

Forum technische Bildung

1-80

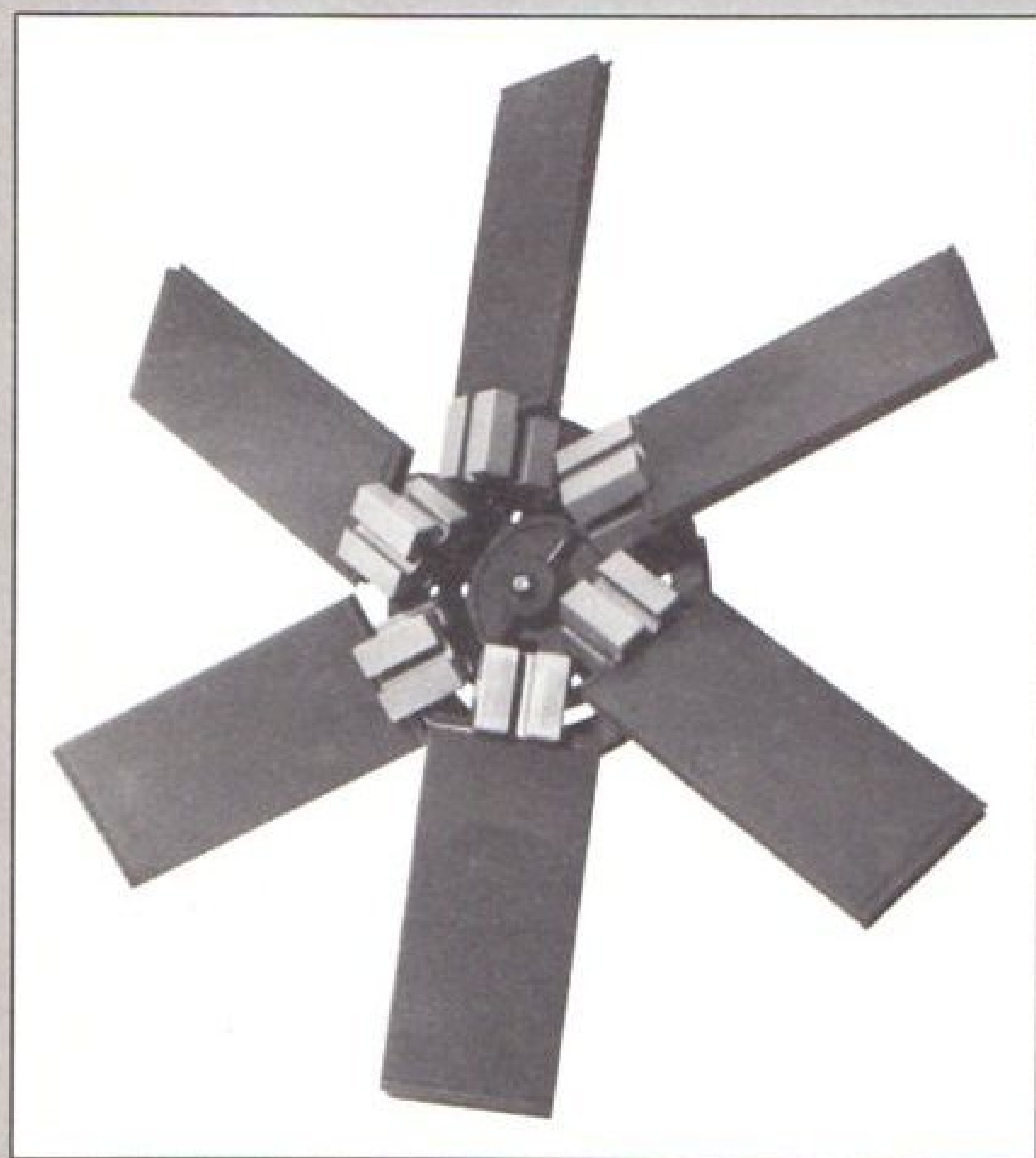
Beispiele für den
Technikunterricht

Experimentieren –

die Methode zur Beantwortung naturwissenschaftlicher Fragen

Zu diesem Heft

3



Helmut Wiederrecht

Feuer braucht zum Brennen Luft

Experimentieren als Methode –
Unterrichtseinheit 4. Schuljahr

4

Gerhard Ruckwied,
Helmut Wiederrecht

Windräder


Eine Unterrichtseinheit
für die Grundschule

16

Ausgabe
Primarstufe

ISSN 0170-1479

Vieweg


VIEWEG

Georges Glaeser (Hrsg.)

