

Statische Probleme bei Brücken Türmen und Kränen

Sekundarstufe I

Vorabdruck: Auszüge aus dem Handbuch III

Die in dieser Information vorgestellten Beispiele sind Auszüge aus dem Kapitel „Brücken“ des Lehrerhandbuches Band III („Statische Probleme bei Brücken, Türmen und Kränen“) zum fischertechnik-Schulprogramm. Außerdem werden durch eine Reihe von Abbildungen und Erklärungen Möglichkeiten zur Konstruktion von Türmen und Kränen aufgezeigt.

Horst Hörner · Fritz Kaufmann



Statische Probleme bei Brücken, Türmen und Kränen

Sekundarstufe I

Handbuch Band III zum
fischertechnik-Schulprogramm



Herausgeber: Arbeitsgruppe Technische Bildung
Pädagogische Hochschule Heidelberg

Fischer-Werke, Tumlingen



Georg Westermann, Braunschweig



1972

In allen Gliederungsversuchen, die in den einzelnen Bundesländern unter den Bezeichnungen „Technisches Werken“ innerhalb der Arbeitslehre, als „Techniklehre“, „Technikunterricht“, „Technische Grundbildung“, „Technischer Werkunterricht“ oder allgemein als „Technische Bildung“ genannt werden, sind die hier angesprochenen Themen unter den Bezeichnungen „Bau“, „Bautechnik“, „Ingenieurbau“ u.a.m. überall vertreten und auch schon in die Bildungspläne aufgenommen. Von den folgenden Beispielen sind jedoch nur die beiden Themenbereiche „Brücken“ und „Türme“ (einschl. Gerüste und Masten) diesem Sachbereich zuzuordnen. Der hier unter „Kräne“ angesprochene Themenbereich fällt zu Recht unter den Bereich „Maschine“ („Maschinentechnik“). Wenn er trotzdem mit in den Aufgabenkanon aufgenommen wird, so fast ausschließlich unter dem Aspekt statischer Probleme.

Diese Informationsschrift enthält vorwiegend Auszüge aus den Kapiteln „Brücken“ des Lehrhandbuches, Band III, zum fischertechnik-Schulprogramm. Darüber hinaus werden durch eine Reihe von Abbildungen und Erklärungen Konstruktionsmöglichkeiten für Türme und Kräne aufgezeigt. Im Schlußkapitel werden Auszüge über die Handhabung der Bauelemente gebracht.

Werkdidaktiker wie Biester, Dinter, Mehrgardt, Sellin *) 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 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.

Wie in jedem anderen Fach lassen sich auch bei der technischen Bildung Lernplanung, Lernorganisation und Lernkontrolle als die Determinanten der einzelnen Lernprozesse abheben. Die Lernplanung beschäftigt sich mit der Auswahl der Lerninhalte und der Formulierung der Lernziele. In dieser Phase wird entschieden „was gele¹rt wird“. Mit der Lernorganisation wird festgelegt, in welcher Weise gelernt wird, und durch die Lernkontrolle wird schließlich festgestellt, ob das Lernziel erreicht wurde.

Das Grobziel, das mit dem Lernbaukasten erreicht werden kann, ist das Kennenlernen verschiedener Stabilisierungsmaßnahmen an Bauwerken oder Bauteilen bei Zug-, Druck-, Biege-, Torsion-, Scher- und Knickbeanspruchung durch äußere Kräfte. Die einzelnen Teilziele (z. B. Stabilisierung durch Konstruieren von Winkelprofilen, Fachwerke usw.) sind in ihrer Aufeinanderfolge nicht festgelegt. Die Reihenfolge ist vielmehr individuell verschieden, d. h. sie ergibt sich jeweils aus der Analyse individuell verschiedener Konstruktionssequenzen in verschiedenen Phasen des Lernprozesses. Dieser Freiheitsraum beim Konstruieren ergibt sich unmittelbar aus der Lernorganisation. Deshalb sollten in der Initialphase des Lernprozesses, in der Anfangssituation des Unterrichts, den Schülern solche Problemstellungen vorgelegt werden, die so struk-

* Biester, W.: Werkunterricht unter technischem Aspekt, 3. Aufl., Bochum o. J.

Dinter, H.: Einfache Statik und Festigkeitslehre, Gerüste, Masten, Überbrückungen, Stuttgart-Botnang 1969.

Mehrgardt, O.: Die Werkaufgabe, Nr. 17, 32, 56, 74, 107, Wolfenbüttel.

Sellin, H.: Die Überbrückung, u. a. in: Dortmunder Hefte für Arbeitslehre und Sachunterricht, Stuttgart, 1. Jahrg. 1969.

turiert sind, daß sie verschiedene Lösungsmöglichkeiten zulassen und damit produktive und divergente Denkprozesse auslösen.

Die verschiedenen Lösungsvorschläge der Schüler können mit Hilfe des Baukastens sofort realisiert werden. Mit der Realisierung der eigenen Konstruktionsvorschläge beginnt die Lernkontrolle, die in einer Prüfsituation von Schülern und Lehrern gemeinsam durchgeführt werden kann. Bei der Lernkontrolle sind folgende Aspekte besonders zu berücksichtigen: 1. Zweckmäßigkeit, 2. Funktionstüchtigkeit, 3. Wirtschaftlichkeit, 4. Ästhetik.

Nach dem Kriterium der Zweckmäßigkeit wird überprüft werden müssen, ob, in welcher Weise und in welchem Ausmaß das jeweilige technische Gebilde die von der Situation gestellte Aufgabe erfüllt.

Unter dem Aspekt der Funktionstüchtigkeit wird zu untersuchen sein, inwieweit die Teile der Konstruktion einwandfrei zusammenwirken.

Nach dem Kriterium der Wirtschaftlichkeit soll über Materialaufwand, Herstellungs- und Wartungskosten diskutiert werden.

Die Berücksichtigung ästhetischer Gesichtspunkte

in der Prüfsituation scheint uns deshalb legitim, weil diese Frage bei der Diskussion von technischen Projekten immer wieder auftritt (beispielsweise bei Wettbewerben) und auf die Schwierigkeit der ästhetischen Kriterienfindung schon in der Schule aufmerksam gemacht werden sollte.

Mit unseren Vorschlägen sollen dem Lehrer Planungs- und Entscheidungshilfen, die in der Unterrichtspraxis mehrfach erprobt sind, für die Lernplanung, Lernorganisation und die Lernkontrolle angeboten werden. Die hier aufgenommenen Lernziele sind als beobachtbares Endverhalten formuliert. Nach den bisherigen Ausführungen können die Lernziele und die sie einleitenden Arbeitsaufträge in ihrer Reihenfolge nicht verbindlich sein. Der jeweils nächste Schritt im Lernprozeß soll vielmehr von dem individuellen Konstruktionsverlauf und den spezifischen Lösungen der Schüler bestimmt werden.

Die technischen Hinweise für den Lehrer beziehen sich jeweils nur auf die besprochene Unterrichtssituation; im Lehrerhandbuch wird ein ausführliches Kapitel über die technischen und physikalischen Zusammenhänge erscheinen.

Brücken

Lernzielbereiche

Die beiden großen Lernzielbereiche, die innerhalb eines Statiklehrgangs mit dem Thema „Brücken“ für den Bereich der Sekundarstufe I

herausgearbeitet werden konnten, sind:

1. Unterschiedliche Tragwerksysteme
2. Funktion von Brückenauflagern

Lernziele

1. Die Schüler sollen durch Analysieren einer vorgegebenen Situation und durch Konstruieren eigener Modelle erkennen, daß eine auf Biegung beanspruchte Fahrbahn durch verschiedene Einwirkung von Widerstandskräften aufgefangen werden kann und sollen in der Lage sein, Druck- und Zugkräfte und deren Angriffspunkte in ihren Modellen zu unterscheiden.

2. Die Schüler sollen erkennen, wie innerhalb eines Tragwerksystems durch das Zusammenwirken von Druck- und Zugkräften ein Kräfteverlauf entsteht, der zur Lastabtragung notwendig ist.

3. Die Schüler sollen die unterschiedlichen Stabilisierungseffekte der statischen Grundformen im Hinblick auf die verschiedenen Beanspruchungsarten erkennen und bei der Konstruktion von Modellen die Wahl der Bauteile von der Sache her begründen können.

4. Die Schüler sollen in Anlehnung an die entsprechenden fachterminologischen Begriffe Tragwerksysteme und wichtige statische Konstruktionselemente an Modellen und Beispielen aus

der technischen Wirklichkeit benennen können.

