierung der Modelle nach den beiden dort erwähnten Prinzipien (von unten stützen und nach oben hängen) zu bieten, haben wir einige exemplarische Modelle ausgewählt und in Klassen geordnet. Ein Teil dieser Modelle ist auch anderen Aufgabenstellungen entnommen – was die Länge der Fahrbahn und die Ausbildung der Auflager anbetrifft. Im Unterricht wird diese Ordnung an klasseneigenen Modellen durchgeführt und zum Lernziel erhoben, um jedem Schüler die Vielfalt der Lösungsmöglichkeiten deutlich zu machen (siehe Feinziel 2.11.3).

4 Beispiele für von unten gestützte Fahrbahnen

4 Beispiele für nach oben aufgehängte Fahrbahnen

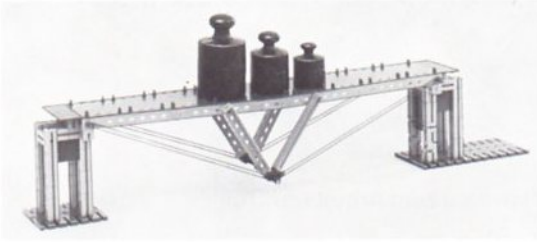


Abb. 206 Modell eines mit Schnüren unterspannten stark belastbaren Modells einer Balkenbrücke – sehr gute Lösung vom stat. Standpunkt – weniger gute Lösung für den Verkehr.



Abb. 210 Modell eines „ausgefachten Hängewerks“, bei dem die aufwendige Ausfachung auf der Vorderseite noch unsymmetrisch angeordnet ist.

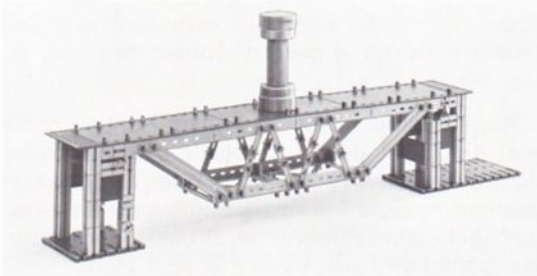


Abb. 207 Modell einer mit Fachwerkausbildung verstärkten Balkenbrücke. Eigentlich müßten die Streben aus druckbeanspruchbaren Winkelträgern bestehen.

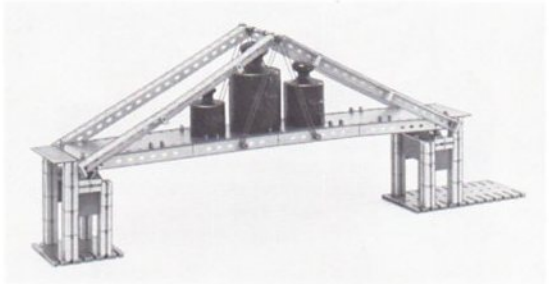


Abb. 211 Modell eines Hängewerks mit V-förmiger Anordnung der Hängesäulen, die hier richtigerweise aus Schnüren bestehen.



Abb. 208 Modell einer kleinen „Bogenbrücke“ – die eigentlich als Rahmenbrücke einzuordnen ist (biegesteife Ecken, keine Lager).



Abb. 212 Modell einer Schrägseilbrücke mit 2 Pylonen. – Gemeinschaftsarbeit aus vier u-t S und vier u-t 1.

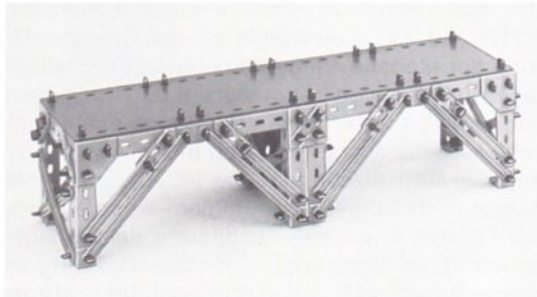


Abb. 209 Modell eines doppelten Sprengwerks mit Zwischenstütze. – Für die im ersten Arbeitsauftrag genannten Bedingungen (unbehinderter Verkehr) nicht geeignet. –

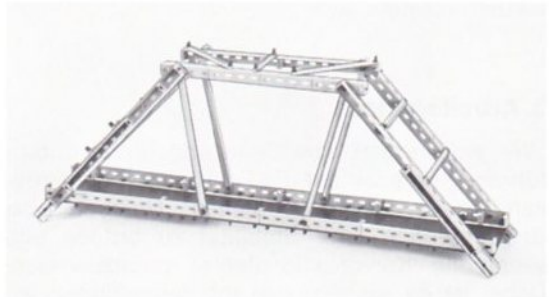


Abb. 213 Modell eines doppelten Hängewerks – Die Hängesäulen sollten jedoch senkrecht angebracht sein.

4. Arbeitsauftrag.

Wir wollen uns die Modelle im einzelnen anschauen und versuchen, sie nach der Richtung der Gegenkräfte zu ordnen, die die Brückenfahrbahn stabilisierten.

Hinweise zum 4. Arbeitsauftrag:

Eine solche Ordnung sollte im Rahmen eines Unterrichtsgesprächs durchgeführt werden, wobei in Zweifelsfällen Demonstrationen, Belastungsversuche und dergleichen mehr von den Schülern selbst zur Klassifizierung vorgeschlagen und durchgeführt werden können.

2.11.5 Entscheidungshilfen für den weiteren Unterrichtsverlauf.

Die Modelle werden sich in ihrer statischen Qualität voneinander unterscheiden, sei es, daß die Gegenkräfte falsch angesetzt sind, sei es, daß sie nicht ausreichen oder sei es, daß die im Kräfteverlauf liegenden Bauelemente zu schwach sind. Die unterschiedliche statische Qualität wird Wege für neue Lernziele eröffnen. Die Wahl der Lernziele und ihre Reihenfolge kann von Schüler zu Schüler und von Klasse zu Klasse variieren. Im Prinzip gilt, daß der weitere Unterrichtsverlauf zu einer differenzierteren Auseinandersetzung mit den selbst gefundenen Lösungen führt.

Liegen Modelle vor wie z. B. in Abb. 204, dann kann man zum Fachwerkträger übergehen. Bringen die Schüler Lösungen, wie sie die Abb. 203 zeigt, dann kann man die Behandlung von Vollwandträgern anschließen. Bei Lösungen wie sie in Abb. 213 dargestellt ist, bietet sich die Behandlung des Rahmenträgers an. Bei Modellen, die demselben Konstruktionsprinzip dienen wie in Abb. 208, wird man die Behandlung der Bogenbrücke anschließen.

2.2. Grobziel: Verschiedene Stabilisierungsmöglichkeiten bei Balkenbrücken

Grobziel: Die Schüler sollen möglichst viele Stabilisierungsmethoden bei den Balkenbrücken kennenlernen.

2.21 Feinlernzielgruppe: Biegebeanspruchung bei verschiedenen Balkenformen.

2.21.1 Feinlernziel: Druck- und Zugzone beim Balken auf zwei Stützen.

Die Schüler sollen beim belasteten Balken auf zwei Stützen erkennen, daß in der oberen Balkenzone Druckkräfte am Werk sind, die das Material komprimieren und in der unteren Bal-

kenzone Zugkräfte wirken, die die Tendenz haben, das Material über seine natürliche Dehnungsgrenze hinaus zu verändern, d. h. länger zu machen.

2.21.2 Hinweise zur Unterrichtsorganisation

An Schülerarbeiten, wie wir sie in Abb. 205 dargestellt haben, läßt sich veranschaulichen, daß in der oberen Zone Druckkräfte wirken; die Zugkräfte in der unteren Zone sind jedoch nicht sichtbar. Um den Blick für die Formänderungen innerhalb des Balkens zu schärfen, sollten mit dem Demonstrationsmodell von Abb. 214 Belastungsversuche durchgeführt werden. In einer Skizze (s. Abb. 215) könnten die beobachteten Veränderungen festgehalten werden.

Dieses Demonstrationsmodell zeigt sehr deutlich die Druckzone im oberen und die Zugzone im unteren Teil des Balkens.

Arbeitsauftrag

Ein entsprechender **Arbeitsauftrag** könnte hier lauten:

„Die Brückenfahrbahn in unserem Modell bezeichnet man in der Statik als ‚Balken auf zwei Stützen‘. Beobachtet, wie sich dieser Balken auf zwei Stützen bei Belastung verhält, und versucht mögliche Formänderungen mit der Ausgangslage (Ruhelage) zu vergleichen, in dem ihr von dem belasteten Balken eine Skizze auf die Abbildung des unbelasteten Balkens überträgt.“

Die vergleichende Betrachtung der beiden Skizzen kann auch an der Tafel erfolgen.

Haben die Schüler die Veränderung richtig beobachtet, kann man folgenden Arbeitsauftrag geben:

„Ihr habt gesehen, daß sich der Balken oberhalb der Stabachse verkürzt und unterhalb der Stabachse verlängert. Wie nennt man diejenigen Kräfte, die die Materie (Material) komprimieren (zusammendrücken) bzw. diejenigen Kräfte, die es über ihre natürliche Grenze hinaus verlängern?“

(Gemeint sind Zug- und Druckkräfte, vgl. S. 9ff).

2.21.3 Feinlernziel: Druck- und Zugzone beim Durchlaufträger

Die Schüler sollen erkennen, daß beim Durchlaufträger auf drei Stützen beim Belastungsversuch die Form einer stilisierten Welle entsteht. Sie sollen Druck- und Zugzonen bestimmen können.

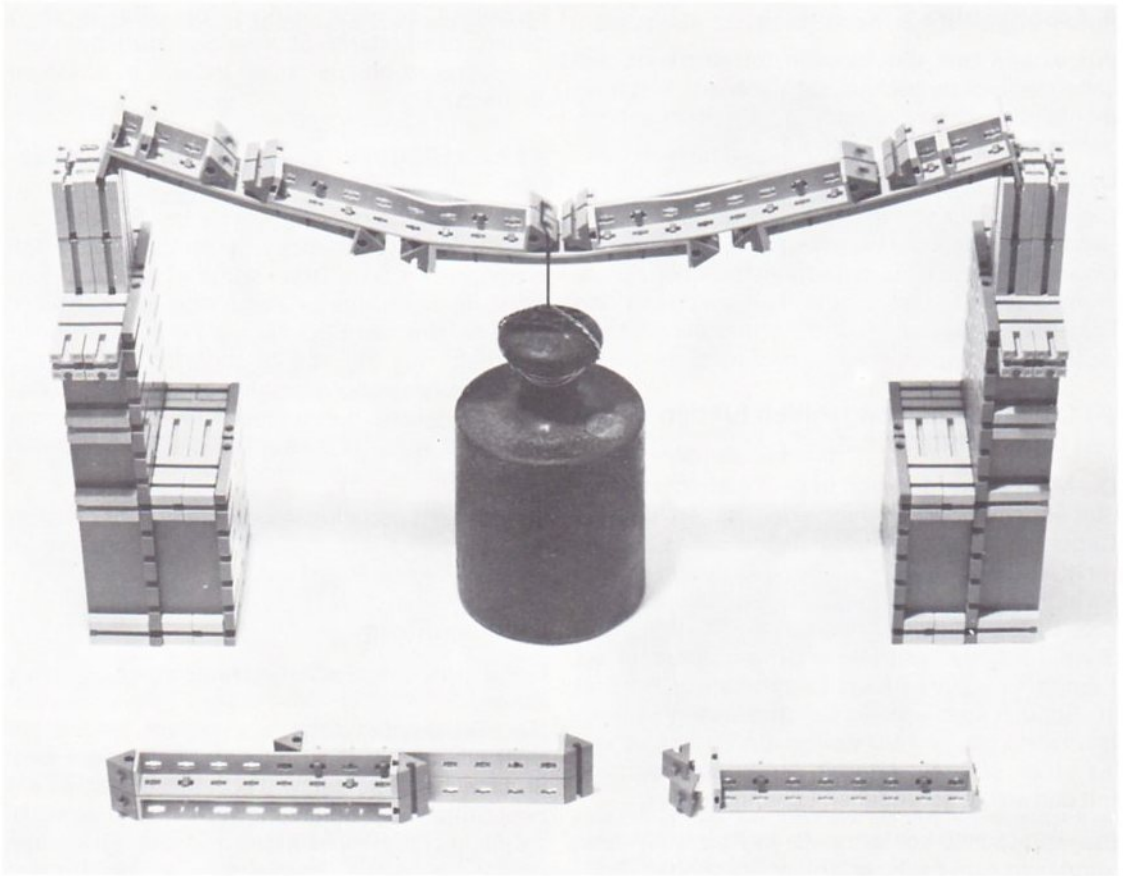


Abb. 214 Demonstrationsmodell eines Balkens auf zwei Stützen. Die Anordnung von jeweils zwei mit S-Riegeln 4 zusammengesteckten Winkelträgern 120 (siehe unterer Bildrand rechts), die jeweils mit zwei weiteren Winkelträgern 120 „Rücken“ verbunden sind (siehe unterer Bildrand links) dokumentiert sehr deutlich, daß sich in der oberen Druckzone die Bauelemente zusammenschieben, während die untere Zugzone die Bauteile auseinanderstreben läßt.

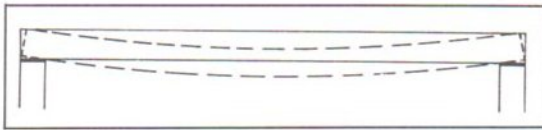


Abb. 215 Skizze eines Balkens auf zwei Stützen.

Wenn man bei der Demonstration der Biegebeanspruchung des Balkens auf zwei Stützen und des Durchlaufträgers auf drei Stützen ein und dasselbe Brückenmodell verwenden will, kann der **Arbeitsauftrag** folgendermaßen lauten: Wie verhält sich unsere Brückenfahrbahn im Belastungsversuch, wenn wir die Brücke in der Mitte durch einen zusätzlichen Pfeiler abstützen. Beobachtet die Fahrbahn in Ruhelage und bei Belastung und versucht die Veränderung festzuhalten, in dem ihr mögliche Deformationen in der Skizze deutlich macht (siehe Abb. 216).

2.21.4 Hinweise zur Unterrichtsorganisation

Will man das Verhalten eines Durchlaufträgers beim Belastungsversuch demonstrieren, so kann man vom Modell der Abb. 216 ausgehen. Auch hier kann durch eine vergleichende Betrachtung des deformierten Balkens mit dem Balken in Ruhelage (zeichnerische Übertragung) die spezifische Formveränderung deutlich gemacht werden.

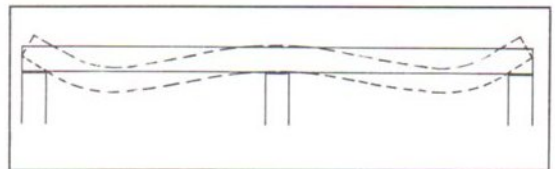


Abb. 216

2.21.5 Feinlernziel: Druck- und Zugzone beim Kragarm

Die Schüler sollen erkennen, daß beim (belasteten) Kragarm die Zugzone oberhalb und die Druckzone unterhalb der Stabachse liegen.

2.21.6 Hinweise zur Unterrichtsorganisation

Ist der Balken nur einseitig eingespannt (wie z. B. vorübergehend beim Freivorbau von Balkenbrücken), so zeigt sich, daß der obere Teil des Balkens auf Zug, der untere dagegen auf Druck beansprucht wird.

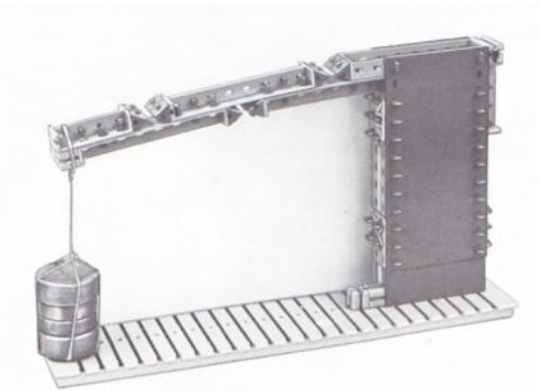


Abb. 217

Durch einen entsprechenden **Arbeitsauftrag** können diese besonderen Verhältnisse den Schülern deutlich gemacht werden.

„Beobachtet, beschreibt und zeichnet die Veränderungen der frei über den Pfeiler hinausragenden Brückenfahrbahn und versucht die Druck- und Zugzone zu ermitteln. Tragt die beobachteten Veränderungen in die Skizze (Abb. 218) ein.“

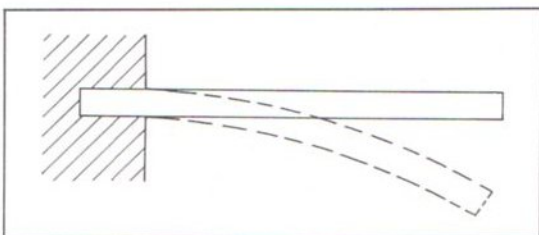


Abb. 218

Bei dieser Lernzielgruppe soll deutlich gemacht werden, daß beim (belasteten) Balken Biegekräfte auftreten, wobei Druck und Zug in Abhängigkeit von der Auflage des Balkens verschieden ansetzen und daß es bei der Stabilisierung des Balkens darum geht, den Druck- und Zugkräften entsprechend entgegenzuwirken.

2.22 Feinlernzielgruppe: Stabilisierungsmöglichkeiten durch Fachwerkkonstruktionen

2.22.1 Feinlernziel: Erkennen, wie eine Brückenfahrbahn durch Fachwerkträger stabilisiert wird und wie die Kräfteableitung verläuft

Die Schüler sollen erkennen, daß die Durchbiegung einer Brückenfahrbahn u. a. durch eine Fachwerkversteifung vermieden werden kann und angeben, welche Gegenkräfte an der Fahrbahn angreifen, wenn der Fachwerkträger oberhalb, unterhalb oder in der Mitte der Fahrbahn liegt und zeigen, wie die Kräfteableitung in den verschiedenen Fachwerkkonstruktionen erfolgt.

Dort, wo die Schüler selbst Fachwerkbrücken als Lösungen anbieten (vgl. Abb. 204), sollen sie diese begründen, gegebenenfalls verbessern. Dort, wo solche Lösungen fehlen, können Fachwerkbrücken grundsätzlich auch aus der technischen Wirklichkeit (siehe Abb. 176) unter dieser Fragestellung analysiert werden.

2.22.2 Hinweise zur Unterrichtsorganisation

Durch einen entsprechenden **Arbeitsauftrag** kann man die Schüler aber auch selbst die Versteifung der Brückenfahrbahn durch einen Fachwerkträger erleben lassen.

In den meisten Fällen wird das Fachwerk an Brücken als unnötige Materialverschwendung, als reiner Zierrat empfunden. Die statische Funktion ist oft nur schwer deutlich zu machen. Wenn die Schüler selbst wie in unserem Fall (siehe Abb. 204) Fachwerklösungen anbieten, dann übernehmen sie oft völlig unreflektiert Vorbilder aus der Wirklichkeit. Deshalb ist es notwendig – gleichgültig von welchen Modellen man ausgeht (eigene Konstruktionen, Konstruktionsvorbilder, Nachbildungen aus der technischen Wirklichkeit) – die Tragfähigkeit des Fachwerks deutlich zu machen. Wie kann dies geschehen? Hier können die Schüler selbst Vorschläge machen.

Als **Arbeitsauftrag** wäre folgende Aufgabenstellung denkbar: „Wie können wir überprüfen, ob bei den Modellen (siehe z. B. Abb. 207) das Fachwerk überhaupt notwendig ist?“

Die Schüler werden den Vorschlag machen, das Fachwerk von der Brückenfahrbahn zu entfernen (oder zu lösen) und durch Belastungsproben den Nachweis für die stabilisierenden Effekte des Fachwerks zu erbringen.

Ein Vergleich von belasteten Brückenfahrbahnen ohne Fachwerkrahmen mit fachwerkversteiften Fahrbahnen macht die unterschiedliche Belastbarkeit sehr bald deutlich und zeigt den Schülern, daß die Biegefestigkeit der Fahrbahn durch den Fachwerkbalken maßgeblich erhöht wird.

Hat man Modelle wie Abb. 207 u. 210 zur Verfügung, dann kann bei einer solchen Belastungsprobe auch deutlich gemacht werden, daß in einem Falle (Abb. 210) die Fahrbahn am Fachwerkträger aufgehängt, im anderen Falle (Abb. 207) von ihm gestützt wird, d. h. wo die Fahrbahn oberhalb des Fachwerkbalkens liegt auf Druck, und dort, wo sie unterhalb des Fachwerks liegt, auf Zug beansprucht wird.

2.22.3 Feinlernziel: Erkennen der den Fachwerkträger konstituierenden Grundelemente.

Die Schüler sollen über die Analyse von Brücken, Masten und Kränen die den Fachwerkträger konstituierenden Konstruktionsprinzipien und Grundelemente finden und benennen können.

2.22.4 Hinweise zu Unterrichtsorganisation:

Da die Fachwerkträger nicht nur bei Brücken vorkommen, sondern auch bei Türmen, Masten und Kränen, böte sich bei allem was wir hier bei der Brücke behandeln, die Möglichkeit für einen Transfer an. Man kann jedoch auch den umgekehrten Weg gehen und in den unterschiedlichsten technischen Funktionsgebilden wie Brücken, Masten und Kränen das Gemeinsame, d. h. die technischen Grundprinzipien herausarbeiten lassen. Um den zweiten Weg zu beschreiten, kann man sich folgende Situation vorstellen: Den Schülern werden drei Bilder gezeigt von einem Kran, von einer Fachwerkbrücke und von einem Masten (siehe Abb. 219, 220, 221).

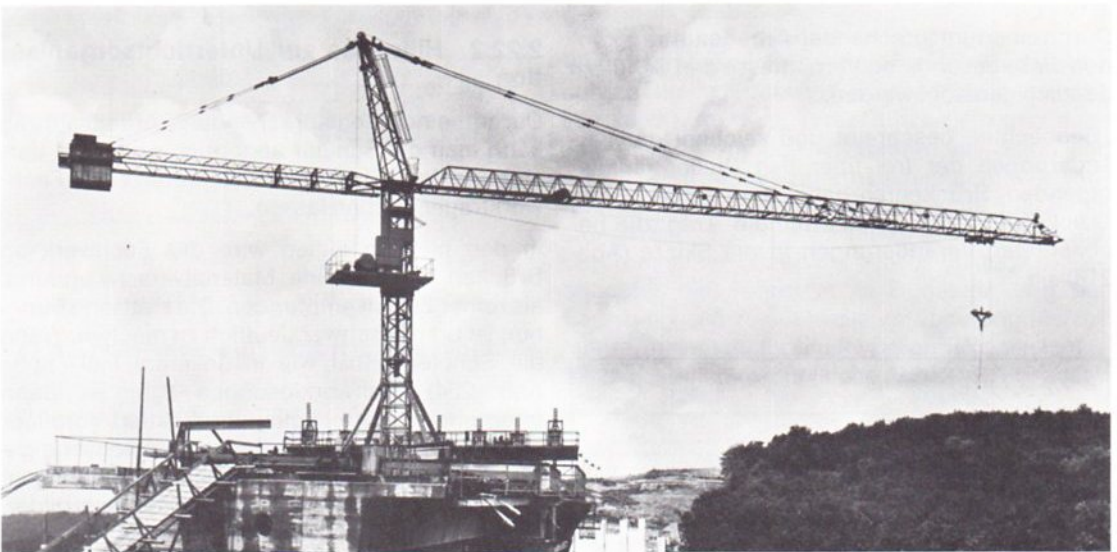


Abb. 219 Fachwerkausbildung eines Auslegers (Katz-Ausleger-Kran mit Gegenausleger).



Abb. 220 Fachwerkbrücke über den Neckarkanal bei Ladenburg.

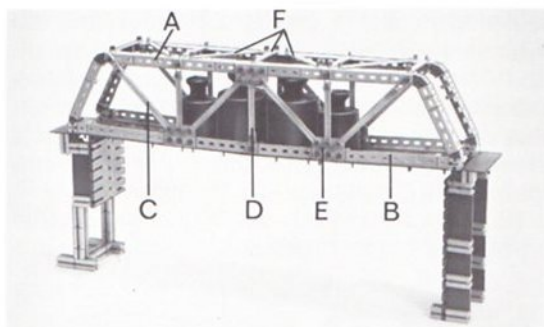


Abb. 222 Fachwerk-Balkenbrücke.

- A = Obergurt
- B = Untergurt
- C = Streben
- D = Pfosten
- E = Knotenblech
- F = Windverband

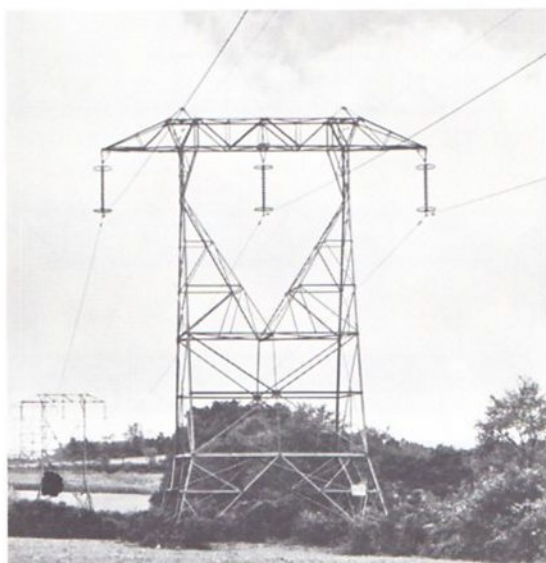


Abb. 221 Fachwerkausbildung bei einem amerikanischen Freileitungsmast.

Die Fachtermini sind wie überall – so auch in der Technik – Setzungen, d. h. die Zuordnung von Begriffen zu Phänomenen der technischen Wirklichkeit kann von den Schülern in den meisten Fällen nur erraten werden, deshalb ist im Hinblick auf dieses Lernziel aus zeitökonomischen und didaktischen Gründen eine Information durch den Lehrer angebracht. Die unterscheidbaren Elemente in einem Fachwerkbalken können dabei durch Buchstaben gekennzeichnet werden (siehe Abb. 222, die dazugehörigen Begriffe werden vom Lehrer gegeben).

2.22.5 Feinlernziel: Erkennen der gesetzmäßigen Zusammenhänge von Druck- und Zugstäben im Dreieck.

Die Schüler sollen erkennen, daß beim kleinsten Fachwerk, dem Dreieck, entweder zwei Stäbe auf Zug und einer auf Druck oder zwei auf Druck und einer auf Zug beansprucht werden, wobei Zug- und Druckkräfte jeweils in Richtung der Stabachse wirken. Vgl. S. 91 u. 114.

2.22.6 Hinweise zur Unterrichtsorganisation:

Wenn das Dreieck als das in allen Fachwerkträgern vorhandene Konstruktionsprinzip erkannt wurde (vgl. S. 83), dann sollten die bei Belastung möglichen Kräfteverhältnisse im Dreieck besprochen werden, weil erst danach eine sinnvolle Analyse vorhandener Fachwerkkonstruktionen denkbar ist und auch jetzt erst bewußt und statisch korrekt gebaut werden kann. Zur Demonstration der Kräfteverhältnisse bei Belastung kann der in Abb. 180 (S. 91), dargestellte Versuch dienen. Dort wird gezeigt, wie die

Arbeitsauftrag

Vergleiche die drei Konstruktionen miteinander und versuche das durchgängige Konstruktionsprinzip zu finden und es zeichnerisch festzuhalten.

Obergurt (beim Kran nur einfach), Untergurt sowie die schräggestellten Streben sind allen Konstruktionen gemeinsam. Die senkrechten Pfosten sind jedoch beim Kran nicht vorhanden.

beiden Schenkel A und B auf Druck und die Hypotenuse C des Dreiecks auf Zug beansprucht sind. Variiert man den Versuch dahingehend, daß man A und B auf Zug beansprucht, d. h. anstatt auf Druck auf Zug belastet (Spiegelung des Dreiecks), dann werden A und B auf Zug beansprucht und C auf Druck (s. Abb. 223).

2.22.8 Hinweis zur Unterrichtsorganisation.

Erziehung zur Kreativität und zum schöpferischen Denken heißt, für ein Problem möglichst viele und originelle Lösungen finden. Wenn die Schüler das Grundprinzip des Fachwerkträgers, den Wechsel von Druck- und Zugstäben (vgl. Seite 83ff.) erkannt haben, bietet sich auch hier die Möglichkeit an, divergentes Denken zu fördern.

Arbeitsauftrag: Versucht einmal verschiedene Fachwerkträger zu entwickeln und in Belastungsversuchen den Wechsel von Zug- und Druckstäben nachzuweisen.

Konstruktionen, wie sie auch in der technischen Wirklichkeit vorkommen, sind in der Abb. 224 dargestellt.

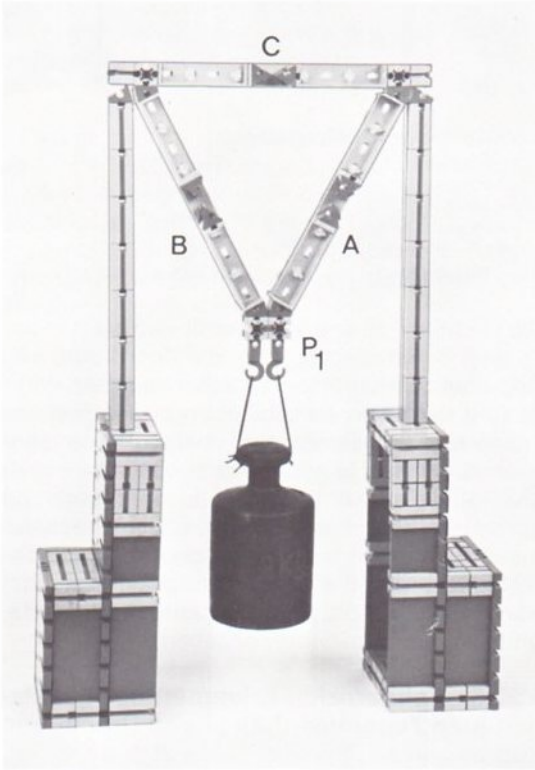


Abb. 223

Arbeitsauftrag: Wir wollen ein Grundelement des Fachwerkträgers, das Dreieck, einmal belasten und isoliert betrachten. Beschreibt, wie sich die Schenkel A, B und die Seite C verhalten, wenn wir am Punkt P 1 belasten. Was würde geschehen, wenn wir das Dreieck umdrehen und am Punkt P 1 anstatt auf Druck auf Zug belasten würden? (S. Abb. 223.) Was würde geschehen, wenn wir am Punkt P 2 (s. Abb. 180) auf Zug belasten würden?

2.22.7 Feinlernziel: Konstruktionsmöglichkeiten für Fachwerkträger finden.

Die Schüler sollen nach dem Grundprinzip des Fachwerkträgers (Verbindung bzw. Wechsel von Druck- und Zugstäben) möglichst viele Modelle finden und sie nach ästhetischen und ökonomischen Gesichtspunkten bewerten.

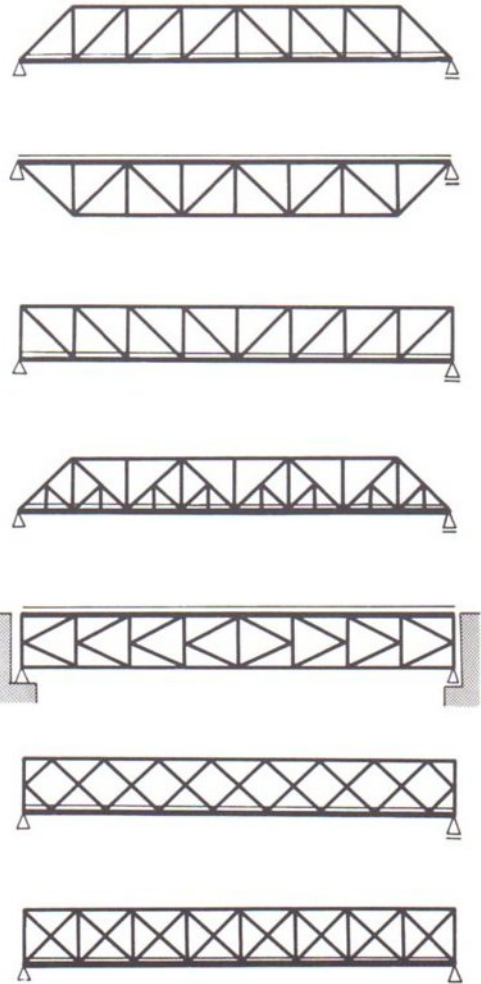


Abb. 224

2.23 Feinlernzielgruppe: Die unterschiedliche statische Qualität von Profilen.

Die Schüler sollen die unterschiedliche statische Qualität der verschiedenen Profile wie T-Träger, L-Profile, Doppel-T-Träger kennenlernen.

Die Vielfalt der Profile, wie sie im Stahlbau verwendet werden, läßt sich besonders an den Fachwerkbrücken beobachten. Hier findet man L-Profile, I-Träger, T-Träger und Kombinationen von Grundprofilen. Es scheint daher legitim, auch wenn es sich im engeren Sinne um Probleme der sog. Festigkeitslehre handelt, im Zusammenhang mit der Behandlung der Fachwerkbrücken auf die statische Funktion der Profile einzugehen. Genau so gut kann dieses Thema jedoch auch im Zusammenhang mit Türmen und Masten behandelt werden.

Das Material der fischertechnik-Lernbaukästen insbesondere das des u-t S eignet sich besonders gut, die zunehmenden Stabilisierungseffekte, die sich bei der Entwicklung vom Flachträger über das Winkelprofil zum U-Profil hin ergeben, zu demonstrieren (vgl. Abb. 225, sowie 315 u. 317).



Abb. 225

2.23.1 Hinweise zur Unterrichtsorganisation

Auf den Seiten 71–81 ist die Ausbildung vom Flachträger zum Doppel-T-Träger ausführlich beschrieben. Wir können deshalb an dieser Stelle darauf verzichten. Die Belastungsversuche, die

die Kräfteeinwirkung und die Kräfteableitung demonstrieren, können in dieser Weise direkt in den Unterricht übernommen werden, wobei die jeweilige Veranschaulichungsabsicht zum Lernziel wird (z. B. an den Belastungsversuchen in Abb. 123–135 auf den Seiten 71–75 sollen die Schüler erkennen, daß durch die Ausbildung eines Flachträgers zum Winkelprofil im Belastungsversuch ein Auskippen verhindert wird.)

Wenn dieser Kurs über die Festigkeit der Profile den Schülern bekannt ist, kann man an dieser Stelle eine analytische Betrachtung von Fachwerkstrukturen aus der technischen Wirklichkeit oder von Modellen einfügen. Dort, wo statisch unbefriedigende Lösungen angeboten werden, wie in Abb. 205, kann auf induktivem Wege die unterschiedliche Belastbarkeit der Profile innerhalb eines Fachwerks deutlich gemacht werden.

Um über die Analyse von Fachwerkstrukturen, die statische Bedeutung von Profilen herauszuarbeiten, sind Arbeitsaufträge nach folgendem Muster denkbar:

Arbeitsauftrag: „Die auf Seite 77 abgebildete Brücke (Abb. 139) hat Doppel-T-Träger. Warum ist die Verwendung dieser Profile hier angebracht? Was würde geschehen, wenn ein L-Profil, U-Profil oder T-Profil statt dessen verwendet worden wäre? Überlegt euch, wie ihr die Frage mit Hilfe des Lernbaukastens beantworten könntet“ (vgl. S. 71).

Für statisch unbefriedigende Lösungen, wie wir sie in Abb. 204 sehen, wären folgende Arbeitsaufträge denkbar.

Arbeitsauftrag: „Überlegt Euch, wie man den Fachwerkträger durch den Austausch von Profilen stabiler machen kann. Baut ihn entsprechend um und begründet hernach die größere Belastbarkeit Eurer neuen Konstruktion.“

Da die verschiedenen Winkelprofile auch beim Bau von Masten und Türmen Verwendung finden, kann deren statische Funktion auch bei diesen technischen Gebilden veranschaulicht werden.

Arbeitsauftrag: (Für Situationen wie in Abb. 315). „Versucht einmal durch andere Profile den Turm bzw. den Mast stabiler zu machen.“ (Mögliche Lösungsformen sind das Winkelprofil, das U-Profil.)

Außer durch Fachwerkträger gibt es noch andere Versteifungsmöglichkeiten bei den Balkenbrücken. Die Ausbildung des Balkens zum Vollwandträger findet man auf den Seiten 71–81.

Nach unserer Übersicht (in Tafel IV S. 70) wäre jetzt noch auf die Versteifung durch Rahmen-träger hinzuweisen.

2.24 Feinlernziel: Erkennen, daß bei einer Rahmenbrücke nur die biegesteife Verbindung Stabilität garantiert.

Die Schüler sollen erkennen, daß die Stabilität einer Rahmenbrücke nur bei fester Verbindung des Rahmens garantiert ist und gelenkige Verbindung zur Deformation führt.

2.24.1 Hinweise zur Unterrichtsorganisation:

Wenn die Schüler beim Arbeitsauftrag (vgl. Seite 102) eine Rahmenbrücke als Lösung bringen sollten, kann es geschehen, daß bei dem Belastungsversuch der Rahmen aufgrund von Gelenkverbindungen Deformationen aufweist, die durch eine feste Verbindung verschwinden. Die Modelle der Abb. 185–189 sind geeignet, diesen Sachverhalt zu veranschaulichen.