Didaktik mathematischer Probleme und Aufgaben

Theorie und Beispiele

(Aus dem Franz. übers. von Gerd Walther).

Mit 162 Abb. 1980. X, 214 S. DIN C 5. Kart. 29,80 DM

Das Buch, das vom Straßburger IREM (Institut de Recherche sur l'enseignement des mathématiques) entwickelt worden ist, gibt den Mathematikern Impulse, liefert Anregungen und ist als Arbeitsmittel gedacht. Insbesondere geht es um die didaktischen Funktionen von Aufgaben und Problemen und deren Anpassung an pädagogische Ziele. Übungsaufgaben, Prüfungsaufgaben oder Probleme dienen unterschiedlichen Zwecken und müssen daher unterschiedlich abgefaßt und eingesetzt werden.

Hendrik Radatz

Fehleranalysen im Mathematikunterricht

1979. VIII, 101 S. DIN C 5. Kart. 19,80 DM

Das Buch bietet einen Überblick über die Geschichte der Fehlerkunde, eine Unterscheidung in Fehlertechniken und Fehlerursachen, ein Modell der Gruppierung von Fehlerursachen sowie zahlreiche Anregungen für unterrichtspraktische Möglichkeiten der Fehleranalyse. Sehr viele Fälle und Problembeispiele werden diskutiert; darüber hinaus findet der Leser eine Zusammenstellung der häufigsten Fehlertechniken bei den arithmetischen Grundoperationen.

Forum technische Bildung

Beispiele für den
Technikunterricht
Ausgabe Primarstufe
Heft 1-80

Herausgeber und Verlag:

Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH,
Braunschweig · Wiesbaden

Schriftleitung:

Prof. Wolfgang Biester, Münster
Prof. Dr. Wolf Traebert, Neuss
Fachschulrat Helmut Wiederrecht, Heidelberg

Redaktion:

Gereon Roeseling (verantwortlich),
Peter Winternitz

Anschrift:

Redaktion „Forum technische Bildung“
Verlag Vieweg, Postfach 300620, 5090 Leverkusen 3

An Beiträgen zur Didaktik des Technikunterrichts, insbesondere aus dem Bereich der Schulpraxis, sind Schriftleitung und Verlag interessiert.

Auch unverlangt eingesandte Manuskripte werden geprüft, eine Haftung kann aber nicht übernommen werden. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit vorheriger Genehmigung des Verlages.

Erscheinungsweise und Bezugsmöglichkeiten:

Die Zeitschrift „Forum technische Bildung – Ausgabe Primarstufe“ erscheint zweimal jährlich. Sie kann durch die Unterstützung der fischer-werke, Artur Fischer, 7244 Tumlingen/Waldachtal 3, interessierten Lehrern und Studenten kostenlos zur Verfügung gestellt werden.

Zahl der regelmäßigen Bezieher: z. Z. ca. 4500.

Druck: Rheinisch-Bergische Druckerei, Düsseldorf.

Alle Rechte vorbehalten.