Zu den Tragwerksystemen gehören:

- Balkenbrücken
- Bogenbrücken
- Hängebrücken
- Seilverspannte Balkenbrücken

Unter statischen Konstruktionselementen und Konstruktionsformen verstehen wir u. a.:

- | | |
|---------|-------------|
| Profile | Obergurt |
| Streben | Untergurt |
| Gelenke | Rahmen |
| Träger | Fachwerk |
| | Windverband |
| | Sprengwerk |
| | Hängewerk |

5. Die Schüler sollen die Notwendigkeit von Auflagern bei Brücken erkennen, verschiedene Auflager konstruieren und deren Funktion bei Belastbarkeit beschreiben und beurteilen können.

Die wichtigsten Auflager sind:

- feste Lager
- querbewegliche Lager
- längs- und querbewegliche Lager

Vorschläge zur Unterrichtsorganisation

Beispiel 1*)

Anfangssituation

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 kon-

struiert sein, daß die lichte Höhe zwischen Wasser und Unterseite der Brückenkonstruktion im Modell mindestens 9 cm beträgt.

Die Pfeiler sind vorgegeben (siehe Abb. 1 und 2). Die Fahrbahn besteht aus 3 Platten 180 von einer Gesamtlänge von 54 cm (Abb. 3). Wir legen diese Fahrbahn auf die Pfeiler lose auf und erhalten somit eine Stützweite von etwa 50 cm. Wenn wir jetzt ein kleines Gewicht auflegen, stellen wir fest, daß die schon durchhängende Fahrbahn diesem Zustand noch nicht belastet werden kann.

*) Diese Unterrichtsorganisation wurde in einem 7. und in einem 8. Schuljahr einer Heidelberger Hauptschule mit Erfolg realisiert. Sie kann auf dieser Altersstufe, d. h. für 12- bis 14-jährige Schüler, empfohlen werden.



Abb. 1 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 „Andeutung“ zur Weiterführung der Fahrbahn durch einen Baustein 30 KL hochgehoben werden.

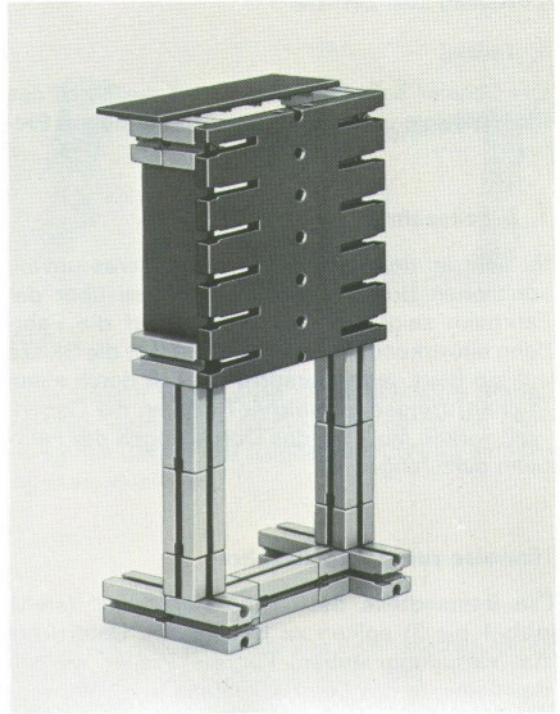


Abb. 2 Ebenso wie im oberen Teil der großen Grundplatte werden hier die eingeschobenen Bausteine 30 durch die Flachbausteine 60 verbunden. Der untere Teil ist einfach gehalten, so daß möglichst wenig Bausteine gebraucht werden.

Die Abb. 1 und 2 zeigen die beiden Brückenpfeiler, die aus Teilen des Lernbaukastens u - t 1 gebaut sind.

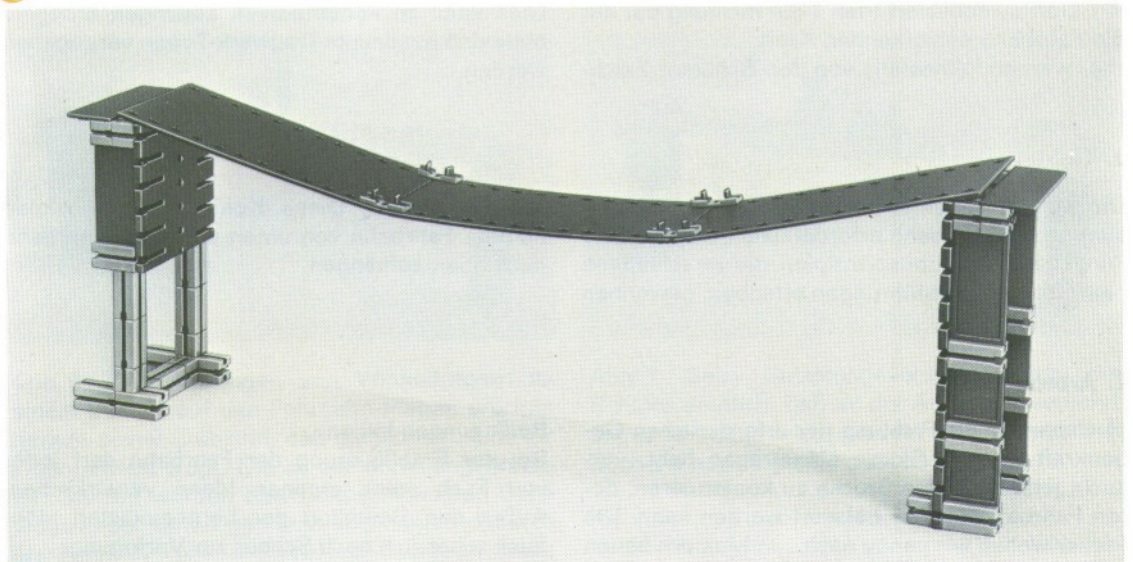


Abb. 3 Die lose auf den Pfeilern aufgelegte instabile Fahrbahn.

Vorschlag zum Lernziel 1

1. Teilziel

Die Schüler sollen erkennen, daß die durch das Eigengewicht und die geringe Last bedingte Bie-

gung der Fahrbahn durch eine Gegenkraft aufgefangen werden muß.

1. Arbeitsauftrag

Ihr seht an der Tafel die Skizze unseres unvollkommenen Brückenmodells. Der Pfeil über der Fahrbahn zeigt die Richtung der auf die Fahrbahn einwirkenden Kraft an. Übertrag 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.

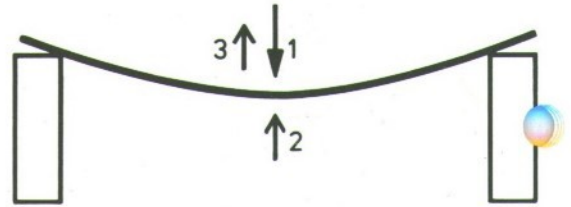


Abb. 4 In der Tafelskizze soll nur Pfeil 1 vom Lehrer eingezeichnet werden. Die Pfeile 2 und 3 zeigen mögliche Schülerlösungen.


Hinweise zum 1. Arbeitsauftrag

Die Bestandteile des „Brückenmodells“ (siehe Abb. 1 bis 3) sollten zu Beginn des Unterrichts zur Verfügung stehen. Für die Pfeiler werden Bauelemente des Lernbaukastens u - t 1 verwendet. (Sollte dieser nicht vorhanden sein, so können als Pfeiler auch Gegenstände wie Bücher, Schachteln, Brettstücke usw. dienen. Auch sollte darauf geachtet werden, daß die Pfeilerhöhe etwa 18 cm beträgt.)

Um den Schülern das allgemeine Grundprinzip aller denkbaren konstruktiven Lösungen deutlich zu machen, wird die Skizze der Abb. 4 empfohlen. Dort symbolisiert Pfeil 1 die Richtung der auf die Fahrbahn einwirkenden Kraft.

Hier werden keinesfalls von den Schülern Zeich-

nungen von konstruktiven Lösungen erwartet; sie sollen vielmehr nur **einen** Pfeil für die zur Stabilisierung erforderliche Gegenkraft einzeichnen. Richtige Lösungen sind entweder Pfeil 2 oder Pfeil 3. (Daß es Konstruktionen gibt, bei denen unterhalb **und** oberhalb der Fahrbahn Gegenkräfte erzeugt werden, soll hier nicht in die Aufgabenstellung hinein.)

Zur Veranschaulichung der Wirkkraft nach Pfeil 2 kann man die durchhängende Fahrbahn mit der Hand von unten stützen (nach oben drücken → Druck) bzw. nach Pfeil 3 nach oben ziehen (Zug → ). Dies kann zu konstruktiven Lösungen anregen, ohne daß bestimmte Tragwerk-Typen vorgegeben werden.

2. Teilziel


Die Schüler sollen erkennen, daß die zur Stabilisierung der Fahrbahn erforderlichen Gegenkräfte durch 2 Konstruktionsprinzipien, die verschiedene bautechnische Ausführungen erlauben, gewonnen

werden können. Diese Konstruktionsprinzipien heißen: Fahrbahn von unten **stützen** – Fahrbahn nach oben **aufhängen**.