Arbeitsauftrag:

„Sucht nach technischen Möglichkeiten, um den Rahmen vor Deformationen zu schützen. Probiert Eure Ideen am Modell aus und versucht Eure Lösungen zu begründen.“

2.25 Feinlernzielgruppe: Verstärkte Balkenbrücken

2.25.1 Feinlernziel: Finden von Konstruktionsmöglichkeiten, um Balken zusätzlich zu verstärken.

Die Schüler sollen verschiedene Konstruktionsmöglichkeiten finden, die geeignet sind, um Brückenbalken zusätzlich zu verstärken und die Vor- und Nachteile ihrer Konstruktionen im Hinblick auf mögliche Verwendungszwecke diskutieren.

2.25.2 Hinweise zur Unterrichtsorganisation

Angeregt durch Vorbilder aus der Wirklichkeit bringen auch einige Schüler Brückenkonstruktionen, die wir als „verstärkte Balkenbrücken“ klassifizieren würden (vgl. Abb. 197). Dabei steht oft mehr die äußere Form des Vorbilds Pate für das Modell, als das statische Prinzip der Lastabtragung. In den meisten Fällen sind die Gesetzmäßigkeiten der Lastabtragung überhaupt nicht bewußt – ein Grund mehr, um diese Modelle unter statischen Gesichtspunkten zu analysieren.

Arbeitsauftrag:

„In den Abbildungen 226 und 227 handelt es sich um Brückenbalken, die zusätzlich verstärkt werden müssen. Aus Sicherheitsgründen müßte in der Fahrbahnmitte (s. Pfeil) ein Pfeiler gebaut werden. Wirtschaftliche Gründe (bei einer tiefen Schlucht s. Abb. 227) und verkehrstechnische Gründe (s. Abb. 226) verbieten dies jedoch.“

Zeichnet nun an Stelle des Brückenpfeilers andere Konstruktionsmöglichkeiten, die geeignet sind, an der erforderlichen Stelle (Fahrbahnmitte) den Balken zusätzlich zu stabilisieren. Zeigt und begründet hinterher, wie ihr die Last, die eigentlich der Pfeiler tragen sollte, abgefangen habt.“

An den zwei Skizzen von Brücken unterschiedlicher Fahrbahnlänge symbolisiert jeweils an der Fahrbahnmitte ein Pfeil die Notwendigkeit eines Stützpfilers.

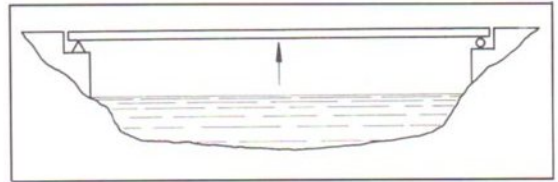


Abb. 226

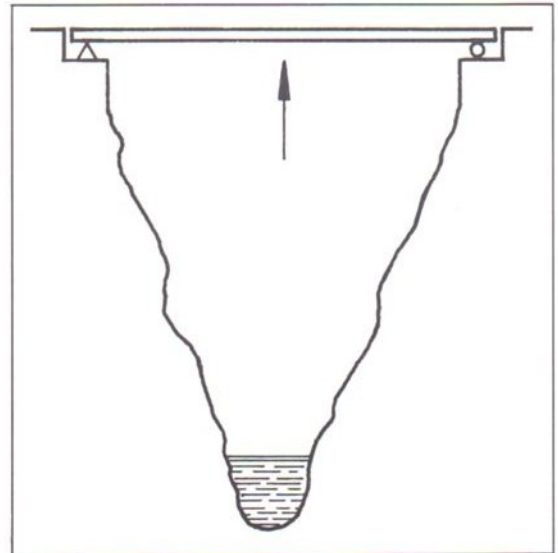


Abb. 227

Bei allen diesen Konstruktionen wird davon ausgegangen, daß der Balken aus statischen Gründen zusätzlicher Stütz- bzw. Hängevorrichtung bedarf. Die zusätzlichen Maßnahmen treten optisch in Erscheinung, d. h. sie bestimmen das

äußere Bild der Brücke, geben ihr unter Umständen ihren Namen und zeigen vor allem konstruktive Möglichkeiten der Lastverteilung. Insofern sind sie die architektonische Umsetzung möglicher Zerlegungen von Kräften. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um eine Kraft in ihre Vektoren zu zerlegen. Diese Vielfalt ergibt sich durch den unterschiedlichen Winkelabstand, den die Vektoren zueinander bilden können (vgl. Seite 15) und durch die beiden physikalisch-technischen Möglichkeiten, durch die man eine Kraft neutralisieren kann, nämlich Druck oder Zug (vgl. Seite 12).

Aus diesen technisch-physikalischen Grundgegebenheiten lassen sich viele Kombinationsmöglichkeiten ableiten oder – um es anders zu formulieren, die unterschiedlichsten Erscheinungen im Brückenbauwesen lassen sich auf diese Grundprinzipien reduzieren.

Lösungsmöglichkeiten sind z. B. Hängewerk und Sprengwerk, vgl. S. 36–46; 106

Kreativität heißt hier, das Wissen um die Kräftezerlegung und die Gleichgewichtsherstellung im Hinblick auf eine Vielfalt von Konstruktionsmöglichkeiten zu aktualisieren.

Fortgeschrittenen Schülern kann man sagen, daß es sich früher im Gegensatz zur Aufgabenstellung auf Seite 102 darum handelte, einen Balken zusätzlich zu verstärken, weil dieser entweder eine zu große Spannweite zu überbrücken hatte und deshalb die bereits durchgeführte Versteifung z. B. zum Vollwandträger nicht ausreichte. Wichtig ist zu erkennen, daß eine zusätzliche Versteifung des Balkens durch eine konstruktive Verstärkung gefordert wird.

Auch wenn uns heute die Technik andere Möglichkeiten bieten kann, wollen wir aus didaktischen Gründen die Vorstellungskraft und die Phantasie der Schüler bemühen und für die Stabilisierung des Brückenbalkens möglichst viele Lösungen suchen lassen.

2.3 Grobziel: Kräfteableitung bei Bogenbrücken (mit Horizontalschub)

2.31 Feinlernzielgruppe: Erkennen der statischen Funktionsvarianten beim Bogenbogen

Die Schüler sollen erkennen, daß es mehrere Möglichkeiten gibt, um die Last von der Brückenfahrbahn auf den Bogen und von dort diagonal ins Erdreich abzutragen.

2.31.1 Fernlernziel: Erkennen der statischen Funktion eines unterhalb der Fahrbahn gelegenen Brückenbogens

Die Schüler sollen erkennen, daß bei einem Brückenbogen, der unterhalb der Fahrbahn liegt, die Last über druckbeanspruchte Stützstäbe auf den druckbeanspruchten Bogen und von dort diagonal ins Erdreich abgetragen wird (Horizontalschub).

2.31.2 Feinlernziel: Erkennen der statischen Funktion eines oberhalb der Fahrbahn gelegenen Brückenbogens

Die Schüler sollen erkennen, daß die Lastabtragung von einer Brückenfahrbahn, die unterhalb des Bogens liegt, über zugbeanspruchte Hänger in den Bogen erfolgt und von dort entweder diagonal oder vertikal ins Erdreich verläuft.

2.31.3 Fernlernziel: Erkennen der statischen Funktion eines die Fahrbahn schneidenden Brückenbogens

Die Schüler sollen erkennen, daß die Lastabtragung von einer mittig gelegenen Fahrbahn teils über zugbeanspruchte Hänge- und teils über druckbeanspruchte Stützstangen in den Bogen erfolgt und von dort dann diagonal ins Erdreich abgetragen wird.

2.32 Hinweise zur Unterrichtsorganisation der Feinlernzielgruppe 2.31

Die dargestellten Modelle zeigen eine Fahrbahn unterhalb des Brückenbogens (s. Abb. 228), eine Fahrbahn oberhalb des Brückenbogens (s. Abb. 229) und eine vom Bogen durchschnittenen Fahrbahn (s. Abb. 230).



Abb. 228 Modell einer Bogenbrücke mit obenliegender („aufgeständerter“) Fahrbahn. Belastung erbringt Horizontalschub an den Bogenenden. (Die Ständer müßten eigentlich senkrecht angebracht werden.)

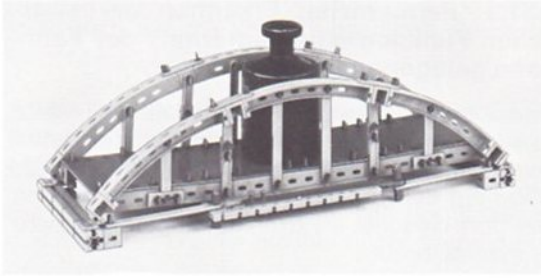


Abb. 229 Modell einer Bogenbrücke mit unten liegender Fahrbahn. Belastung erbringt hier keinen Horizontalschub, weil die Fahrbahn fest mittels Achsen an den Bogen befestigt ist (der eingesetzte Kraftmesser zeigt 0 p an). Wird die Fahrbahn außen vom Bogen gelöst, fehlt das „Zugband“ und der Bogen leitet die Last wieder diagonal ab.



Abb. 230 Modell einer Bogenbrücke mit durch den Bogen führender Fahrbahn. Genau betrachtet ist es wieder keine echte Bogenbrücke, weil die Hänger als Fachwerk ausgebildet sind.

Da man nicht weiß, welche Schülerarbeiten auf den Arbeitsauftrag von Seite 102 vorgelegt werden, sollen mit den Abb. 228–230 die wichtigsten und typischsten Bogenkonstruktionen veranschaulicht werden. Dort, wo keine Bogenbrücken von den Schülern angeboten werden, kann der Lehrer diese Modelle auch den Schülern zur Analyse vorgeben. Dabei empfiehlt es sich, dann durch eine vergleichende Betrachtungsweise Unterschiede und Gemeinsamkeiten erkennen zu lassen, damit das Spezifikum eines jeden

Modells deutlich wird und das durchgängige Prinzip der Lastabtragung des Bogens – das Grundthema in der Variation – erkannt wird.

Wo aus zeitlichen Gründen die Modelle weder vom Lehrer, noch vom Schüler gebaut werden können und auch sonst keine Schülerarbeiten vorliegen, können die Bilder aus der technischen Wirklichkeit, s. Abb. 231–233, mit dem Epidiaskop für die Schüler projiziert werden. Der Arbeitsauftrag wird teilweise gleich lauten können.



Abb. 231 Straßenbrücke über den Askeröfjord in Schweden.

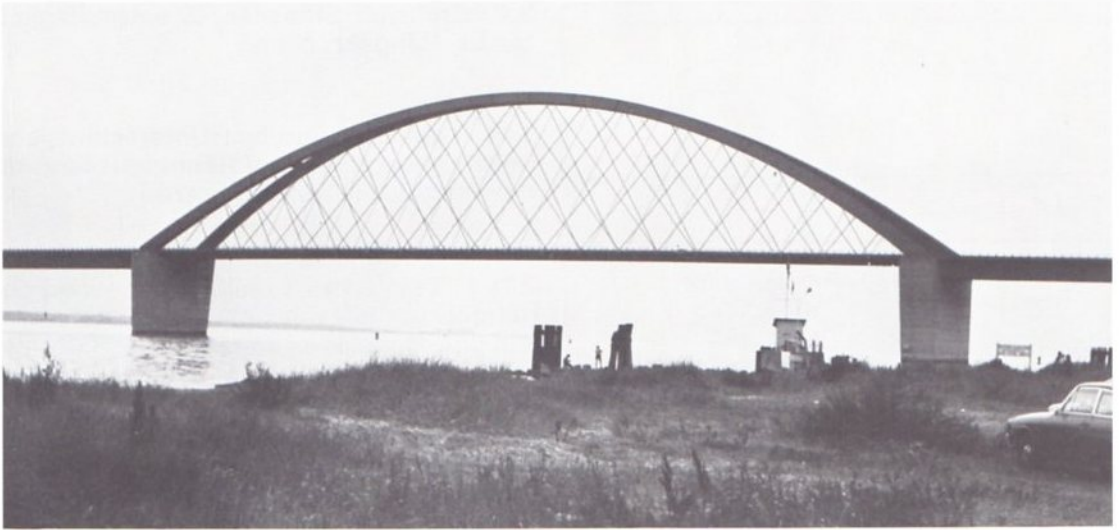


Abb. 232 Straßen- und Eisenbahnbrücke über den Fehmarnsund.



Abb. 233 Straßenbrücke über den Glomma bei Fredrikstad in Norwegen.

Arbeitsauftrag: „Schaut euch die 3 Modelle (Abb. 228–230) bzw. die Brückenbilder (Abb. 231, 232, 233) an und versucht die Unterschiede und Gemeinsamkeiten herauszufinden und aufzuschreiben.“

Hier können auch die richtigen Termini eingeführt werden: Hängestäbe, Stützstäbe, Widerlager, Auflager, Bogen und Fahrbahn.

Durch diesen Arbeitsauftrag sollte zunächst die jeweils unterschiedliche Lage der Fahrbahn zum Bogen erkannt werden. Danach sollen die Schüler den Weg der Lastabtragung bei den einzelnen Brückenmodellen (Bilder) durch Pfeilsetzung in

den Skizzen markieren und die mit \times bezeichneten Bauelemente auf die spezifischen Formen der Kräftebeanspruchung hin unterscheiden.

Arbeitsauftrag: „Stellt euch vor, ihr belastet einmal die 3 Brückenmodelle mit Gewichten. In der Mitte der abgebildeten Brückenfahrbahnen befände sich ein Sattelschlepper. Auf welchem Weg wird die Last abgetragen? Welchen Formen der Kräftebeanspruchung (Zug, Druck, usw.) sind die mit \times bezeichneten Bauteile jeweils ausgesetzt. Zeichnet den Weg der Lastabtragung jeweils in der Skizze ein.“ (Siehe hierzu auch die Abb. 106 auf Seite 58.)

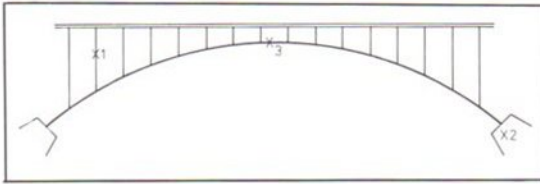


Abb. 234

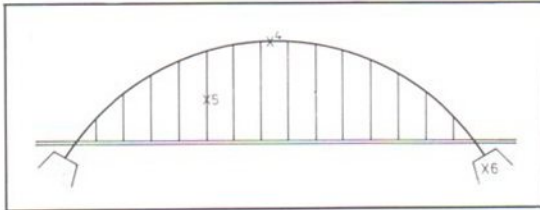


Abb. 235

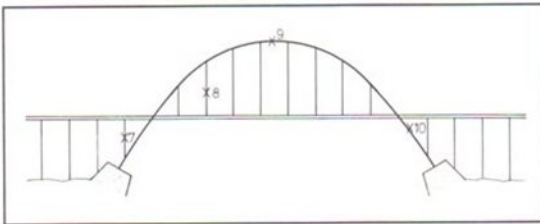


Abb. 236

- Abb. 234 × 1 Stützstab unterhalb des Bogens auf Druck beansprucht
 × 2 Widerlager auf Druck beansprucht
 × 3 Bogen unterhalb der Fahrbahn auf Druck beansprucht
- Abb. 235 × 4 Bogen oberhalb der Fahrbahn auf Druck beansprucht
 × 5 Hängestab oberhalb der Fahrbahn auf Zug beansprucht
 × 6 Widerlager auf Druck beansprucht
- Abb. 236 × 7 Stützstab unterhalb der Fahrbahn auf Druck beansprucht
 × 8 Hängestab oberhalb der Fahrbahn auf Zug beansprucht
 × 9 Bogen oberhalb der Fahrbahn auf Druck beansprucht
 × 10 Bogen unterhalb der Fahrbahn auf Druck beansprucht.

Es ist vor allem wichtig, daß die Schüler erkennen, daß der Bogen **immer auf Druck** belastet ist – ob die Fahrbahn unterhalb, oberhalb oder mittig angebracht ist.

2.4 Grobziel: Statische Gesetzmäßigkeiten bei Hängebrücken

2.41 Feinlernzielgruppe: Unterschiedliche Seilverankerungen bei Hängebrücken und deren statische Konsequenzen

2.41.1 Feinlernziel: Die Schüler sollen die Hängebrücken vom seilverspannten Balken unterscheiden können

Bei der Hängebrücke wird die gesamte Fahrbahn einschließlich Versteifungsträger an die zuvor über die beiden Pylonen gespannten Hängeseile (Tragkabel) mittels **senkrechter** Hängestangen aufgehängt (siehe Seite 121), während beim seilverspannten Balken die Fahrbahn an **schräg** zum Pylon verlaufenden Seilen hängt.

2.41.2 Hinweise zur Unterrichtsorganisation

Wie bereits im sachanalytischen Teil (unter 1.13) erwähnt, ist es von der Sache her nicht gerechtfertigt, kleinere Hängebrücken aus Bauteilen von nur einem u-t S (und einem u-t 1) bauen zu lassen weil in dieser Größenordnung die statischen Probleme nicht einsichtig gemacht werden können. Nur in besonders günstigen Fällen (Arbeitsgemeinschaften, Schullandheimaufenthalte, freiwilliger Arbeit der Schüler außerhalb des Unterrichts) kann an größeren, stark belastbaren Modellen, wie z. B. bei den beiden Modellen der Abb. 120 und 121 (die auch in der Ergänzungsmappe B mit Detailfotos zu finden sind) das statische System der Lastabtragung bei Hängebrücken einsichtig gemacht werden. In gewissem Sinne trifft dies auch für die Schrägseilbrücken zu. Siehe hierzu das Planungsbeispiel Schrägseilbrücke in der Ergänzungsmappe A zu diesem Lehrerhandbuch.

Sollten für die praktische Erarbeitung mit Lernbaukästen in dem oben genannten Umfang nicht genügend Zeit zur Verfügung stehen, so empfehlen wir zur Erarbeitung der unterschiedlichen Form der Lastabtragung bei Hänge- und Schrägseilbrücken den Weg über das Analysieren von Modellabbildungen (Abb. 237 u. 238) und Bildern aus der technischen Wirklichkeit. (Abb. 239 und 240.)



Abb. 237 Großmodell einer in sich verankerten Hängebrücke, das von 3 interessierten Schülern in freiwilliger Ferienarbeit gebaut wurde.

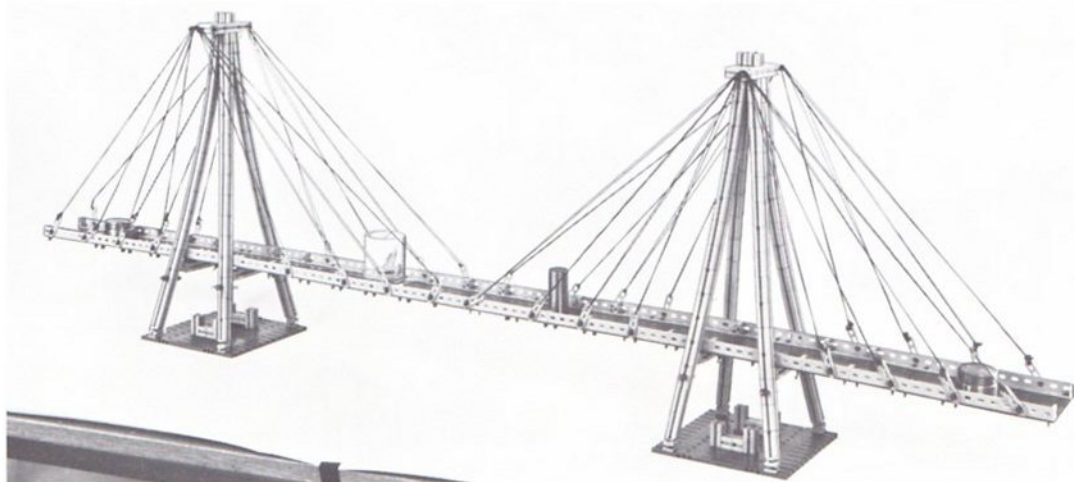


Abb. 238 Modell einer Schrägseilbrücke, das von 4 Schülern in Gemeinschaftsarbeit im WU erstellt wurde.

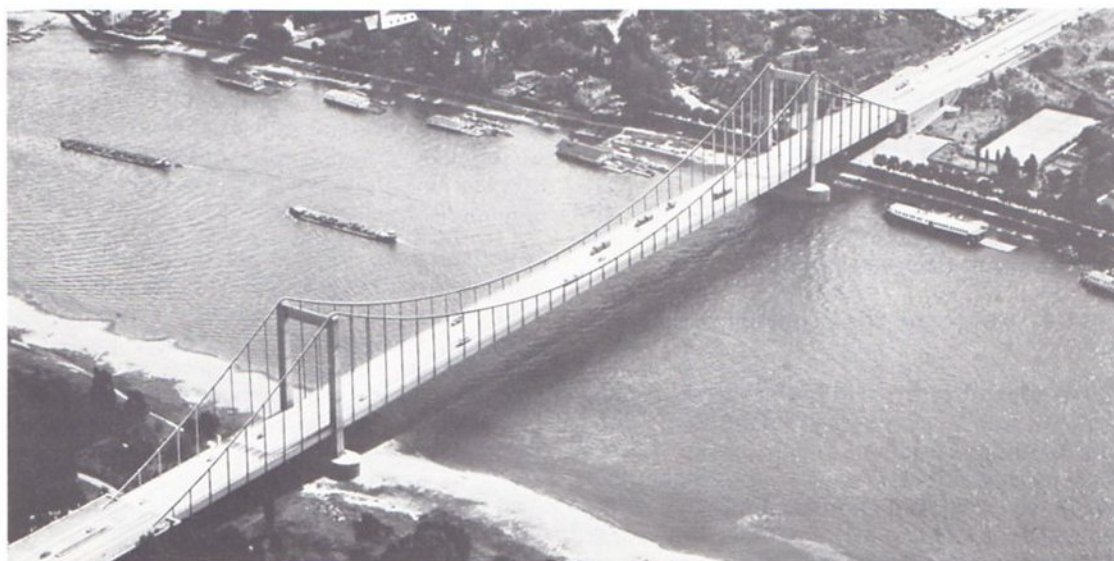


Abb. 239 Hängebrücke über den Rhein bei Köln-Rodenkirchen.



Abb. 240 Schrägseilbrücke über den Rhein bei Speyer (Autobahnbrücke).

Arbeitsauftrag: „Betrachtet die beiden Bilder (Modelle) und versucht herauszufinden, wo die Unterschiede liegen. Wie wird die Last abgetragen, wenn man die Brücken jeweils in der Fahrbahnmitte belastet? Versucht den Unterschied in einer Skizze darzustellen.“

2.41.3 Feinlernziel: Lastabtragung und Belastung der einzelnen Bauteile bei der erdverankerten Hängebrücke.

2.41.4 Feinlernziel: Lastabtragung und Kräfteverlauf bei der Hängebrücke mit aufgehobenem Horizontalschub

2.41.5 Hinweise zur Unterrichtsorganisation

Die beiden Abb. 241 und 242 sollen die Schüler anregen, die Richtung der Lastabtragung durch die Seilverankerungen zu bestimmen. Ein genauer Vergleich läßt erkennen – (besonders dann, wenn von den Bogenbrücken her der Unterschied schon bekannt ist), daß der Unterschied in der verschiedenen Form der Verankerung besteht. Bei den „echten Hängebrücken“ (Abb.241)

sind die Seile in der Erde verankert und erbringen (umgekehrt wie bei den echten Bogenbrücken) in der Hauptsache horizontale Zugkräfte, die von der sehr stabilen Verankerung aufgefangen werden müssen. Bei der Abb. 242 sind die Kabelenden dagegen direkt in den Fahrbahnträger eingeleitet, so daß die in ihm angesetzten Gegenkräfte den Horizontalschub aufheben. Damit werden nur noch senkrecht wirkende Lasten abgetragen. Es wäre eine Aufgabe für fortgeschrittene Schüler, die Zerlegung der Kräfte zeichnerisch zu erfassen.

Arbeitsauftrag: „Betrachtet die beiden Zeichnungen (Abb. 241 und 242) und versucht herauszufinden, wo die Seile jeweils an ihren Enden verankert sind. Schaut Euch dann die beiden Abb. 243 und 244 an und verfolgt dort den Verlauf der Kräfte. Zeichnet sodann in die Skizzen der Abb. 245 und 246 Pfeile ein, die genau zu erkennen geben, wie die Last abgetragen wird. Markiert außerdem die einzelnen Teile der Brücke, wie Hängeseil, Pylon, senkrechte Hängestangen usf. mit Buchstaben und gebt an, wie diese Teile beansprucht sind – auf Zug oder auf Druck.“

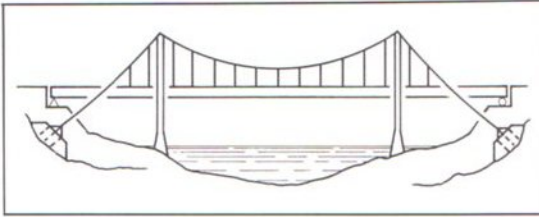


Abb. 241 Erdverankerte Hängebrücke.

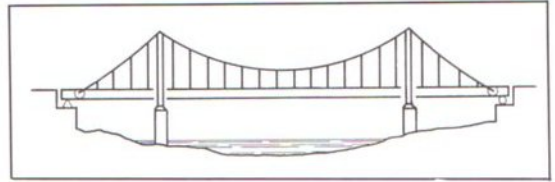


Abb. 242 In sich verankerte Hängebrücke.

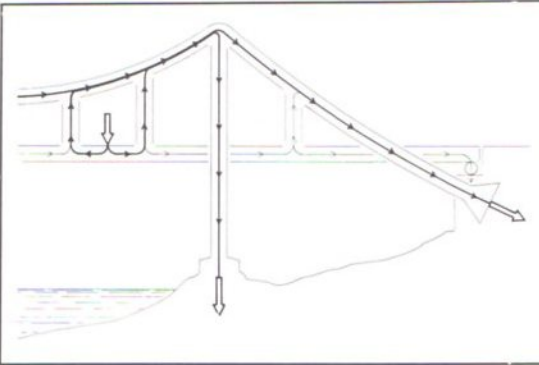


Abb. 243 Schematische Darstellung der Lastabtragung bei der erdverankerten Hängebrücke.

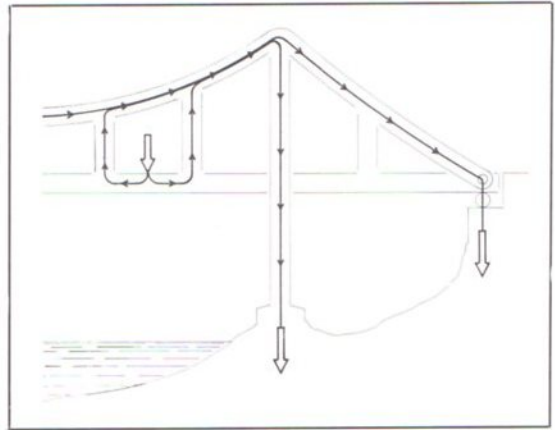


Abb. 244 Schematische Darstellung der Lastabtragung bei der in sich verankerten Hängebrücke.

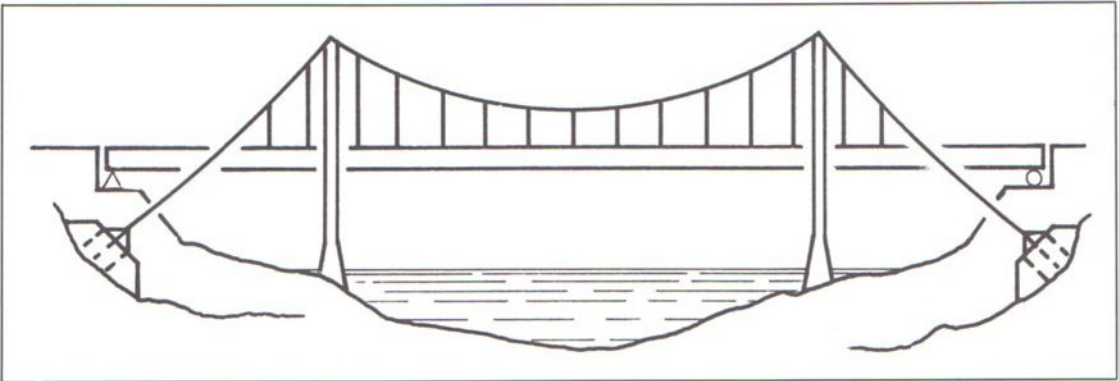


Abb. 245

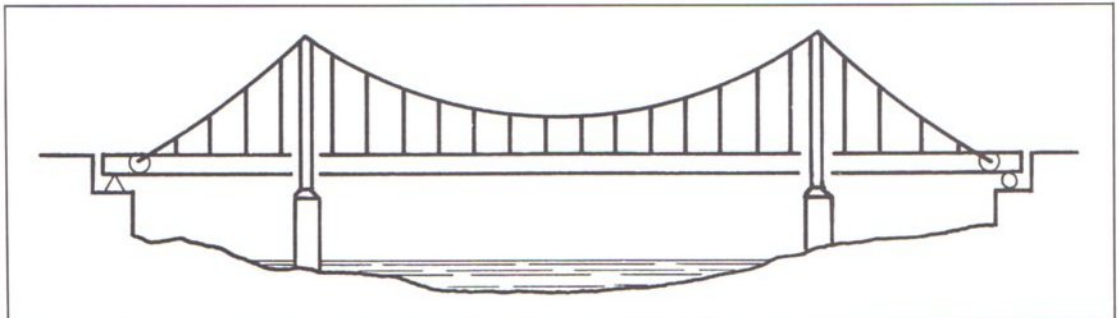


Abb. 246

2.5 Grobziel: Statische Funktionen von Auflagern

2.51.1 Feinlernziel: Erkennen der Notwendigkeit von Auflagern.

2.51.2 Hinweise zur Unterrichtsorganisation

Läßt man von Kindern Brücken zeichnen, so wird deutlich, daß in den meisten Fällen die Berührungstellen von Brückenfahrbahn und Pfeilern als eine feste Verbindung gesehen wird. Das heißt, die Brückenlager werden weder optisch, geschweige denn in ihrer statischen Funktion wahrgenommen. Diese Feststellung gilt auch für viele Erwachsene. Auflagern sind bei fast allen Brücken vorhanden. Man kann deshalb ihre Behandlung an alle denkbaren Schülerlösungen (Balkenbrücken, Bogenbrücken, Hängebrücken) anschließen. Am geschicktesten ist es vielleicht im Zusammenhang mit einem Belastungsversuch (große Reibung an den Brückenpfeilern), ihre Notwendigkeit den Schülern deutlich zu machen. Ausgangspunkt könnten die im Belastungsversuch der Balkenbrücke durchgeführten Beobachtungen über die Formveränderungen des Balkens bilden (s. S. 104).

(Im Anschluß an einen solchen Belastungsversuch kann man die Schüler mit folgender Fragestellung konfrontieren.)

Arbeitsauftrag: „Überlegt euch, was in der technischen Wirklichkeit passiert, wenn der Balken dort seine Form in derselben Weise verändert, wie in eurer Skizze.“

2.52 Feinlernziel: Die Schüler sollen möglichst viele Konstruktionen für Brückenlager finden, um die Reibung aufzuheben.

Mit großer Wahrscheinlichkeit werden die Schüler auf mögliche Beschädigungen der Brückenpfeiler aufmerksam machen und erkennen, daß an dieser Stelle Reibung entsteht, die durch besondere technische Maßnahmen aufgefangen werden muß.

Arbeitsauftrag: Überlegt euch Maßnahmen, wie man diese Reibung, ohne die Pfeiler zu beschädigen abfangen kann und versucht mit Hilfe der fischertechnik-Bauelemente konstruktive Lösungen zu finden.

Die Abbildungen 247 und 248 können dabei als Vermittlungshilfen dienen.

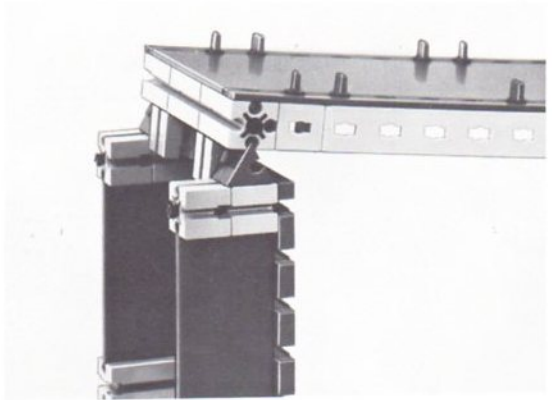


Abb. 247

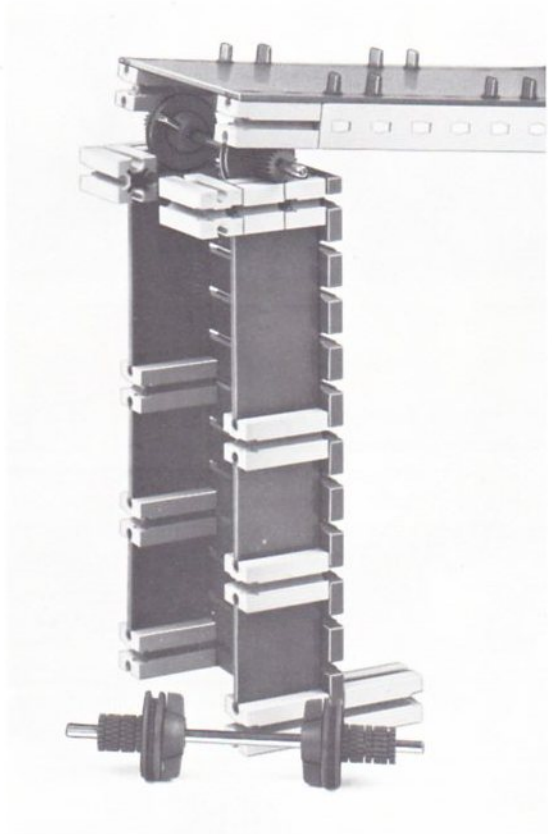


Abb. 248

2.52.1 Feinlernziel: Erkennen der statischen Funktion von Rollenlagern und deren Konstruktion

2.52.2 Feinlernziel: Erkennen der statischen Funktion von Kipplagern und deren Konstruktion

2.5.3 Hinweise zur Unterrichtsorganisation

Die Schüler sollen bei der Belastung des Modells beobachten, wie sich die Fahrbahn verändert und was an den jeweiligen Fahrbahnenenden geschieht. Die beobachteten Formveränderungen und Bewegungen können auf einem Blatt festgehalten werden.

Die Bilder aus der technischen Wirklichkeit (Abb. 249–251) können mit dem Epidiaskop projiziert, als Vermittlungshilfe dienen.

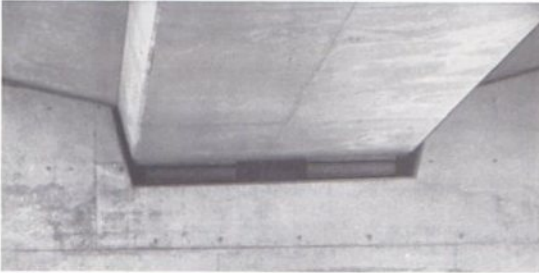


Abb. 249

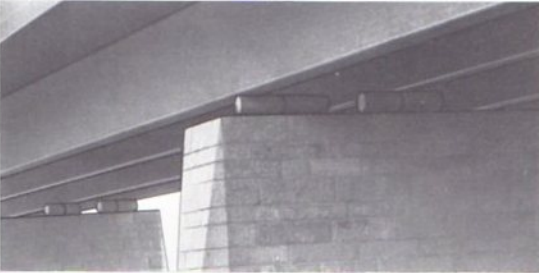


Abb. 250

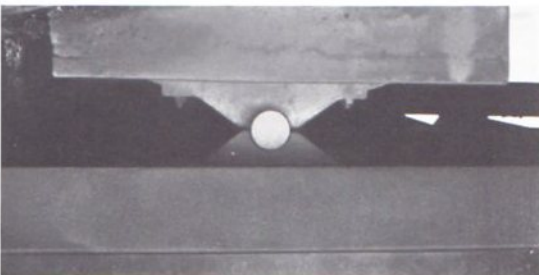


Abb. 251

2.6 Grobziel: Klassifikations- und Konstruktionskriterien von Brücken

2.6.1 Feinlernzielgruppe: Einteilungsgesichtspunkte

2.6.1.1 Feinlernziel: Klassifikation von Brücken nach dem Material

Die Schüler sollen nach dem Material als Ordnungskriterium die wichtigsten Brückentypen wie Holzbrücke, Eisenbetonbrücke und Stahlbrücke usw. nennen und die Vor- und Nachteile wie Haltbarkeit, Pflege, Wirtschaftlichkeit usw. herausarbeiten.

2.6.1.2 Feinlernziel: Klassifikation von Brücken nach dem Verwendungszweck

Die Schüler sollen nach dem Verwendungszweck als Ordnungskriterium die wichtigsten Brückentypen wie Eisenbahnbrücke, Autobahnbrücke, Fußgängerbrücke, mobile Hochstraßen, Schiffsbrücke usw. zusammenstellen und das allen Brücken Gemeinsame (Überwindung von Verkehrshindernissen) herausarbeiten.