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlag GmbH, Braunschweig 1980

Autoren dieses Heftes:

Gerhard Ruckwied
Lindenweg 5
6908 Wiesloch-Baiertal

Helmut Wiederrecht
Torgartenstr. 34
6921 Lobbach-Lobenfeld

Helmut Wiederrecht

Experimentieren –

die Methode zur Beantwortung naturwissenschaftlicher Fragen

Zu diesem Heft

In den Lehrplänen für den Sachunterricht ist hinsichtlich der Richtziele eine weitgehende Übereinstimmung – zumindest für den naturwissenschaftlichen Bereich – festzustellen. „Der Heimat- und Sachunterricht folgt, soweit das möglich ist, dem Grundsatz des entdeckenden Lernens. Ausgangspunkt ist der zur Kreativität auffordernde Umgang mit problemoffenen Situationen; der Unterricht mündet nachfolgend in handelnde Auseinandersetzung, gezielte Beobachtung und kritische Überprüfung von gefundenen Lösungen ein.“ (*Lehrplan für den Heimat- und Sachunterricht Schleswig-Holstein, Überarbeitung 1978, Seite 3*)

„Diese Verhaltensweisen und Fähigkeiten sind an grundlegenden Methoden, wie sie für die wissenschaftliche Forschungshaltung bestimmend sind, zu orientieren. Solche Lernprozesse, die Erfahrungslernen ermöglichen, sind jedoch nur dann zu organisieren, wenn sie von Lernsituationen ausgehen, die die kognitiven und die affektiven Kräfte des Schülers herausfordern und einen großen Entscheidungsspielraum im Probieren, Untersuchen und Folgern zur Verfügung stellen.“ (*Rahmenrichtlinien Primarstufe, Sachunterricht, Hessen, Seite 6*).

„Daher müssen neben den Unterrichtsverfahren, bei denen der Schüler auf Vorgaben des Lehrers antwortet, künftig verstärkt solche Verfahren angewandt werden, bei denen der Schüler selbst Probleme findet und Lösungen sucht. . . . Als grundschulspezifische Verfahren behalten Lehr- und Lernverfahren, die nach den Prinzipien der Anschauung, der unmittelbaren Erlebnis- und Erfahrungsnähe des Handlungsbezuges konzipiert sind, auch weiterhin ihre Gültigkeit. . . . Auch im Erfahrungsbereich sollten im Unterricht fertige Erkenntnisse und Verfahren von Einzelwissenschaften nicht einfach übernommen werden. Vielmehr ist immer wieder von der Situation des forschenden und suchenden Kindes und Schülers auszugehen. . . . Im Entdeckungszu-

sammenhang taucht ein Problem auf, eine Fragestellung und vorläufige Lösungsvorschläge werden als Vermutungen formuliert. Im Begründungszusammenhang werden die Vermutungen mit Hilfe von Prüf- und Versuchsverfahren bestätigt oder verworfen. Im Anwendungszusammenhang wird den Konsequenzen aus den gewonnenen Erkenntnissen nachgegangen.“ (*Lehrplan für den Sachunterricht des Landes Baden-Württemberg, Seite 5/6*).

Eine ähnliche Übereinstimmung, wenn auch Unterschiede im Detail zu beachten sind, ist hinsichtlich der Themen festzustellen. Die Thematik Feuer, Luft, Kerze, Kerzenflamme ist in mehreren Lehrplänen zu finden. Als Ziel wird z. B. in Baden-Württemberg formuliert: „Durch Versuche feststellen, daß Feuer zum Brennen Luft braucht.“ Unter dem Stichwort: „Hinweise“ ist nachzulesen: „Schülerversuch: Eine Kerzenflamme erlischt, wenn sie durch ein Glas abgedeckt wird. Die Brenndauer hängt von der Größe des Glases ab (Zeitmessung, Tabellieren).“ (*Lehrplan Sachunterricht, Baden-Württemberg, Seite 15*).

„Experimentell beweisen, daß eine Kerze nicht brennen kann, wenn nicht ständig frische Luft zugeführt wird; schlußfolgern, daß bei der Verbrennung Luft verbraucht wird.“ (*Rahmenrichtlinien Sachunterricht, Hessen, Seite 90*).

„Die Schüler sollen erfahren, daß Luft ein Gasgemisch ist, das (hauptsächlich) aus Sauerstoff und Stickstoff besteht, daß Menschen und Tiere Sauerstoff benötigen, um leben zu können. . . . Man kann von geläufigen Erfahrungen und Beobachtungen ausgehen (Lüften des Klassenzimmers während der Pause, Erlöschen einer Kerzenflamme in einem geschlossenen Gefäß)“ (*Lehrplan-Sachunterricht, Teilbereich Natur, Schleswig-Holstein, Seite 94*).