2. Arbeitsauftrag

Nachdem Ihr die Richtung der erforderlichen Gegenkraft in Eure Skizze eingetragen habt, versucht jetzt bitte eine Brücke zu konstruieren, deren Fahrbahn stärker belastet werden kann. Die Pfeiler wollen wir genau nach den Mustern bauen (siehe Abb. 1, 2), damit wir nachher bei den Belastungsproben unserer Brücken vergleichbare

Bedingungen haben.

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  sie nach Konstruktionsarten ordnen.

Hinweise zum 2. 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. 5). Die technischen Gründe, die eine freie Auflage notwendig machen, können in einem Unterrichtsgespräch herausgearbeitet werden (siehe „Technische Hinweise für den Lehrer“ im Handbuch).

Bei der Verwendung von Schnüren ist zu empfehlen, möglichst starke Hanfschnur (Drachenschnur) oder dergleichen zu benutzen; eine stark dehn-

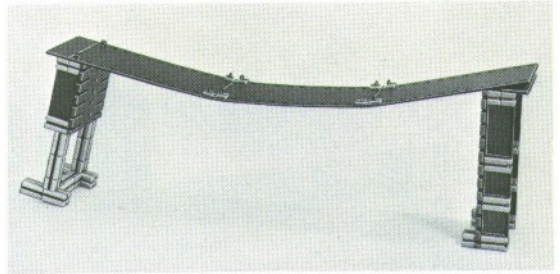


Abb. 5

bare Schnur ergibt nicht die notwendige Stabilität, hat jedoch den Vorteil, daß durch die Dehnung der Begriff der Zugbeanspruchung einsichtiger werden kann.

Prüfsituation zum Teilziel 2

Bei der gemeinsam oder in Gruppen durchgeführten Belastungsprobe mit Gewichtssteinen soll zunächst durch Abmessen mit Maßstäben festgestellt werden, welche Brücke sich unter gleichen Versuchsbedingungen bei größtmöglicher Belastung garnicht oder nur wenig nach unten durchbiegt. Die Schülermodelle sollen nach dem Grad ihrer Belastbarkeit in eine Rangreihe ge-

bracht werden. Beispiele aus einer solchen Rangreihe zeigen die Abb. 6, 9, 11, 12 und 13.

Bei diesen Abbildungen handelt es sich um Schülerarbeiten aus einem 8. Schuljahr einer Hauptschule. Die Schüler hatten bisher nur Werken unter „musisch-gestalterischem“ Aspekt und wurden erstmals mit technisch orientiertem Unterricht im Bereich Bau konfrontiert.

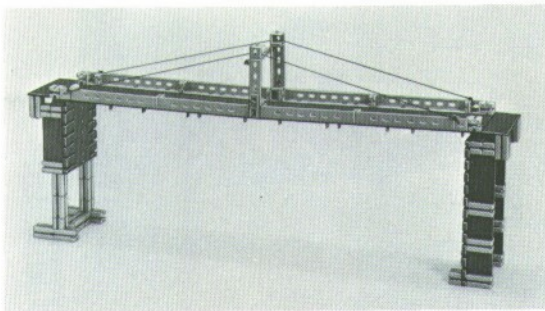


Abb. 6 Das Anbringen von Winkelträgern zu einem L-Profil auf den Fahrbahn-Platten erbringt gerade soviel Stabilität, daß die Konstruktion ihr Eigengewicht trägt. Die in der Mitte angebrachten Stützen werden durch die gespannten Seile jedoch nach unten gedrückt und biegen dadurch die Fahrbahn etwas durch; sie bewirken somit genau das Gegenteil dessen, was der Schüler beabsichtigte.

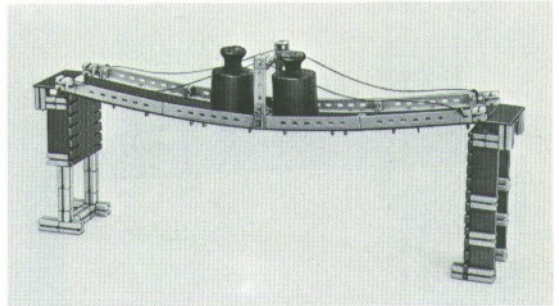


Abb. 7 Beim Belastungsversuch wurde dem Schüler deutlich, daß er die Aufgabe „verkehrt“ angepackt hatte – aus diesem Irrtum erwuchs jedoch die nachfolgende gute Lösung:

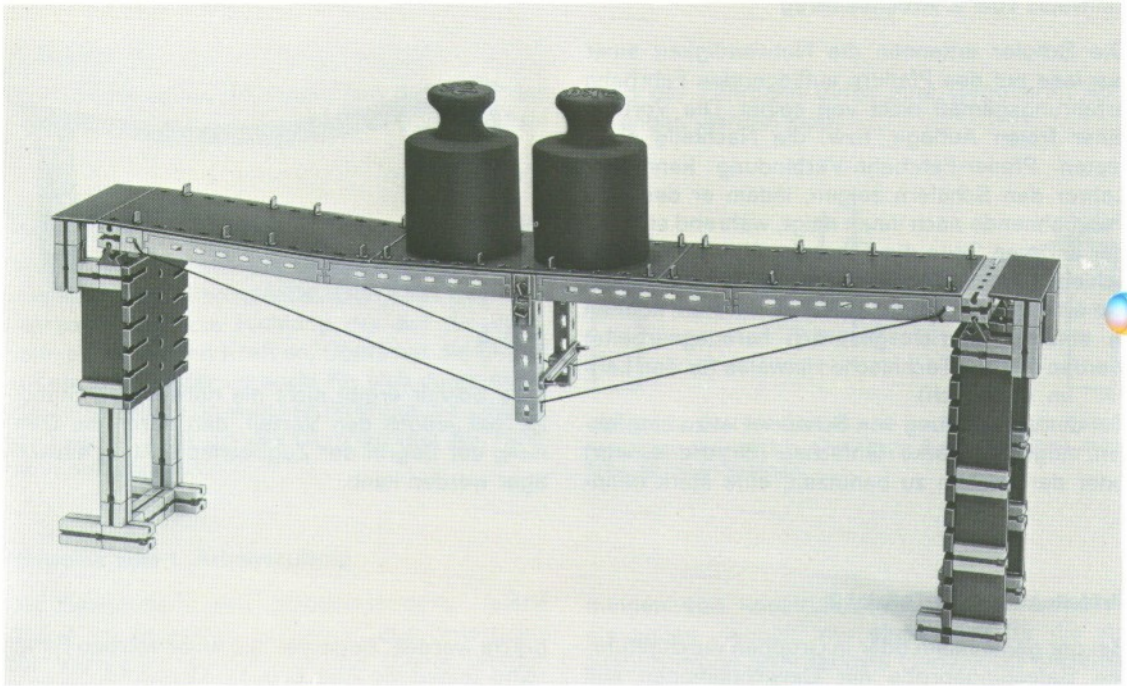


Abb. 8 Die „umgekehrte“ Konstruktionsform zeigt, wie mit geringen Mitteln eine beachtliche Belastung erzielt wird. Die auf Druck (→ Knickbeanspruchung) belasteten Stützen werden durch die auf Zug beanspruchten Seile nach oben gedrückt und wirken somit als Gegenkraft. Wären die Seile noch mehr gespannt („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. Weitere Informationen über statische Probleme sind in den „Technischen Hinweisen für den Lehrer“ im Handbuch zu finden.)

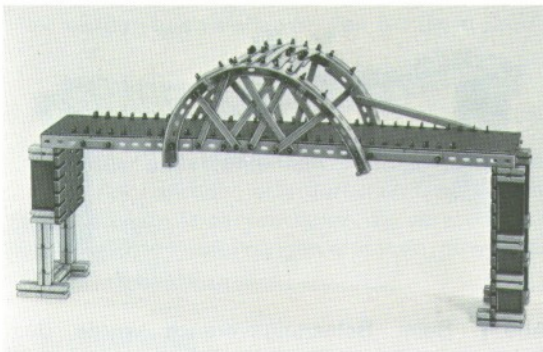


Abb. 9 Typisches Beispiel einer durch unreflektiertes „Vorwissen“ zustande gekommenen „Bogenbrücke“. Ohne Belastung erscheint die Lösung zunächst tauglich, weil die eingezogenen L-Winkelprofile als „Balken“ wirken.