2.6.1.3 Feinlernziel: Klassifikation von Brücken nach der spezifischen Form der Lastabtragung

An selbstgebauten Modellen von Balkenbrücken, Bogenbrücken und Hängebrücken sollen die Schüler die spezifischen Formen der Lastabtragungen aufweisen.

2.6.1.4 Hinweise zur Unterrichtsorganisation der Feinlernziele 2.6.1.1–2.6.1.3

Die Komplexität und die Verschiedenheit der statischen Sachverhalte bei Brücken ergibt sich aus den unterschiedlichen Funktionen und den entsprechenden konstruktiven Ausführungen der Brücken. Es scheint deshalb innerhalb einer Unterrichtseinheit über Brücken sinnvoll, den Schülern die vielseitige Verwendung und die Brückenarten in ihrem Gestaltenreichtum bewußt zu machen.

Um dies zu erreichen, gibt es sicher mehrere Zugangsweisen. Drei davon wollen wir kurz vorstellen.

1. Zugangsweise

Man zeigt und/oder gibt den Schülern verschiedene Bilder von Brücken (s. Ergänzungsmappe B) und fordert sie auf, diese möglichst nach Kriterien zu ordnen.

Der **Arbeitsauftrag** könnte hier etwa lauten: Versucht einmal für jede Brückenabbildung die charakteristischen Merkmale festzustellen und trägt sie dann jeweils neben das Bild ein. Versucht dann die Brückenbilder in Gruppen zu ordnen und gebt an, welches Merkmal allen Bildern einer Gruppe gemeinsam ist.



Abb. 261

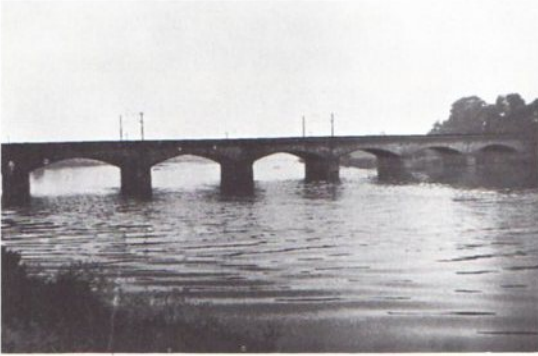


Abb. 262



Abb. 263

2. Zugangsweise

Der zweite Zugangsweg ist der, daß die Kinder aus ihrer eigenen Vorstellung Brückentypen nennen und dann Ordnungskriterien suchen, um so zu einer Klassifikation zu kommen. Ein **Arbeitsauftrag** könnte hier etwa lauten:

„Ihr habt alle schon viele Brücken gesehen. Versucht möglichst viele Brückenarten aufzuschreiben und überlegt euch hinterher, nach welchen Gesichtspunkten (Merkmalen) man sie ordnen könnte.“

3. Zugangsweise

Der dritte Zugangsweg ist eine Kombination aus 1 und 2. Die abgebildeten Brücken könnten aus der Erfahrung und Vorstellung der Schüler ergänzt werden. Auf diese Weise würde man zu zusätzlichen Brückentypen kommen. Der **Arbeitsauftrag** müßte hier lauten:

„Ihr seht eine Reihe von abgebildeten Brücken. Versucht die Brückenbilder in Gruppen zu ordnen und gebt an, welche Merkmale allen Bildern einer Gruppe gemeinsam sind. Wenn euch zu den einzelnen Gruppen noch zusätzliche Brücken einfallen, ergänzt eure Gruppen.“

Um die spezifischen Formen der **Lastabtragung** an den wichtigsten Brückentypen zu demonstrieren, empfiehlt es sich, die abgebildeten Brückenmodelle nachzubauen und Belastungsproben durchzuführen, wobei die Schüler u. a. mit Hilfe von Kraftmessern oder Prüfriegeln die Hauptwege der Lastabtragung ermitteln können.

Ein entsprechender **Arbeitsauftrag** könnte hier heißen:

„Die Brückenmodelle unterscheiden sich u. a. dadurch voneinander, daß die Last auf verschiedenen Wegen von der Fahrbahn abgetragen wird. Versucht einmal bei jedem Modell den Hauptweg der Lastabtragung herauszufinden. Die Kraftmesser und die flexiblen Prüfriegel können euch dabei helfen.“

2.62 Feinlernzielgruppe: Sammeln von Kriterien, die beim Brückenbau berücksichtigt werden müssen.

2.62.1 Feinlernziel: Sammlung von technischen Daten.

Die Schüler sollen die technischen Daten wie Länge, Breite, Fahrbahnhöhe, Spannweite, Belastbarkeit usw. nennen, bzw. aufschreiben und sie in eine Rangreihe bringen.

2.62.2 Feinlernziel: Sammlung von ästhetischen Gesichtspunkten

An konkreten Brückenbeispielen aus der technischen Wirklichkeit sollen die Schüler ästhetische Gesichtspunkte, wie Formschönheit, landschaftliche Angepaßtheit usw. diskutieren und ihre Stellungnahme begründen.

2.62.3 Feinlernziel: Zusammenstellung von wirtschaftlichen Gesichtspunkten.

Die Schüler sollten die Entscheidung für einen Brückentyp in einer konkreten Situation auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten wie Pflege, Materialkosten (Materialaufwand), Materialbeschaffenheit, Haltbarkeit, Bauweise (Fertigteile) reflektieren und einen Katalog von Wirtschaftlichkeitsfaktoren aufstellen.

2.62.4 Hinweise zur Unterrichtsorganisation für die Feinlernzielgruppe 2.62

Zur Erreichung aller drei Feinziele kann die Anfangssituation die gleiche sein. In einer Unterrichtsstunde zu diesem Thema wurden zu Bildern von Brückenlandschaften vereinfachte Schemazeichnungen angefertigt, die die wesentlichen landschaftlichen Verhältnisse wiedergaben, auf denen jedoch die Brücken im Gegensatz zu den Originalfotos fehlen. Die Stellen, an denen in Wirklichkeit die Brückenenden auflagen, wurden mit \times symbolisiert. Die Klasse wurde in Gruppen geteilt und jede Gruppe erhielt verschiedene Schemazeichnungen, die in der Ergänzungsmappe B für die Hand des Schülers eingelegt sind.

1. Arbeitsauftrag:

„Vor euch auf dem Tisch liegen Schemazeichnungen von Landschaften. Wenn ihr diese Landschaftszeichnungen betrachtet, entdeckt ihr jeweils zwei Stellen, die mit \times gekennzeichnet sind. Von der einen \times -Stelle zur anderen soll eine Brücke gebaut werden. Überlegt euch zunächst, welche Daten, Angaben, Gesichtspunkte ein Bauingenieur für den Bau einer Brücke braucht, bzw. bedenken muß. Stellt diese auf einem Blatt zusammen.“

In der Gruppendiskussion wurden z. B. folgende Angaben für wichtig befunden: Höhe, Breite der Brücke, Baumaterial, lokale Temperaturschwankungen, Belastbarkeit, Rentabilität, Anpassung an die Landschaft, Verwendungszweck, Bodenbeschaffenheit, Kosten, Höchstpegelstand des Flusses, lokale Verkehrsverhältnisse, Fahrbahn-

höhe, Flußströmung, Verantwortbarkeit der Steuergelder.

Jeder Schülergruppe wurde daran anschließend mitgeteilt, um welche Brücken (Klassifikation nach Verwendungszweck, siehe Tafel II, S. 27) es sich bei ihren jeweiligen Vorlagen handelt.

2. Arbeitsauftrag: „Entwerft in diese Zeichnung eine Brücke.

Die Auflager der Brücke liegen jeweils bei X. Gebt in der Zeichnung durch Pfeile an, wie die Lasten von der Brückenfahrbahn ins Erdreich abgetragen werden.“

(Mit diesem Arbeitsauftrag könnte auch das Ferienziel 2.61.3 eingeleitet werden.)

Die Schüler, die gemäß ihrer Vorlage (siehe Abb. 264), eine Flußbrücke konstruieren sollten, einigten sich alle auf eine seilverspannte Balkenbrücke.

Aus den Schülerarbeiten haben wir die in Abb. 265 wiedergegebene ausgewählt. Sie ist für die Gruppe, die einen zeichnerischen Entwurf dieser Brücke anfertigte, repräsentativ und diente zuletzt auch als Diskussionsgrundlage für die ganze Gruppe.

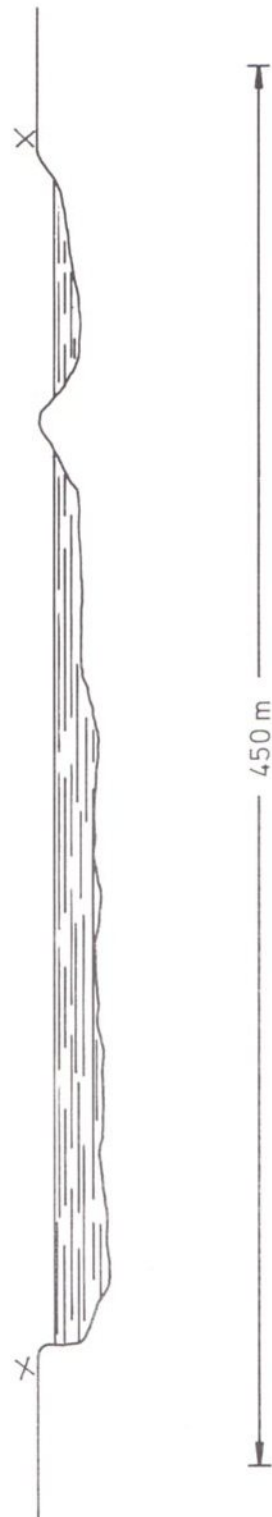


Abb. 264 Vorlage 1

- 1.) Bodenbeschaffenheit am Ufer, Klima
- 2.) Maße und Verwendungszwecke der Brücke
- 3.) Tragfähigkeit
- 4.) Pegelstand des Wassers
- 5.) Höhe über Wasseroberfläche, u. Wassertiefe

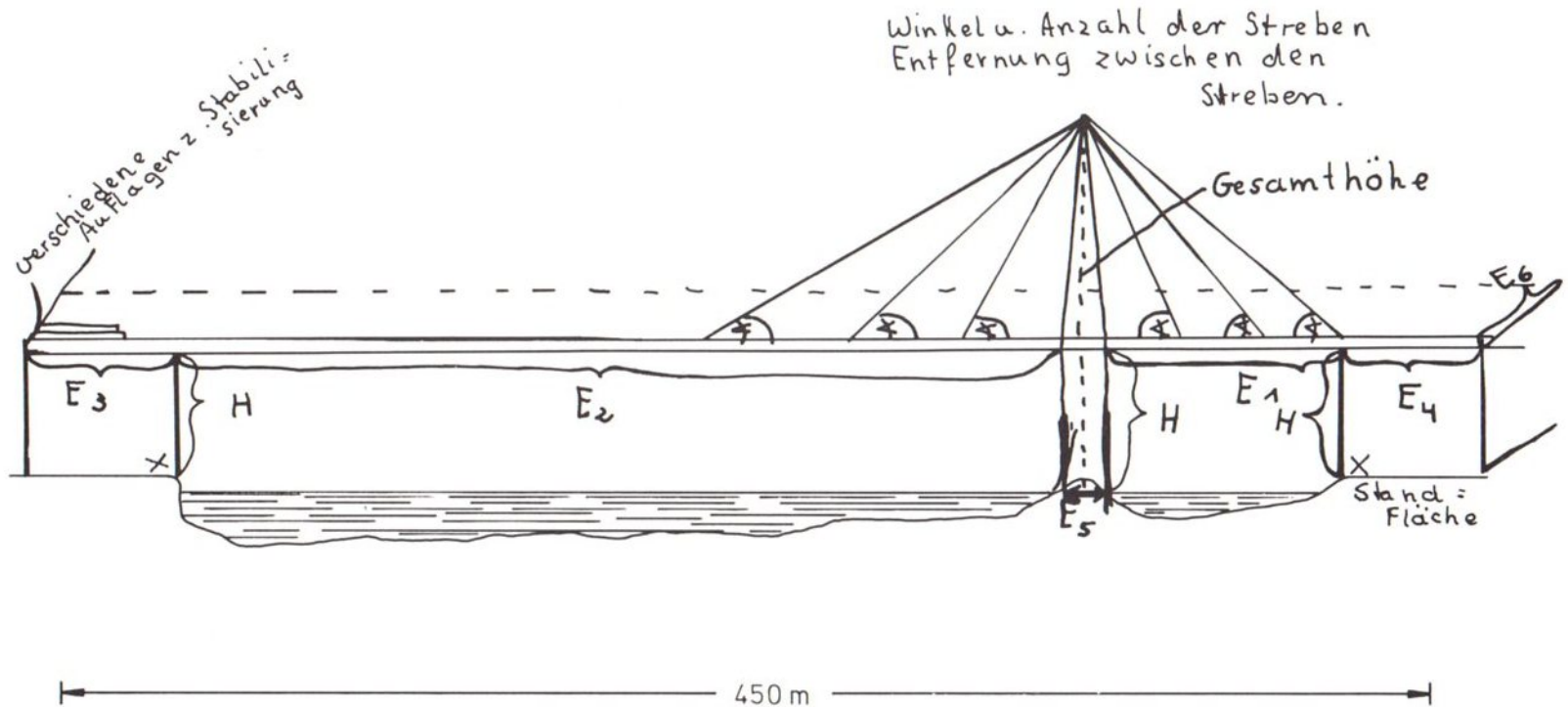


Abb. 265

110 m

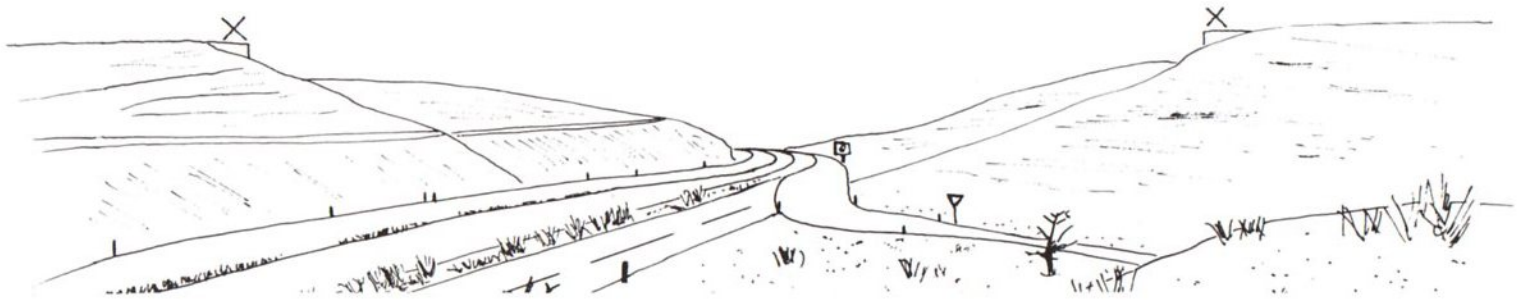


Abb. 267 Vorlage 2

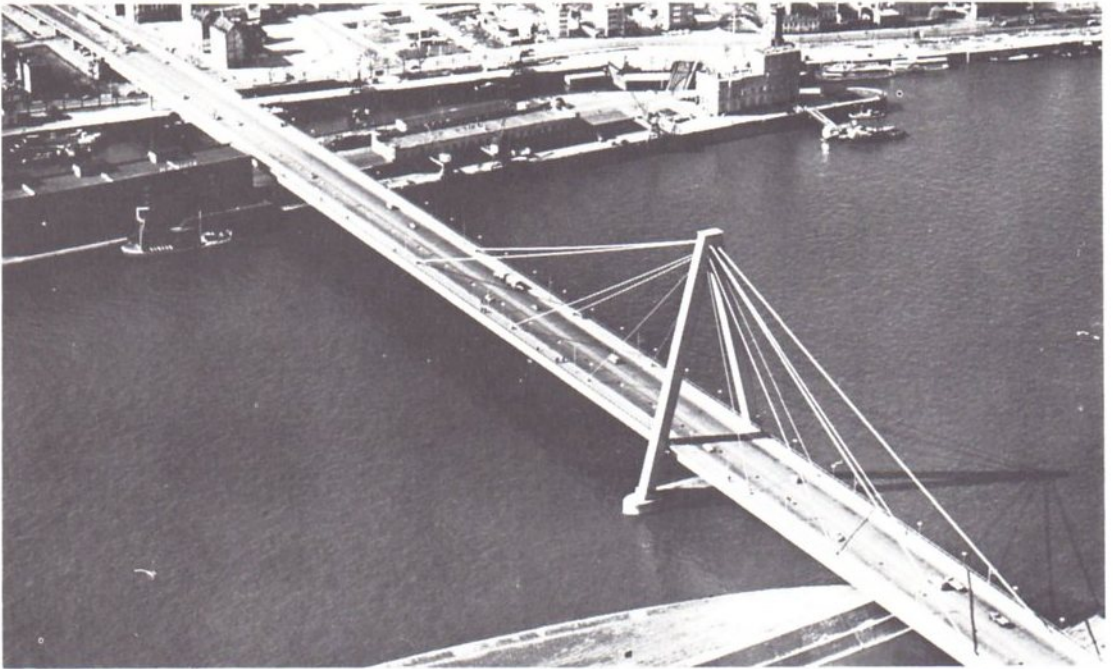


Abb. 266 Es handelt sich beim Original, das der stark vereinfachten Schemazeichnung als Vorbild diente, um die Severinsbrücke in Köln.

Es ist erstaunlich, daß die Schüler, denen das Originalfoto nicht bekannt war, für das Überbrückungsproblem dieselbe technische Konstruktion vorschlugen, die von den Brückenbauingenieuren 1958 realisiert wurde. Bei der Schülerzeichnung ist die Seilabspannung büschelartig, während sie in natura nach Art eines Fächers vorgenommen wurde. Auch die von den

Schülern gewählte dreifache Abspannung entspricht dem Originalbauwerk. Ebenso die Abstände der einzelnen Seilpaare vom Pylon und die dazugehörigen Winkel.

Bei der zweiten Vorlage handelt es sich um eine Autobahnfußgängerbrücke bei Aachen.

Abb. 267 siehe S. 133



Abb. 268 Lindenwegbrücke über die Autobahn bei Aachen.

Von den 7 ausgewählten Beispielen kommen die Abbildungen 269 und 274 dem Original am nächsten. Die Konstruktionsvorschläge der Schüler scheinen in ihrer Mannigfaltigkeit für eine Diskussion über die Angemessenheit der Lösungen in ästhetischer, verkehrstechnischer und wirtschaftlicher Hinsicht geeignet. In einem solchen Gespräch wird der unnötige Materialaufwand wie er nach den Abbildungen 270, 272 und 274 für eine Fußgängerbrücke über die Autobahn betrieben wird, hervorzuheben sein. Inwieweit technische Konstruktionen Landschaftsbilder in einer Weise beeinflussen, wie dies nach den Abb. 270, 272, 274 geschieht, wird diskutiert werden müssen.

Im Gegensatz zur Severinsbrücke wurden hier beim 2. Beispiel aus der Schülergruppe mehrere Lösungen angeboten. (Siehe Abb. 269–275).

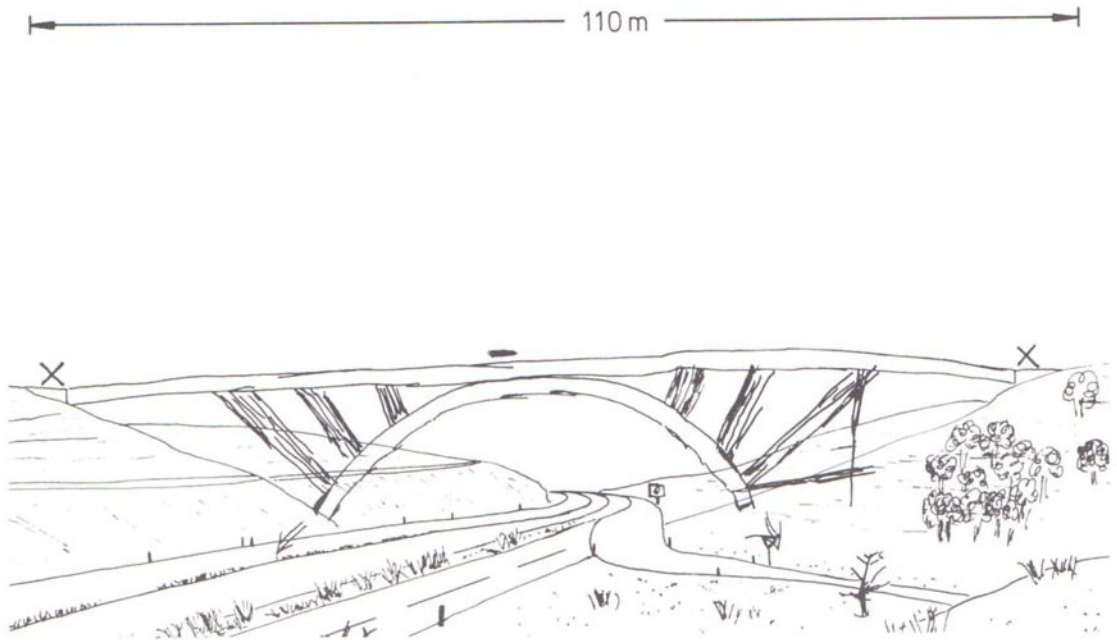
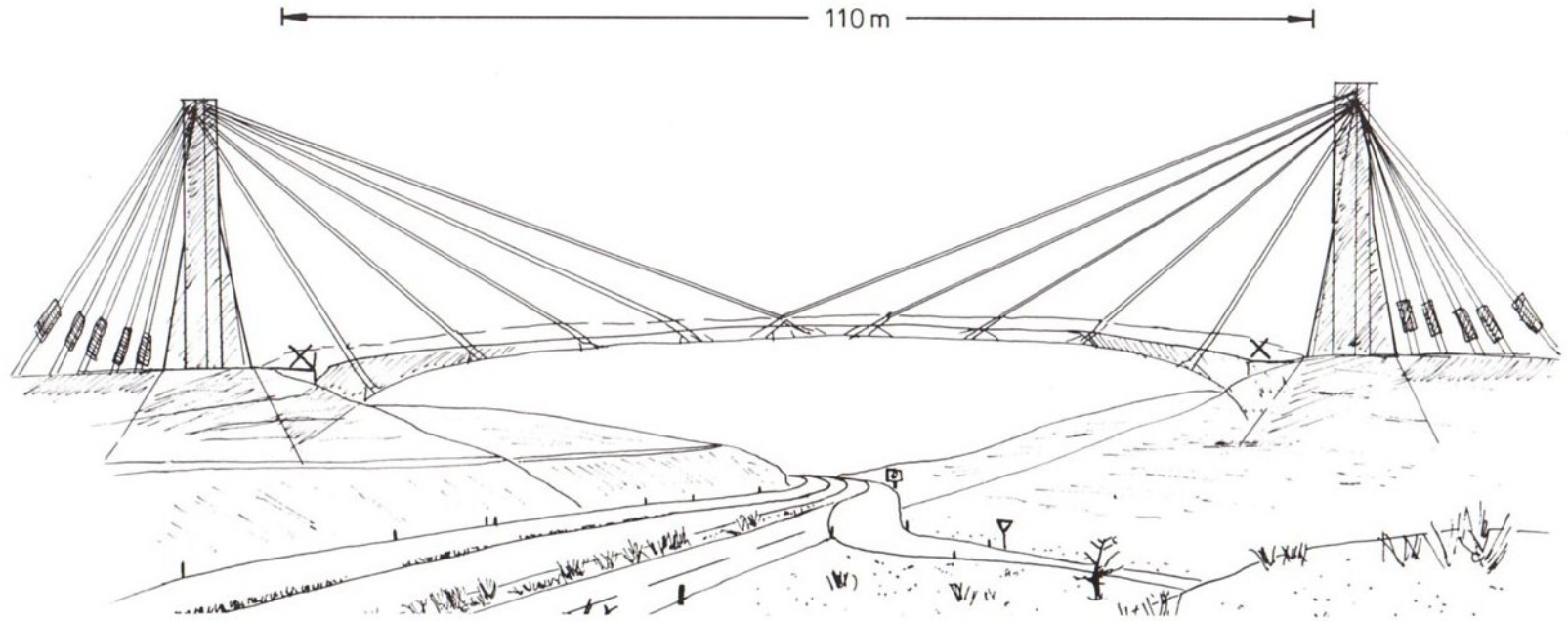


Abb. 269



Keine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, sowie der Anzei-
buden.

110 m

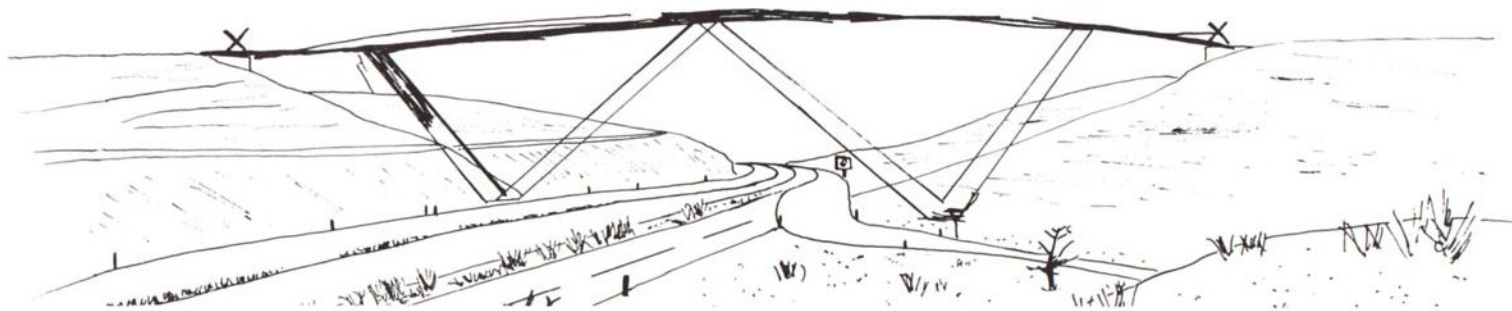


Abb. 271

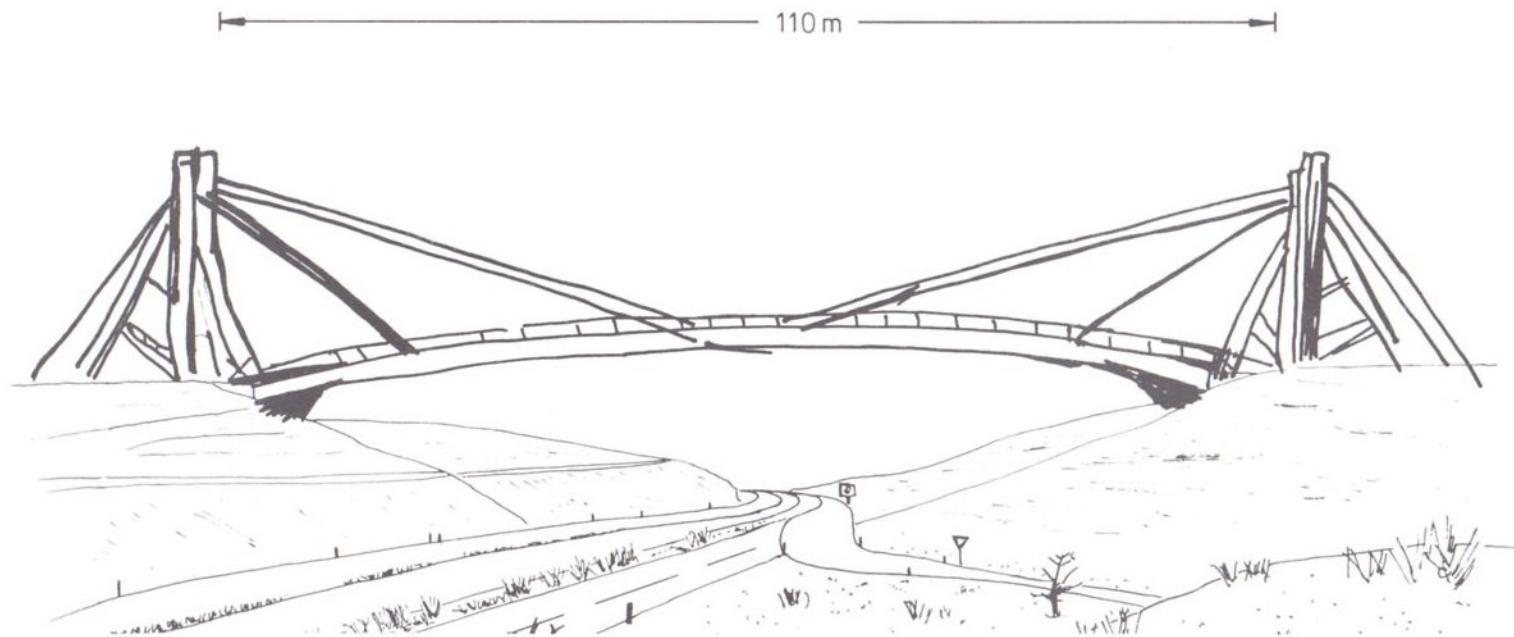


Abb. 272

110 m

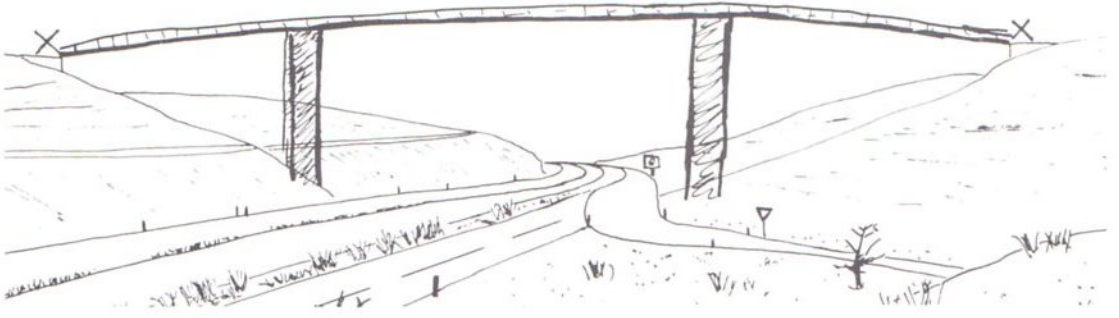


Abb. 273

110 m

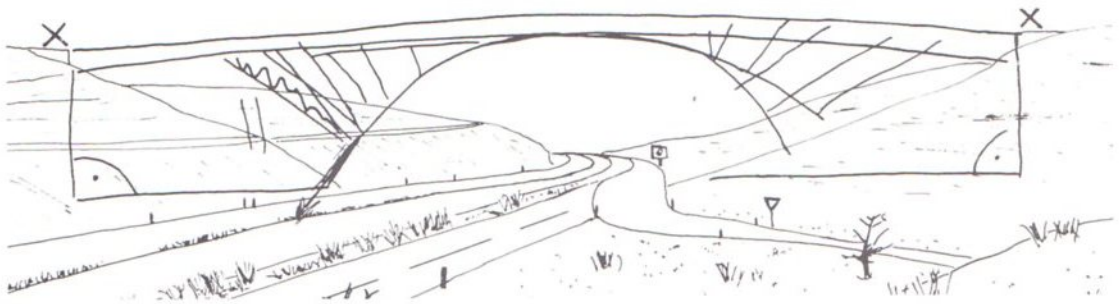


Abb. 274

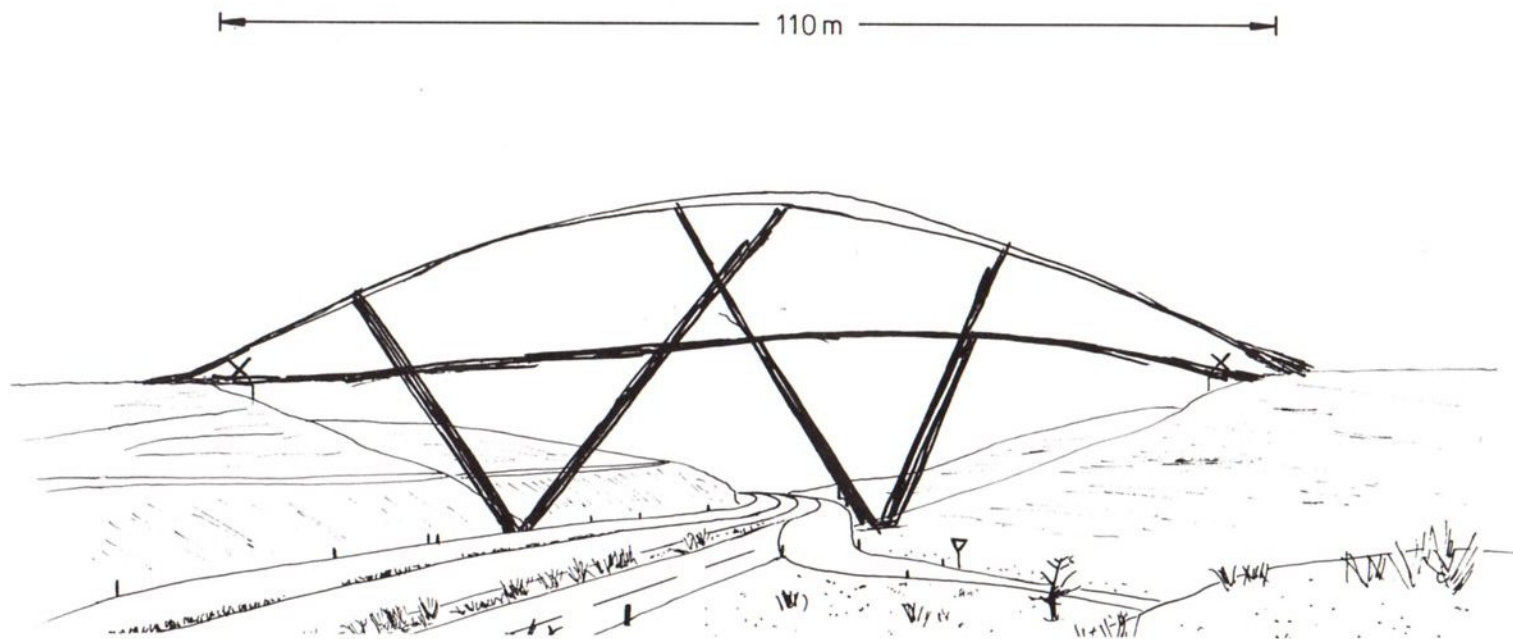


Abb. 275

390 m

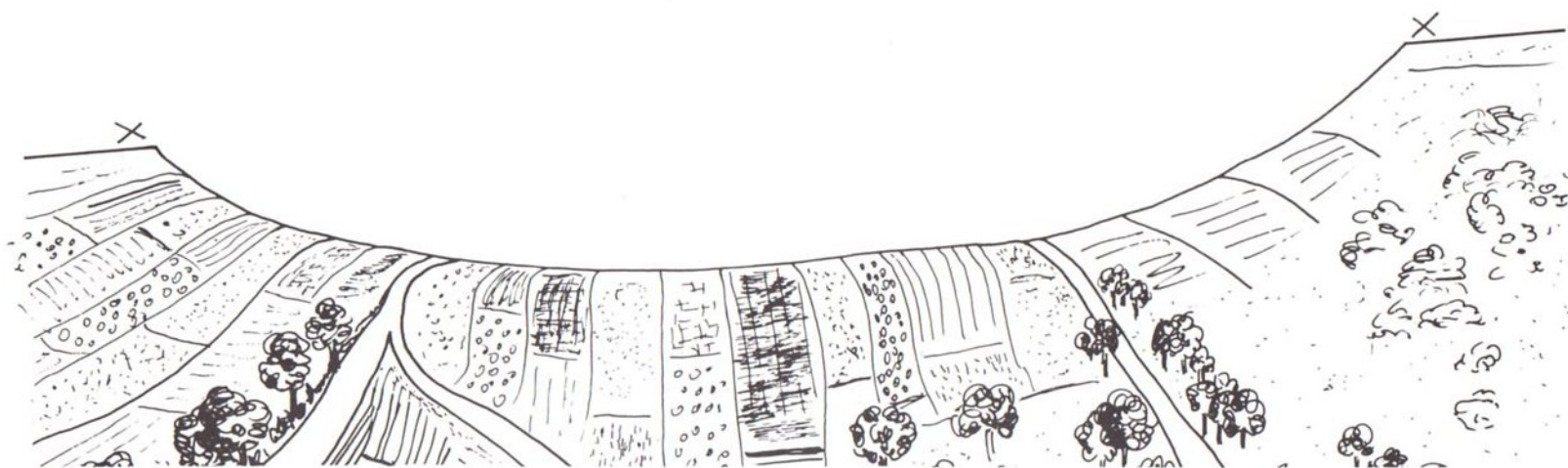


Abb. 276 Vorlage 3

Bei dem Original zur Vorlage 3 (s. Abb. 276) handelt es sich um die Kauppen-Brücke auf der Autobahnstrecke Frankfurt–Würzburg im Spesart.

Hier wurden von den Schülern im Grunde zwei Brückentypen angeboten, eine Balkenbrücke (siehe Abb. 278) und eine Schrägseilbrücke (siehe Abb. 279).