Im ersten Beitrag dieses Heftes wird versucht, diese Gedanken in Unterricht umzusetzen. Dabei steht die naturwissenschaftliche Methode – das Experimentieren – im Mittelpunkt.

Der zweite Beitrag dieses Heftes greift eine aktuelle Diskussion auf. Kinder können hier erfahren, wie bewegte Luft – der Wind – zum Antreiben (von Maschinen) dienen kann. Die Frage, ob die Nutzung der Windenergie einen Beitrag zur Energieversorgung liefern kann, ist noch umstritten. Darauf geht der Beitrag nicht ein, da unter den gegebenen Voraussetzungen diese Frage nicht beantwortet werden kann und sie den Kindern auch nicht zugänglich war.

Helmut Wiederrecht

Feuer braucht zum Brennen Luft

Experimentieren als Methode zur Gewinnung naturwissenschaftlicher Aussagen
Unterrichtseinheit für das 4. Schuljahr

1. Didaktische Überlegungen

1.1 Begründung der Themenwahl – Experimentieren als Methode

In der folgenden Unterrichtseinheit steht die naturwissenschaftliche Methode – das Experimentieren – im Mittelpunkt. Mit „Experimentieren“ ist hier keineswegs nur das Ausprobieren oder das Durchführen von Versuchen gemeint. „Experimentieren“¹ ist die Vorgehensweise, bei der mit Hilfe exakter Methoden eindeutige und wiederholbare Ergebnisse gewonnen werden. Im Experiment werden Vorgänge einer bestimmten Erkenntnisabsicht entsprechend gestaltet. Teilprobleme können aus komplexeren herausgelöst werden, Teilvorgänge lassen sich im Experiment gesondert untersuchen. Diese Vorgänge werden zu Erkenntniszwecken absichtlich ausgelöst, in den Ablauf von Ereignissen wird eingegriffen, um sie für die sinnliche Wahrnehmung zugänglich zu machen. Vorgänge werden mit Hilfe von Meß- und Beobachtungseinrichtungen sichtbar und kontrollierbar gemacht.

Experimentieren stellt sich so als ein Problemlöseverhalten mit den folgenden Sequenzen dar:

a) Problemgewinnung

– Erkundungssituation: Durch unterschiedliche Motivation bestimmt, beginnt der Schüler, sich mit einem Problem zu befassen. Die Motivation zu Überlegungen und Handlungen ergibt sich entweder aus eigenem Interesse an einem Phänomen oder sie wird durch den Lehrer beabsichtigt herbeigeführt. Dieses Befassen mit einem Sachverhalt ergibt eine vorläufige Problementwicklung, die bei den Schülern ein erstes Problembewußtsein erzeugen kann.

– Kann die Entwicklung der Problemerkennntnis bei Schülern soweit vorangetrieben werden, daß eine Vorformulierung oder eine Umschreibung gelingt, so muß im nächsten Schritt das zu lösende Problem präzisiert werden.

– Eine Formulierung des Problems wird gefunden; sie erlaubt den Schülern, sich in allen Phasen des Experiments orientierend und kontrollierend auf diese Fragestellung zu beziehen.

b) Problemlösung

– In einem ersten Schritt sollten *vage Vermutungen* zur möglichen Problemlösung in *Hypothesen* gefaßt werden. Unter Hypothesen sind hier Meinungen im Sinne von vorläufigen Urteilen zu verstehen.

– Die *Planung des Experiments* verläuft meist in folgenden Stufen: *Isolieren der Bedingungen* mit der Absicht, sie nach Gegenstand und Absicht im Versuchsverlauf zu variieren oder konstant zu halten. – Darauf aufbauend müssen *Versuchsmaterialien ausgewählt* und geeignete Anordnungen entworfen werden. – *Mögliche Verläufe* der Versuche werden *in Gedanken* durchgespielt, mögliche Beobachtungen werden formuliert. – *Entscheidungen* für einen oder mehrere Versuche aus den gefundenen Möglichkeiten sind zu treffen.