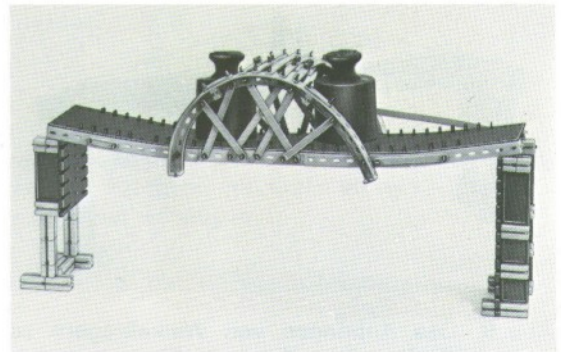


Abb. 10 Hier wird deutlich, daß die Bogenkonstruktion nur die von ihr überspannte Strecke versteift; auch die rechts hinten angebrachte Strebe (→ Knickbelastung) ist nicht imstande, die Kräfte auf die Auflager zu übertragen: nur wenn der Bogen über den Auflagern „eingespannt“ wird, ist er imstande, die Last abzutragen.

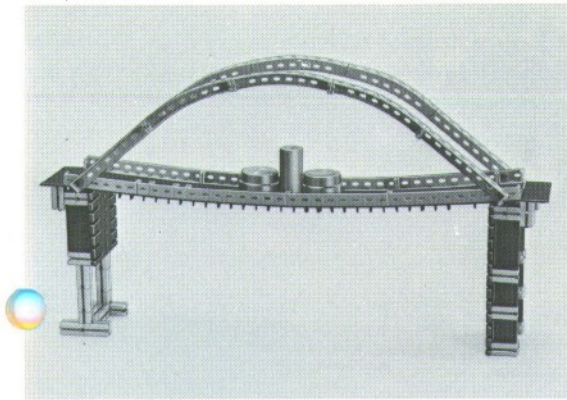


Abb. 11 Richtiges Anbringen der Bogenträger über den Auflagern bedeutet noch keine Stabilität der Fahrbahn. Es fehlt hier die Hauptsache: die „Verbindung“ zwischen tragendem Bogen und Fahrbahn in Form von Schnüren oder Streben.

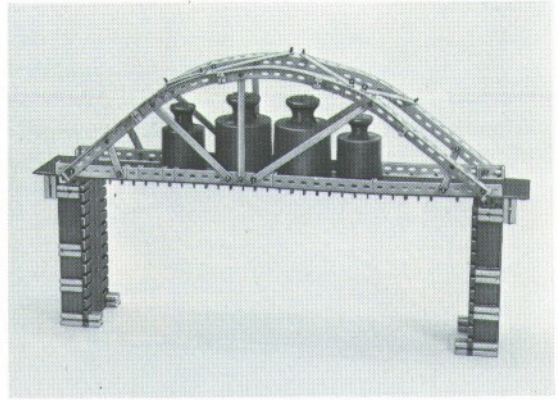


Abb. 12 Jetzt übernehmen die Streben einen Teil der Fahrbahnlast, „übergeben“ sie an die Bogenträger und diese „leiten“ sie auf die Auflager ab. (Daß die Streben hier noch nicht symmetrisch angeordnet sind, und auch nur an einem Punkt der Fahrbahn angreifen, so daß sich besonders rechts noch Biegung zeigt, führte den Schüler zu einer gleichmäßigen über die ganze Fahrbahn verteilten Verstrebung.)

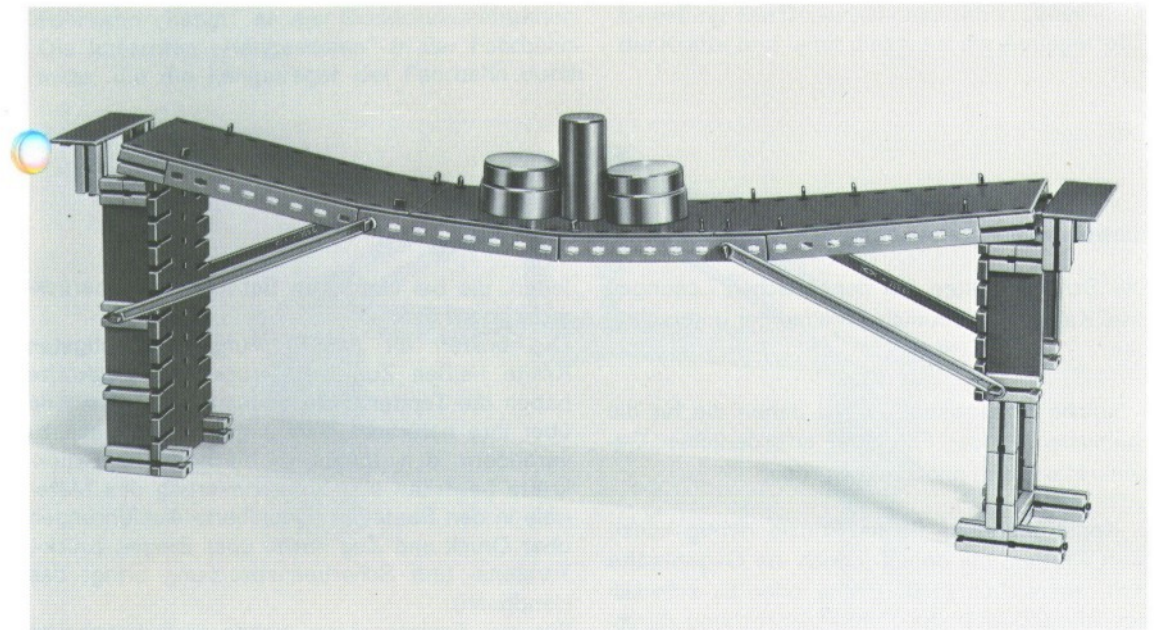


Abb. 13 Modell eines „Sprengwerks“. Der Schüler hat hier der Aufgabenstellung gemäß die Fahrbahn von unten „unterstützt“, sie also hochgehoben. Daß die auf Druck belasteten schrägen

Stützen bei Belastung sich durchbiegen (→ knicken), führt zu einer Verbesserung dieses Konstruktionselements durch den Einsatz von Winkelträgern.

3. Teilziel

Bei Belastung der Brückenkonstruktionen sollen die Schüler eventuelle Mängel erkennen und ihre Ursachen nennen, indem sie in ihren Modellen die spezifische Wirkung der verschiedenen Beanspruchungsarten (Druck, Zug, Biegung usw.)

auf die einzelnen Bauteile analysieren. Die in der Analyse gewonnenen Erkenntnisse sollen bei der Verbesserung der Modelle berücksichtigt werden.

3. Arbeitsauftrag

Die Belastungsprobe hat gezeigt, daß die Fahrbahnen der Modelle unterschiedlich stabil sind, d. h. die durch die Konstruktion gewonnenen Gegenkräfte reichen entweder nicht aus oder sind falsch angesetzt. Versucht einmal an den Modellen aufzuzeigen, welche Fehler gemacht wurden.

Dabei ist es wichtig, daß Ihr herausfindet, wo und wie bei Belastung die 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.

Hinweis zum Arbeitsauftrag 3

Die Schüler sollten 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,
2. Konstruktionen, die im Prinzip richtig konzipiert wurden, bei denen jedoch die Gegenkräfte nicht ausreichen (z. B. dünne oder zu schwach gespannte Schnüre bei Zugbeanspruchung, durchgebogene Streben bei Druck- oder Knickbeanspruchung usw.). Von der zweiten Kategorie her kann den Schülern die Notwendigkeit statischer Berechnungen deutlich gemacht werden. Außerdem lassen sich auch von hier aus Kriterien ab-

leiten, die bei statischen Berechnungen berücksichtigt werden.

Die beiden für unsere Aufgabe wichtigsten Kräfte heißen Zug und Druck. Die Zugkräfte haben die Tendenz, die beanspruchten Bauteile über ihre natürliche Dehnungsgrenze hinaus zu verändern, d. h. länger zu machen. Die Druckkräfte bewirken eine Komprimierung des Materials in den Bauteilen (Detaillierte Ausführungen über Druck und Zug sowie über Biege-, Knick-, Torsions- und Scherbeanspruchung bringt das Handbuch).

Für die Fehleranalyse eignen sich besonders solche Schülerarbeiten, an denen man die Beanspruchung durch Druck und Zug besonders gut zeigen kann (siehe Abb. 14 bis 17). Es empfiehlt sich, die ausgewählten Modelle in Kleingruppen zu analysieren.



Abb. 14 Hängewerkbrücke bei Freudenstadt. Die Fahrbahn „hängt“ an der Dreieckskonstruktion. Die lotrechten „Hängesäulen“ in der Fahrbahnmitte, die die Längsträger der Fahrbahn durch

einen Querträger unterfangen, stehen unter Zugbelastung. Die Dreieckskonstruktion „übernimmt“ die Kräfte und leitet diese auf die Auflager ab.