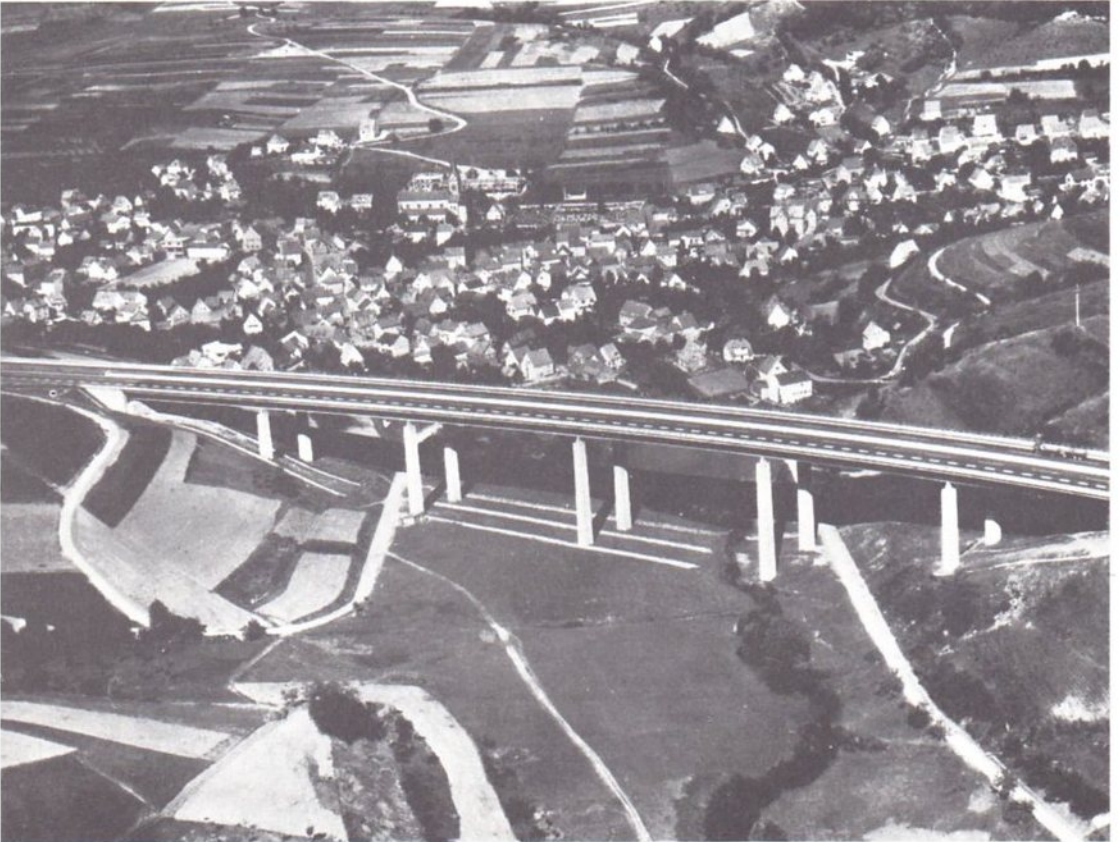


Abb. 277

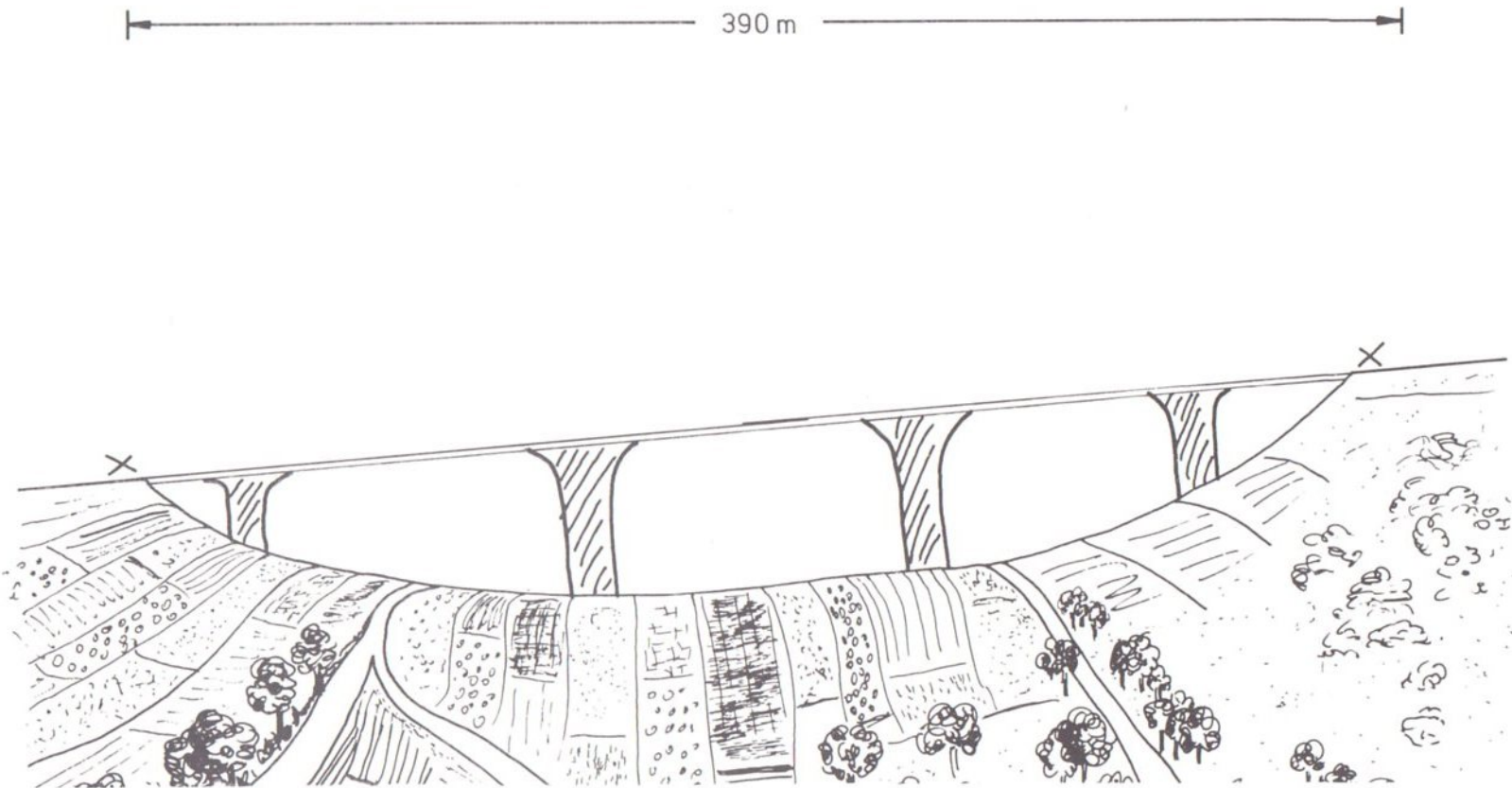


Abb. 278

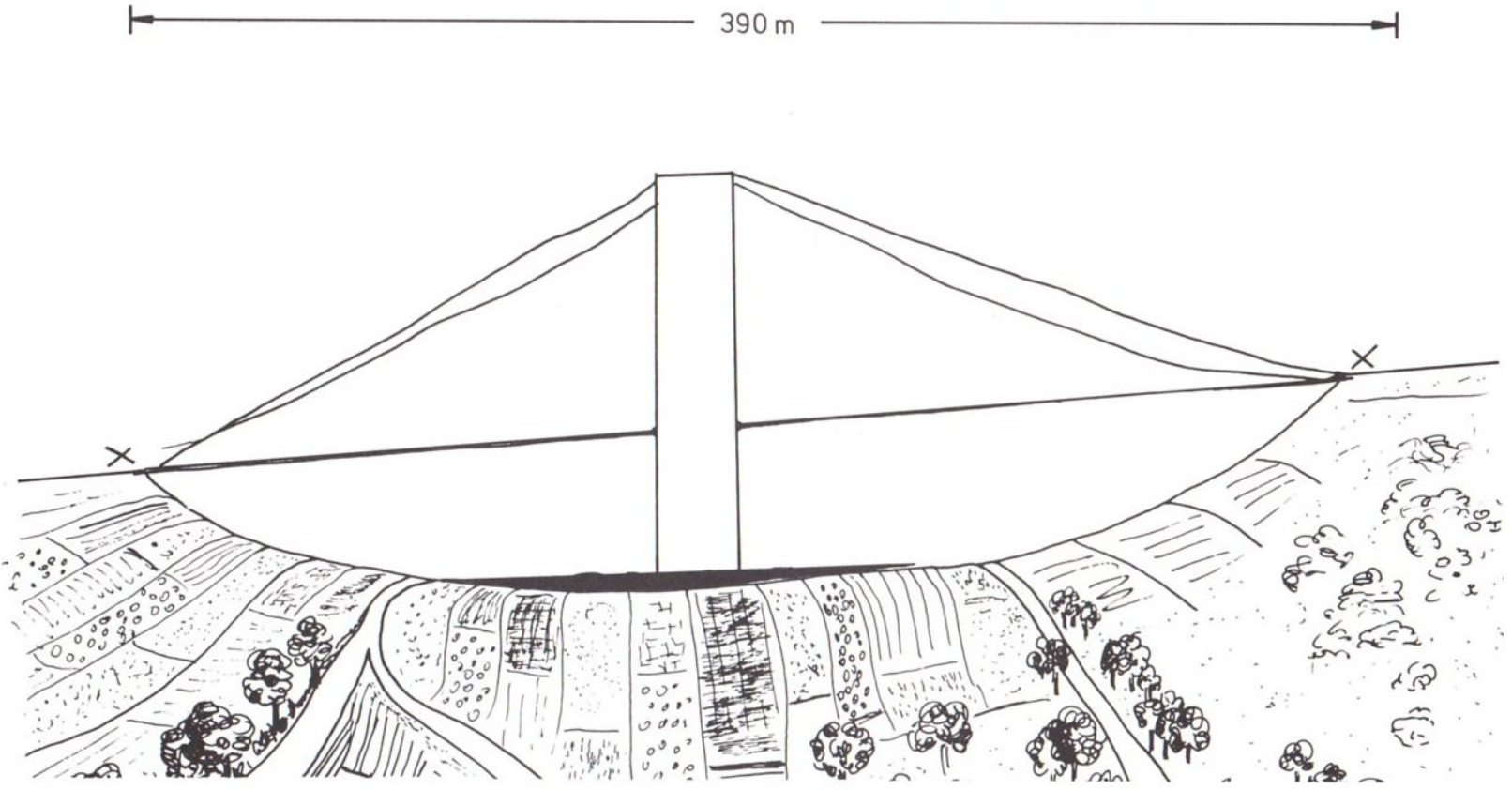


Abb. 279

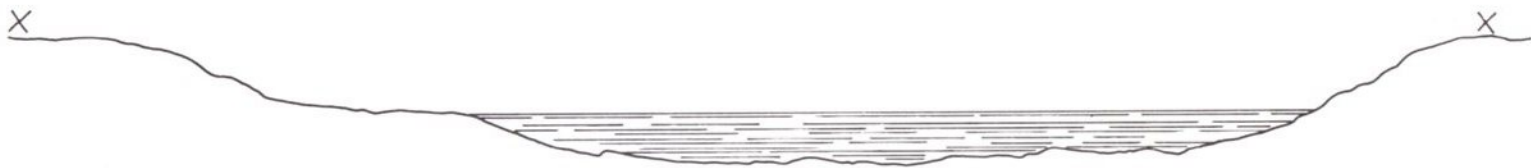


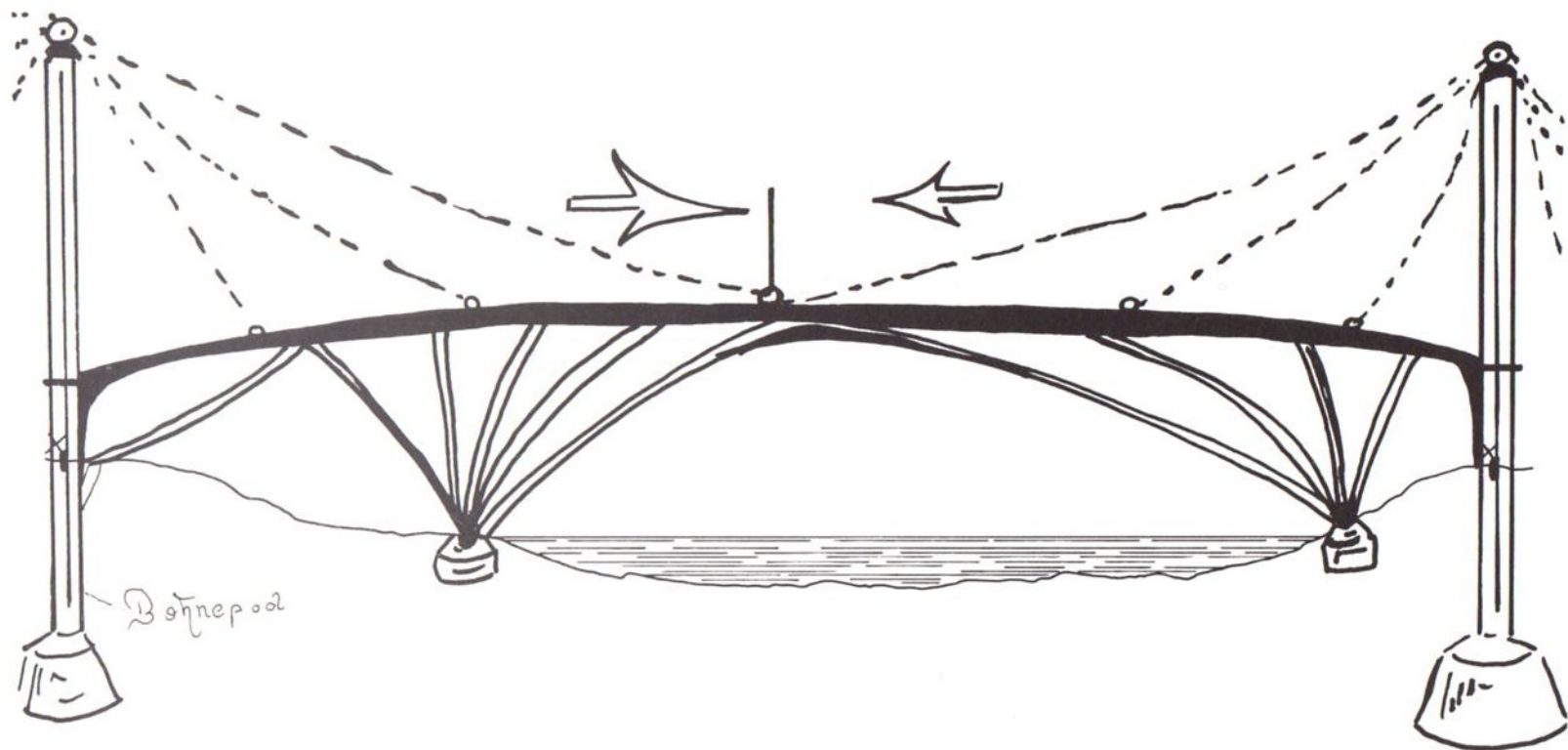
Abb. 280 Vorlage 4

Bei der 4. Vorlage (s. Abb. 280) handelt es sich wiederum um eine Flußlandschaft. Das einzige, was die stark reduzierte Schemazeichnung mit dem Original, das ihr zugrunde liegt, gemeinsam hat, ist die Spannweite von 380 Metern. Bei dem Original handelt es sich um eine Hängebrücke

über den Rhein in Rodenkirchen bei Köln (s. Abb. 281). In den hierzu angefertigten Schülerentwürfen findet man eine „unterstützte Schrägseilbrücke“, eine zwischengestützte Balkenbrücke und eine Bogenbrücke (s. Abb. 282, 283, 284).



Abb. 281



Вотнерод

380 m

Abb. 282

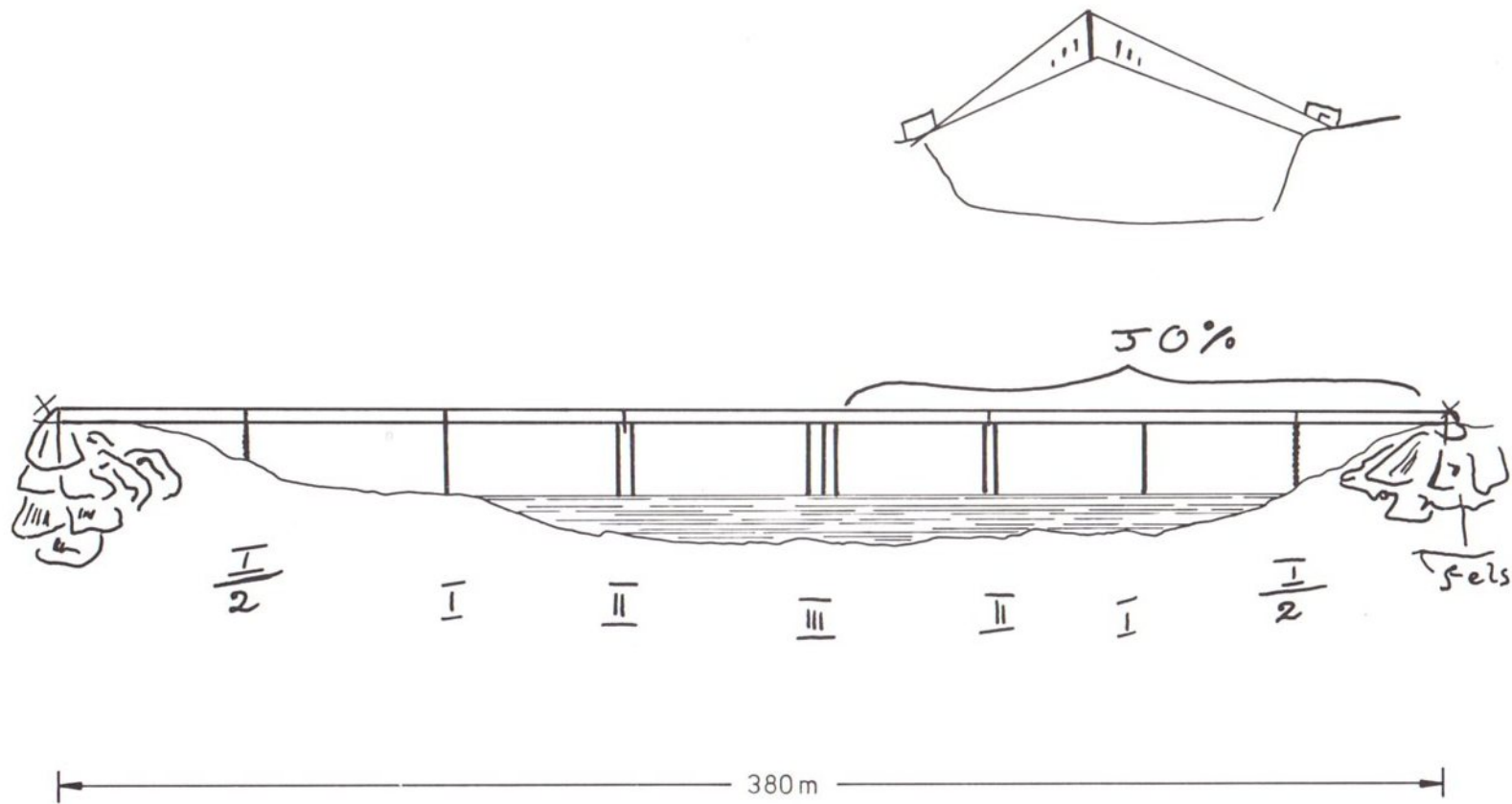


Abb. 283

380 m

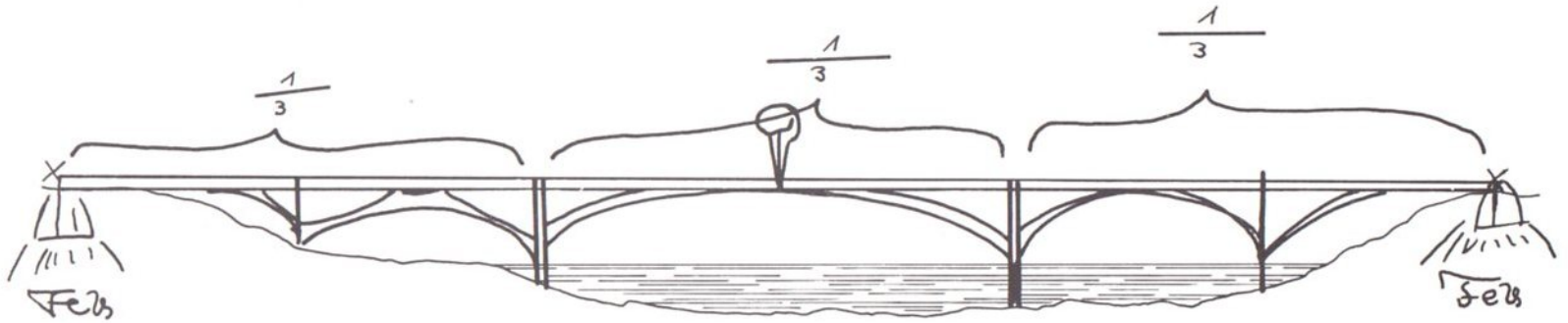
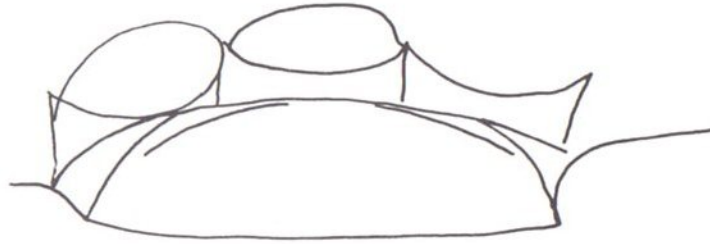


Abb. 284

Im Hinblick auf die Erarbeitung eines Kriterienkataloges böte sich hier schon – ohne daß man das Original heranziehen muß – ein Vergleich der Balkenbrücken (siehe Abb. 283) mit der Schrägseilbrücke (siehe Abb. 282) unter verkehrstechnischem Aspekt an. Auch eine vergleichende Betrachtungsweise dieser Brückentypen hinsichtlich der Bauausführung (z. B. die Ausführung der Brückenpfeiler oder die Anbringung der Seile) kann hier unter wirtschaftlichen und zeitökonomischen Gesichtspunkten angestellt werden.

Dort wo die Schüler sich auf bestimmte Lösungen fixiert haben, die statisch, wirtschaftlich, verkehrstechnisch oder ästhetisch problematisch sind, können den Schülern die Originalfotos gezeigt werden. Diese werden, gleichsam als Vermittlungshilfe, die Diskussion aufs neue anregen, indem sie möglicherweise andere Kriterien als die, die Schüler gefunden haben, deutlich und bewußt machen können. Ein entsprechender **Arbeitsauftrag** könnte heißen:

„Nachdem ihr die Überbrückungsaufgaben zeichnerisch gelöst habt, zeige ich euch die Originalfotos. Vergleicht eure Lösungen mit den Abbildungen und sucht die Vor- und Nachteile beider Lösungen in technischer, ästhetischer und wirtschaftlicher Hinsicht gemeinsam in eurer Gruppe zusammenzustellen.“

Für die Zusammenfassung einer Ordnung der ersten Diskussionsergebnisse dient die folgende Arbeitsvorlage, die auch der Ergänzungsmappe B beiliegt.

	Original		eigene Entwürfe	
Hinsichten	Vorteile	Nachteile	Vorteile	Nachteile
technisch (statisch)				
verkehrstechnisch				
wirtschaftlich (Materialaufwand, Zeit, Bauausführung)				
ästhetisch				

3. Türme und Masten

Vorbemerkung

Aus Platzgründen ist es leider nicht möglich, dieses Kapitel in derselben Ausführlichkeit wie bei den Brücken, getrennt in einen sachanalytischen und einen didaktischen Teil zu behandeln. Es wird deshalb der Versuch gemacht, in einer knappen Darstellung sowohl technische Informationen als auch didaktische und unterrichtsorganisatorische Hinweise zu geben. Aus diesem Grund werden neben den Abbildungen von Türmen und Masten aus der technischen Wirklichkeit auch zahlreiche Abbildungen von Modellen gebracht.

3.0 Allgemeines zum Bau von Türmen und Masten, zum Zweck und zur Unterscheidung

Türme sind freistehende, am Fuß im Erdboden **fest in Fundamenten verankerte senkrechte Tragwerke**, die eine räumliche Distanz zur Erdoberfläche schaffen. Diese dient zur Aussicht, zum Tragen von Fernmelde- und Fernsehantennen, Radargeräten, Wasserbehältern, Lichtquellen, Glockenstühlen usw. Türme können in Massivbauweise (früher „Stein auf Stein“ gemauert), in Beton (Stahlbeton) oder in Skelettbauweise in Holz, Stahl oder in Leichtmetall ausgeführt sein.

Masten können **sowohl als freistehende, fest in Fundamenten verankerte senkrechte Konstruktionen** mit Kragarmen (Traversen), **als auch mit Seilen abgespannte, beweglich gelagerte vertikale Tragwerke** ausgebildet sein. Masten dienen zum Tragen von „hochzuhaltenden“ Leitungen, Lichtquellen, Fernsehantennen, Richtstrahlern usw., außerdem zum Tragen der Seile für Seilbahnen und Lifte.

Türme und Masten werden außerdem als **Tiefbohrtürme und Tiefbohrmasten** eingesetzt; auch hier kann man den grundsätzlichen Unterschied nachweisen: Tiefbohrtürme sind immer freistehend, Tiefbohrmasten dagegen sind seilverspannt.

3.01 Zur Einteilung von Türmen und Masten

Wir haben in Tafel V eine Einteilung vorgenommen, die in ihrer Struktur der Tafel II bei Brücken entspricht. Wir unterscheiden dabei in zwei

Hauptgruppen: in ortsfeste und in ortsveränderliche Türme und Masten.

Den ortsveränderlichen Türmen und Masten geben wir keinen Raum zur Sachinformation, zu den ortsfesten Türmen und Masten geben wir in zwei Kapiteln, die wir als besonders wichtig betrachten, einige Erläuterungen – allerdings aus Platzgründen nicht in derselben Ausführlichkeit wie bei den Brücken.

Auch in den Tafeln V und VI ist dieselbe Struktur wie bei den Brücken-Tafeln gewählt, so daß Vergleiche bei den waagrechten und senkrechten Tragwerken angestellt werden können.

3.1 Ortsfeste Türme und Masten nach Art der Lagerung

Als einen der wichtigsten Einteilungsaspekte zur Lastabtragung bei senkrechten Tragwerken heben wir die Art der Lagerung hervor. Diesem Gesichtspunkt scheint der Laie zunächst garnicht soviel Aufmerksamkeit zu schenken, weil sich ihm vom äußeren Erscheinungsbild her ganz andere Kriterien aufdrängen, wie zum Beispiel die Aufrißform als typisches Erscheinungsbild, das sogar zum Wahrzeichen für eine Stadt werden kann. Typisches Beispiel hierfür ist bekanntlich der Eiffelturm in Paris.

Dieser geschwungen nach oben verjüngte Turm ist in seiner breiten Basis vierfach fest in Fundamenten eingespannt. Seine Fachwerkausbildung, die von manchen Betrachtern als „makabrer Stahlschwulst“ bezeichnet wird, ist von besonderer Art. Wir bringen in Abb. 286 ein Detailfoto, um daran zu zeigen, wie es ein begabter Konstrukteur im Geiste und Stil seiner Zeit verstanden hat, „mit Eisen statisch zu spielen“.

Waren es früher Repräsentation oder andere „typisch menschliche“ Beweggründe zur Errichtung von Türmen, so sind es heute fast durchweg technische und wirtschaftliche Aspekte. Die Funk-, Fernmelde- und Fernsehtechnik benötigt viele Objekte zum „Hochhalten“ von Antennen, Richtstrahlern usw. in großen Höhen. Über 25 m fällt aus wirtschaftlichen Gründen oft die Entscheidung für den viel billigeren seilverspannten Mast. Türmen wird dagegen überall dort der Vorzug gegeben, wo zu der rein technischen Aufgabenstellung eine Reihe weiterer Zwecke hinzukommt (wie z. B. drehbare Aussichtsräums, Aussichtsplattformen) oder auch repräsentative Überlegungen eine Rolle spielen.

Einteilung der Türme und Masten

Ortsfeste Türme und Masten

3.1 Nach Art der Lagerung

3.11 Freistehende, fest in Fundamenten eingespannte Türme und Masten

3.12 Mit Seilen abgespannte, beweglich gelagerte Masten

3.2 Nach konstruktiver Ausbildung

3.21 Vollwandtürme und -Masten

3.22 Fachwerktürme und -Masten

3.23 Rahmenwerktürme und -Masten

Nach der Aufrißform

Gleich breite Türme und Masten, gerade verjüngende Türme und Masten – geschwungen verjüngende Türme und Masten

Nach der Grundrißform

Viereckige Türme und Masten
Dreieckige Türme und Masten
Runde Türme und Masten

Nach dem Verwendungszweck

Aussichtstürme, Kirchtürme und Glockenträgertürme, Leuchttürme, Wassertürme, Flutlichttürme und -Masten, Funktürme und -Masten, Fernsehtürme und -Masten, Radartürme und -Masten, Bohrtürme und -Masten, Fördertürme und -Masten, Tragmaste für Freileitungen (Starkstrom), für Oberleitungen, für Seilbahnen und Lifte

Nach der Besteigbarkeit

Mittels besonderer Leitern oder Treppen besteigbare Türme und Masten – Mit Steigeisen besteigbare Masten

Nach Baustoffen

Steintürme/Stahlbetontürme und -Masten (Massivtürme und -Masten), Holztürme und -Masten, Stahltürme und -Masten, Leichtmetalltürme und -Masten

Ortsveränderliche Türme und Masten

Nach Verwendungszweck

Mobile Bohrtürme und Bohrmasten

Mobile Fördertürme und Fördermasten

Mobile Funkmaste

Mobile Radarmaste

Mobile Fernsehmaste

Mobile Glockenträger

Mobile Lichttürme und Lichtmasten

Nach Baustoffen

Mobile Holztürme und Holzmasten

Mobile Stahltürme und Stahlmasten

Mobile Leichtmetalltürme und Leichtmetallmasten

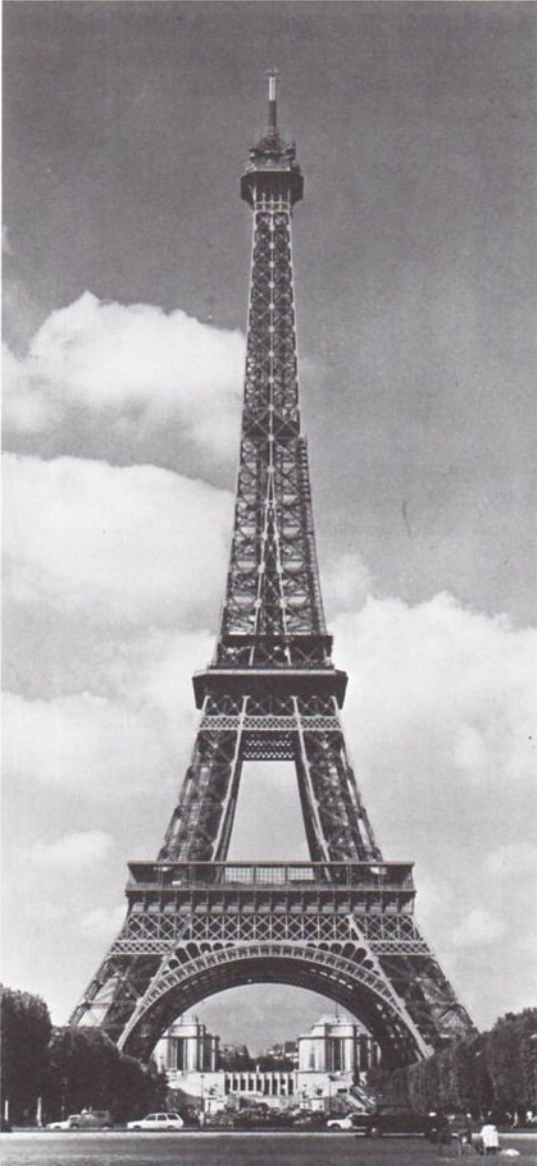


Abb. 285 Eiffelturm in Paris, vom Marsfeld her aufgenommen. Die Lagerung erfolgt in vier einzelnen, weit auseinanderliegenden Fundamenten.



Abb. 286 Fachwerkdetails vom Eiffelturm in Paris.

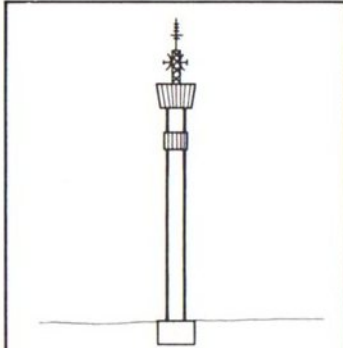
Als Beispiel heutiger Massivbauweise zeigen wir den jetzt in Mannheim gebauten Fernmeldeturm mit drehbarem Aussichtsrestaurant.

Dieser Fernmeldeturm ist nach Art der in Tafel VI gezeigten Beispiels (3.11.1) fest in ein sehr massives Fundament eingespannt.

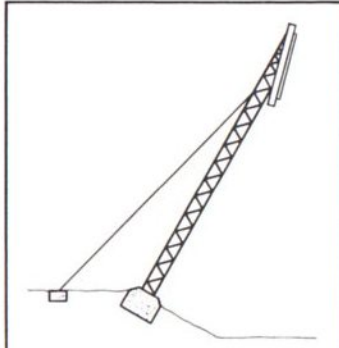


Abb. 287 Fernmeldeturm in Mannheim, Höhe 204,70 m. Typisches Beispiel für die heutige Stahl-Beton-Bauweise, bei der ein Kletterkran bis fast auf die gesamte Bauhöhe hochklettert und alle Baumaterialien anhebt.

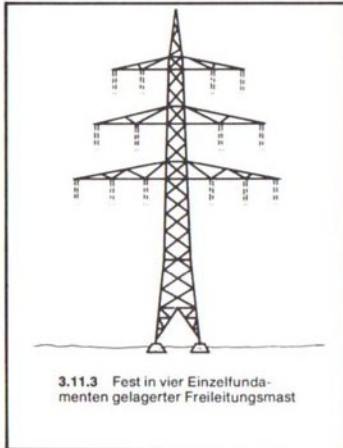
3.11 Freistehende, fest in Fundamenten eingespannte Türme und Masten



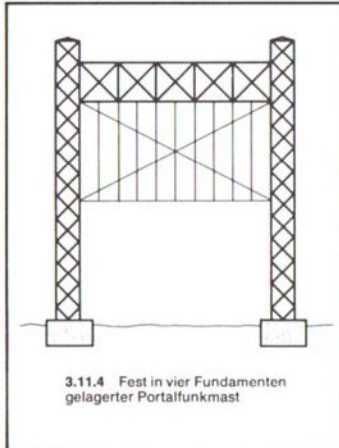
3.11.1 Fest in einem Fundament eingespannt, gleich breit bleibender Fernsehturm



3.11.2 Fest in einem Fundament eingespannt, schräg stehender Fluchturm mit zusätzlicher Seilabspannung

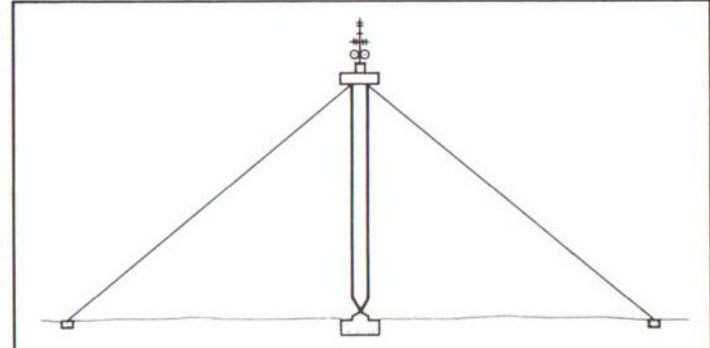


3.11.3 Fest in vier Einzelfundamenten gelagerter Freileitungsmast

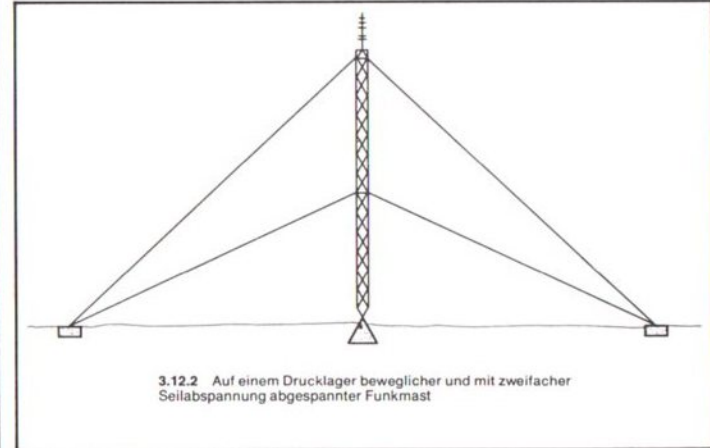


3.11.4 Fest in vier Fundamenten gelagerter Portalfunkmast

3.12 Mit Seilen abgeseigte, beweglich gelagerte Masten



3.12.1 Auf einem Drucklager beweglicher und mit einfacher Seilabspannung abgespannter Richtantennenmast



3.12.2 Auf einem Drucklager beweglicher und mit zweifacher Seilabspannung abgespannter Funkmast

3.11 Freistehende, fest in Fundamenten eingespannte Türme und Masten.

Tafel VI zeigt in 6 Beispielen die unter 3.1 genannten Unterschiede nach Art der Lagerung. Innerhalb der unter 3.11 gezeigten Typen haben wir je zwei Beispiele von Türmen (3.11.1 und 3.11.2) und je zwei Beispiele bei Masten ausgewählt (3.11.3 und 3.11.4), während bei den beweglich gelagerten Masten nur zwei Beispiele dargestellt sind (3.12.1 und 3.12.2).