– Es folgt die *Durchführung* des oder der ausgewählten Versuche unter *Beachtung der Bedingungen* und die Feststellung der Beobachtungsergebnisse.

– Nach Abschluß der Versuche werden *Schlußfolgerungen* gezogen und formuliert. Sie müssen zu der aufgestellten Hypothese in Beziehung gebracht werden. Die *Hypothese* wird entweder *bestätigt oder widerlegt*.

– Das Ergebnis wird mit dem Problem aus der Erkundungssituation in Beziehung gesetzt. Die *Lösung des Problems* kann formuliert werden.

– Die so gewonnenen Ergebnisse ermöglichen die *Voraussage* künftiger *Ergebnisse*, die in erneuten Versuchen überprüft werden.

– Auf Grund der Bestätigung der Ergebnisse ist eine *Generalisierung* möglich, soweit sie auf *dieselben Bedingungen* bezogen bleibt und *keine unzulässigen Verallgemeinerungen* und vorschnellen Schlüsse enthält.

– Diese Ergebnisse werden genutzt, indem sie auf andere *vergleichbare Fälle übertragen* werden. Hierbei sind die Besonderheiten des neuen Falles zu berücksichtigen.

Die folgende Unterrichtseinheit läßt sich also nicht nur formal (durch den Lehrplan) sondern auch inhaltlich begründen: An diesem Beispiel läßt sich *das naturwissenschaftliche Vorgehen*, eben *das*

¹ Vgl. Claus Claussen, Richard Meier, Helmut Wiederrecht: Sachunterricht in der Grundstufe, Braunschweig 1974, Lehrerheft Schwimmen und Sinken

Experimentieren in seinem spezifischen Sinne darstellen. Wichtig ist hierbei, daß die Schüler den Gedankengang mitvollziehen, den Prozeß erfassen, was man tun muß, um eine exakte (unter gleichen Bedingungen wiederholbare) Aussage machen zu können. Die Schüler lernen also nicht nur den Stoff, sondern auch die Methode (prozeßorientiertes Lernen).

1.2 Lernziele

1. Die Schüler sollen beim Durchführen und Beobachten von Versuchen herausfinden, daß eine brennende Kerze erlischt, wenn sie durch ein Glas abgedeckt wird. Dabei sollen sie auch die unterschiedliche Brenndauer erfahren.
2. Die Schüler sollen Vermutungen über mögliche Ursachen der unterschiedlichen Brenndauer äußern.
3. Die Schüler sollen Versuche zur Überprüfung der Vermutungen planen und durchführen können. Dazu müssen sie insbesondere beschreiben, welche Größe verändert wird und wie dies mit Hilfe der Versuchsmaterialien realisiert werden soll; welche Größen nicht verändert werden dürfen, damit Zusammenhänge beobachtbar und eindeutige, durch Wiederholung nachprüfbar Aussagen möglich werden.
4. Die Schüler sollen Versuche entsprechend der Planung durchführen, beobachten und die Beobachtungen deuten, d. h. hier die geäußerte Vermutung und die Beobachtung vergleichen.
5. Die Schüler sollen den bisherigen Prozeß in einem Diagramm darstellen und dazu die wesentlichen Überlegungen und Handlungen beschreiben können, die nötig sind, um eindeutige und überprüfbare Aussagen machen zu können (Experimentieren als methodisches Vorgehen beschreiben können).
6. Die Schüler sollen zu einigen Vermutungen die Versuche selbständig planen, durchführen, beobachten und auswerten. Sie sollen selbständig einige Vermutungen überprüfen können.
7. Die Schüler sollen durch die Beobachtung eines Demonstrationsversuches und beim Durchführen von Versuchen feststellen, daß „durch die Flamme ein Teil der Luft verbraucht wird“. Sie sollen also die Feststellungen aus den Versuchen erklären können.