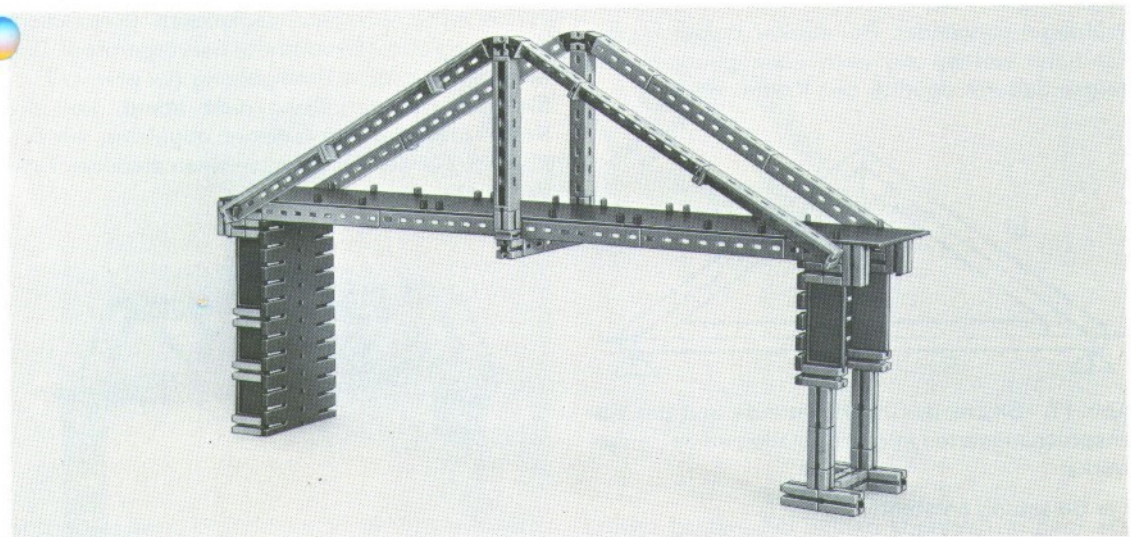


Abb. 15 Modell einer Hängewerkbrücke, das technisch-funktional der Freudenstadter Brücke entspricht. Die Hängebalken sind hier als U-Profil ausgebildet (Flachstücke in Flachträger einge-

steckt); im eigentlichen „statisch richtigen“ Verständnis wären hier nur auf Zug beanspruchte Bauelemente wie flache Streben oder Schnur nötig.

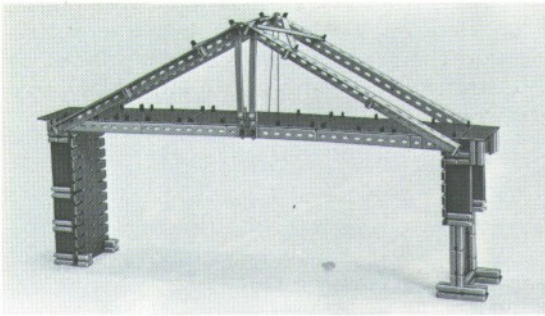


Abb. 16 Anstelle der in Abb. 15 verwendeten U-Profile bei den lotrechten Hängesäulen sind hier die „entsprechenden“ zugbeanspruchten Bauteile eingesetzt. Auf der vorderen Seite sind die Streben mittels „Prüfriegel“ in den Verbindungsstücken befestigt. Diese aus flexiblem Kunststoff bestehenden Prüfriegel geben bei Belastung nach und zeigen somit sehr schön die in den Bauteilen herrschenden Kräfteverrichtungen (hier Zugbeanspruchung) an. Auf der Rückseite übernehmen Schnüre (in der Technik Seile) die Funktion der auf Zug beanspruchten Hängesäule. Die Winkelträger sind funktionell richtig eingesetzt, weil sie die durch Druckkräfte bedingte Knickbeanspruchung aushalten. Zusätzlich sind sie durch die überkreuzten Streben über der Fahrbahnmitte (Windverband) gegen seitlichen Druck (Wind) abgesichert.

Beim Anbringen der Hängesäulen an den Längsträgern unter der Fahrbahn wurden ebenfalls Prüfriegel verwendet. Bei starker Belastung der Fahrbahn werden sie nach oben gebogen und zeigen dadurch deutlich den Kräfteverlauf.

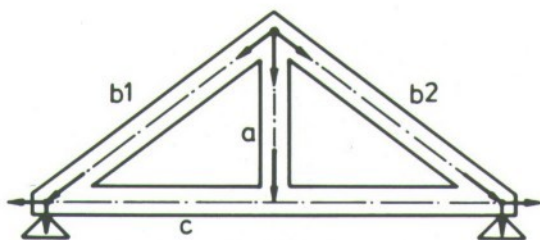


Abb. 17 Skizze des Kräfteverlaufs und der Beanspruchungsarten in den Bauteilen eines Hängewerks.

Bei Belastung entsteht:

Zug in Bauteil a (Zugbeanspruchung). Druck in den Bauteilen b1 und b2 (Knickbeanspruchung). Biegebeanspruchung in Bauteil c (Druck in der oberen Zone von c und Zug in der unteren Zone von c).

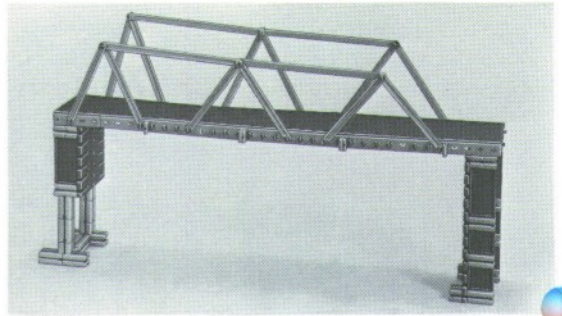


Abb. 18 Modell (Schülerarbeit) einer als „Fachwerk“ ausgebildeten Hängewerkbrücke. Der Schüler hat nach den Belastungsversuchen in der Prüfsituation erkannt, daß er die Fahrbahn aussteifen muß. Ohne Belastung erscheint der Einsatz von Streben hierzu geeignet.

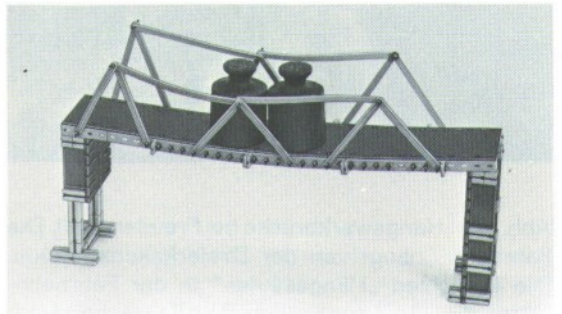


Abb. 19 Der Belastungsversuch zeigt, daß die verwendeten Streben wegnicken (Knickbeanspruchung durch Druckkräfte hervorgerufen). Das Material hält ohne Profilgebung (L- bzw. U-Profil) der Beanspruchung nicht stand, weil die Kräfte nicht auf die Auflager abgeleitet werden können. Für den Obergurt müssen stabilere Teile verwendet werden.

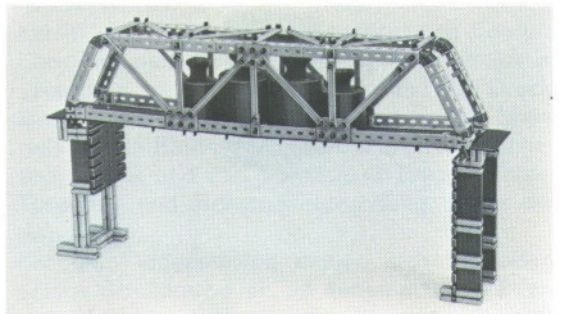


Abb. 20 Sobald der knickbeanspruchte Obergurt (Knickbeanspruchung wird durch Druckkräfte hervorgerufen) aus Winkelträgern besteht, kann

er stärkeren Belastungen standhalten und die Kräfte besser als in der Abb. 19 auf die Auflager ableiten. Bei diesem Modell sind zur bautechnisch richtigen „Ausfachung“ des Fachwerks wie in der technischen Wirklichkeit Knotenplatten

verwendet worden, die durch ihre Konstruktion alle Kräfte an einem Punkt angreifen lassen. Hierdurch wird ein „echter“ Dreiecksverband ermöglicht (Näheres hierzu siehe unter „Technische Hinweise für den Lehrer“ im Handbuch).