Türme sind also immer freistehend und haben nur in Sonderfällen, wie bei dem ausgewählten Flutlichtturm in schräger Anordnung eine zusätzliche Seilabspannung. Wäre diese in 3.11.2 gezeigte Ausführung – es ist ein Flutlichtturm des Olympiastadions in München – beweglich gelagert (Drucklager), und mit Seilen abgespannt, so läge ein Flutlichtmast vor.

Nicht seilverspannte Masten, wie die vielen Freileitungsmasten – oder auch im Volksmund, „Hochspannungsmasten“ genannt – die **fest in einem Fundament verankert** sind, haben diese Eigenschaft mit den Türmen gemeinsam – erhalten den Namen „Mast“ jedoch durch auskragende Tragarme, sog. Traversen, Halterungen usw. Wir verdeutlichen den Unterschied an zwei Bildbeispielen.

In Abb. 288 ist der Fernsehumschalter des Südwestfunks in Altensteig (Württ.) wiedergegeben. Da diese Vollwandkonstruktion weder eine Seilverspannung (mit Lagerung) besitzt, noch horizontal angebrachte Traversen aufweist, ist sie demnach in die Gruppe der Türme einzuordnen – auch wenn sie nur von geringerer Höhe ist als die üblichen Fernsehtürme.

Abb. 289 zeigt dagegen ein typisches Beispiel für die vielerlei Freileitungsmaste unserer Industrielandschaft: Mit horizontal auskragenden Traversen versehene Freileitungsmaste in Fachwerkausbildung bei Mannheim-Feudenheim.

In den Abb. 290 und 291 zeigen wir zwei Beispiele für das feste Einspannen von Türmen und Masten auf der Baukastenebene.

Abb. 290 stellt das Einspannen eines gleich breiten Turmes in Fachwerkausbildung dar.

Abb. 291 zeigt das feste Einspannen in vier einzelne „Fundamente“ eines Hochspannungstragmastes mit nach oben verjüngendem Basisteil.

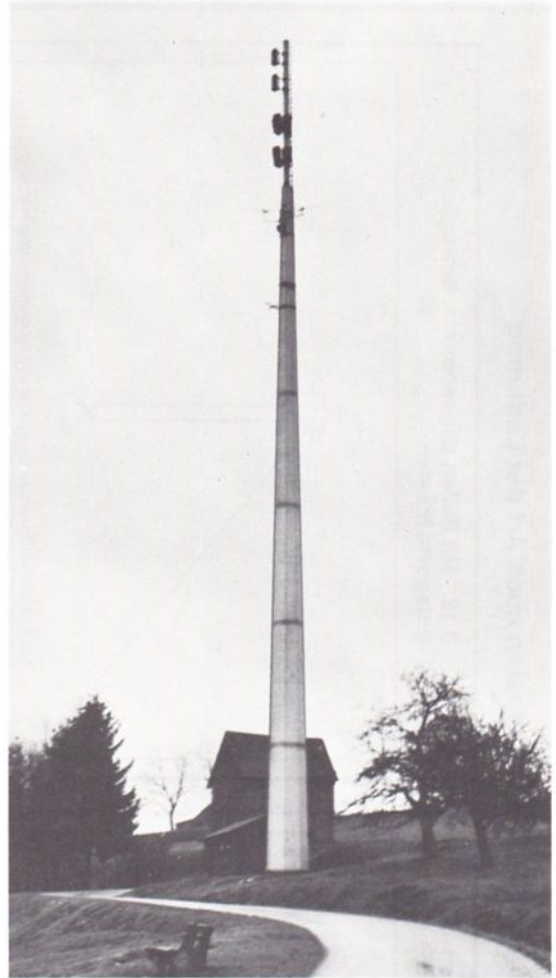


Abb. 288 Beispiel für einen fest im Fundament eingespannten kleinen Turm.

Es dürfte als selbstverständlich gelten, daß die gezeigten Modell-Lagerungen nicht im echten Sinne als Fundamente angesprochen werden können – die „“ sollen dies andeuten. Wir bringen deshalb noch ein Beispiel aus der Technik, um die Frage der festen Verankerung zu klären.

Daß die so klein und leicht aussehenden vier runden Einzelfundamente der Abb. 292 nicht nur ein wenig unter die Grasnarbe reichen, wird der technische Laie wohl vermuten – wie tief jedoch eine **Gündung** (so der Fachausdruck) sein muß, wird er kaum wissen.



Abb. 289 Beispiel für fest in Fundamente eingespannte Maste.

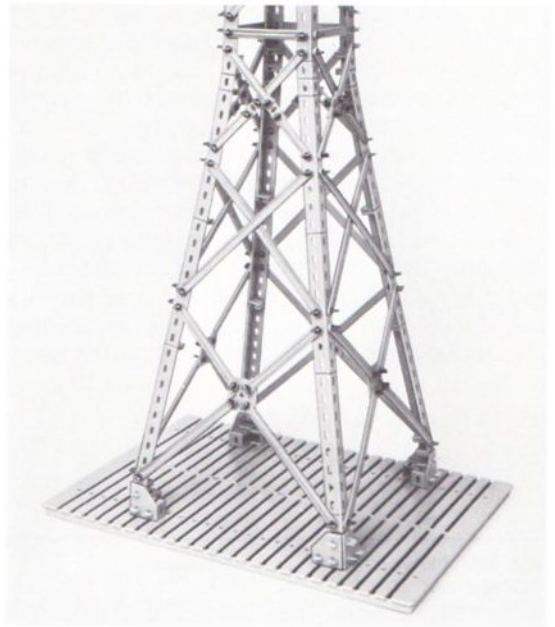


Abb. 291 Vier einzelne „Fundamente“, bestehend aus je drei Winkelträgern 15 und je zwei Eckknotenplatten sind auf einer Großbauplatte befestigt und ergeben einen festen Halt für die vier Eckstiele.

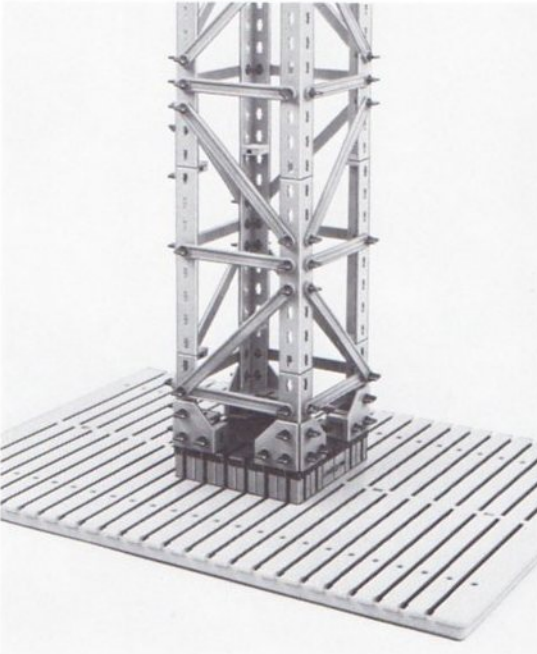


Abb. 290 Fest in ein „Fundament“ eingespannter Turm in Fachwerkausbildung. In einer Großbauplatte ist mittels Bausteinen 15 mit 2 Zapfen eine kleine Grundplatte befestigt, an der die vier Stiele des Fachwerksturms angebracht sind. Damit diese einen festeren Sitz erhalten, sind sie mit je zwei Eckknotenplatten verriegelt, die außerdem an je zwei Winkelträgern 15 befestigt sind.



Abb. 292 Die Gründung eines Endabspannmastes des E-Werks in Mannheim-Käfertal. Siehe auch hierzu die Abb. 301 und 302.

Da die Gründungen der Maste je nach Belastung auf Druck und in besonderen Fällen sogar auf Zug beansprucht sind, ist die Standsicherheit eines Mastes weitgehend von der Form der Fundamente abhängig. Wäre immer nur Druckbeanspruchung vorhanden, so würden gleichstarke versenkte Betonklötze genügen. Das Kriterium der Zugbeanspruchung verlangt jedoch eine Ankerwirkung, die in vielfältiger Weise erreicht wird. Wir zeigen diese Ausbildungsarten in Abb. 293.

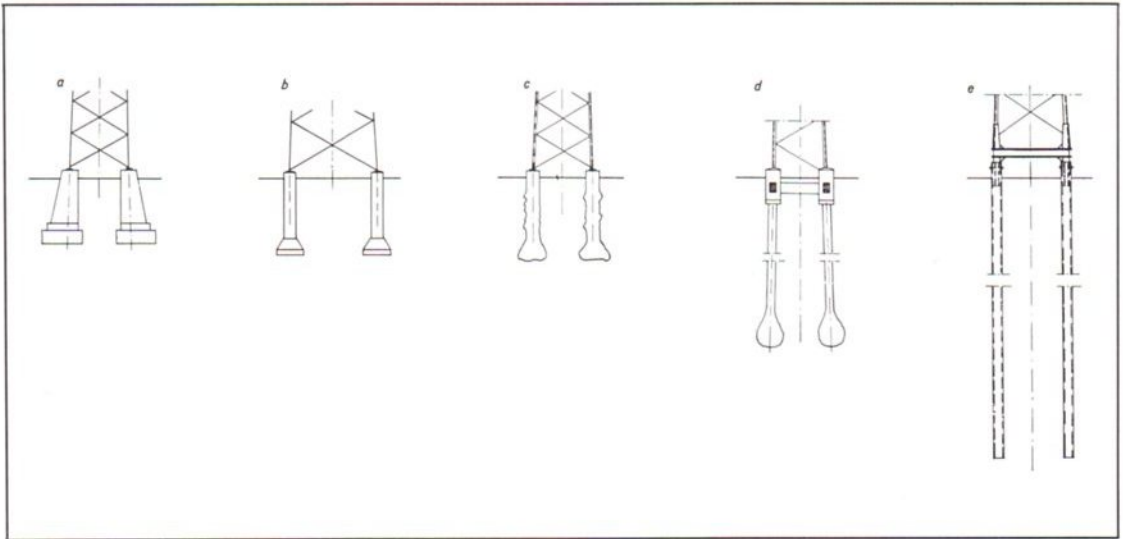


Abb. 293 Die wichtigsten Fundamentsarten.

Es stellen dar:

- a Stufenfundamente
- b Einsetzfundamente
- c Rohrfundamente
- d Bohrpfahlfundamente
- e Stahlrammfundamente

Die Beispiele zeigen, daß die Ankerwirkung durch die unteren Verbreiterungen (a–d) oder durch die sehr tiefen Pfahlgründungen (e) gegeben sind, wobei die Ankerwirkung noch durch die Mantelreibung der Fundamente verstärkt wird.

Den Zeichnungen a–e ist die einzelne Einspannung der vier Eckstiele in vier einzelnen Fundamenten gemeinsam. Bei Freileitungsmasten gibt es jedoch auch – wenn auch nicht so häufig – die andere Lösung, die dem Modellbeispiel in Abb. 290 entspricht. Vor allem benutzt man diese Ausführung bei Fahrleitungsmasten der Bundesbahn, für die keine so große Beanspruchungen auftreten wie bei Freileitungsmasten für Hochspannungen. Wir bringen hierzu die Abb. 294, um dabei gleichzeitig auch auf einen Vergleich mit dem Tragsystem der Hängebrücke aufmerksam zu machen. Es wäre gut, wenn Schüler hier einen Transfer zur Seil-Hängelinie bei der Hängebrücke herstellen aber auch herausfinden könnten, daß die Seilrückverankerung hier fehlt. Die auf Biegung beanspruchten, in einem Fundament fest eingespannten Masten sind biegesteif durch die Fachwerkausbildung, so daß eine hier störende, weil platzraubende, Seilrückverankerung nicht nötig ist.

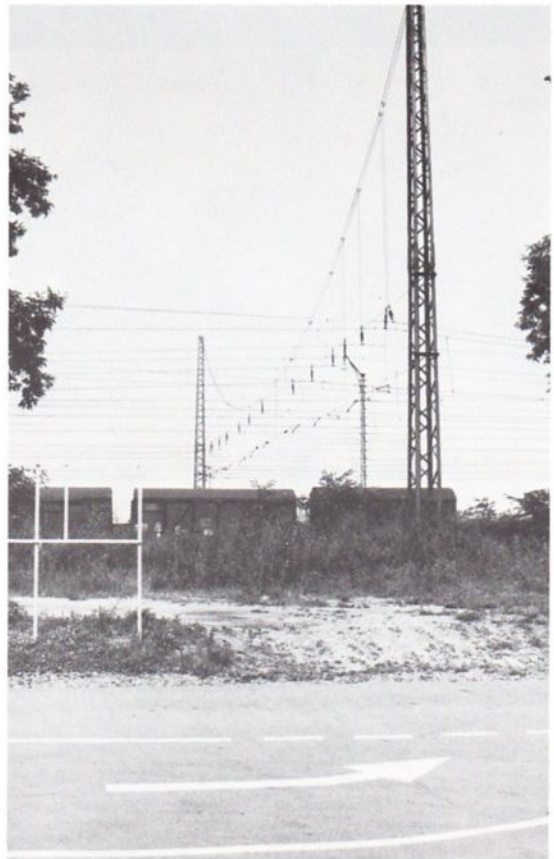


Abb. 294 Doppel-Fahrleitungsmaste der Bundesbahn des Rangierbahnhofs in Weinheim. Meist verwendete Ausführung bei vielgleisigen Strecken bzw. Rangierbahnhöfen. Die vier Eckstiele der Masten sind in einem gemeinsamen Fundament eingespannt.

Wir fügen hier außerdem ein derzeit noch im Bau befindliches Projekt einer neuen Lösung für Nahverkehrsmittel an, das anlässlich der Bundesgartenschau in Mannheim erstmals zur Erprobung kommen soll. Es handelt sich um die von einem Schweizer Erfinder initiierte „Schienenstrecke“ für „Airbusse“, die an Masten besonderer Form nach dem Prinzip der Tragkonstruktion einer Hängebrücke gestaltet ist.

Bei Abb. 295 sind links im Bild die Tragmasten für ein doppel T-förmiges Kurvenstück und hinten (links neben dem Gebäude der Feuerwache)

ein Tragmast in eigenwilliger „W“-Form zu erkennen. Die Tragseile sind über die W-Masten geführt, an denen mittels Hängern – wie bei der Hängebrücke anstelle der Fahrbahn – die Fahr-schienen angebracht sind. Diese etwa nur einen halben Meter voneinander entfernten stromführenden Schienen sind, wie Abb. 296 deutlicher zeigt, selbst etwas geschwungen geführt. Diese Art „Vorspannung“ soll das Nachgeben der Hängeseilkonstruktion ausgleichen. Die Airbusse (gliederartige Kabinen) hängen ähnlich wie bei Seilbahnen an diesen Schienen. Fachleutesagen dieser Konstruktion eine große Zukunft voraus.



Abb. 295 Neckarüberspannung der im Bau befindlichen Airbus-Bahn neben der Kurpfalzbrücke in Mannheim. Die Konstruktion der „Schienenstrecke“ ist nach dem Tragsystem der Hängebrücke gestaltet.



Abb. 296 Die Airbus-Hochseilbahn in Mannheim-Neckarstadt.

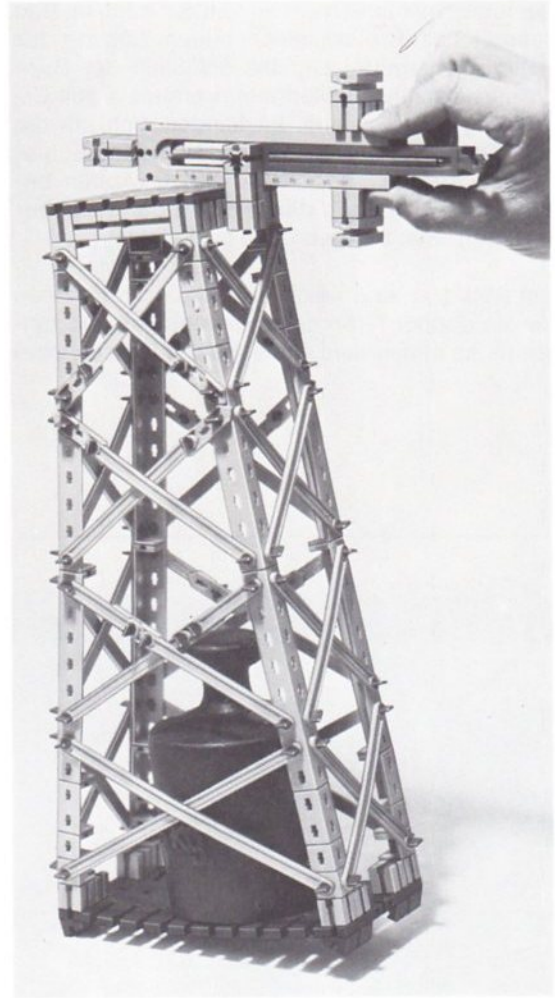


Abb. 297 Versuch zur Kippsicherheit (Standsicherheit) bei einem Turm mit rechteckigem Sockel und quadratischer Plattform.

3.11.1 Zur Standsicherheit von Türmen und Masten

Zur Frage der Standsicherheit bei Türmen und Masten, die ja eng mit der Art der Lagerung verbunden ist, wurde bisher als selbstverständlich angesehen, daß eine Lagerung mit breiter Basis eine viel größere Kippsicherheit ergibt. Dieses Problem, das den meisten Schülern „gefühlsmäßig“ klar zu sein scheint, könnte dennoch durch einen Versuch – oder gar durch rechnerische oder zeichnerische Aufgabenstellung – bewußter hervorgehoben werden.

In Abb. 297 ist dies veranschaulicht. Ein kleiner Turm mit einer „ungleichen“ Aufrißform, aus einem u-t 1- und einem u-t S-Kasten herzustellen, wird innerhalb der Sockelplatte (große Grundplatte) mit einem 5-kg-Wägestück versehen. Wird der Kraftmesser (wieder als „Doppel-Druckmesser“ aus zwei neuen Kraftmessern zusammengesteckt) in Richtung der nach unten breiter werdenden Aufrißform angesetzt, so kippt der Turm erheblich später als bei einem Versuch in der anderen Richtung – also um 90 Grad versetzt.

3.11.2 Ungleiche Belastung bei Freileitungsmasten

Freileitungsmasten sind bisweilen nur einseitig mit Freileitungen versehen. Diese Anbringung reicht solange aus, bis ein größerer Energiebedarf in der betreffenden Gegend eine beidseitige Anordnung notwendig macht.

Abb. 298 zeigt einen solchen einseitig belasteten Freileitungsmast neben der Autobahn bei Heilbronn. Dieses einseitige Tragen der Leitungen beansprucht die Konstruktion schon bei Windstille auf Biegung, weil die Traverse als Hebelarm wirkt und dadurch ein Moment übertragen wird. Kommt nun bei ungünstiger Wetterlage noch ein Eisbehang hinzu und womöglich noch Sturm

aus Richtung der nicht belasteten Seite, so wird die Biege-Beanspruchung ungleich größer.

Dies kann so weit führen, daß in den beiden Stielen der nicht belasteten Seite (im Bild rechts) trotz des Eigengewichts Zugkräfte wirksam werden, die gleichzeitig auf die Fundamente einwirken.

Bei der Konstruktion von Freileitungsmasten sind derartige Gefahrenmomente selbstverständlich mitberücksichtigt. Die Dimensionierung der Stiele und Streben, ihre Profilierung sowie die Art der Ausfachung gewährleisten eine absolut sichere und biegesteife Ausführung.

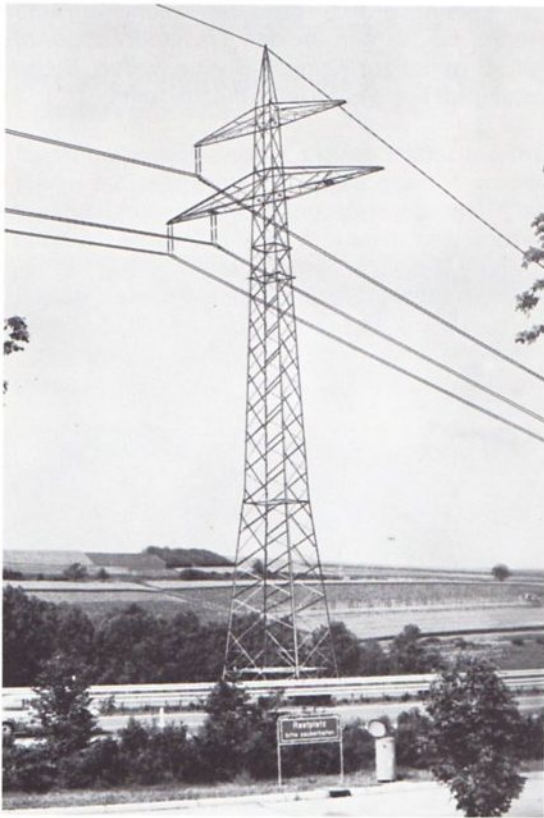


Abb. 298 Nur einseitig tragender Freileitungsmast. Zusätzliche Kräfte, wie Wind, Eisbelag usw. erhöhen die einseitige Belastung.

3.11.21 Beispiele für Schülerversuche am einseitig belasteten Modell

In Abb. 299 ist die Beanspruchung des Freileitungsmasts von Abb. 298 am Modell-Versuch gezeigt. (Nähere Einzelheiten zur Konstruktion dieses Mastmodells sind in der Ergänzungsmappe B zu diesem Lehrerhandbuch zu finden.)

Der Schüler auf Abb. 299 zieht an der linken Traversenspitze mit zwei zusammengesteckten Kraftmessern. Zugkraft etwa 1 kp. Die Folge ist eine Biegung in der Mastkonstruktion, weil die Statik-Bauelemente bei so starker Belastung – und dies ist zum Sichtbarmachen der Kräfte sehr vorteilhaft – ein wenig nachgeben. Die Schüler erkennen, daß die beiden linken Eckstiele auf Druck, die beiden rechten auf Zug beansprucht sind und folgern im Hinblick auf die Lagerung, daß gerade bei Zugbelastung für die Verankerungsaufgabe mehr als ein Zapfen eines Winkelträgers in den Nuten der Großbauplatte notwendig ist (siehe auch Abb. 291).



Abb. 299 Das in der Ergänzungsmappe B näher beschriebene Freileitungs-Mast-Modell wird einseitig belastet. Deutlich sind die Auswirkungen der Kräfte zu erkennen: Durchbiegung zur belasteten Seite hin = Druck in den Eckstielen (und in den „Fundamenten“) auf der Lastseite, Zug in den Eckstielen (und in den beiden „Fundamenten“) der lastfreien Seite.

Außerdem ist eine leicht S-förmige Durchbiegung des auf Druck belasteten unteren Gurts der Traverse (Tragarm) zu erkennen.

Beim anderen Modell-Versuch ist der „Doppelkraftmesser“ (zwei zusammengesteckte Kraftmesser) an der inneren „Isolations-Aufhängung“ angebracht; der Kraftangriffspunkt liegt jetzt in der Mitte des Kragarms. Bei doppelter Belastung (Zugkraft etwa 2 kp) ist die Durchbiegung nicht so stark wie beim ersten Versuch. Diese beiden Versuche sollten zum Anlaß genommen werden, mit Hilfe des Hebelgesetzes die rechnerische Auswertung in Angriff zu nehmen.

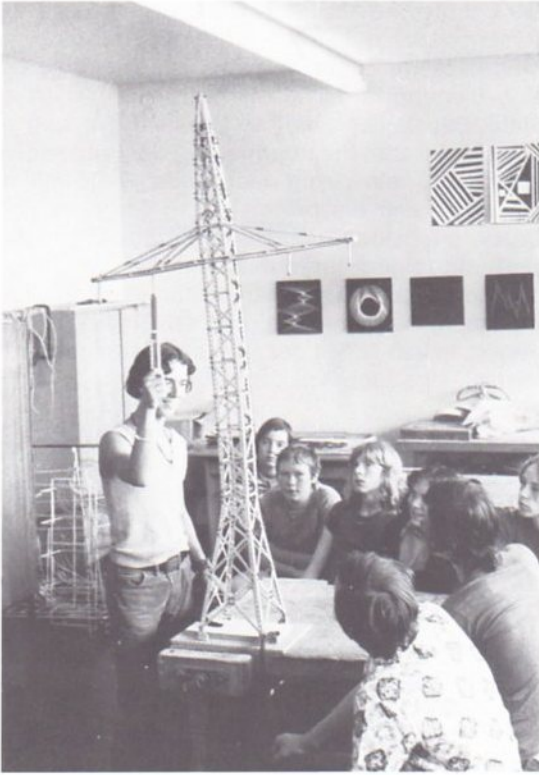


Abb. 300 Einseitige Belastung an der inneren Seilbefestigung = halbe Hebelwirkung. Bei größerer Zugkraft dennoch weniger Durchbiegung.

viereckigen Stromzuführungstraverse über die Isolatoren in Leitungsseile geleitet, von dort senkrecht nach oben zur unteren, breitesten Traverse geführt und dort nach links umgelenkt. Die Stromzuführung für die beiden oberen Traversen erfolgt von rechts unten her. Alle nach links abgehenden Leitungsseile ziehen demnach viel mehr nach dem größeren Feld – also nach links – und beanspruchen den Mast auf Biegung nach links.

Wie in Abb. 302 zu erkennen ist, hat dieser Freileitungsmast außer seiner speziellen Funktion als Endmast eine weitere Besonderheit: er ist gleichzeitig auch noch Winkelabspannmast, d. h. die Leitungsdrähte verlaufen nicht in einer Flucht, sie werden an den Traversen abgewinkelt. Dies hat zur Folge, daß eine weitere Biegebeanspruchung nach links hinzukommt.

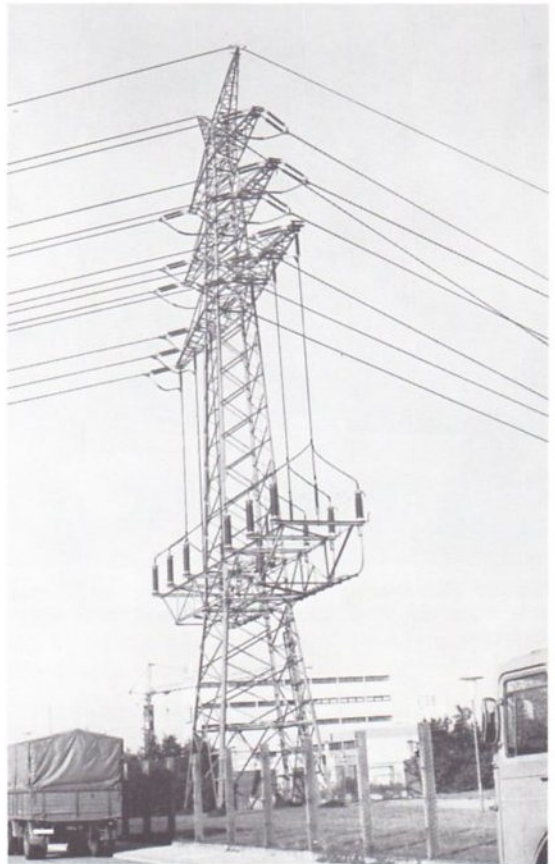


Abb. 301 Endabspannmast des E-Werks in Mannheim-Käfertal.

Die Kraftmesser-Versuche stellen für gleichmäßigen Seilzug nach Art der Abb. 298 eine richtige Auswertung dar, weil die Zugkräfte der einzelnen Leitungsseile sich gegenseitig aufheben und als lotrechte Kräfte (Gewicht) wirken. Der Zug an den Kraftmessern „meint“ diese lotrechten Kräfte. Würde jedoch ein Seil reißen, so wird der Mast zusätzlich auf Biegung und Verdrehung (Torsion) beansprucht, weil der Gegenzug eines Seiles fehlt. Dasselbe trifft auch im Winter zu, wenn bei Eisbehang in einem Feld ein plötzlicher Eisabgang eintritt.

3.11.3 Weitere Beanspruchungsarten von Masten

Daß in Freileitungsmasten noch weitere solcher zusätzlichen Beanspruchungen hinzukommen, sollen die drei folgenden Bilder belegen. Abb. 301 zeigt einen Endabspannmast bei einem Mannheimer E-Werk. Wie in Abb. 292 zu sehen ist, wird die Stromzuführung zwischen den hinteren Eckstielen nach oben zu der im Schnitt

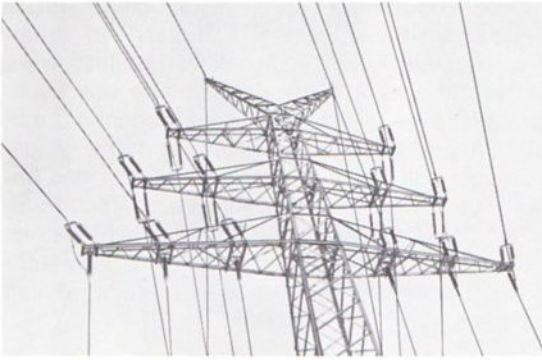


Abb. 302 Die Seilleitungen liegen in drei Ebenen, man spricht hier von einer „Tannenbaumanordnung“. Die gegabelte Mastspitze trägt ganz oben ein doppeltes Blitzschutzseil.

3.11.31 Weitere Beispiele für Schülerversuche

Im Modellversuch können diese statischen Probleme auf sehr einfache Weise gezeigt werden: Im Abstand der Seileinhängenvorrichtungen („Isolatoren“) an der Traverse werden in zwei Brettern je vier Nägel (etwas schräg) eingeschlagen, die Bretter dann mit je zwei Schraubzwingen an den Werkstücken befestigt und mit gleichmäßiger Spannung vier Seile (Schnüre) gespannt, nachdem zuvor jeweils eine Strebe 45 in eine Schnur

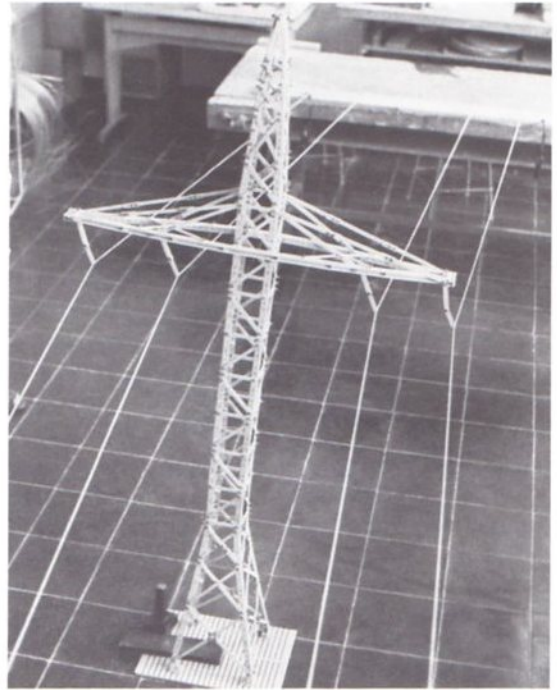


Abb. 303 Die Abwinkelung der Seile bewirkt durch die Kräfte resultierende eine Biegebeanspruchung nach rechts. Zunächst hebt sich die Sockelplatte links etwas hoch – es müssen Gewichte aufgelegt werden.

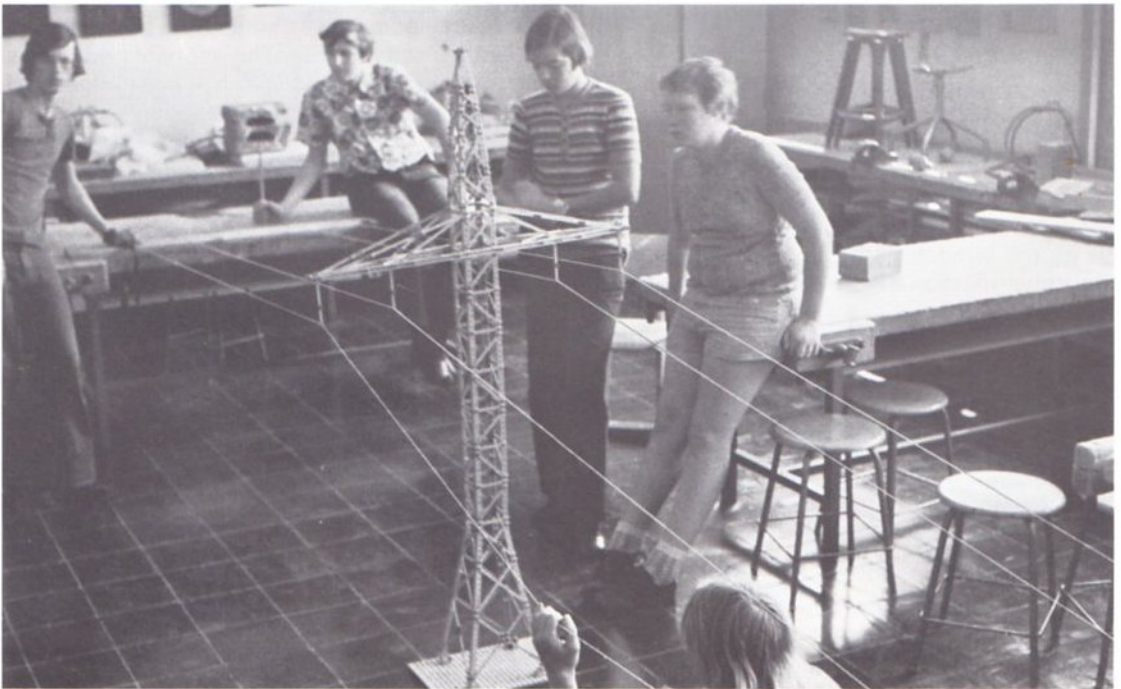


Abb. 304 Ein „Seilriß“ (Abschneiden des linken hinteren Seils) simuliert den wegfallenden Zug von hinten und damit einen stärkeren Zug von vorn: Die Traverse dreht sich links nach vorn und rechts nach hinten; der Mast verdreht sich entgegengesetzt des Uhrzeigersinns.

„eingefädelt“ ist. Erst nach gleichmäßiger Spannung der Schnüre sollten die vier Streben an den Seileinhängevorrichtungen eingehängt werden. Durch Nachrücken einer Werkbank und durch Verschieben des Masts kann jetzt jede besondere Beanspruchungsart simuliert werden. Zum Beispiel die Biegebeanspruchung nach rechts beim Winkelabspannmast in Abb. 303 oder auch die Verdrehbeanspruchung (Torsion) durch „Seilriß“ in Abb. 304.

Diese Beispiele mögen genügen, um aufzuzeigen, daß im Kapitel über die fest eingespannten Masten sehr viele statische Probleme durch Modellversuche bewußt gemacht werden können.

Wir möchten diejenigen Lehrkräfte, die es bei den Ausführungen über die Brücken noch nicht wagten, das Zerlegen von Kräften zeichnerisch oder gar rechnerisch durchzunehmen, an dieser Stelle ermuntern, dies im Anschluß an derartige Versuche zu wagen – sofern die Schüler hierbei nicht überfordert sind. Wir verweisen außerdem auf das Kapitel „Elementare statische Sachverhalte“ und auf das bereits mehrfach erwähnte fischertechnik-hobby-Buch (hobby 1 Band 3). Der Leser wird selbst feststellen, daß dort eine andere Zielgruppe angesprochen ist und daß auch ein anderer theoretischer Ansatz vorliegt – doch halten wir diesen für eine sehr gute Ergänzung.

3.12 Mit Seilen abgespannte, beweglich gelagerte Masten

Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei seilverspannten Konstruktionen durchweg um Masten. Da (durch Winddruck bedingt), in der senkrechten Konstruktion Durchbiegungen möglich sein müssen, werden diese Tragwerke mit einem Drucklager versehen, das diese Durchbiegungen auffängt. Vielfach handelt es sich dabei um Kugelgelenke, wobei diese so ausgebildet sind, daß ihr Fuß gleichzeitig Isolator ist. Diesen elektrotechnischen Aspekten widmen wir jedoch keine weitere Aufmerksamkeit; es geht hier nur um statische Probleme.

3.12.1 Modellbeispiele für Lagerungen

Wir bringen zu dieser Art der beweglich gelagerten Masten in den Abb. 305–312 ebenfalls einige Bildbeispiele von Lagerungen, die die vielen Möglichkeiten aufzeigen, die mit den Lernbaukästen u-t S in Verbindung mit den u-t 1 gegeben sind.

In Abb. 305 hat der bereits in Abb. 290 benutzte Fundament-Sockel einen Auflager-Topf erhalten, der von einer Seiltrommel gebildet wird. Unter die sehr kräftige Sockelplatte des Mastfußes ist eine Drehscheibe mit Flachnabe durch eine Achse 50 festgehalten. Der kurze Achsstummel soll nur ein Herunterrutschen des Lagers verhindern. Die gesamte „Lastenbündelung“ (= Kraftpunkt) fließt über den sehr kleinen Auflagerpunkt der Spannzange in der Flachnabe. Der Mast ist somit genügend beweglich gelagert.