1.3 Vorkenntnisse

Die Schüler sollten durch Beobachtungen von Versuchen festgestellt haben, daß Luft „überall“ vorhanden ist, daß insbesondere auch scheinbar leere

Gefäße Luft enthalten, daß Wasser in ein Glas nur dann eindringen kann, wenn die Luft entweicht bzw. „verschwindet“. Die Schüler müssen mit handelsüblichen Handstoppuhren umgehen können. Dies war hier der Fall: Im Sportunterricht wurden beim Laufen und Schwimmen wiederholt Zeiten gemessen, so daß der Umgang mit Stoppuhren für die Schüler nicht neu war. Dennoch war es nötig, an der geeigneten Stelle eine entsprechende Übung vorzusehen (Starten und Anhalten der Uhr zum jeweils „richtigen“ Zeitpunkt, Ableseübungen).

1.4 Arbeitsmittel

Kerzen: Haushaltskerzen, kurze Kerzenstücke; kleine Brettchen oder Styroporscheiben (etwa 4 × 4 cm) als „Kerzenhalter“; Bechergläser 150 ml, 250 ml, 600 ml, 1000 ml; Standzylinder 1000 ml, flache Schalen oder Teller; Handstoppuhren (mindestens 1 Stoppuhr pro Gruppe; im Unterricht standen 12 Stoppuhren zur Verfügung, für jede Gruppe 2); Messer zum Zurechtschneiden der Kerzen; Plastilin.

Für den zweiten Teil werden zusätzlich benötigt: ein großes Wasserbecken (Schüssel) für jede Gruppe; für den Demonstrationsversuch Glasglocke oder Standzylinder, Stativmaterial zur Halterung der Gläser, Filzstifte oder Klebeband zum Markieren des Wasserstandes.

2. Zum Unterrichtsverlauf

2.1 Anfangssituation – Problemgewinnung

Auf dem Tisch beim Lehrer steht eine kleine Kerze, daneben ein Becherglas (600 ml) (Abb. 1). Die Schüler werden aufgefordert zu überlegen: „Was wird geschehen, wenn jemand das Glas über die Kerze stülpt?“