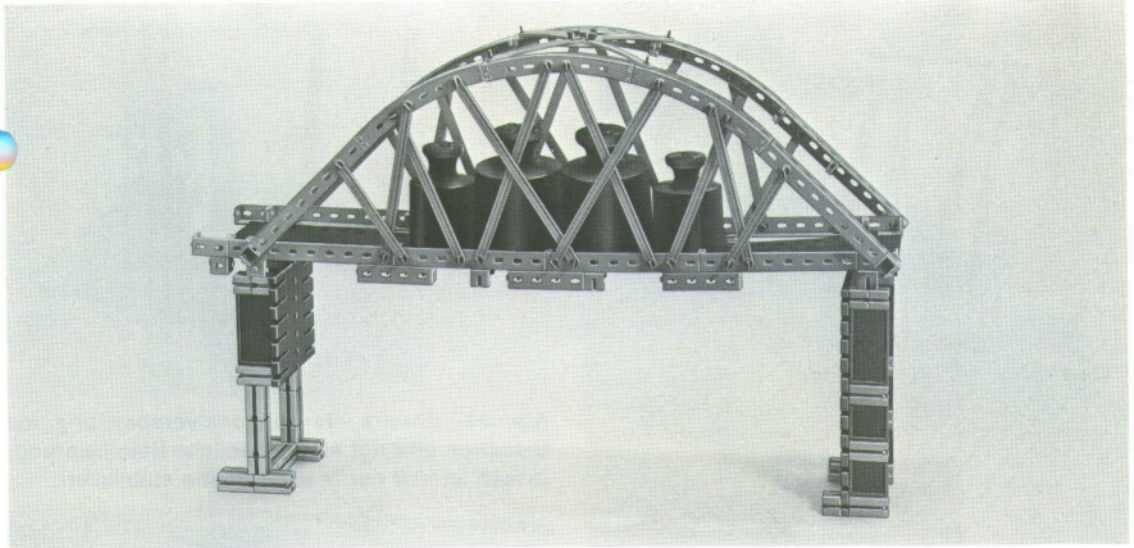


Abb. 21 Modell einer Bogenbrücke, bei der die Fahrbahn mehrfach an Streben „aufgehängt“ ist. Der Schüler hat die funktionslosen Winkelstücke

unter der Fahrbahn, die zunächst zur Versteifung der Längsträger („Balken“) dienen sollten, noch nicht entfernt.

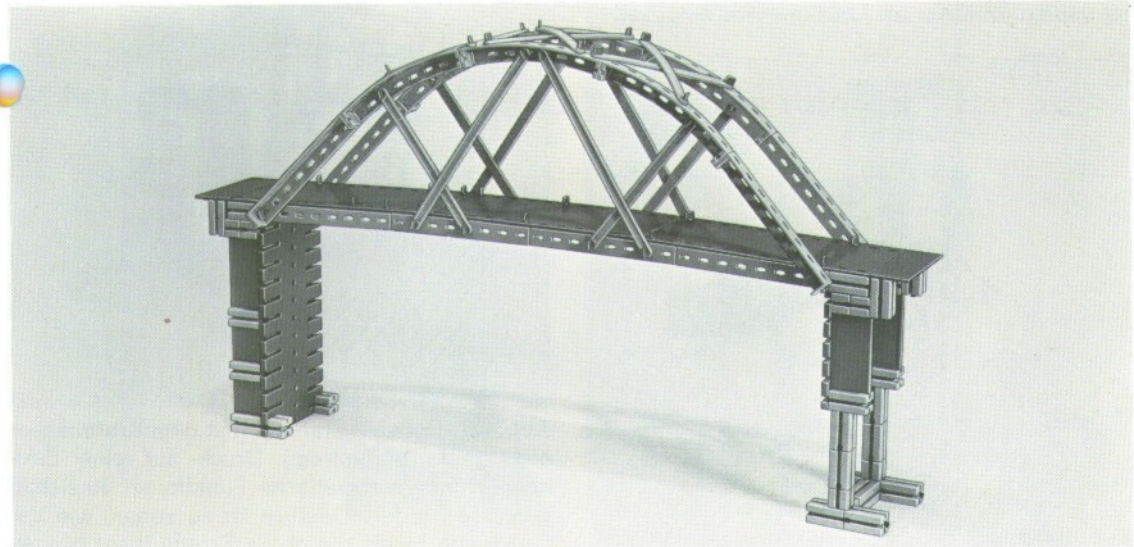


Abb. 22 Eine gute Lösung einer Bogenbrücke, bei der auch die Brückenfahrbahn leicht gekrümmt ist. Der Schüler hat, durch die ersten Konstruktionsversuche angeregt, Brücken beobachtet und dieses neu erworbene Wissen „eingebaut“ (Daß relativ viele Schüler eine Bogen-

brücke 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.)



Abb. 23 Ein auf der Grundplatte eingespannter, wenig belasteter „Turm“ ohne Fachwerkausbildung (auch „Gitterung“) ist absolut instabil. Er hält keinem seitlichen Druck (Wind) stand. (Hier ist der Kraftmesser als Druckmesser eingesetzt.)

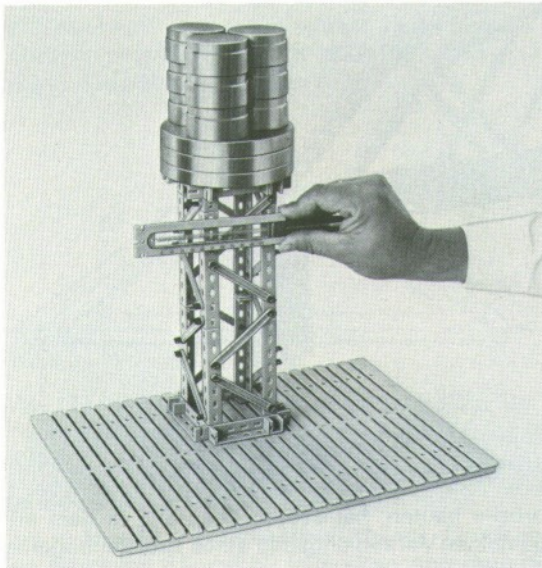


Abb. 25 Der stark belastbare Turm ist durch das Fachwerk gegen Winddruck (Biegebelastung) sehr widerstandsfähig.



Abb. 24 Bereits die Diagonalverspannung mit Schnüren erbringt eine erhebliche Stabilisierung; jedoch ist hier nur in einer Ebene stabilisiert.



Abb. 26 Bei sehr starkem (mit dem Kraftmesser nicht mehr meßbarem) Druck auf eine Ecke können mehrere statische Funktionen einsichtig gemacht werden. Deutlich ist zu sehen, wie der Druck von rechts die obere Strebe biegt (Knickbelastung). Dasselbe geschieht an der unteren Strebe. Gegenkräfte erbringen entweder weitere Streben, die dann auf Zug belastet, den Druck abfangen oder Winkelträger, die sich nicht verformen. Der gesamte Turm ist bei dieser Belastung torsionsbeansprucht.

Konstruktionsbeispiele von Kränen

In den Abb. 27 bis 33 wird an zwei Prinzipmodellen von Baukränen („Turmdrehkränen“) der jeweilige Aufrichtevorgang dargestellt (geeignet für Sekundarstufe I). Hierbei sollen die Schüler die einzelnen Arten von Turmdrehkränen unterscheiden und die für

die jeweiligen Aufrichtevorgänge typischen Konstruktionsmerkmale kennenlernen. Die Modelle sind sehr einfach aus Bauteilen eines u – t 1 und eines u – t S zu bauen; auf eine statisch richtige Ausfachung von Turm und Nadelausleger ist bewußt verzichtet.

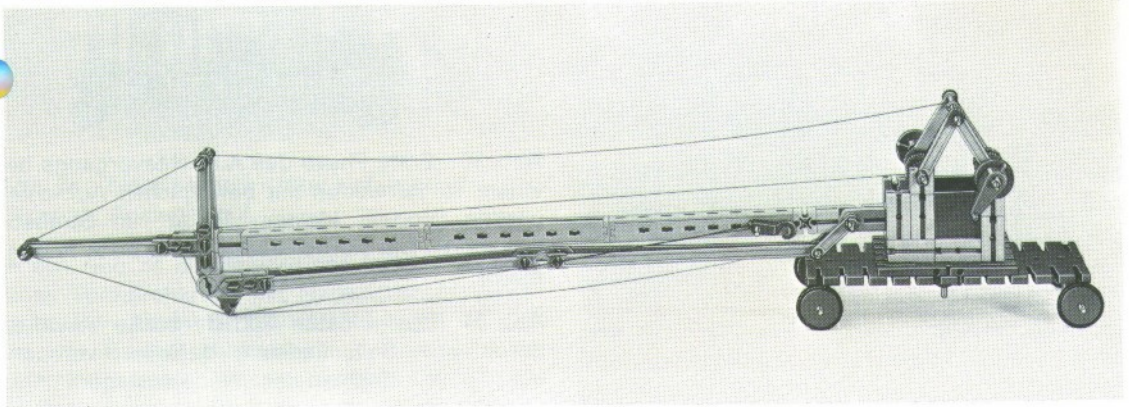


Abb. 27 Transportzustand eines Turmdrehkrans mit fester Turmspitze und Traverse (kleiner Gegenausleger). Der Nadelausleger ist zunächst fest mit dem Turm verbunden.