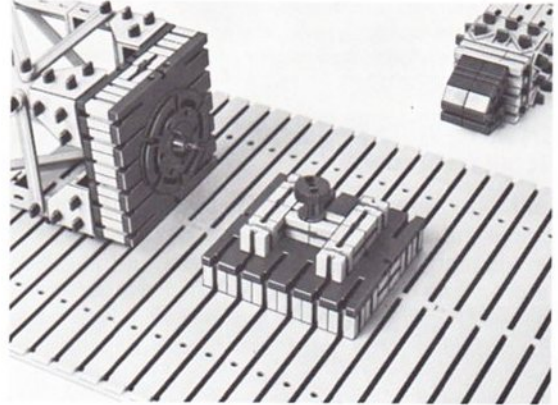


Abb. 305 Details eines beweglichen Lagers für einen gleich breiten seilverspannten und einen zum Fuß hin verjüngten Mast in Fachwerkausbildung.

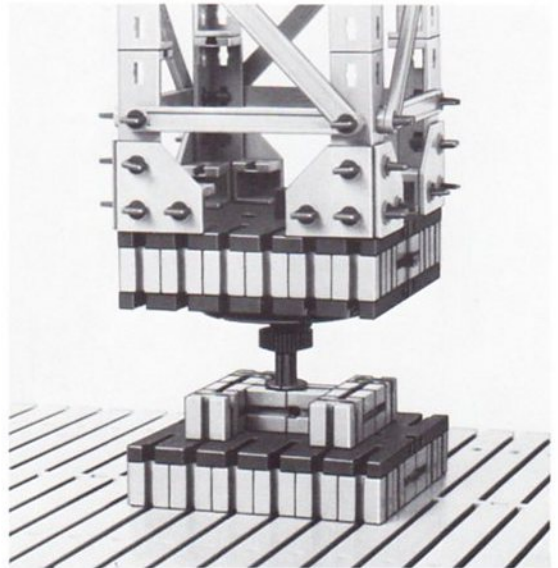


Abb. 306 Der auf das Auflager aufgesetzte Mastfuß des gleichbreiten seilverspannten Mastes. Die in den Eckstielen nach unten geleiteten Kräfte werden in der sehr dicken Sockelplatte („Mastfuß“) horizontal umgelenkt und im Auflagerpunkt „gebündelt“.

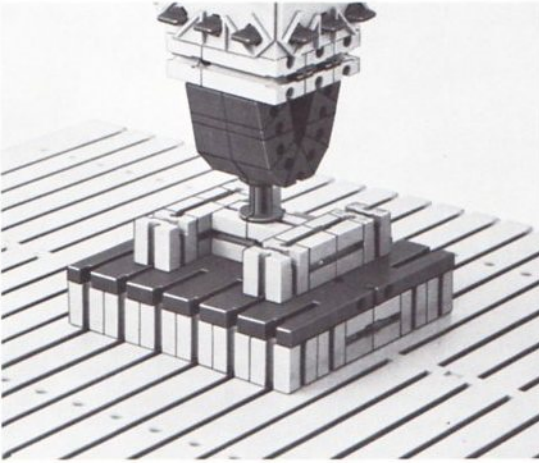


Abb. 307 Der auf das Auflager aufgesetzte Mastfuß des sich nach unten verjüngenden seilverspannten Mastes. Durch die Verjüngung werden die vertikal angreifenden Kräfte bereits auf eine kleinere Fläche zusammengeführt. Die Lastenbündelung erfolgt hier „stufenloser“.
Zur Konstruktion des Mastfußes siehe Detailfoto Abb. 312.

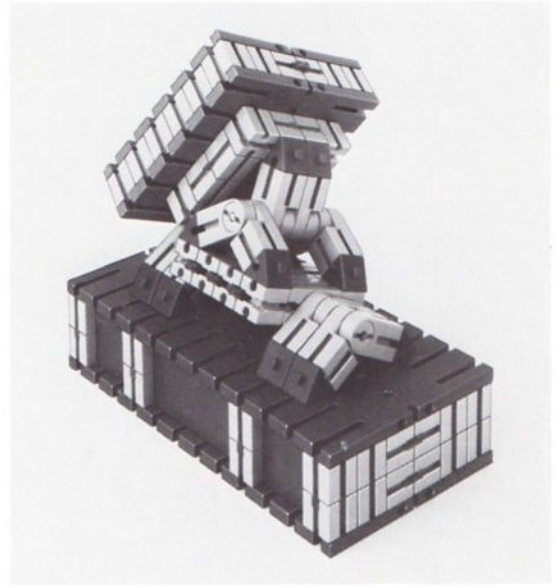


Abb. 309 Die zusammengebrachten Teile der kardanischen Aufhängung. Hier ist deutlich der starke Ausschlag zu erkennen, der für das Kippen des Mastfußes in allen Richtungen möglich wäre – aber in dieser Größenordnung natürlich nicht nötig ist.

Eine weitaus anspruchsvollere Form der beweglichen Lagerung stellen die Abb. 308–311 dar. Es handelt sich um eine kardanische Aufhängung, bei der eine kombinierte Kippmöglichkeit um zwei übereinander gekreuzte Achsen gegeben ist. Auch dieses Beispiel ist für größere Modelle gedacht, die in Gemeinschaftsarbeit im arbeitsteiligen Verfahren nach den Anregungen in der Ergänzungsmappe B gebaut werden können.

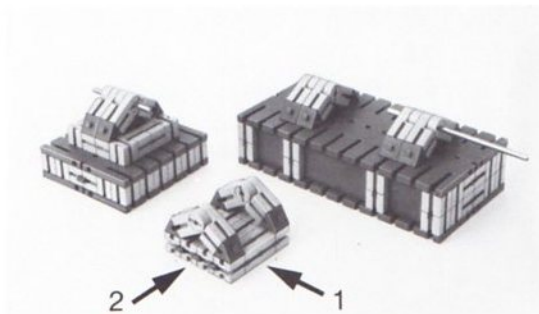


Abb. 308 Details für die kardanische Lagerung. Rechts der untere Sockel mit der Lagerung für das vorn liegende Zwischenstück, dies hat zwei Lagerungen: in der „Grundplatte“ die vier Bausteine 30 mit Bohrung für die lange Achse 1 (siehe Pfeil 1), und eine weitere für die Achse 2 (siehe Pfeil 2).

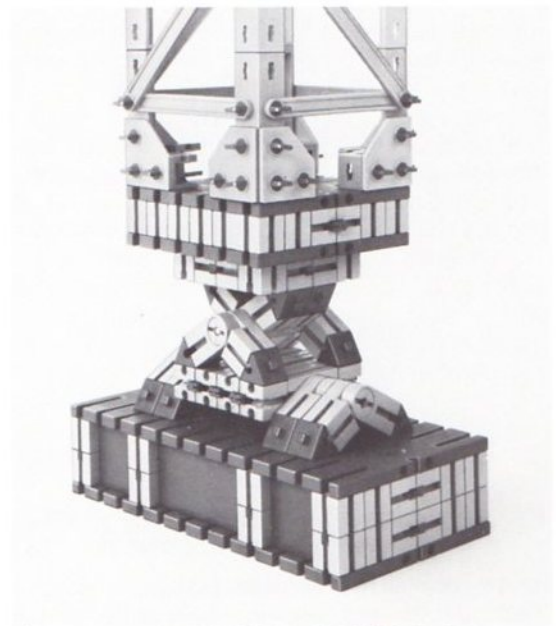


Abb. 310 Die vier Eckstiele sind in der nach Abb. 290 gezeigten Weise am Mastfuß befestigt. Der Mast ist somit kardanisch gelagert.



Abb. 311 Kardanische Lagerung für einen seilverspannten Mast mit verjüngter Aufrißform.

3.12.2 Großmodell eines mit seitenabgespannten, beweglich gelagerten Funkmastes

Wir zeigen abschließend in zwei Abbildungen (Abb. 313 und 314) ein etwa 4,50 m hohes Modell eines seilverspannten Funkmastes, das aus 10 „Schüssen“ besteht und mit 10 Lernbaukästen u-t S und drei u-t 1 im arbeitsteiligen Verfahren in der relativ kurzen Zeit von einer Doppelstunde herzustellen und aufzubauen ist – allerdings unter der Voraussetzung, daß die Schüler mit den Baukästen vertraut und an das planende Miteinanderarbeiten gewohnt sind. Ohne diese Vorbedingung ist mit etwa 3–4 Stunden zu rechnen. (Näheres zum Bau der „Schüsse“ ist der Ergänzungsmappe B zu entnehmen.)

In Abb. 313 wird der zunächst nur in vier Richtungen je einfach (im oberen Drittel) abgespannte Mast „windbelastet“, also auf Biegung beansprucht. Dies zwingt zu der Maßnahme, auch das erste Drittel nochmals abzuspannen, so daß der Mast nunmehr zweifach in 4 Richtungen (in denselben „Abspannfundamenten“ = eingeschlagene Pflöcke) abgespannt ist (Abb. 314).



Abb. 312 Detail für die Konstruktion des Mastfußes.

Die gezeigten Beispiele der verschiedenen Lagerungsmöglichkeiten eignen sich sehr gut für die größeren Modelle von Masten, wie sie in der Ergänzungsmappe B zu diesem Lehrerhandbuch dargestellt werden.



Abb. 313 Das aus 10 „Schüssen“ in arbeitsteiligem Verfahren hergestellte und zusammengesteckte, mit kardanischer Lagerung versehene Abspann-Funkmast-Modell wird bei nur einfacher Seilverspannung zu sehr durch „Winddruck“ auf Biegung belastet. Eine weitere Abspannung im unteren Drittel wird angeregt.

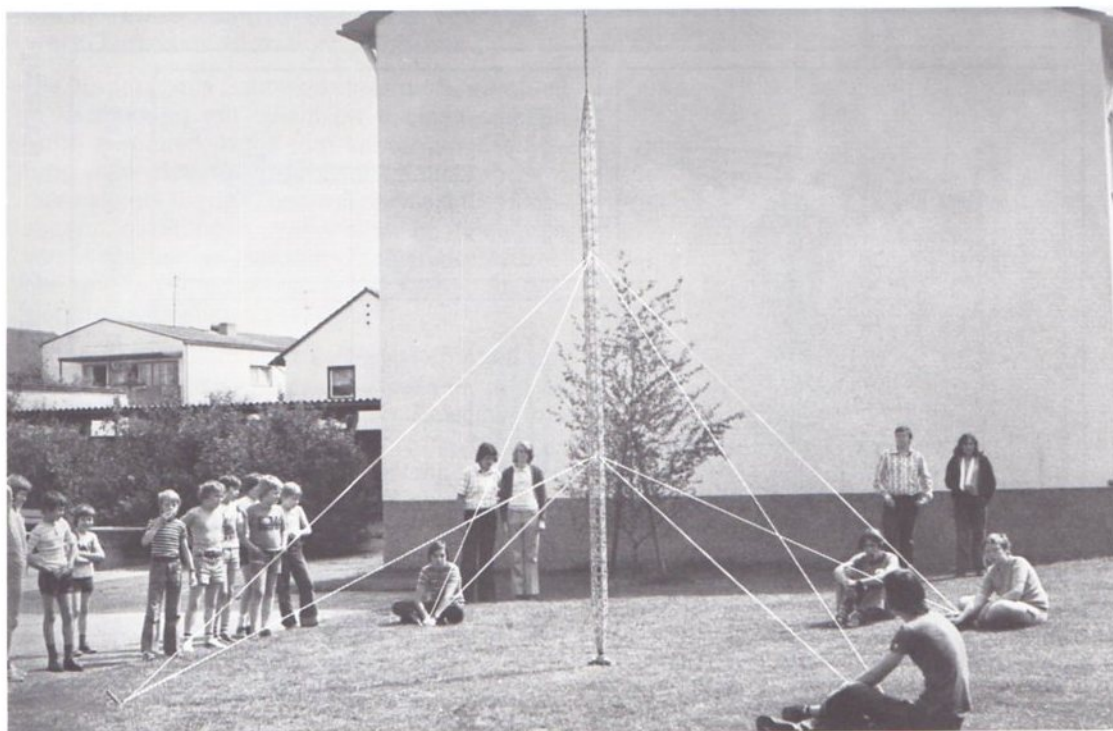


Abb. 314 Das zweifach in vier Richtungen an denselben Befestigungsblöcken ist sehr viel stabiler geworden, die Biegebeanspruchung ist viel kleiner.

Auch ältere Schüler der Sekundarstufe I (wie hier die Jungen des 9. Schuljahrs der Albert-Schweitzer-Schule in Weinheim – 1974) sind von solchen Vorhaben mit Groß-Modellen, die im arbeitsteiligen Verfahren erstellt werden, stark motiviert.

3.2 Ortsfeste Türme und Masten nach konstruktiver Ausbildung

Der zweite wichtige Aspekt der Lastabtragung bei den senkrechten Tragwerken ist ihre konstruktive Ausbildung.

Wie Tafel VII zeigt, haben wir dieselbe Gliederungsart wie bei den Brücken gewählt und die Vollwand-, Fachwerk- und Rahmenwerkausbildung in je drei Beispielen dargestellt. Diese sollen zeigen, daß alle drei Ausführungsarten bei Türmen und Masten möglich sind.

3.2.1 Vollwandtürme und -masten

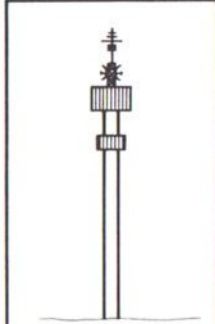
Vollwandtürme und -masten können sowohl in der heute (besonders bei Fernsehtürmen, Fernmeldetürmen) oft angewandten Stahl-Betonbauweise, als auch (bei niedrigeren Vorhaben) in reiner Stahlbauweise ausgebildet sein.

Besonders bei seilverspannten Masten kommen öfter auch rohrförmige Konstruktionen zur Ausführung. Siehe die unter 3.21.3 in Tafel VII dargestellten mehrfach abgespannten Stützmaste des Olympiastadion-Zeltdachs in München. Mit den Bauplatten des u-t S lassen sich zwar auch solche zusammengesetzte rohrartige Konstruktionen herstellen, jedoch raten wir hiervon ab, weil die statischen Probleme eines „lang laufenden“ Rohrs besser mit Karton zu realisieren sind als mit Bauelementen aus Lernbaukästen. Wir geben deshalb der Gruppe der Fachwerkausbildungen den Vorrang, weil hier die Stärke des fischertechnik-Systems liegt.

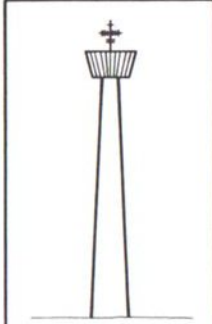
3.2.2 Fachwerk-türme und -masten

In Fachwerk ausgebildete Gittermaste für Hochspannungsleitungen prägen das Bild unserer Industrielandschaft. Diese Ausbildungsart der senkrechten Tragwerke ist jedoch auch bei seilverspannten Funk- oder Fernmeldemasten dominierend. Dasselbe trifft für kleinere Türme, insbesondere für Flutlichttürme zu.

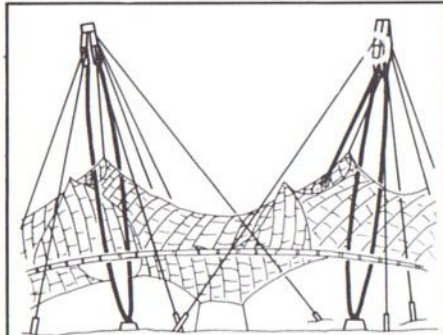
3.41 Vollwandtürme und -Masten



3.21.1 Fernmeldeturm mit Aussichtsr
estaurant.
Stahlbeton-Bauweise

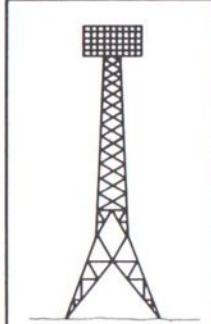


3.21.2 Fernsehturm
mit drehbarem
Aussichtsrestaurant.
Stahlbeton-Bauweise

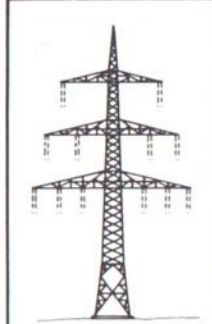


3.21.3 Mit Seilen mehrfach abgespannte Stützma
ste des Olympiastadion-Zelt
dachs

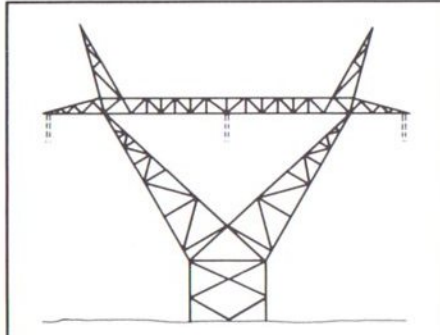
3.42 Fachwerkture und -Masten



3.22.1 Flutlichttur
m in Fachwerk
ausbildung

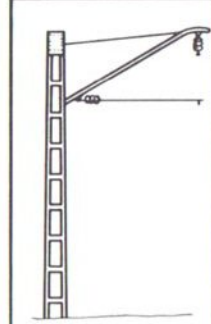


3.22.2 Vierfach
leitungs-Tragmast für
220/380 kV-Leitung

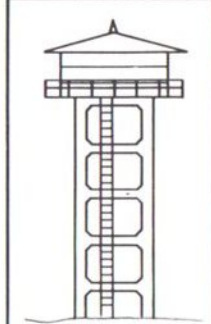


3.22.3 Vierstieliger Abspann-Winkel
mast für eine
220 kV-Leitung im Schweizer
Bergland

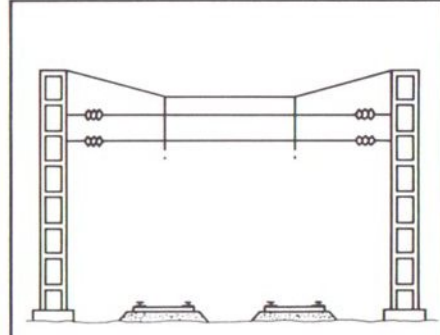
3.43 Rahmenwerkture und -Masten



3.23.1 Fahrleitungs
mast der Bundesbahn
(einfache Ausführung)



3.23.2 Kleiner
Wasserturm



3.23.3 Doppel-Fahrleitungs
mast der Bundesbahn

3.22.1 Hinweise für den Bau von Fachwerk-Turmmodellen durch Schüler

Die Aufgabe, aus Bauteilen eines u-t S, eventuell in Verbindung mit einem u-t 1 einen stabilen Turm zu bauen, kann vom Lehrer zur Erarbeitung vieler statischer Probleme genutzt werden; dasselbe gilt für das Thema Gittermast für Hochspannungsleitungen. Wir wollen im folgenden versuchen, einige statische Probleme aufzuzeigen und beginnen wieder mit einfachen Stabilisierungsmaßnahmen bei Türmen.

Jüngeren Schülern wird es bisweilen nicht auf Anhieb gelingen, bei dieser Aufgabe für die auf Druck (Knicken) beanspruchten Eckstiele die richtigen Bauelemente zu wählen. Ein „produktiver Irrtum“, wie ihn Abb. 315 darstellt, zeigt dies auf.



Abb. 315 Hier sind als Eckstiele Flachträger eingesetzt und in eine kleine Grundplatte gespannt. Sowohl Belastung von oben als auch Winddruck von der Seite drücken die Bauteile zusammen, bzw. lassen sie ausknicken.

Jedoch auch beim Einsatz „richtiger“ L-Profile (Winkelträger 120) ist keine Stabilität vorhanden, wie der Versuch in Abb. 317 nachweist.

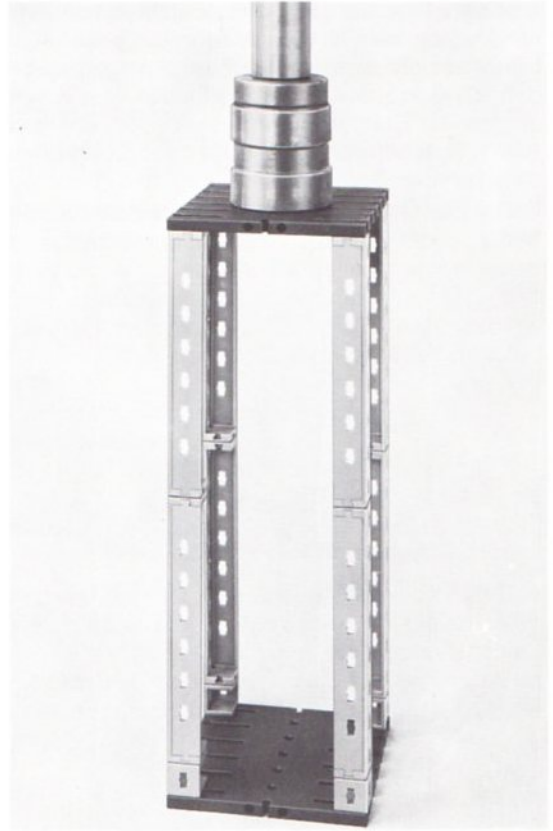


Abb. 316 Werden in die Flachträger Flachstücke eingesetzt, so wird ein L-Profil gebildet, das jetzt entschieden mehr Knickbeanspruchung aushält.



Abb. 317 Vier „richtige“ Eckstiele allein ergeben keine Festigkeit gegenüber seitlichen Kräften (Winddruck).

Erst die „Vergitterung“, das Ausbilden von Dreiecken innerhalb der senkrechten Konstruktion bringt sowohl eine größere Festigkeit gegenüber den Längskräften in der Vertikalen (die Knicklängen der Eckstiele werden verkürzt) als auch eine Biegesteifigkeit gegenüber den Querkraften (Winddruck). Der Versuch in Abb. 318 dokumentiert dies: Der stark belastete Turm steht sehr fest.

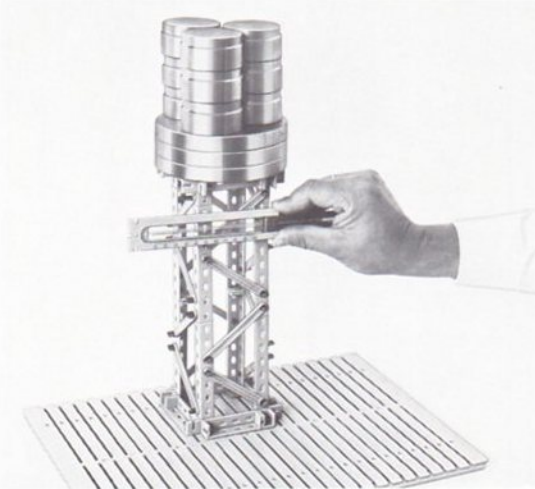


Abb. 318 Fachwerkausbildung mittels Diagonalen (X-Streben) erbringt hohe Beanspruchung.

Die Ausbildung des Fachwerks ist so vorgenommen, daß sich die Streben nicht an denselben Punkten der Eckstiele „treffen“, diese häufig verwendete Anordnung bei senkrechten Tragwerken hat den Vorteil, daß die „Zwischenstücke“ der Eckstiele wenigstens von einer Seite her verkürzt werden, d. h. die Knicklänge wird reduziert. Wir zeigen diese Anordnung in einer Zeichnung, die wir wieder aus fischertechnik-hobby 1 Band 5 übernehmen – allerdings handelt es sich hier um eine Netzabwicklung eines „gespreizten“, also eines nach oben verjüngten Mastes.

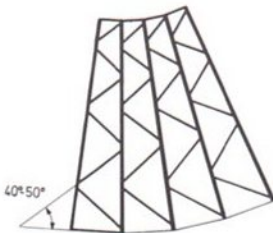


Abb. 319 Netzabwicklung einer Fachwerkausbildung nach Abb. 318 – jedoch mit gespreizter Form, der heute meist ausgeführten Anordnung.

Die früher häufiger benutzte Anordnung in Abb. 320 bringt keine wesentliche Verfestigung durch die horizontal eingesetzten I-Streben.

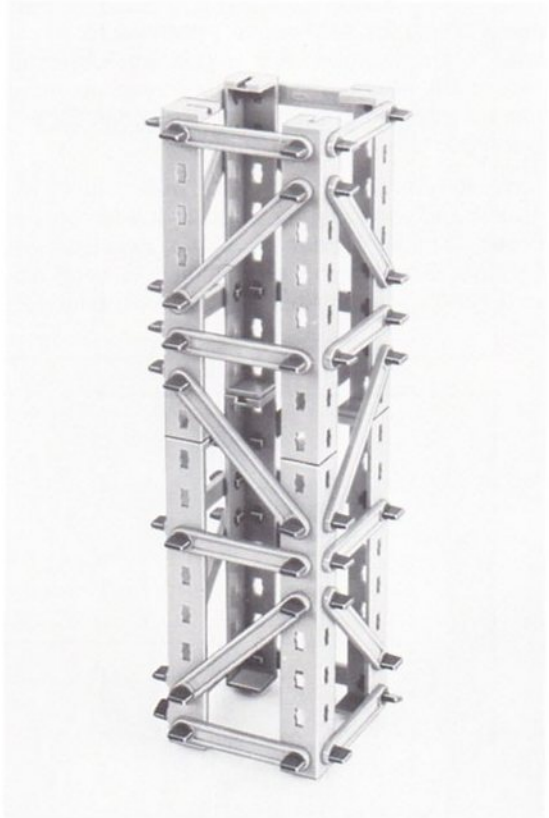


Abb. 320 Die früher öfter eingesetzte Form einer Fachwerk-anordnung.

Bei Masten und auch bei Türmen ist das Anbringen von drei Streben untereinander – also nicht in einem Kräfteangriffspunkt durchaus üblich, sei es, daß es sich um Vernietung, Verschraubung oder Verschweißung handelt. Nur bei horizontalen Tragwerken wird nicht auf Knotenbleche verzichtet.

Beim nächsten Turmbeispiel ist ein breiterer Querschnitt, eine breitere Basis gegeben und somit auch eine größere Kippsicherheit. Diesmal sind die Doppelknotenplatten (in der Technik Knotenbleche) verwendet. Die Fachwerkausbildung ist in gewissem Sinne eine „Mischung“ der beiden letzten Beispiele (Abb. 319 u. 320).

Bei starkem Druck von der Seite (nur auf einen Eckstiel) ist sehr gut zu sehen, wie die einzelnen Streben beansprucht sind.



Abb. 321 Starker Druck („Winddruck“) auf eine Ecke läßt die Schüler deutlich erkennen, welche Streben auf Druck und welche auf Zug beansprucht sind. Die „ausgebeulten“ Streben sind druck- = knickbeansprucht, die gestrafften sind zugbeansprucht.

Außerdem ist der gesamte Turm torsionsbeansprucht.

Die bisher angeführten Beispiele haben eine gleichbreite Aufrißform – eigentlich eine selten in der Praxis zu sehende Ausbildungsart. Für den Unterricht ist sie jedoch durchaus geeignet, weil das Anbringen gleichlanger Streben schneller zu bewerkstelligen ist. Bei jüngeren Schülern ist dieser Aufrißform der Vorzug zu geben. Älteren Schülern bereitet die Ausbildung von Fachwerken bei gerade oder geschwungen verjüngten Aufrißformen im allgemeinen keine größeren Schwierigkeiten.

3.22.2 Unterrichtsbeispiel Fachwerkurm in einem 9. Schuljahr

Zur Situation in der Klasse (9. Schulj., 1972, Albert-Schweitzer-Schule in Weinheim): Die Schüler hatten noch nicht Gelegenheit, statische Probleme mit herkömmlichen Materialien oder mit Lernbaukästen in Angriff zu nehmen, so daß dies die erste Aufgabe war. Der Lernbaukasten u-t 1 war gut bekannt, nicht jedoch der u-t S.

Nachdem die Schüler in einer freien „Probierphase“ die Kombinationsmöglichkeiten der Statikbauteile untereinander und zusammen mit denen des u-t 1 selber entdeckten (etwa 20 Min.) und in einer gezielten „Einspielphase“ („reproduktives Bauen, der Instruktion folgend“⁴⁶) etwa 30 Min. lang die Statik von Dreieckverbänden kennengelernt hatten, wiesie auf den Seiten 83ff.

beim Abschnitt über die Ausbildung der Hauptträger zu finden ist, wurde die Aufgabe etwa folgendermaßen eingeleitet:

Anfangssituation: „Für die Flugsicherung ist ein Radarturm zu bauen, der für besonders schwere Ausstattung geeignet ist.“

Arbeitsauftrag: „Versucht mit den Bauelementen aus je **einem** u-t 1 und u-t S das Modell eines Radarturms zu bauen. Es sollen jedoch keine Radargeräte angebracht werden, vielmehr soll oben nur eine schmale Plattform sein, auf die wir zwei Deckel auflegen und darauf möglichst viele Wägestücke stellen können. Der Turm soll – möglichst hoch werden
– sehr stabil sein
– viel Last tragen können
– sehr standfest sein (also unten breiter als oben)
– gut aussehen und sorgfältig ausgeführt sein.“

Wenn Ihr die Stabilität Eurer Konstruktion prüfen wollt, geht an den Prüftisch und legt gleichmäßig verteilt die Wägestücke auf. Beobachtet genau, wo sich die Konstruktion unter Last verformt und verbessert dann die noch nicht so gut gelungenen Teile.“

Es wäre denkbar, auch noch den Aspekt der Wirtschaftlichkeit der Konstruktion mit einzuplanen und analog zu dem bereits genannten Unterrichtsbeispiel von H. Sellin die Türme auch noch wiegen zu lassen. Da jedoch – im Gegensatz zur guten Meßbarkeit der Durchbiegung bei Brücken (horizontale Tragwerke) – die Biegung bei Türmen (Vertikale Tragwerke) nur dann gut meßbar ist, wenn die Türme fest eingespannt werden können, wurde davon Abstand genommen, weil dies nicht in der Aufgabe impliziert war.

Als **Lernziele** sind demnach zu nennen:

Die Schüler sollen mit den vorgefertigten Teilen der Lernbaukästen u-t S und u-t 1 ihre Erfahrungen hinsichtlich der Eignung von Dreieck-Fachwerkverbindungen einbringen und einen möglichst hohen, möglichst stabilen Turm bauen, der viel Last abtragen kann und dabei sehr standfest ist. Sie sollen in Prüfsituationen Deformationerscheinungen beobachten und die Notwendigkeit von Verbesserungen der Konstruktion erkennen und begründen können.

3.22.21 Abbildungen von Schülerarbeiten

Wir bringen 8 Abbildungen von Schülerarbeiten, die einen Querschnitt der 16 Schülerarbeiten darstellen. Wir benutzen diese Gelegenheit zu einer Beurteilung.

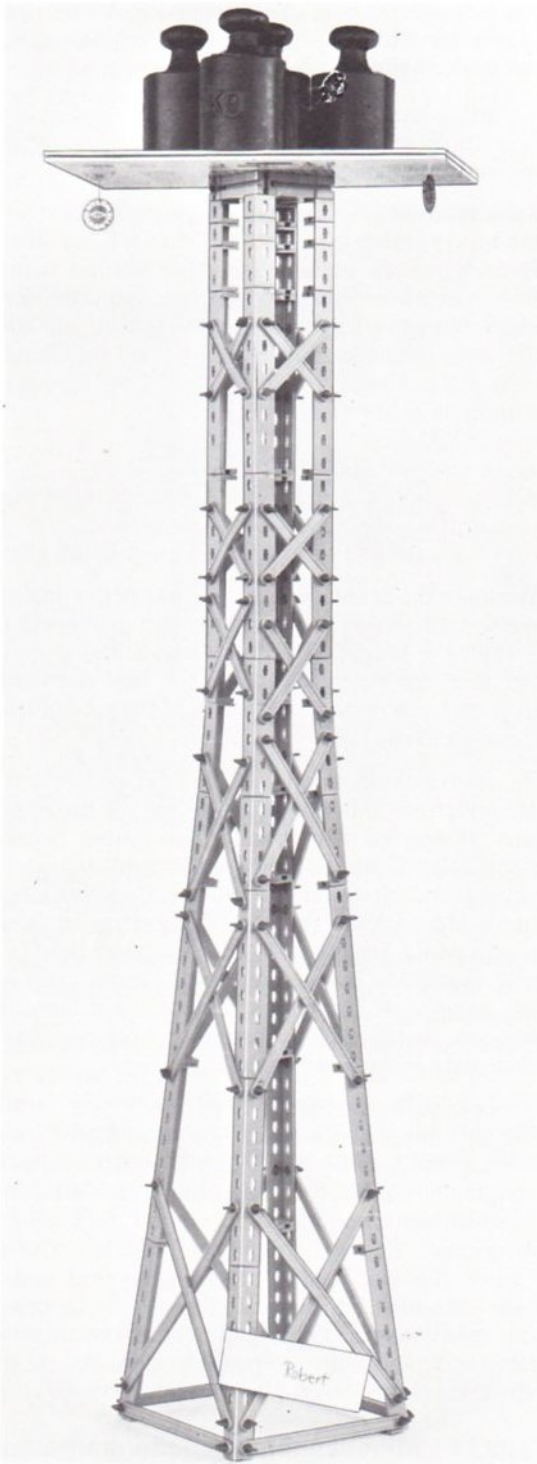


Abb. 322 Der stark belastete Turm von Robert hat eine geschwungen verjüngte Form und sieht dadurch „elegant“ aus. Zwar knicken die Stiele durch die Belastung nicht aus, doch ist die Ausfachung noch nicht richtig: Der Abstand zwischen den Streben ist zu groß.



Abb. 323 Martins Modell ist **noch** nicht soweit gediehen, daß eine befriedigende Lösung erreicht wäre. Hier ist die notwendige Zeit für eine Verbesserung der Konstruktion durchaus vertretbar, so daß nach Anbringen weiterer Diagonalen die durch Dreiecke stabilisierte Fachwerkkonstruktion auch wirklich stabil geworden ist.



Abb. 324 Die Arbeit von Norbert ist nur in der unteren Hälfte als gut gelungen zu bezeichnen, in der oberen Hälfte würde bei starker Belastung, besonders aber bei seitlichem Druck eine deutlich sichtbare Deformation zu erkennen sein; hier wäre eventuell zu empfehlen, den fehlerhaften oberen Teil mit diagonal verspannten Schnüren zu verfestigen.

Abb. 325 Eine weitere verbesserungsbedürftige Arbeit, die zwar bei mittlerer Belastung sich nur wenig verformte, bei extrem starker Belastungsprobe jedoch deutliche Ausknickerscheinung der s-förmig geschwungenen Eckstiele aufweist. Der Schüler hatte eingesehen, daß die Streben exakter anzubringen waren.



Abb. 326 Ein zunächst ästhetisch gut gelungener Versuch von Robert hat die extremen Belastungsversuche gut überstanden. Der Schüler wußte jedoch um die Schwächen seiner Konstruktion: zu geringe Fachwerkausbildung – die „Lücken“ sind sehr knickgefährdet.

Bei einer solchen Lösung genügt jedoch das Wissen um diese Schwächen – eine Verbesserung hätte hier zuviel Zeit beansprucht.



Abb. 327 Bernds Lösung eines im Querschnitt rechteckigen Turms befriedigt ebenfalls nicht ganz, doch wäre auch hier vor einer weiteren Arbeitszeit abzuraten; die gewonnenen Erfahrungen reichen aus, der Hinweis auf bessere (gleichmäßigere und dichtere „Strebenüberkreuzungen“) kann genügen, ebenso die Anregung, eine bessere Standfestigkeit auch „in Querrichtung“ durch quadratische Querschnittausbildung zu erreichen.



Abb. 328 Das Modell von Wolfgang ist durchaus als gut zu bezeichnen, wenngleich einige Schwächen genannt werden müssen: Fehlende und ungleich eingesetzte Streben im oberen Teilstück. Auch hier muß dies nicht unbedingt verbessert werden, wenn das Wissen um diese Schwächen vorhanden ist.



Abb. 329 Diese Lösung von Harald ist die wohl schwächste von allen. Dennoch ist es ein schönes Beispiel für „produktive Fehlleistungen“. Ein Abbau der bogenförmigen Endstücke wäre nicht unbedingt nötig, wenn eine Diagonalverstrebung in beiden Ebenen hinzukommt; diese muß unbedingt auch weiter unten mehrfach wiederholt werden. Die „Wipp-Plattform“, die dem Schüler zeitweise solchen „Spaß“ machte, mußte jedoch entfernt werden; er hatte eingesehen, daß diese „Spielerei“ dem Zweck, Last tragen zu können, nicht dienlich ist.

Diese Gegenüberstellung von fertigen, teilweise guten und weniger guten mit noch nicht zum Abschluß gebrachten Lösungen aus einem 9. Schuljahr einer Hauptschule mag genügen, um auch im Kapitel bei Türmen und Masten unterrichtliche Fragen zu behandeln.