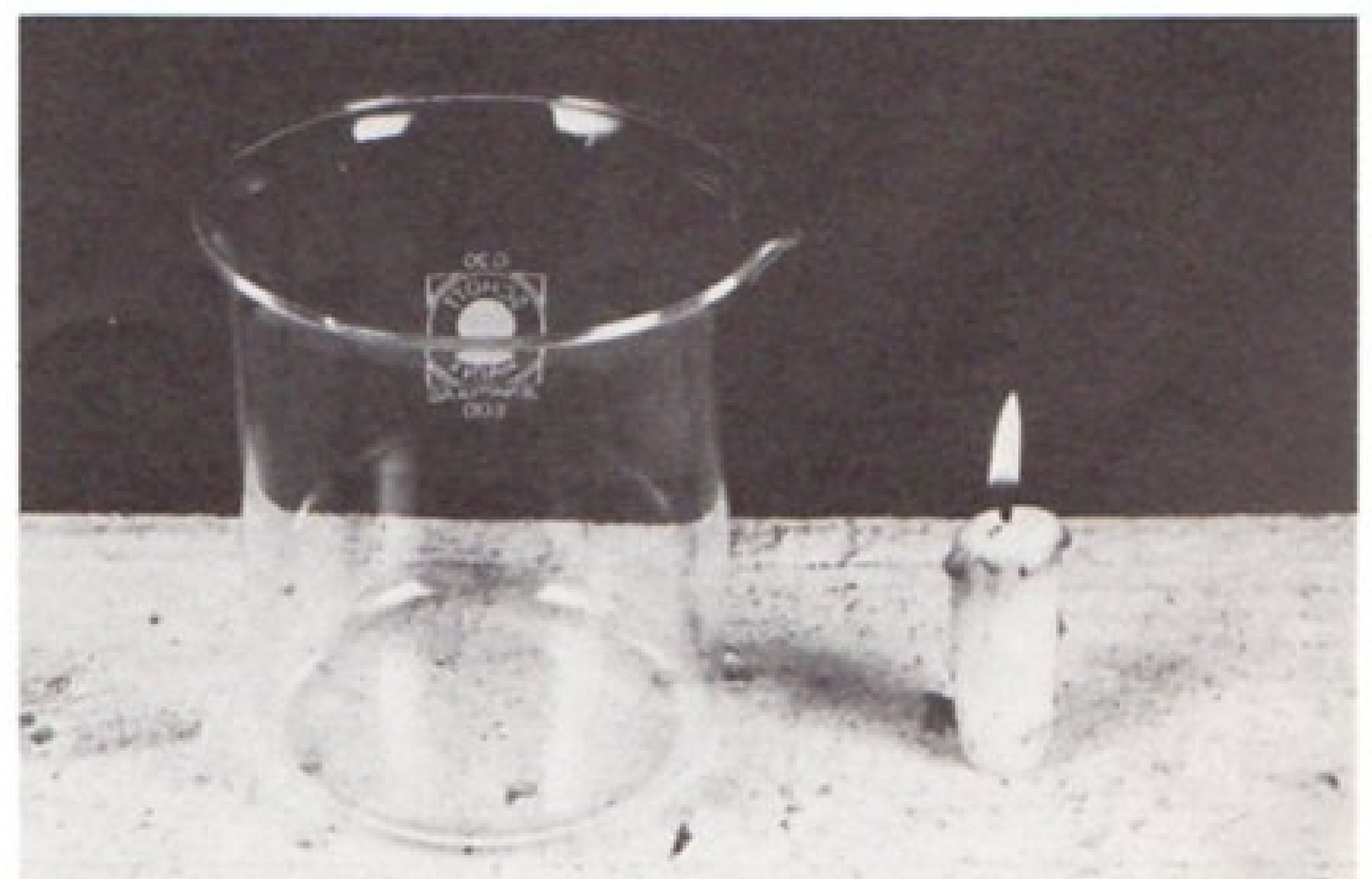


Abb. 1: Versuchsanordnung zur Anfangssituation

Einige Äußerungen der Schüler: Die Kerze brennt ruhiger, sie flackert nicht so stark. Sie brennt weiter. Das Glas wird heiß. Das Glas geht kaputt, es springt. Die Kerze erlischt. Ein Schüler meinte: Das weiß ich nicht! Wir können das ja ausprobieren, dann werden wir sehen, was geschieht! – Diesem Vorschlag wurde zugestimmt.

Der Lehrer hatte zuvor schon kleine Kerzen auf kleinen Brettchen vorbereitet und vier brennende Kerzen an verschiedenen Stellen im Klassenzimmer aufgestellt. An diesen Kerzen konnten die Schüler ihre Kerzen entzünden. Dies erwies sich auch für die späteren Versuche günstig. Die Schüler brauchten so weder mit Streichhölzern noch mit einem Feuerzeug zu hantieren. *Der Arbeitsauftrag lautete:* Probiert bitte! Stülpt das Glas über die brennende Kerze und beobachtet! (Abb. 2a und b) Nach wenigen Minuten war der Arbeitsauftrag ausgeführt, waren die Kerzen erloschen. Die Beobachtungen wurden zusammengestellt:

„Das Glas wird rußig. Die Kerze erlischt. Die Flamme geht bald aus. Das Glas beschlägt (wie beim Anhauchen). Der Docht raucht noch ein bißchen weiter. Unsere Kerze hat am längsten ge-



Abb. 2a: Die Kerze brennt zunächst weiter, wenn sie durch ein Glas abgedeckt ist.



Abb. 2b: Nach kurzer Zeit ist die Kerze erloschen.

brannt. Diese Kerze ging zuerst aus. Diese Kerze hat fast genau so lange gebrannt wie die da“.