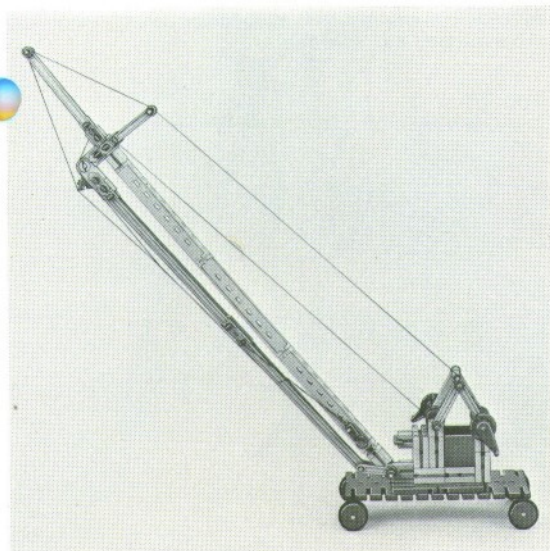


Abb. 28 Durch Seilzug (Drehen der hinteren Kurbel, Aufwickeln auf Seiltrommel) und damit durch Seilumlenkung über unteren Aufrichtebock, Traverse, Turmspitze, oberen Aufrichtebock zur Auslegerspitze wird ein Aufrichten von Turm und festgemachtem Ausleger erreicht.

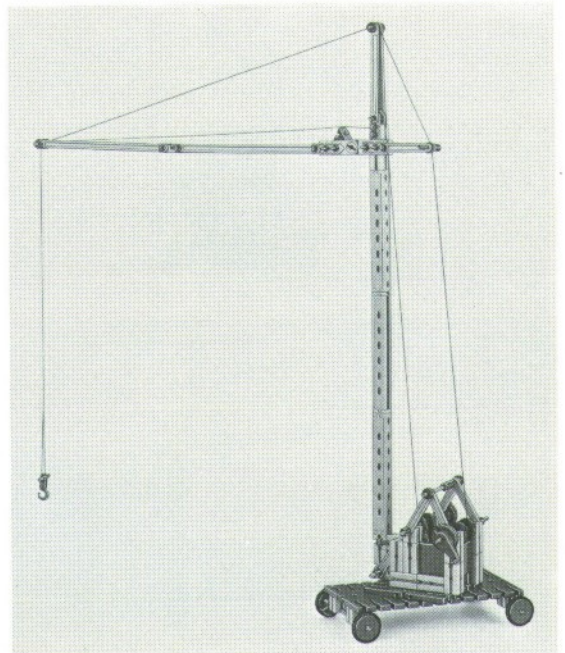


Abb. 29 Nach Arretierung des Turms in lot-rechter Stellung und Lösen des Auslegers führt weiterer Seilzug zum Aufrichten des Nadelauslegers in die waagrechte Stellung (weiteste Auslage – kleinste Lastaufnahme). Erneuter Seilzug am Auslegereinziehwerk bewirkt ein Aufrichten des Auslegers in die steile Stellung (kleinste Auslage – größte Lastaufnahme).

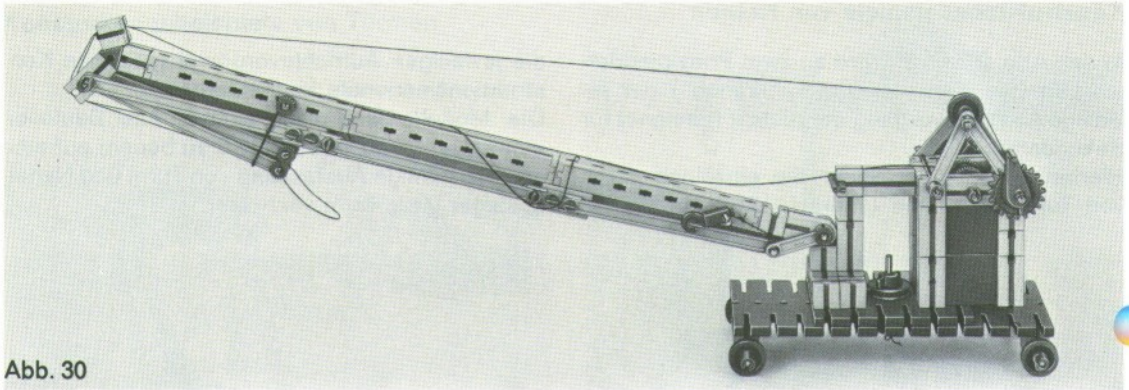


Abb. 30

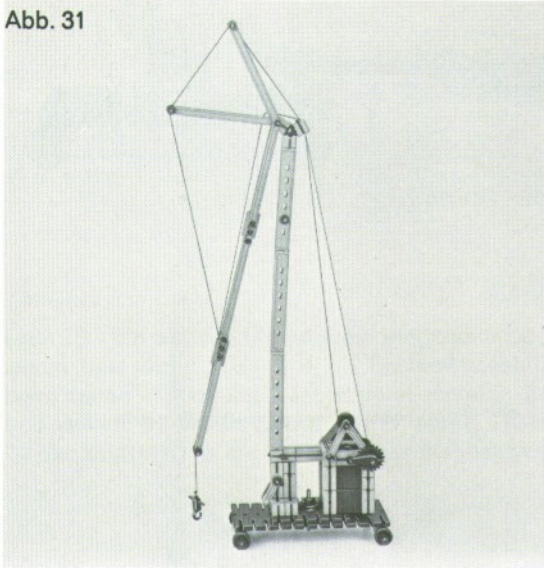


Abb. 31

Abb. 30 Erste Phase des Aufrichtevorgangs bei einem Turmdrehkran mit beweglichen Aufrichteböcken (Vorteil: kleines „Paket“ im Straßen-transport). Die Aufrichteböcke sind noch festgemacht.

Abb. 31 Die gelösten Aufrichteböcke bewirken durch die Seilumlenkung („Seilrückverspannung“) ein Aufrichten des „Nadelauslegers“.*)

Abb. 32 Nadelausleger in waagrechter Stellung = größte Auslage – kleinere Lastaufnahme.

Abb. 33 Nadelausleger in höchster Stellung = kleinste Auslage – größte Lastaufnahme.

*) Die Biegung des „Turms“ nach hinten zeigt sehr deutlich, die ungeheure Biegebeanspruchung beim Aufrichtevorgang des Auslegers.

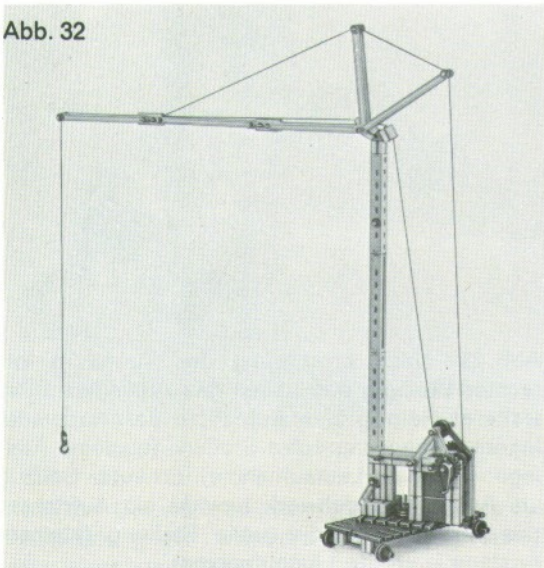


Abb. 32



Abb. 33

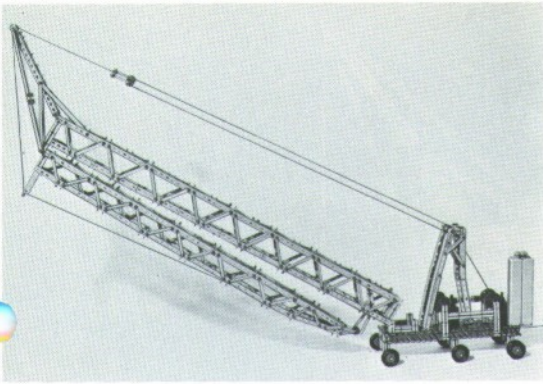


Abb. 34 Mittels Motor richtet sich Turm und festgezurrter Ausleger auf.

In den Abb. 34 bis 38 wird das Funktionsmodell eines Turmdrehkrans mit Nadelausleger vorgestellt. Bei dieser Schülerarbeit handelt es sich um eine Gemeinschaftsarbeit von vier Schülern einer 9. Hauptschulklasse, die die in zwei Doppelstunden im Werkunterricht begonnene Arbeit zuhause in den Ferien fertigstellten. Diese aufwendige Konstruktion eignet sich für Arbeitsgemeinschaften oder für freiwillige Zusatzarbeit.