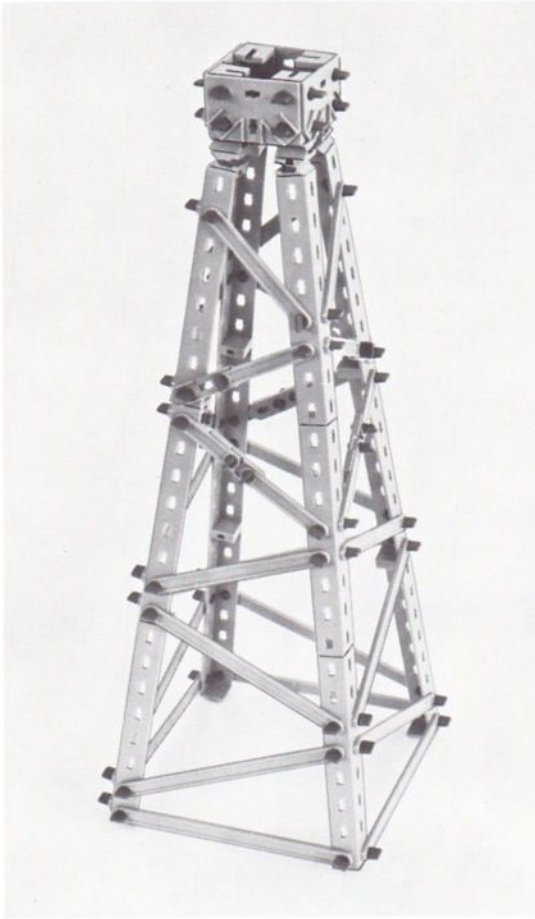


Abb. 330 Beispiel für einen nach oben verjüngten Fachwerk-turm.

3.23 Rahmenwerktürme und -masten

Zum Abschluß dieses Kapitels verweisen wir auf die im Abschnitt 1.23 unter „Rahmenträger“ gemachten Ausführungen und besonders auf die in Tafel VII unter 3.23 gezeigten Beispiele der meist bei der Bundesbahn verwendeten Fahrleitungsmaste.

Von einer Aufgabenstellung mit Statikbauelementen raten wir ab, weil sie nur in einer Größenordnung „zum Tragen“ kommt, die als lernunökonomisch zu bezeichnen ist.

Anmerkungen

- 1 W. Biester: Werkunterricht unter technischem Aspekt
Ders.: Statische Sachverhalte im Werken, in: Westermanns Pädagogische Beiträge, 16. Jg. S. 19ff.
- 2 H. Dinter: Einfache Statik und Festigkeitslehre
Ders.: Die Statik als Problem des Bauens im Werkunterricht, in: Ans Werk 4/67
- 3 O. Mehrgardt: DIE WERKAUFGABE 17, 74, 78, 107 u. a.
- 4 H. Sellin: Die Überbrückung, in: Dortmunder Hefte für Arbeitslehre und Sachunterricht, Heft 1/1969, S. 2ff.
- 5 H. Maier: Der didaktische Ort technischer Baukästen, in: Westermanns Pädagogische Beiträge, 10/1970 (Beilage Lehrmittel aktuell)
- 6 Forum technische Bildung, Hrsg.: Fischer-Werke Artur Fischer, Tumlingen
- 7 Curriculum Technik. Curricularer Plan für die Techniklehre in der Sekundarstufe I mit Hinweisen auf die Vorschaltaufgaben in der Primarstufe. Bearbeitet im Auftrage des Ministers für Kultus, Unterricht und Volksbildung im Saarland von Horst Dinter. Ravensburg 1972
- 8 Grundsätze, Bildungspläne, Richtlinien. Zur Neuordnung der Hauptschule in Nordrhein-Westfalen. Vorgelegt von Wolfgang Klafki
- 9 Vergleiche Menge-Güthling, Griechisch-deutsches Wörterbuch, Stichwort $\Sigma\tau\alpha\tau\iota\varsigma$ 9. Auflg. Berlin-Schöneberg 1913
- 10 Vergl. fischertechnikhobby, hobby 1, Band 3, S. 34
- 11 Vergl. A. Böge (Hrsg.): Das Technikerhandbuch, S. 177
- 12 H. Engel: Tragsysteme, S. 115
- 13 K. Jaspers: Vom Ursprung der Geschichte. Frankfurt/M./Hamburg 1955, S. 99–100
- 14 Th. Wilder: Die Brücke von San Rey. Frankfurt/M./Hamburg 1953, S. 9
- 15 G. Illyes, in: Bihalji-Merin (Hrsg.): Brücken der Welt, Stuttgart 1969, S. 118
- 16 I. Andric: ebda., S. 118
- 17 Vergl. Grimmsches Wörterbuch. Leipzig 1860, Stichwort „Brücke“.
- 18 F. Leonhardt, in: Bihalji-Merin (Hrsg.): Brücken der Welt, S. 16
- 19 Die Brücke ging vermutlich von Anadolukavagi nach Rumelikavagi.
Vergl. Herodots Forschungen Band III, Limburg/Lahn, o. J., S. 148. Hrsg. E. Richtenstein.
- 20 Ein der Hera geweihtes Heiligtum
- 21 Herodot: ebda., S. 37–38
- 22 F. Leonhardt: ebda., S. 22
- 23 Galileo Galilei 1564–1642
- 24 Robert Hooke 1635–1703
- 25 Vergl. Fritz Leonhardt: ebda., S. 30
- 26 Vergl. ders., ebda., S. 33
- 27 Vergl. ders., ebda., S. 36
- 28 Vergl. ders., ebda., S. 42
- 29 Weitere Entwicklungen bringt das Merkblatt 339, Brückenlager, Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf
- 30 F. Leonhardt: Große Brücken, in: Bild der Wissenschaft, Stuttgart 1972, Heft 7, S. 701
- 31 Siehe H. Dinter u. a., Themenfolge Brücken, in: Curriculum Technik und fischertechnik, Tumlingen o. J., S. 32 und besonders den ausführlichen Lehrgang von H. Sellin: Die Überbrückung, in: Dortmunder Hefte 1/1969, S. 2ff.
- 32 Die Abbildungen hat uns dankenswerterweise das Tiefbauderzernat der Stadt Mannheim aus dem Sonderdruck zur Verkehrsübergabe der Kurt Schumacherbrücke Mannheim–Ludwigshafen zur Verfügung gestellt.
- 33 Stahlbau, Band 2, S. 608
- 34 E. Koch: Brückenbau, Teil 1, S. 14
- 35 Lueger, Lexikon der Technik, Band 11, Lexikon der Bautechnik, Stuttgart 1966, S. 630
- 36 H. Engel: Tragsysteme, S. 77
- 37 H. Dinter: Einfache Statik und Festigkeitslehre, B. 4, Abb. 1–21
- 38 Merkblatt 426, Fachwerkträger, S. 11
- 39 J. P. Guilford: Persönlichkeit. 2./3. Auflage. Weinheim 1965, S. 353
- 40 Chr. Möller: Technik der Lernplanung, Weinheim/Basel. 4. Auflage 1973, S. 328
- 41 Dies.: ebda., S. 325
- 42 Dies.: ebda., S. 325
- 43 Curriculum Technik, S. 3
- 44 Band 1 Schulreform in Bayern. Lehrpläne für die Grundschule, Orientierungsstufe und Hauptschule, hrsg. vom Bayerischen Staatsministerium für Unterricht und Kultus, 1970, S. 273
- 45 Der Senator für Schulwesen. Beirat für technisch-naturwissenschaftlichen Unterricht in der Grundschule. Rahmenplan für TNU, Ergänzungen, Entwurf Frühjahr 1972, S. 11
- 46 W. Breunig: Erststufengang mit dem Lernbaukasten, in: W. Breunig, H. Maier, G. Ruckwied, H. Wiederrecht; Technische Elementarbildung in der Primarstufe, Handbuch II zum fischertechnik-Schulprogramm, Tumlingen Braunschweig 1973, S. 17

Fritz Kaufmann

Fachwörtererklärung mit Sachverzeichnis

Dieser Fachwörterklärung liegt zum großen Teil ein bisher unveröffentlichtes Manuskript „Terminologie des Brückenbaus“ von Horst Pittlik zugrunde.

Alle mit → bezeichneten Fachwörter werden in diesem Verzeichnis gesondert erklärt.

Auflager

Träger mit starker Belastung und großer Stützweite, sowie auftretenden Erschütterungen und Ausdehnungen (Wärme – Kälte) müssen eine Auflagerung haben, die sie in der eingebauten Lage festhalten. Zur freien Ausdehnungsmöglichkeit der → Träger (→ Balken, → Bogen usw.) werden in den → Auflagern → feste Lager und → bewegliche Lager ausgebildet. (Abb. 39–42, 248; S. 28, 29, 124)

Auflagerverstärkungen

Durch die erhöhten Querkräfte und → Biegemomente oder durch die gegebene Breite von → Lagern können an → Auflagern von → Durchlaufträgern Verstärkungen nötig werden.

Auskragung

Siehe Kragkonstruktion

Auslegerbrücke

→ Balkenbrücke auf mehreren Stützen mit in den → Hauptträgern eingebauten → Gelenken. Trägereile mit → Kragarmen und daran angehängte Trägereile wechseln miteinander ab. → Gerberträgeranordnung. Ausführung in Stahl, Stahlbeton, Holz; vollwandig oder in Fachwerkausbildung. (Abb. 54; S. 34, 35)

Balken

Ein biegesteifer → Stab, der auf → Biegung und Schub (→ Druck und → Zug) beansprucht, zusätzliche → Druck- und → Zugkräfte aufnehmen kann. Der Balken, der oft als → Biegeträger gekennzeichnet wird, weist eine große Biegefestigkeit auf. Im Balken entstehen durch beliebige → Belastung nur vertikale Stützreaktionen. Die Balken (→ Biegeträger) können aus Holz, Stahl, → Stahlbeton und gewalzten → Trägern bestehen. Ihre Profilierung (Querschnitt), wie L, T, Doppel-T usw. gewährleisten bei geringerem Materialaufwand größtmögliche Stabilität. (Abb. 3, 5, 55; siehe unter → Balkenbrücken)

Balkenbiegung

Belastung bei einem frei aufliegenden → Balken (in der Mitte oder an anderer Stelle) bewirkt eine Biegung nach den Gesetzen der Elastizitäts-

lehre. Der Balken erfährt, abhängig von seinen Maßen und seiner Gestalt sowie der Größe der → Belastung eine **Biegebeanspruchung** (Biegeanstrengung). Die Zahl der Beanspruchungen in den Belastungsebenen ist ausschlaggebend für einfache und mehrfache Biegungen. (Abb. 11–14, 58, 123–128, 131–136, 144–146, 196–205, 214 bis 216; S. 8–10, 35, 36, 71–76, 109, 110)

Balkenbrücke

Eine aus → Vollwand- → Fachwerk- oder → Rahmenwerkträgern hergestellte Brücke, deren → Hauptträger als → Balken auf zwei oder mehreren → Stützen (ohne oder mit → Gelenken) ausgebildet sind. Allen Balkenbrücken ist gemeinsam, daß bei senkrechten Lasten auch auf ihre → Widerlager und Zwischenstützungen nur senkrechte Auflagerdrücke wirksam sind und daß von allen → Lagern nur eines fest ist. In den → Hauptträgern erzeugen gleichmäßige Wärmeänderungen keine Spannungen.

Die Balkenbrücke ist, mit → Blechträgern ausgebildet, vorherrschend für kleine und mittlere Stützweiten. Für größere → Stützweiten werden → Fachwerkträger oder → Vollwandträger (die als Hohlkastentragwerke erstellt sein können), eingesetzt. (Siehe Tafel IV, S. 70.)

Kasten-Balkenträger, die über Zwischenstützen „durchlaufen“, eignen sich sowohl für Flach- als auch für → Hochbrücken, für kleine und große → Stützweiten; sie passen in jede Landschaft. Sogenannte **dritte Gurte** (Seil-, Bogen- und Zügelgurte) können besonders große Öffnungen überspannen helfen. (Abb. 50, 52, 53–61, 81–83, 91–98, 195–197, 201–207, 209–213, 220, 222, 224, 238, 240, 253, 265, 266, 270–273, 277–279, 282–284; S. 30, Tafel II (1.11) 31–53)

Balkensteg

Siehe Brückenquerschnitt

Balkenträgerbrücke

Siehe Balkenbrücke.

Baustatik (Statik)

Teilgebiet der Mechanik (stare, lat. = stehend). Die Baustatik beschränkt sich hauptsächlich auf Berechnungen der Balkenquerschnittkräfte und Deformationen der stabförmigen Körper (Balken, Säulen, Fachwerke, Rahmen, Bogenträger usw.). (S. 7)

Beanspruchung

Die Belastung eines Baustoffes an irgendeiner Stelle eines Bauteils – bisher in kp/cm^2 , jetzt in Newton/cm^2 – errechnet nach den Gesetzen der

Elastizitätslehre – oft mit vereinfachten Annahmen – oder ermittelt aus Versuchen als wirkliche Beanspruchung. Zu unterscheiden sind Druck-, Zug-, Biege-, Scher-, Verdreh- und Schubbeanspruchung (Knickb.) sowie deren Kombinationen; – lang dauernde (ruhende), oftmals wiederkehrende und Kombinationen solcher Beanspruchungen. (Abb. 1–19; S. 8–12)

Belastung

Gesamtheit aller Kräfte, die von außen auf ein → Tragwerk einwirken; sie tritt in vier Formen auf: Punktlast, Streckenlast (Linienlast), Flächenlast und Massenkraft. Die äußeren Kräfte sind nicht zu allen Zeiten gleich; man unterscheidet daher: allmählich anwachsende Belastung, dynamische Belastung und plötzliche Stoßbelastung.

Beulen

Ein instabiler Gleichgewichtszustand in dünnen → Scheiben und Blechwänden, hervorgerufen durch → Druck- und Schubkräfte, z. B. in → Stegblechen vollwandiger → Träger.

Biegemoment, Biegeträger, Biegung

(siehe S. 17)

Biegemoment

„Das äußere B. für einen bestimmten Querschnitt eines auf Biegung beanspruchten Stabes bzw. Balkens (s. Balkenbiegung) ist die Summe der statischen Momente aller äußeren Kräfte (und Kräftepaare), die am Balken rechts oder links des betrachteten Querschnitts angreifen, in bezug auf die Stabachse. Mit gleicher Größe, jedoch entgegengesetzt wirkend, hält das innere B. als resultierendes, statisches Moment aller am Querschnitt angreifenden, elementaren Normalkräfte odA (o Biegespannung, dA Flächenelement des Querschnittes), das äußere B. im Gleichgewicht.“ (rororo Techniklexikon Bautechnik 1, S. 207) (Abb. 12–14; S. 10, 94, 95)

Biegeträger (Biegebalken)

Biegesteife → Stäbe, die auf Grund ihrer Querschnittsform (meist I-Form) in der Lage sind, vorzugsweise → Biegemomente zu übertragen. Kennzeichnung für → Balken auf zwei Stützen (siehe auch → Balken und → Balkenbiegung). (Abb. 128–137, 140, 141; S. 71–78)

Biegung

Siehe → Balkenbiegung.

Blechkastenträger

Ein → Blechträger im allgemeinen mit zwei → Stegen in Kastenform (zweiwandiger Blechträger, mit hoher → Biege- und → Torsionssteifigkeit. (Abb. 93, 94; S. 79, 80)

Blechträger

Für den Stahlhoch- und Brückenbau aus Blechen, Winkel- und Flachstahl ein- oder zweiwandig zusammengenietet oder aus Blechen und Flachstahl zusammengeschnittener → Träger. Die → Stegblechhöhe beträgt im allgemeinen 1/8 bis etwa 1/25 der → Stützweite des → Trägers je nach Unterstützung und → Einspannung; → Stegblechdicke bis 6 mm. (Abb. 52, 130)

Bogen

Ein → Balken mit gekrümmter → Stabachse, der bei Belastung im wesentlichen nur Längskräfte aufnimmt. Der Bogen stützt sich auf die → Widerlager ab. (Abb. siehe unter → Bogenträger)

Bogensehnenträger

Ein → Fachwerkträger mit gekrümmtem oder vieleckigen → Obergurt und geradlinigem → Untergurt, → Fahrbahn untenliegend. (Abb. 167, 201, 202, 230, bei Abb. 54 mittlerer Trägerteil; S. 35, 106)

Bogenträger

Als Bogen geformter ebener Träger in → Vollwand-, → Fachwerk- oder → Vierendeelausbildung aus Holz, Stahl oder → Stahlbeton. Bogenträger bewirken auch bei nur senkrechter → Belastung – im Gegensatz zum → Balken – neben vertikalen auch horizontale Auflagerdrücke (Bogenshub). Die Ausbildung kann in vielfältiger Form erfolgen:

– als eingespannter Bogen (Abb. 100–103, 110; S. 55–57)

– als Ein-, Zwei- und → Dreigelenkbogen (Abb. 104–106; S. 57, 58).

– als Bogenträger mit durch Zugband aufgehobenen Horizontalschub (wobei die Fahrbahn- tafel als Zugband wirkt (Abb. 109, 112–115; S. 109),

– als Bogenträger mit → Kragarmen, als Bogenträger über mehrere Öffnungen durchlaufend oder mit → Gerbergelenken, als → Langerbalken (versteifter Stabbogen). (Abb. 95–99, 111; S. 52)

Bogenzwickelträger

→ Fachwerkträger mit geradem → Obergurt und bogenförmigem → Untergurt; → Fahrbahn obenliegend.

Bogenbrücken

a) Brücke mit Gewölbe, das in Stein, Beton oder → Stahlbeton ausgeführt ist. (Abb. 99, 100, 102; S. 54, 55)

b) Brücke aus Stahl, Holz oder → Stahlbeton, deren → Hauptträger als → Bogenträger in → Fachwerk-, → Vollwand-, oder → Vierendeel-ausbildung gestaltet sind. Diese können 1. ganz unter, 2. halb unter oder 3. ganz über der Fahrbahn liegen. Bogenbrücken überspannen das zu überwindende Hindernis mit einem oder mehreren → Bogenträgern. (Abb. 103, 112–115, 228–236; S. 54–58, 117–120)

Brücken

Bauwerke zur Überwindung eines Verkehrsweges, wie Fußgängerweg, Straße, Kanal, Eisenbahn über ein Verkehrshindernis (Straße, Wasserlauf, Talsenke, Schlucht, See usw.). Nach Bauart unterscheidet man → Balken-, → Bogen- und → Hängebrücken; nach Baustoffen Holz-, Stein-, Stahl-, Beton- und Stahlbetonbrücken. (Weitere Einteilung siehe Tafel II auf Seite 27.)

Brückenquerschnitt

Diejenige Schnittfläche, die entstehen würde, wenn man sich eine → Brücke an einer bestimmten Stelle quer durchschnitten denkt.

Brückenverstärkung

Zur Erhöhung der Tragfähigkeit einer → Brücke, welche den Anforderungen des Verkehrs infolge Beschädigungen oder infolge Erhöhung der Verkehrslasten ohne Überschreitung der zulässigen → Beanspruchungen des Baustoffes nicht mehr genügt, werden Flachstahllamellen aufgenietet oder geschweißt (siehe Abb. 139, S. 77) oder zusätzliche Tragteile, wie Zwischensysteme, → Unterspannungen, Zwischenstützen usw. angebracht. (Abb. 197, 203, 206, 209; S. 105–108)

Deckbrücke

Brücke, deren Fahrbahn oberhalb der → Hauptträger (→ Blech-, → Kasten-, → Fachwerkträger) liegt. (Abb. 44, 47–52, 139, 142, 144–146, 176, 207; S. 32)

Drehmoment

„Das äußere D. für einen bestimmten Querschnitt eines auf Biegung oder Torsion beanspruchten Balkens ist die Summe der statischen Momente aller äußeren Kräfte (und Kräftepaare), die am Balken links oder rechts des betrachteten Querschnitts in bezug auf die Stabachse angreifen. Mit gleicher Größe, jedoch entgegengesetzt wirkend, hält das innere D. als resultierendes sta-

tisches Moment aller am Querschnitt angreifenden Biegekräfte (s. Biegemoment) oder Schubkräfte das äußere D. im Gleichgewicht.“ (rororo Techniklexikon Bautechnik 2, S. 323). (Abb. 14; S. 10)

Dreigelenkbogen

Gekrümmter → Stab, der gegen die → Widerlager abgestützt ist und zwei Fußgelenke und ein Scheitelgelenk besitzt. (3. Zeichnung unter 1.12.1 der Tafel II auf S. 30; S. 58)

Druckbeanspruchung

Belastung eines Werkstoffs, in dem Druckspannungen entstehen. (Abb. 2, 22, 182–184, 203, 205, 214–217, 234–236; S. 8, 10, 13, 109–111, 120)

Druckbewehrung

Stahleinlagen in auf Druck beanspruchten Bauteilen.

Druckgurt

Teil eines gewalzten, genieteten oder geschweißten I-förmigen → Trägers, der zur Aufnahme der Druckkräfte in der → Druckzone dient. (Abb. 135–137 – jeweils oberer Gurt; S. 75, 76)

Druckstab

→ Stab, der bei einer äußerlich belasteten → Fachwerkkonstruktion als innere Kraft Druck überträgt; er erfährt eine Kürzung und muß knicksicher ausgebildet sein. (Abb. 180–184; S. 91–95)

Druckzone

Auf Druck beanspruchte Zone des Querschnitts eines → Biegebalkens. In Spannbetonbauwerken diejenigen Querschnittsteile, in denen ohne → Vorspannung unter der gegebenen → Belastung Druckspannungen entstehen. (Abb. 11, 15, 123–136; S. 9, 10, 71–76)

Durchlaufträger

Ein über drei oder mehrere Unterstützungen durchlaufender → Balken (→ Biegeträger). Gegensatz: freiaufliegender Träger (→ Balken auf zwei Stützen). D. sind dann wirtschaftlich, wenn die → Stützweitenunterschiede nicht allzu groß sind. (Abb. 50, 52, 57, 58, 253, 271, 273, 277, 278, 283, S. 30 Tafel II 1.11.2; S. 34–36)

Eckstiele

Die bei senkrechten → Tragwerken senkrecht oder schräg verlaufenden → Gurte, die durch die → Gitterstäbe miteinander verbunden sind. (Abb. 290–292, 294, 297–304, 313, 314, 318–330; S. 158–176)

Einspannen

Festhalten eines → Trägers oder eines anderen → Tragwerks an einem anderen Bauteil durch Nieten, Schweißen, Betonieren usf. Vollkommene Einspannung ist dann vorhanden, wenn jedwede Bewegung des Einspannquerschnitts ausgeschlossen ist (siehe u. a. die feste Einspannung des Brückenbalkens (Vorspannung) der Kurt-Schumacher-Brücke auf der Mannheimer Seite, *Abb. 91–94*, S. 50–52). Die Stabachse eines → Trägers bleibt im Einspannquerschnitt unveränderlich – Beispiel: Eingespannter Bogen.

Fachwerkbalkenbrücke

Brückenbauwerk, dessen → Hauptträger aus → Fachwerkträgern bestehen. (*Abb. 54, 167, 169–177, 201, 202, 204, 205, 207, 210, 220, 222, 224, 253*; S. 31–35, 113, 114)

Fachwerkträger

Gegliederte → Träger, die durch Zusammenbau von dreieckförmigen → Walzprofilen entstehen. Die den benachbarten Dreiecken gemeinsamen Ecken heißen → Knotenpunkte. Die → Stäbe, die das → Fachwerk nach oben, bzw. nach unten begrenzen, werden Gurtstäbe genannt. → Gitterstäbe sind diejenigen → Stäbe, die die → Gurte miteinander verbinden. Die senkrechten → Stäbe werden als Vertikale (Pfosten), die schrägen als Diagonale (Streben) bezeichnet, während die bei einem unterteilten Fachwerksystem innerhalb der Gurt- und Gitterstäbe angebrachten → Stäbe Zwischen-, bzw. Füllungsstäbe heißen. (*Abb. 157–167, 169–177, 182–184, 201, 202, 204, 207, 210, 219–222, 224, 230, 253*; S. 84–93, 112–114)

Fahrbahnplatte

Stahlbetonplatte, die direkt die Fahrbahn trägt.

Fahrbahnrost

Stählernes Tragwerk unter der Fahrbahn einer → Brücke, das aus → Längs- und → Querträgern besteht. (Siehe → Fahrbahnplatte, → Orthotrope Platte.)

Fahrbahnplatte

Über dem eigentlichen Brückentragwerk liegende Fahrbahnplatte mit Rostabdeckung und Fahrbahnrost; bildet mit diesem aus Längs- und Querträgern eine steife Tafel zur Aufnahme horizontaler Kräfte. (Siehe auch → Orthotrope Platte)

Freivorbau

Montagevorgang bei Brücken über tiefe Täler, Flüsse usf., bei denen der Einbau von Gerüsten zu unwirtschaftlich ist, bzw. den Schiffsverkehr

stört. Mit Hilfe von Derrick- oder von sonstigen Freivorbaukränen wird ein Brückenteil nach dem anderen am bereits montierten, frei auskragenden Bauteil angebracht. Jetzt kann der Kran vorrücken und weitere Teile anheben bis das gegenüberliegende → Widerlager oder der von der anderen Seite frei vorgebaute Bauteil erreicht worden ist. (*Abb. 93*; S. 50–52)

Fußgängerbrücke

Brückenbauwerk, das aus Holz, Stahl, → Stahlbeton besteht und meist in schmaler Form als Steg ausgebildet ist und nur der Benutzung von Fußgängern dient. F. dienen vornehmlich zur Überwindung von Eisenbahngeländen, Autobahnen oder sonstigen stark befahrenen Straßen. Höhenunterschiede werden durch Treppen oder gekrümmte Anrampungen überwunden. (*Abb. 256, 257, 268*)

Gelenk

Verbindung zweier → Stäbe, bei der Längs- und Querkräfte aufgenommen werden können, → Momente jedoch ausgeschlossen sind. (*Abb. 53, 54, 147–151*; S. 34)

Gelenkbolzen

Bolzen für eine zug- und druckfeste Verbindung, bei der sich die miteinander verbundenen → Stäbe usf. drehen können. Anwendung für die Gelenke von → Gerberträgern, Hängegurte von Kettenbrücken und → Fachwerke mit gelenkigen Knotenverbindungen. Die versch. Riegel des fischertechnik-Statik-Systems übernehmen diese Funktion. (*Abb. 120, 121, 147–167, 169, 170, 173–175, 177, 198–211, 213, 222, 229, 230, 237, 297, 299, 300, 303–307, 310–314*)

Gelenkbolzenbrücke

Brückentragwerk mit gelenkigen Verbindungen (→ Gelenkbolzen) in allen → Knotenpunkten. (*Abb. siehe → Gelenkbolzen.*)

Gelenkträger

Von Gerber eingeführte Trägerart eines über mehrere Unterstützungen durchlaufenden → Trägers, der durch mehrere → Gelenke so unterteilt wird, daß Kragträger und dazwischen eingehängte → Träger entstehen. So wird aus dem → statisch unbestimmten System des → Durchlaufträgers ein → statisch bestimmtes Trägersystem. (*Abb. 53, 54*; S. 34, 35)

Genieteteter Träger

Aus Blechen, Winkeleisen und Flachstahl mit Hilfe von Nieten zusammengesetzter Quer-

schnitt, der bei Biegebeanspruchung meist aus I- oder Kastenform besteht. (Abb. 130, 137, 139, 142)

Gerbergelenk

Ein → Gelenk, das (nach seinem Erfinder genannt), senkbar ist; es ruht meist auf Kragarmeinschnürungen. (Abb. 53, 54; S. 34, 35)

Gerberträger

Von Gerber erfundener über mehrere Unterstützungen hindurchlaufender Träger. Siehe unter → Gelenkträger. (Abb. 53, 54; S. 34, 35)

Geschlossene Brücke

Meist Fachwerkbrücke mit quer zur Brückenlängsachse angeordneten Portalrahmen, untenliegender Fahrbahn und obenliegendem → Windverband. (Abb. 170, 172, 175, 176, 222, 253)

Gitterstäbe

Die Stäbe eines → Fachwerks, die die → Gurte miteinander verbinden. (Abb. 54, 109, 157–167, 169–177, 182–184, 198, 199, 201, 202, 204, 205, 207, 210, 219, 220–222, 224, 230, 253, 289–292, 294, 297–304, 313, 314, 318–330)

Gleitbleche

Aufeinander liegende Bleche (meist mit Paraffin bestrichen), die ein Gleitlager bilden.

Gurt

Bei I-Profilen oberer, bzw. unterer senkrecht zum → Steg liegender Teil eines → Trägers (Flansch bzw. Gurtwinkel mit Lamellen) (Abb. 127–139; S. 72–77) sowie beim → Fachwerkträger der untere, bzw. obere Stab, Untergurt-, Obergurt (Abb. 222; S. 35, 112, 113). Oft wird ein über dem → Obergurt angeschlossener Stabbogen, bzw. eine unter dem Untergurt angeordnete Unterspannung als dritter → Gurt bezeichnet. (Abb. 95–98, 111; S. 36, 52–54)

Gurtplatte

Zur Vergrößerung der Tragfähigkeit eines I-förmigen → Trägers aufgenieteteter, bzw. aufgeschweißter Flach- oder Breitflachstahl (Abb. 130, 137, 139)

Hängebrücke

Brückentragwerk dessen Fahrbahnteile mittels Hängern (Hängestangen) an tragenden Bändern (→ Kabeln) hängen. Wegen zu großer Durchbiegungen und Schwankungen der Fahrbahn müssen → Versteifungsträger (→ Vollwand- oder → Fachwerkträger) angebracht werden. Trotz

dieser → Versteifungsträger kaum als Eisenbahnbrücken eingesetzt. Einteilung in statischer Hinsicht: a) Erdverankerte „echte“ H. mit in Fundamentblöcken verankerten Tragbändern – Horizontalschub vorhanden. b) H. mit aufgehobenem Horizontalschub, wobei die Zugkraft der Tragbänder (Tragkabel) in den → Versteifungsträgern als Druckkraft aufgenommen wird. Diese Ausbildungsart ist trotz entfallender Erdverankerung unwirtschaftlicher. Die Tragbänder sind bei beiden Ausbildungsarten auf → Pylonen aufgelagert; diese können aus Stahlrahmen, Stahlfachwerken, → Stahlbeton oder in Massivbauweise bestehen. (Abb. 116–121, 237, 239, 241–246, 256, 281; S. 30 Tafel III 1.13 Hängebrücken, 63–68, 122, 123)

Hängewerk

Brückenkonstruktion, die ein Überspannen größerer Öffnungen durch nicht zwischengestützte → Balken ermöglicht. Die Last wird über Hängesäulen (Hängepfosten) in die Druckstreben und von dort auf die Balkenaufleger übertragen. Findet im heutigen Brückenbau keine Verwendung mehr, eignet sich jedoch sehr gut als Beispiel zur Erarbeitung der Kräftezerlegung mit dem Kräfte-dreieck (Kräfteplan) (Abb. 59–82, 89, 90, 211, 213; S. 36–46)

Hauptträger

→ Längsträger einer Tragkonstruktion, der die gesamten Lasten auch aus → Nebenträgern übernimmt und sie in → Lager, → Widerlager, Fundamente bzw. → Stützen und → Pfeiler leitet. Ausbildung als → Vollwand-, → Fachwerk-, Rahmenwerkträger, als → Balken- oder → Bogen-träger in außerordentlich mannigfaltiger Form.

Hochbrücke

Brückenbauwerk mit meist großer → Stützweite, das so hoch über einem Wasserlauf liegt, daß große Seeschiffe darunter durchfahren können. (Abb. 103, 231)

Hubbrücke

Brückenkonstruktion, bei der ein über der Fahr-rinne von Schiffen horizontal liegender → Überbau vertikal angehoben wird, um die für die Schiffe erforderliche Durchfahrtshöhe zu erreichen.

Kabel (Seil)

Tragband für → Hängebrücken oder Tragseil für → Schrägseilbrücken. Seilkabel mit geradem, weichem Kerndraht, um den sich schraubenförmig Lagen aus Runddrähten legen; darüber

einige Lagen Keildrähte und S-Drähte zur Drallminderung wechselweise mit Links- und Rechtschlag. Paralleldrahtkabel aus vielen dünnen parallelen Einzeldrähten, bündelweise zu Litzen vereinigt; hydraulische Pressung auf Kreisform. (Abb. 116, 117; S. 64)

Kämpfer

→ Widerlager von → Bögen. Kämpferdruck ist derjenige Druck, den der → Bogen auf seine → Widerlager ausübt. Als Kämpferpunkt bezeichnet man den Auflagerpunkt bei Bogentragwerken. (Abb. 100–106; S. 54)

Kastenbalkenbrücke

Eine Balkenbrücke, deren → Hauptträger Hohlquerschnitt besitzt. (Abb. 49, 50)

Kastenträger

Geschlossene Hohlquerschnitte, deren Wanddicke gegenüber den Querschnitts-Kantenlängen sehr gering sind. K. sind i. a. nicht nur auf → Biegung, sondern zusätzlich auch auf → Torsion beanspruchbar. (Abb. 49, 50, 92–94, bei 113 jeweils bis zum Bogentragwerk, 143–146, 249; S. 79, 80)

Kettenbrücke

→ Hängebrücke, deren Tragbänder aus Ketten bestehen (anstelle der Kabel bei Kabelbrücken). Wird heute nicht mehr gebaut, weil Seile viel wirtschaftlicher sind. (Abb. 37; S. 24)

Knickbiegung

→ Balkenbiegung unter einer äußeren Druckkraft.

Knickung

Schlanke Stäbe aus Holz, Stahl usw., die zentrisch auf Druck belastet sind, knicken bei Überlastung; Druckkräfte bewirken Knickspannung (Knickbeanspruchung). (Abb. 16, 17, 169, 171–173; S. 10, 11, 87, 88)

Knotenblech

Im → Knotenpunkt eines → Fachwerkträgers angeordnetes Blech, an dem die Stabkräfte der hier zusammentreffenden Fachwerkstäbe angreifen können; diese werden mittels Schrauben, Nieten oder Schweißnähten angebracht. (Abb. 159, 166, 176, 177, 220, 222; S. 84, 85, 113)

Knotenpunkt

Vereinigungsstelle von → Stäben (Streben oder Pfosten) einer → Fachwerkkonstruktion bei der die zusammentreffenden → Stäbe meist mit Hilfe

eines → Knotenblechs – selten jedoch direkt bei horizontalen → Tragwerken zusammengeschaubt, – genietet oder – geschweißt werden. I. a. handelt es sich um den Zusammenschluß von Diagonalen und Vertikalen an den Ober- bzw. Untergurten oder von Füllungsstäben an ihren Kreuzungsstellen. (Siehe → Knotenblech)

Kragkonstruktion (Kragarm, Auskragung)

Tragsystem mit einem eingespannten und einem freien Ende, das als → Vollwand- oder als → Fachwerkträger ausgebildet sein kann. (Außerdem bei Balkon als Platte.) (Abb. 15, 53, 54, 217, 218; S. 10, 34, 35, 111)

Kurvenbrücke

→ Brücke, deren Längsachse in einer Kurve liegt. (Abb. 277)

Lager

Bauteil zur Aufnahme der Lasten und Gewichte eines → Tragwerks und zu deren Überleitung in die Unterstützung des → Tragwerks. → Widerlager, Zwischenpfeiler, Fundament.

a) Festes Lager

→ Träger mit starker Belastung, größerer Stützweite und auftretenden Erschütterungen müssen eine Auflagerung haben, die sie in der eingebauten Lage festhält. Durch Einbau eines festen Lagers wird die durch Belastungsschwankungen hervorgerufene Lageänderung der → Brücke verhindert. (Abb. 39, 41, 167, 247, 251; S. 28, 86, 124, 125).

b) Bewegliches Lager

Bei größeren → Trägern muß wegen der durch Temperaturschwankung eintretenden Längenänderung ein bewegliches Lager eingebaut sein. Der → Träger kann diese Längenänderung nur dann schadlos übertragen, wenn er durch seine Auflagerstellen nicht daran gehindert wird. Das → Auflager selbst kann diese Ausdehnung des → Trägers nur dann ungehindert aufnehmen und weiterleiten, wenn es als bewegliches Lager ausgebildet ist. (Ausbildung als Gleitlager, Rollenlager, auch Stelzen- und Pendellager). (Abb. 40, 42, 167, 168, 248, 249, 250; S. 28, 86, 124, 125)

Langer-Balken

Ein von Prof. Langer 1862 statisch untersuchter, 1881 erstmals in Graz eingesetzter parallelgurtiger → Träger (Balkenträger), der allein zu schlank, also zu wenig tragfähig, an darüber angeordnetem Stabbogen aufgehängt ist und diesen versteift. Der Bogenschub ist im Träger aufgenommen. Als System demnach ein versteifter Stabbogen mit aufgehobenem Horizontalschub. (Abb. 95–98, 111; S. 52)

Längsträger

In der Längsrichtung eines Brückentragwerks angeordneter Unterstützungsträger (nicht → Hauptträger!), auf dem Belagstähle, Buckelbleche, Tonnenbleche, die Fahrbahnbetonplatte oder auch unmittelbar die Schwellen von Eisenbahngleisen aufliegen. Liegt selbst entweder auf → Querträgern auf oder ist zur Einsparung an Konstruktionshöhe seitlich an die → Querträger angeschlossen.

Lastannahmen

- Hauptlasten = ständige Lasten aus Eigengewicht und Verkehrslasten
- Zusatzlasten = Wind- und Brems-, bzw. Beschleunigungslasten
- Lasten für besondere Nachweise = Anprall von Fahrzeugen, Standsicherheit gegen Umkippen.

Lehrgerüste

Traggerüste aus Holz oder Stahl, neuerdings auch Aluminium, welche dem frisch eingebrachten Beton die Formgebung gewährleisten oder auf denen Gewölbe gemauert werden. (Abb. 101; S. 56)

Leichtfahrbahnen von Brücken

Bei gleicher Verkehrsbelastung erbringen neuartige Brückenfahrbahn-Konstruktionen ein erheblich vermindertes Stahleigengewicht. Diese sog. → orthotropen Platten erreichen durch bestimmte Profilierung u. a. Torsionssteifigkeit; sie erhalten einen Fahrbahnbelag von Gußasphalt, der zugleich die Abdichtung übernimmt. (Siehe auch → Orthotrope Platte)

Lichtweite (lichte Weite, lichtetes Maß)

Das Maß zwischen den → Widerlagern einer → Brücke.