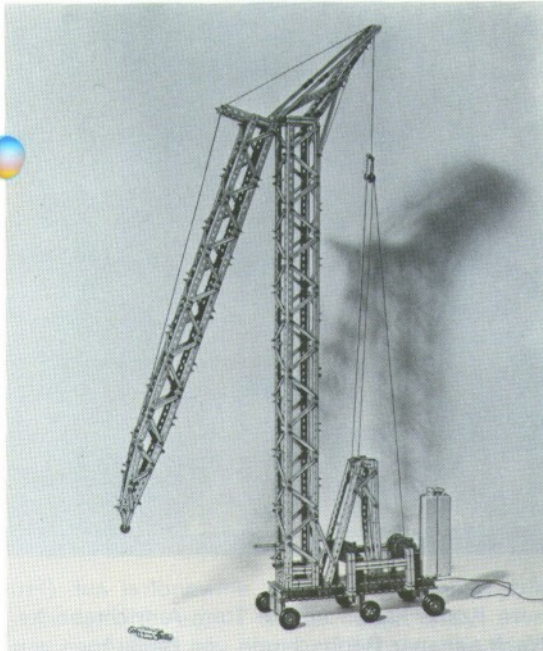


Abb. 35 Der entriegelte Ausleger kann sich bei weiterem Seilzug aufrichten, weil der Aufrichtebock oberhalb des Drehgelenks (Verbindung von Nadelausleger und Turm) einen Seilzug außerhalb der Achse ermöglicht.

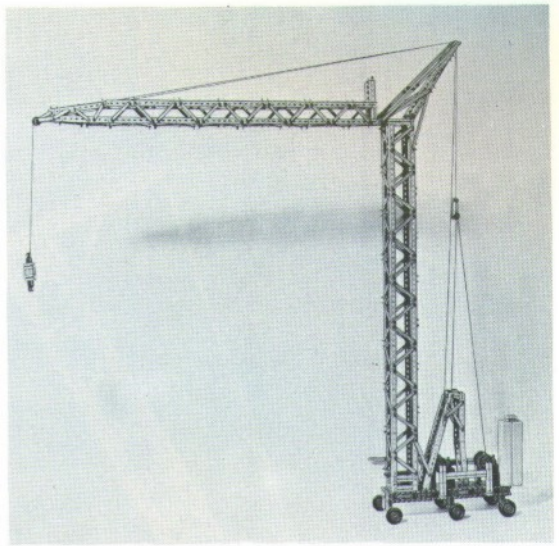


Abb. 36 Der Ausleger in der weitesten Auslage. Der Aufrichtebock am Ausleger ist hier ohne Funktion.

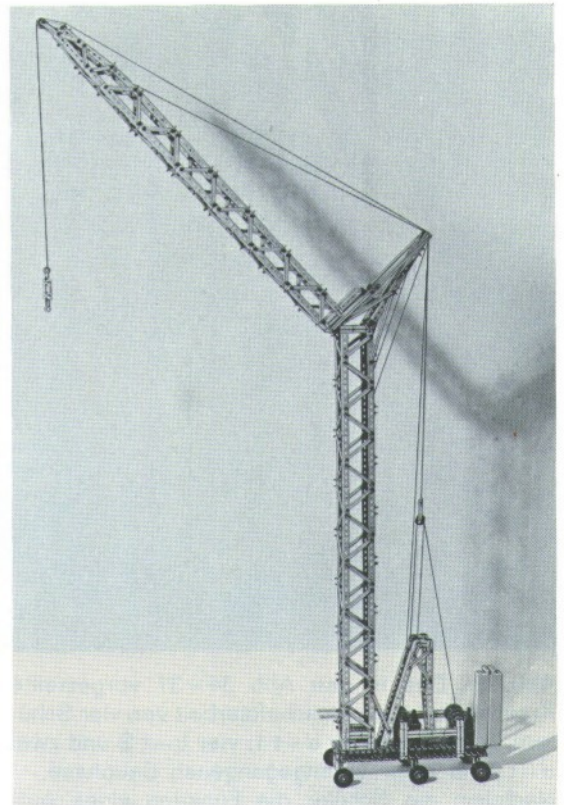


Abb. 37 Hochziehen des Auslegers bedeutet Verkürzen des Abstandes von Turm und Lastaufnahmemittel (Haken).

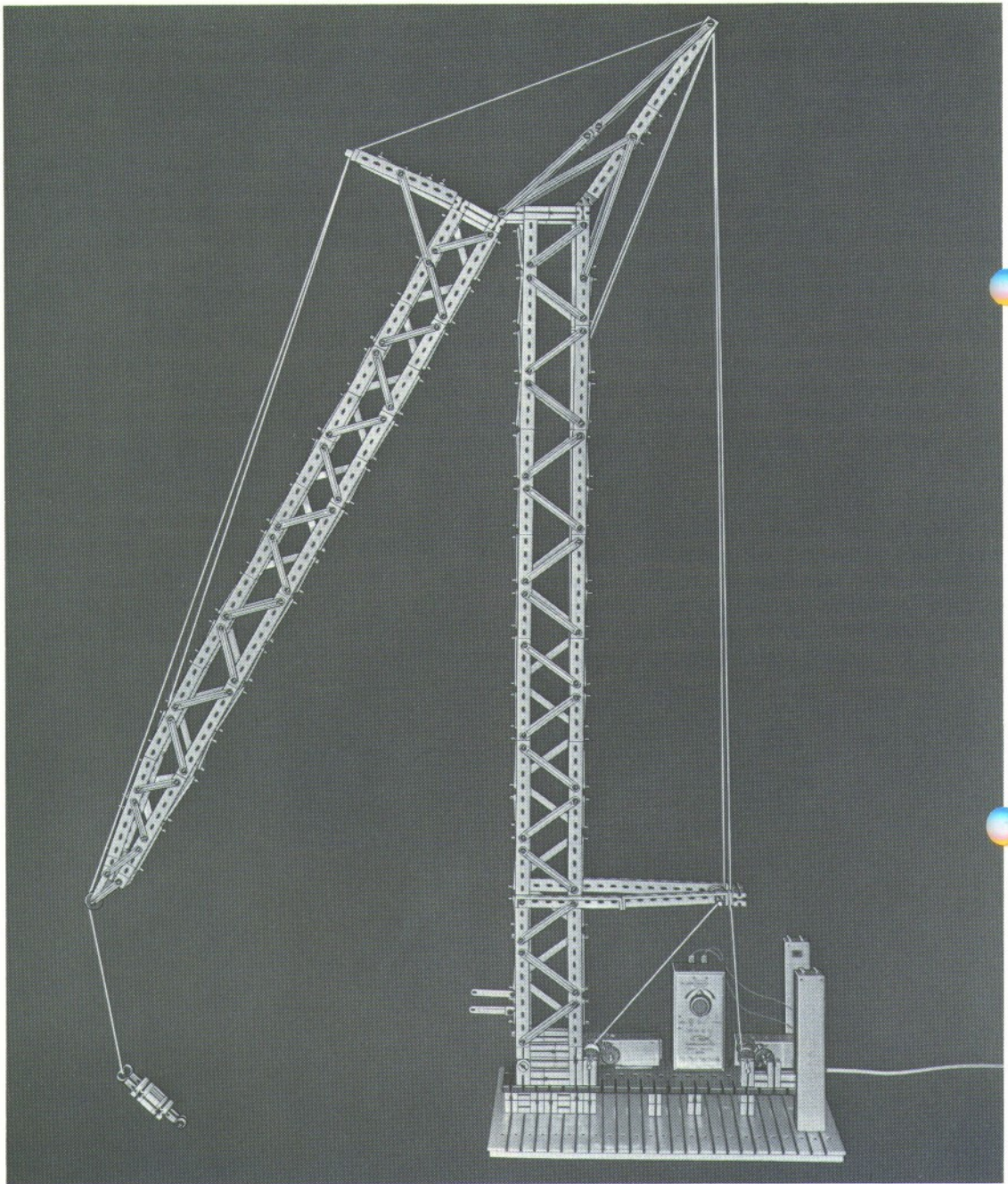


Abb. 38 Das in den Abb. 34–37 vorgestellte Kran-Modell (Gemeinschaftsarbeit von vier Schülern, gebaut mit vier u–t 1, vier u–t S und zwei u–t 2) in einer vorangegangenen Bauphase. Nachdem die Schüler die Funktion eines Aufrichtebocks am Ausleger kennengelernt hatten, konstruierten sie einen ähnlichen am unteren Ende des Turms. Das schwere Modell richtete

sich mittels Elektromotor einwandfrei auf. (Frühere Kräne hatten solche Turm-Aufrichteböcke.) Nach genauer Beobachtung von Baukränen wurden als Verbesserung der Aufrichtebock am Motor und der Flaschenzug (siehe Abb. 34–37) eingebaut. Die mit Bleistücken gefüllten Batteriestäbe dienen als Gegengewicht.