Massivbrücken

Brücken aus Mauerwerk, Beton oder → Stahlbeton. Früher oft → Bogenbrücken aus Mauerwerk; heute meist → Balkenbrücken, aber auch → Bogenbrücken aus → Stahlbeton. (Abb. 33–35, 50, 99–102, 107, 249–251, 262)

Mast

- freistehende, fest in Fundamenten verankerte senkrechte Tragkonstruktion ohne oder mit Traversen zum Tragen von Freileitungen usf. (Abb. 4, 292, 294, 298–304; S. 156–163)
- mit Seilen abgespannte, beweglich gelagerte senkrechte Tragkonstruktion zum „Hochhalten“ von Fernsehantennen, Richtstrahlern usf. (Abb. 313, 314; S. 152, 153, 164–167)

Mittelträgerbrücke

Brückentragwerk mit nur einem in der Mitte der Fahrbahn angebrachten → Hauptträger (auch Schrägseile). Das Kippen der Fahrbahn bei einseitiger Belastung wird durch einen torsionssteifen → Kastenträger unter der Fahrbahn verhindert. (Abb. 91–98, 259, 260)

Mittiger Druck

Mit der Stabachse zusammenfallende Wirkungslinie der Druckkraft. (Abb. 2, 16, 17 – Fall 2–4)

Mittiger Zug

Mit der Stabachse zusammenfallende Wirkungslinie der Zugkraft. (Abb. 1, 20, 21, 23–25)

Moment

Das Produkt, dessen Faktoren eine Länge und eine Menge darstellen, wobei diese Menge die Bogenlänge einer Kurve, der Inhalt einer Fläche, das Volumen oder die Masse eines Körpers, die Größe einer Kraft oder eines Impulses bedeuten kann. Es gibt: Linien-, Flächen-, Massen-, Kraft- und Impuls-Momente. Lineare Momente werden auch statische Momente genannt; in der Baustatik versteht man unter Moment oft das → Biegemoment. (Abb. 14, 187–189; S. 10, 94, 95)

Nebenträger (Nebenbalken)

Dient zur Entlastung des → Hauptträgers und sorgt für die Lastverteilung. Sinnverwandt mit dem Querträger.

Nutzquerschnitt

Die Fläche des schwächsten Querschnitts eines → Zugstabes oder → Zuggurtes von → Biegeträgern.

Netzwerkträger

→ Parallelträger mit mehrfachen, sich gegenseitig vielfach kreuzenden Strebenzügen. (Abb. 253)

Nietverbindung

Die mit Hilfe von Nieten – im Gegensatz zur Schrauben- oder Schweißverbindung – hergestellte Verbindung von → Walzprofilen, Blechen usf. (Abb. 97, 130, 139, 142, 178; S. 73)

Nullinie

Die zwischen den Zug- und Druckspannungen verlaufende Grenzlinie eines auf → Biegung beanspruchten → Balkens. (Abb. 11, 13–15, 58, 214)

Obergurt

Der in einem → Fachwerk- oder → Vollwandträger örtlich höher gelegene → Gurt. Bei frei

aufliegendem Träger auf zwei Stützen ist → Obergurt Druckgurt; über den Zwischenstützen eines → Durchlaufträgers ist O. → Zuggurt. Gegensatz hierzu: → Untergurt – oder ein als → Unterspannung oder als Stabbogen (Überspannung) angeordneter dritter Gurt. (Abb. 34, 129, 126–139, 155–167, 169–179, 182–184, 201, 202, 204, 205, 207, 210, 219–222, 224, 253; S. 35, 36, 52, 112–114)

Orthotrope Platte

Erbringt bei gleicher Verkehrsbelastung für die Fahrbahntafel von (meist) Stahlbrücken ein erheblich vermindertes Stahlgewicht durch Profilierung (Torsionssteifigkeit). (Siehe auch → Fahrbahntafel und → Leichtfahrbahnen von Brücken.)

Parallelträger

→ Fachwerk- oder → Vollwandträger, dessen → Gurte gerade und parallel miteinander verlaufen. (Abb. 54 außen, 135–146, 158–166, 169–177, 220, 222, 224, 257)

Pfeiler

Ein Baukörper, der z. B. über mehreren → Stützen durchlaufenden → Brücken die Auflagerkräfte aus den → Auflagern übernimmt und in den Erdboden ableitet. Als Pfeiler bezeichnet man nur die Stützkörper der mittleren → Auflager. Die Endstützkörper heißen → Widerlager. Pfeiler und → Widerlager bestehen im neuzeitlichen Brückenbau meist aus → Stahlbeton; sie sind bei großen Abmessungen meist in Hohlzellenbauweise ausgebildet. In älteren Brückenbauwerken verwendete man meist Bruchsteinmauerwerk. (Abb. 33–35, 58, 99, 113, 139, 216, 233 außen, 253 links, 261, 262, 273, 277, 278, 283, 284; S. 28)

Pfosten

Der in einem → Fachwerk und Rahmenwerk senkrecht an den → Gurten angeschlossene → Gitterstab; bei Brücken auch als Vertikale bezeichnet. (Abb. 158–161, 164–166, 169–174, 177, 185–189, 220–222, 224; S. 88, 94, 95, 113)

Platten

Flächentragwerk, dessen Dicke im Verhältnis zu den Grundrißabmessungen klein ist. Statisch wirksam als einfacher, fest eingespannter Träger. (Abb. 46, 47; S. 32)

Profile

Siehe → Walzerzeugnisse

Pylone

Dienen sowohl bei → Hängebrücken als auch bei → Schrägseilbrücken zur Aufnahme der Seile in ihren höchsten Punkten und zur Abtragung von Druckkräften aus der Seilumlenkung in die → Auflager und → Pfeiler. P. können entweder senkrecht oder schräg ausgebildet sein. Zur Erhöhung der Stabilität werden Verbände (Querverbände) rahmenartig angebracht; neuerdings meist A-Form. (Abb. 37, 91–93, 117–121, 237–246, 256, 259, 265, 266, 270–272, 279, 282; S. 47–50)

Quersteifigkeit

Biegefestigkeit eines Tragsystems in der Querrichtung.

Querstoß

(Stoß) Verbindung senkrecht zur Längsachse eines Bauteils.

Querträger

Ein → Träger, der quer zur Längsrichtung eines Brückenbauwerks angeordnet ist und auf dem die → Längsträger des → Fahrbahnrostes liegen oder an dem sie seitlich angeschlossen sind. → Querträger leiten die aus den → Längsträgern übernommenen Lasten in die → Hauptträger der Konstruktion. (Abb. 138, 139, 142; S. 77)

Querverband

siehe → Schlingerverband und → Windverband.

Rahmenträger

Siehe → Vierendeelträger.

Rahmenbrücke

Brücke in Stahl, → Stahlbeton oder → Spannbeton, die aus den waagrechten Riegeln und den senkrechten oder schräg gestellten Stielen besteht zählt statisch zu den → Bogenbrücken. (Abb. 107, 108; S. 58, 59)

Raumfachwerk

I. a. stellen Fachwerkbrücken Raumfachwerke dar, wenn ihre → Hauptträger durch → Verbände miteinander verbunden, ein räumliches Tragwerk ergeben.

Riegel

Der bei Rahmenbrücken waagrecht liegende Bauteil. (Abb. 107, 108; S. 30 Tafel II unter 1.12.1; S. 58, 59)

Rost-Tragwerke

Die statische Wirkungsweise von Rosttragwerken: Verteilung örtlich angreifender Lasten in

Quer- und Längsrichtung; weitgehende Entlastung einzelner Tragglieder durch Einbeziehung nicht direkt belasteter Bauteile. (Abb. 138, 139; S. 77)

Scheibe

Unter einer Scheibe versteht man ein ebenes Flächentragwerk, das aus → Platten oder aus einzelnen Stäben zusammengesetzt sein kann (Fachwerkscheibe). Wesentlich ist, daß die äußere Last in der Ebene der Mittelfläche wirkt. Gegensatz hierzu: → Platte, bei der äußere Last senkrecht zur Plattenebene wirkt.

Scher- bzw. Schubfestigkeit

Zwei gleich große aber entgegengesetzt gerichtete Kräfte wirken senkrecht (quer) zur Längsachse des Körpers. Die Kräfte, die die beanspruchten Flächen gegeneinander zu verschieben versuchen, werden durch die Widerstandskraft des Materials aufgefangen.

Schlingerverband

Meist bei Eisenbahnbrücken unterhalb der Schienenschwellen zwischen den → Längsträgern angeordneter Horizontalverband (→ Fachwerk), der die Seitenstöße der Fahrzeuge durch Schlingern, Winddruck und bei Kurvenbrücken die Fliehkräfte der Fahrzeuge aufnimmt und über die → Querträger in den horizontalen Hauptverband der Brücke leitet. (Abb. 97)

Schrägseilbrücke

(Seilverspannte Balkenbrücke)

Eine → Balkenbrücke, die zwischen den Auflagerpunkten an einem oder mehreren Punkten durch Schrägseile „hochgehalten“ wird. (Abb. 91–94, 212, 238, 240, 259, 265, 266, 270, 272, 279; S. 47–52, 120, 134)

Spannbeton

In den Beton eingelegte Stahleinlagen werden derart angespannt, daß sie auf den umgebenden Beton eine Druckvorspannung ausüben. Das Anspannen erfolgt so, daß bei auftretender Biegebeanspruchung des → Balkens in der → Zugzone keine oder nur minimale Zugspannungen auftreten. (Abb. 50)

Spannbetonbrücken

Vorgespannte Brücken (siehe Spannbeton) können leichter gebaut werden und größere → Spannweiten erreichen; sie sind meist als → Balken- oder → Rahmenbrücke ausgebildet. Bei ihnen lassen sich alle Vorteile der → Spannbe- wehrung mit Wirtschaftlichkeit anwenden. (Abb. 50)

Spannbewehrung (Spannglieder)
Stahleinlagen beim Spannbeton. (Abb. 50)

Spannweite

Siehe → Stützweite.

Sprengwerk

Tragwerk mit → Balkenträger, der von unten her durch geneigte beweglich gelagerte Streben unterstützt wird (Abb. 203; S. 30 Tafel II, 1.11.3; S. 36)

Stab

Bauglied, das zwei → Knoten oder → Knotenpunkte einer Konstruktion miteinander verbindet. Bei → Fachwerkträgern heißen diese Stäbe → Streben (Diagonalen) und → Pfosten. (Siehe unter → Streben und → Pfosten.)

Stabwerk

Ein aus Stäben zusammengesetztes Tragwerk, das sich vom → Fachwerk dadurch unterscheidet, daß die → Knoten eingespannt sind und auch gekrümmte → Stäbe verwendet werden können. Ein Stabwerk kann als → Bogenträger, → Durchlaufträger → oder Rahmentragwerk ausgebildet sein.

Stahlbeton

Beton ist zwar in der Lage, erhebliche Druckspannungen zu übernehmen; er ist jedoch nicht geeignet, Zugspannungen aufzunehmen. Treten solche Zugspannungen auf, werden Stahleinlagen in den Beton eingebettet, die diese Zugspannungen aufnehmen.

Stahl-Beton-Verbundkonstruktion

Tragwerk, bei dem die beiden Baustoffe Stahl und Beton in wirtschaftlicher Weise gleichzeitig so verwendet werden, daß dem Stahl die Zugkräfte und dem Beton die Druckkräfte zugewiesen werden.

statisch bestimmt

nennt man diejenigen Systeme (Probleme), deren Lösung eindeutig und vollständig aus den statischen Gleichgewichtsbedingungen hervorgeht.

Statisches Moment

Die neben der Einzellast wichtigste Belastungsart; bedeutet das Produkt von Kraft P und Hebelarm a.

statisch unbestimmt

sind diejenigen Systeme (Probleme), die mehr

unbekannte Größen als Gleichgewichtsbedingungen enthalten.

Steg

Der bei → Biegeträgern senkrecht liegende Querschnittsteil, der vorwiegend zur Aufnahme der Querkräfte dient. (Abb. 52, 92–94, 123–142)

Stegblech

Das senkrecht stehende, die Wandung bildende Grobblech zwischen den → Gurten eines → Blechträgers (→ Biegeträgers). (Abb. 52, 92–94, 123–142)

Stegblechsaussteifung

An das → Stegblech eines → Blechträgers genietet Winkelstahl oder geschweißter Flachstahl zur Sicherung des Bleches gegen Ausbeulen. Hierdurch Verhinderung des Ausknickens als Folge der im → Steg auftretenden Druck-, Längs- und Querkkräfte. (Abb. 52, 137)

Stiele

Die bei Rahmenbrücken senkrecht oder schräg gestellten Bauteile (Abb. 107, 108, S. 30 Tafel II unter 1.12.1; S. 58, 59)

Stiele (Eckstiele)

Die bei senkrechten Tragwerken (→ Türme, → Masten) senkrecht verlaufenden Gurtstäbe von → Fachwerken, → Rahmenwerken, an die die → Streben und → Pfosten angeschlossen sind. (Abb. 290–294, 207–304, 313, 314, 318–330; S. 158)

Strebe

Der in einem → Fachwerk schräg an den Gurten angeschlossene → Gitterstab; auch als Diagonale bezeichnet. (Abb. 150, 152, 157–167, 169–177, 182–184, 198, 199, 201, 202, 204, 205, 207, 208, 210, 219, 220–224, 230, 253; S. 83–90, 133)

Stütze

Ein aus Stein, Holz, Metall, Leichtmetall oder Beton bestehendes senkrecht stehendes Bauelement, das auch in Form von Säulen, → Pfeilern, → Stielen usw. Druckkräfte übernimmt. (Abb. 50, 56–58, 100 außen, 107, 108, 123, 139, 142, 176, 209, 216, 231 außen, 233 außen, 253 links, 273, 277, 278, 283, 284; S. 28)

Stützmoment

Ein → Biegemoment über den mittleren → Stützen eines → Durchlaufträgers oder → Gerberträgers. (S. 34)

Stützweite

Entfernung zwischen den gedachten Auflagerachsen eines Brückentragwerks. (Abb. 43; S. 31)

Torsion (Drilling)

Schraubförmige Verdrehung eines → Stabes, eines → Trägers in seiner Längsachse. (Abb. 19, 321; S. 11, 171)

torsionssteifer Kasten

Siehe → Kastenträger.

Träger

haben die Aufgabe, die auf ihnen ruhenden Lasten auf Unterstützungspunkte (Auflager) zu übertragen. Einteilungsmöglichkeiten: a) nach Art der Anbringung: Freitragler, aufgelagerte Träger, fest eingespannte Träger (oder Kombinationen hieraus); b) nach Art der Gestaltung: → Vollwandträger, → Fachwerkträger, → Rahmenwerkträger. (Siehe unter → Fachwerkträger, → Vollwandträger, → Vierendeelträger)

Trägerhöhe

Die Höhe des Trägersystems, also der Abstand von → Obergurt bis → Untergurt-Systemlinie, die Höhe von Oberkante Obergurt bis Unterkante Untergurt. (Abb. 137)

Trägerrost

Siehe → Rosttragwerke

Tragwerk

Ein materielles System von Bauelementen, bzw. → Trägern. Gliederung: a) horizontales Tragwerk: → Brücke. b) vertikales Tragwerk: → Turm, → Mast. Tragwerke können aus → Stäben zusammengesetzt oder Flächentragwerke sein, die eben (→ Platten, → Balken, → Trägerroste, → Scheiben, Seilwerke) oder räumlich (Schalen, Membranen und Faltwerke) sind.

Turm

Freistehendes, am Fuß fest im Erdboden in Fundamenten verankertes senkrechtes → Tragwerk zum Tragen von Fernsehantennen, Fernmelde-Richtstrahlern, Radargeräten, Wasserbehältern, Lichtquellen, Glockenstühlen usw. (Abb. 285–288; S. 152–156)

Überbau (bei → Brücken)

Überspannt die unter ihm liegende Öffnung; zu ihm zählen: das Haupttragwerk, dessen Fahrbahn und die Lager.

Unterbau (bei → Brücken)

Besteht aus Fundament, → Pfeilern und → Widerlagern.

Untergurt

Der bei einem → Fachwerkträger oder → Vollwandträger im → Tragwerk untere → Gurt im Gegensatz zum höher gelegenen → Obergurt; bei frei aufliegendem → Träger auf zwei Stützen: → Zuggurt; über den Zwischenstützen durchlaufender Träger: → Druckgurt. (Abb. 52, 54, 134–146, 157–167, 169–179, 182–184, 197, 201, 202, 204–207, 210, 219–222, 224, 253; S. 35, 36, 52, 112–114)

unterspannt

Derjenige Träger, der zur Erhöhung seiner Tragfähigkeit einen „dritten Gurt“ in Dreiecks-, Trapez- oder Parabelform als besonderen → Gurt unterbaut erhält, auf den sich der Träger selbst mit Druckstäben abstützt. (Abb. 83, 84, 87, 88, 197, 206; S. 30 Tafel II Beispiel 3 unter 1.11.3; S. 36, 44, 45)

Verband

Eine fachwerkartige Konstruktion, die zur Aufnahme von Seitenkräften und zur Aussteifung und Formerhaltung eines Tragwerks dient (siehe → Windverband, → Schlingerverband)

Verbindungen

sind im Bauwesen notwendig, wenn ein Tragwerk aus einzelnen Tragwerkgliedern, bzw. wenn ein tragender Querschnitt aus einzelnen Teilen zusammengefügt ist. Die Tragglieder sind z. B. → Zug- oder → Druckstäbe bei → Fachwerken, biegesteife Stäbe bei → Rahmenwerken usf.

Verbundträger

Zusammensetzung eines → Trägers aus verschiedenen Baustoffen, z. B. Beton und Stahl, bzw. Profile des Stahlbaus mit einem → Druckgurt aus Beton und einem → Zuggurt aus Stahl.

Versteifungsträger

Bei Stabbogen- und → Hängebrücken zwischen Querträgern und Hängestangen („Hängern“) eingeschalteter → Träger, der durch seine Biegesteifigkeit die Stabilität des → Tragwerks auf seiner ganzen → Stützweite bewirkt. Versteifungsträger sind erforderlich, weil die Fahrbahnbelastungen zu große Verformungen des → Tragwerks hervorrufen würden, wenn die → Fahrbahnquerträger nur mit Hängestangen am Kabel angeschlossen wären. (Abb. 95–98, 111, 121, S. 70 Tafel IV; S. 64–68)

Viadukt

Aus Stein- oder Betongewölbe sowie aus stählernen Überbauten auf Pfeilern ruhende Straßen- oder Eisenbahnbrücke.

Vierendeelträger

Nach dem belgischen Erfinder benannter Rahmenträger ohne Diagonalen – somit eine Aufeinanderfolge von Vierecken. Ein innerlich vielfach → statisch unbestimmtes System, da alle → Stäbe auch Querkräfte (→ Biegemomente) aufnehmen. Biegesteifer Anschluß an den Knoten. (Abb. 185, 187, 188, S. 70 Tafel IV unter 1.23, S. 94, 95)

Vollwandträger

→ Träger mit voller Wandung zwischen den → Gurten (z. B. dem → Stegblech beim → Blechträger). Gegensatz hierzu: → Fachwerkträger mit Füllungsstäben. (Abb. 50, 52, 91–94, 108, 123–146, 225, 257, S. 70 Tafel IV unter 1.21; S. 69–81)

Walzwerkezeugnisse

Im Walzwerk hergestellte Stahl- bzw. Leichtmetallprofile. Wesentlich für den Ingenieurbau sind: Bleche, Formstähle wie I-Profile und Belegstähle, wie L-, T-, Z- und Wulststähle.

Widerlager

Bauwerk oder Bauteil, das seitlichen Druck, Bogenschub, Gewölbeschub usf. aufzunehmen hat. (Abb. 36, 39, 40, 58, 59, 81–83, 88, 89, 92–94, 97–100, 102–106, 109–115, 120, 121, 124–136, 140–142, 144–146, 190–212, 214–216, 220, 222–224, 226, 227, 230–239, 241–253, 261, 262, 265, 268–275, 283; S. 28)

Windverband

Verband zur Aufnahme und Weiterleitung von Windkräften. Der W. übernimmt auch andere horizontale Kräfte, die neben den Windkräften auftreten (Brems-, bzw. Beschleunigungskräfte). (Abb. 97, 110–113, 170–177, 210, 219, 222, 233, 258; S. 60–62)

Zuggurt

Der bei Belastung eines → Trägers die Zugkräfte aufnehmende → Gurt. Beim frei aufliegenden → Balken auf zwei Stützen = → Untergurt; beim → Durchlaufträger über seinen Zwischenstützen = → Obergurt; beim unterspannten Träger = dritter Gurt; beim → Kragträger = → Obergurt. (Abb. 50, 52, 54, 83, 84, 87, 88, 131–146, 156–167, 169–184; S. 35, 74, 112, 113)

Zugband

Verbindungsstab zwischen den Fußgelenken von → Bogenträgern oder Rahmen; hebt den Horizontalschub dieser Tragwerke auf die → Auflager auf, Schub wird vom Zugband als Zugkraft aufgenommen (*Abb. 229*)

Zugstab

→ Stab in → Fachwerkträgern, der durch Zugkräfte belastet ist. (*Abb. 180–184, 223, 321; S. 91–93, 114, 170, 171*)

Zugzone

Der unter Zugspannung stehende Teil eines Biegebalkenquerschnitts (*Abb. 11–15, 58, 131–140, 214, 217, 218; S. 9, 10, 36, 73–75, 109–111*)

Zusatzlast

Die zur Belastung aus den Hauptlasten (wie ständige Last, Lastenzüge, Fliehkraft) hinzukommende Belastung eines Bauwerks aus Windlast, Brems- und Anfahrlast, Seitenstoß, Reibungswiderstand der Lager, Wärmewirkung, Schneelast usf.

Zweigelenkbogen

Bogenartiges Tragwerk, das sich gegen die Widerlager abstützt und an beiden Kämpferpunkten je ein Gelenk besitzt. (*Abb. 104–106, S. 30 Tafel II unter 1.12.1; S. 57*)

Abbildungsnachweis

Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf

Abkürzungen: M 380, S. 3 besagt, daß die genannte Abb. dem Merkblatt 380, Seite 3 entnommen ist.

Abb. 36 (M. 380, S. 3), 52 (M. 380, S. 5), 103 (M. 380, S. 41), 108 (M. 313, S. 11), 110, 111 (M. 380, S. 45), 114 (M. 380, S. 46), 116, 117 (M. 380, S. 29), 118 (M. 313, S. 28), 119 (M. 313, S. 26), 176 (M. 426, S. 39), 178, 179 (M. 426, S. 11), 219 (M. 168, S. 31), 221 (M. 389, S. 18), 233 (M. 426, S. 38), 239 (M. 380, S. 9), 252 (M. 380, S. 41), 253 (M. 426, S. 35), 254 (M. 444, S. 43), 255 (M. 444, S. 43), 256 (M. 251, S. 22), 257 (M. 251, S. 15), 258 (M. 313, S. 18), 259 (M. 380, S. 9), 263 (Monografien über Stahlverwendung, Stahl im Straßenverkehr, S. 43), 266 (M. ü. St., S. 7), 268 (M. 251, S. 18), 277 (M. ü. St., S. 27), 281 (M. 380, S. 9);

Bihalji-Merin (Hrsg.): Brücken der Welt

Abb. 37;

Deutsches Museum, München

Abb. 100–102;

Fischer-Werke, Artur Fischer, Tumlingen

Abb. 22, 23, 25, 58, 59, 65–74, 78, 79, 81–83, 105, 109, 115, 120–128, 131–136, 140, 141, 143–158, 160–167, 169, 170, 173–175, 177, 180–214, 217, 222, 223, 224 (aus hobby 1, band 5, S. 30/31), 225, 228–230, 237, 238, 247, 248, 290, 291, 297, 305–312, 315–318, 320–330;

Horst Hörner

Abb. 32, 34, 220, 231, 249–251, 261, 262;

Fritz Kaufmann

Abb. 95–99, 107, 112, 113, 139, 142, 232, 240, 260, 287–289, 292, 294–295, 298–304, 313, 314;

Karl Klöckner

Abb. 33, 285, 286;

Horst Pittlik

Abb. 1, 2 (nach Schreyer, Praktische Baustatik, Teil 1, S. 19), 3 (nach Engel, H., Tragsysteme, S. 115), 4, 10, 11 (nach Schreyer, a.a.O. S. 52), 12–14 (nach Engel, H., a.a.O. S. 115), 15–17 (nach Schreyer, a.a.O. S. 52, 28, 19), 18, 19 (nach Böge, A. (Hrsg.), Das Technikerhandbuch, S. 400), 20, 21, 24, 26 (nach Dorn, Physik, Mittelstufe, Ausg. A, S. 21, 22, 24), 27 (nach Böge, A. (Hrsg.), a.a.O. S. 27), 28, 29 (nach Dorn, a.a.O. S. 25, 26, 30, 31, Tafel I, 35, Tafel II, 38–40, Tafel III, 43–49, 53–57, 60–63, 75–77, 80, 84–90, 106, Tafel IV, 129, 130, 137, 138, 168, Übersichtstafel S. 99, 215, 216, 218, 226, 227, 234–236, 241–246, 264; 265, 267, 269–275, 276, 278, 279, 280, 282–284 (Kopien von Schülerzeichnungen), Tafel VI;

Georg Westermann Verlag, Braunschweig

Abb. 171, 172;

LITERATURVERZEICHNIS

1. Ingenieurwissenschaftliche Literatur

1.1 Allgemeine Statik – Festigkeitslehre – Stahlbau

- Akademischer Verein Hütte e. V., Berlin (Hrsg.): Hütte III, Bautechnik, Berlin 1956
- Böge, A. (Hrsg.): Das Technikerhandbuch, Braunschweig, 2. Aufl. 1969
- Deutscher Stahlbau-Verband Köln (Hrsg.): Stahlbau, ein Handbuch für Studium und Praxis, Köln, 2. Aufl. 1964
- Dimitrov, N./Henninger, O. (Hrsg.): Lueger – Lexikon der Bautechnik, Stuttgart 1966
- Engel, H.: Tragsysteme, Stuttgart 1967
- fischertechnik, (Hrsg.): fischertechnikhobby, Experimente + Modelle, Kräfte – Gleichgewichtsbedingungen – Freiheitsgrade – Lagerung von Körpern – Hub-, Dreh- und Klappbrücken, hobby 1 Band 3, Tumlingen o. J.
- dies.: fischertechnikhobby, Experimente + Modelle, Beanspruchungsarten – Belastungsfälle – Materialprüfmaschinen – Hängewerke – Schachtförderanlagen – Seilschwebbahnen – Hebelschere – Abkantpresse – Lochstanze, hobby 1 Band 4, Tumlingen o. J.
- Föppl, A.: Grundzüge der Festigkeitslehre, München 1923
- Geiger, F.: Statik und Festigkeitslehre, Aufgabensammlung aus dem Gebiet der Statik, Band 1 Düsseldorf, 3. Aufl. 1965.
- Graf/Huber/Krauth: Das kleine Lexikon der Bautechnik, Stuttgart 1956
- Hirschfeld: Baustatik, Berlin – Göttingen – Heidelberg, 2. Aufl. 1969
- Jungbluth, O.: Stabilitätsuntersuchungen im Stahlbau, in: Stahlbau, ein Handbuch für Studium und Praxis, Deutscher Stahlbau-Verband, Köln (Hrsg.), Köln 1961 Band 1, 2. Aufl.
- Kaufmann, E.: Statik der Tragwerke, Berlin, 4. Aufl. 1957
- Schreyer: Praktische Baustatik Teil 1, Bielefeld, 7. Aufl. 1952
- dies.: Praktische Baustatik Teil 2, Stuttgart, 7. Aufl. 1953
- dies.: Praktische Baustatik Teil 3, Stuttgart, 2. Aufl. 1953
- Schreyer/Ramm/Waner: Praktische Baustatik, Stuttgart o. J.
- Schulze, W. E.: Kleine Baustatik, Stuttgart 1966
- Warning, H.: Stahlbau, Hannover 1962

1.2 Brücken

- Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf, (Hrsg.): Merkblatt 251 Fußgängerbrücken, 3. Aufl. 1968
- dies.: Merkblatt 313 Rohrleitungs- und Energiebrücken, 2. Aufl. 1972
- dies.: Merkblatt 339 Brückenlager, 2. Aufl. 1968
- dies.: Merkblatt 380 Stählerne Straßenbrücken, 2. Aufl. 1972

- Bonatz, P./Leonhardt, F.: Brücken, (Die Blauen Bücher), Königstein/Ts., 1965
- Feige, A.: Die Entwicklung der Seilverspannten Balkenbrücken Deutschlands, Ein Überblick, in: acier-stahl-steel, Belgisch-Luxemburgische Stahlberatung (Hrsg.), Brüssel 1966, Heft 12
- dies.: Die Seilverspannten Balkenbrücken in der Bundesrepublik Deutschland, in: Stahlbaukalender, Köln 1968
- dies.: Stahlbrücken, in: Stahlbau, ein Handbuch für Studium und Praxis, Deutscher Stahlbau-Verband Köln (Hrsg.), Köln 1964, Band 1, 2. Aufl.
- Feige, A./Idelberger, K.: Weitgespannte Straßenbrücken aus Stahl – heute und morgen, in: acier-stahl-steel, Brüssel 1971, Heft 5
- fischertechnik, (Hrsg.): fischertechnikhobby, Experimente + Modelle, Standfestigkeit – Tragwerke – Fachwerke – Balkenbrücken – Bogenbrücken – Hängebrücken – Türme und Masten, hobby 1 Band 5, Tumlingen o. J.
- Hartmann/Melan: Stahlbrücken, Wien 1951
- Koch, E.: Brückenbau, Düsseldorf, 2. Aufl. 1970
- Leonhardt, F.: Große Brücken, in: Bild der Wissenschaft, Stuttgart 1972, Heft 7
- dies.: Zur Entwicklung aerodynamisch stabiler Hängebrücken, in: Bautechnik 45 (1968)
- Lohmer, N.: Brückenbaukunst, in: Stahlbau 33 (1964)
- Schaper, N.: Feste stählerne Brücken, Berlin, 6. Aufl. 1934
- Seegers: Hängebrücken für Rohrleitungen, in: Der Bauingenieur 27 (1952)
- Stein/Wild: Das Bogentragwerk der Fehmarnsundbrücke, in: Stahlbau 34 (1965)
- Thul, H.: Schrägseilbrücken in Deutschland, in: Draht-Welt, Düsseldorf 1967
- dies.: Seilverspannte Brücken, in: Veröffentlichungen des Deutschen Stahlbauverbandes, Köln 1967
- Tiefbaudezernat Stadt Mannheim/Bauverwaltung Stadt Ludwigshafen, (Hrsg.): Kurt Schumacher – Brücke Mannheim-Ludwigshafen, Sonderdruck zur Verkehrsübergabe am 28. Juni 1972
- Troja, E.: Logik der Form, München 1961

1.3 Türme und Masten

- Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf (Hrsg.): Merkblatt 157 Funktürme und Funkmaste aus Stahl, 2. Aufl. 1961
- dies.: Merkblatt 318 Tiefbohrmasten, Tiefbohrtürme, 1. Aufl. 1962
- dies.: Merkblatt 389 Gittermaste für Hochspannungsleitungen, 1. Aufl. 1966
- Bleich: Stahlhochbauten, Band 2, Berlin 1933
- Ega, R.: Masten, Türme, Signalbrücken in Hohlprofilbauweise, in: Studienhefte zum Fertigungsbau, Essen, Jg. 1969, Heft 12
- Herrnstadt/Evermann/Sietz: Funktürme und Funkmaste, in: Stahlbau, ein Handbuch für Studium und Praxis, Deutscher Stahlbauverband Köln (Hrsg.), Köln 1964, 2. Aufl.
- Rieger, H.: Der Freileitungsbau, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1960

Sturzenegger: Masten und Türme aus Stahl, Berlin 1929

Trollius, H.: Stahlmaste für Freileitungen im Stahlbau, in: Stahlbau, ein Handbuch für Studium und Praxis, Köln, 2. Aufl. 1964

1.4 Träger und Profile

Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf, (Hrsg.): Merkblatt 224 Rund- u. Hohlprofile für den Stahlbau, 3. Aufl. 1971

dies.: Merkblatt 426 Fachwerkträger, 2. Aufl. 1973

dies.: Merkblatt 427 Vollwandträger, 2. Aufl. 1973

dies.: Merkblatt 460 Rahmenträger (Vierendeelträger), 1. Aufl. 1971

Jungbluth, O.: Typisierte Fertigteile für den Stahlbau, in: Stahlbau, Jg. 1964/33

2. Fachdidaktische Literatur

Baum, W.: Bau einer Hängebrücke, in: Forum technische Bildung 4/1974

Biester, W.: Werkunterricht unter technischem Aspekt, Bochum o. J.

ders.: Statische Sachverhalte im Werken, in: Westermanns Pädagogische Beiträge, 16. Jg. 1964, S. 19 ff.

Brandt, E.: Brückenbau im Werkunterricht, in: werkpädagogische Hefte, 1968, Heft 3/4

Dinter, H.: Einfache Statik und Festigkeitslehre, Gerüste, Masten, Überbrückungen, Stuttgart-Botnang 1969

ders.: (Hrsg.): Schulversuch Technische Grundbildung in der Schule „Auf dem Bännjerrück“ Kaiserslautern, 2. Zwischenbericht – 6. Schuljahr 1970/71, Band 4b der Schriftenreihe der Georg Michael Pfaff-Gedächtnisstiftung

ders.: Die Statik als Problem des Bauens im Werkunterricht, in: Ans Werk 4/67

Dinter, H./Sommer, C./Matthias, R./ Stühlmeier, H.: Curriculum Technik und fischertechnik, Tümlingen 1973

Egen, H.: Schulpraktische Versuche zu einer allgemeinen Festigkeitslehre, in: Ans Werk – Zeitschrift für den Werkunterricht, Heft 4/67

Hörner, H./Kaufmann, F.: Statische Probleme bei Brücken, Türmen und Kränen, Sekundarstufe I, Vorabdruck aus dem Handbuch III, Tümlingen, Braunschweig 1972

Kaufmann, F.: Brücken – eine Aufgabe schon für die Volksschule, in: Westermanns Pädagogische Beiträge, 15. Jg. 1963, S. 479 ff.

Keh, H.: Der Werkunterricht, Hannover 1969

Knoll, H.: Zum Thema „Brücken“ im Werkunterricht, in: werkpädagogische Hefte 1970, Heft 3

Mehrgardt, O.: Die Werkaufgabe 17, Tragendes Papier ders.: Die Werkaufgabe 74, Tonplastik Lasten und Tragen

ders.: Die Werkaufgabe 78 Bauformen aus Ton

ders.: Die Werkaufgabe 107, Bauen mit Streichhölzern und Fäden

ders.: Die Werkaufgabe 130, Der Aufgabenbereich Bauen im Werkunterricht

ders.: Werkaufgabe 166, Statik – Ökonomie – Ästhetik als Lerneinheit im Technikunterricht

Pils, W.: Wir erfinden Zugbrücken, in: Die Werkstunde 24, Jg. 1970

ders.: Bewegliche Brücken, in: Die Werkstunde 68, Jg. 1972

Rehrmann, K.: Der Werkunterricht in der Oberstufe der Volks- und weiterführenden Schulen, Hannover 1964

Schietzel, M./Herrmann, P.: Brücken, in: Westermanns Pädagogische Beiträge, 14. Jg. 1962, S. 95 ff, Sellin, H.: Die Überbrückung, (u. a.) in: Dortmunder Hefte für Arbeitslehre und Sachunterricht, 1. Jg. Heft 1

ders.: Technische Aspekte des Bauens im Rahmen einer allgemeinen Konstruktionslehre, in: Kaufmann F./Meyer, E. (Hrsg.), Werkerziehung in der technischen Welt, Stuttgart 1967

Schmid, L.: Brücken aus Peddigrohr und Bast, in: Die Werkstunde 6, Jg. 1968

Sturm, H.: Technisches Werken 2, Wuppertal 1973

Ullrich, H./Klante, D.: Technik im Unterricht der Primarstufe, Ravensburg 1973

Uschkerei, G.: Statik mit Konstruktionselementen der fischertechnik, in: Werkaufgabe 167

2.1 Zeitschriften und Arbeitsblätter

Ans Werk, Zeitschrift für den Werkunterricht, Darmstadt

Die Arbeitslehre, Zeitschrift für die Didaktik der technisch-ökonomisch-politischen Aufgabe der Schule (früher Dortmunder Hefte für Arbeitslehre und Sachunterricht), Stuttgart, Verlag Ernst Klett

Die .Werkstunde, Werkpädagogische Arbeitsblätter, Frankfurt, ALS-Verlag

Forum technische Bildung, Beispiele – Informationen – Diskussion zum Unterricht mit dem fischertechnik-Schulprogramm, Hrsg.: Fischer-Werke Artur Fischer, 7241 Tümlingen

twu Zeitschrift für Technik und Wirtschaft im Unterricht (früher werkpädagogische Hefte, Zeitschrift für Werken, technische Grundbildung und Arbeitslehre), Ravensburg, Otto Maier Verlag

WERKAUFGABE, Arbeitsbogen für den Werkunterricht, Wolfenbüttel, Georg Kallmeyer Verlag