Die Schüler waren sich einig, daß alle Kerzen ausgingen. Dies zeigte auch unmittelbar die Beobachtung. Den Äußerungen über die Brenndauer wurde jedoch zum Teil heftig widersprochen: „Das stimmt nicht, ihr habt das ja gar nicht sehen können, wir waren viel näher dran, eure Kerze ging zuerst aus.“

Diese Widersprüche waren der Anlaß für die weitere Maßnahme des Lehrers: „Die Kerzen sind nach kurzer Zeit ausgegangen (erloschen). Habt ihr darauf geachtet, wie lange es gedauert hat? Was meint ihr?“

Da die Schüler offensichtlich nicht darauf geachtet hatten, nannten einige einfach Zahlen wie z. B. 5 Minuten oder 10 Minuten, andere meinten gar 10 Sekunden. Die lebhafteste Diskussion wurde unterbrochen durch den Hinweis, daß wohl niemand richtig darauf geachtet habe, wie lange die Kerze unter dem Glas brannte. Es ergab sich die Notwendigkeit einer Wiederholung des Versuchs.

Arbeitsauftrag: „Stülpt nacheinander die verschiedenen Gläser über die brennende Kerze. Stoppt die Zeit von dem Augenblick, wenn ihr das Glas über die Kerze deckt, bis die Kerze erlischt.“

Als Hilfe für die selbständige Durchführung wurde der Versuch zunächst gemeinsam „geprobt“: „Wenn ich das Glas über die Kerze decke, drückt ihr auf die Stoppuhr, Wenn die Kerze erlischt, drückt ihr wieder“.


Dieses Üben der Versuchsdurchführung erwies sich als sehr notwendig. Einige Schüler drückten auf den falschen Knopf, so daß die Stoppuhr überhaupt nicht lief, andere vergaßen vor lauter Spannung, wann die Kerze erlösche, das Anhalten der Stoppuhr. Obwohl die Schüler das Ablesen der Stoppuhr im Sportunterricht zuvor geübt hatten, wurden teilweise völlig falsche Werte abgelesen. So konnten die Schüler unmittelbar erleben, wie wichtig die genaue Durchführung ist. Der Vorversuch wurde deshalb noch einmal wiederholt.

An dieser Stelle wurden die Schüler über die „Brenndauer“ informiert: Die Zeit von dem Augenblick, wenn das Glas über die Kerze gestülpt wird, bis die Flamme erlischt, nennt man Brenndauer.

Der Arbeitsauftrag wurde wiederholt und präzisiert: „Führt jetzt bitte den Versuch durch. Jede Gruppe erhält vier verschiedene Gläser. Stülpt sie nacheinander über die brennende Kerze. Beobachtet, was geschieht. Stoppt die Brenndauer und notiert sie (Abb. 3). Versucht, die Meßwerte zu deuten.“

Während der Durchführung der Versuche half der Lehrer in den einzelnen Gruppen; der genaue Zeitpunkt zum Starten der Uhr und zum Anhalten

Wir messen die Brenndauer



Wir stülpen die Gläser nacheinander über die brennende Kerze und messen die Brenndauer

<i>Glas</i>	<i>Brenndauer</i>
<i>150 ml</i>	
<i>250 ml</i>	
<i>600 ml</i>	
<i>1000 ml</i>	

Abb. 3: Tafeltext zur Durchführung des Versuches

mußten nochmals geklärt werden. Hilfe war immer noch beim Ablesen der Zeit notwendig. In jeder Gruppe sollten deshalb alle unabhängig von den andern die Stoppuhr ablesen, sich die Zeit notieren und dann vergleichen. Falls sich Unterschiede zeigten, sollte die Uhr dem Lehrer gezeigt werden, bevor sie zurückgestellt wurde.

Nachdem die Versuche beendet waren, bat der Lehrer, die Gläser wegzuräumen, Kerzen und Stoppuhren wegzulegen.

Diskussion der Beobachtung, der Meßwerte

Die Schüler wurden aufgefordert, über die Versuchsdurchführung, über ihre Beobachtungen und Feststellungen zu berichten.

Beispiel: „Wir haben die brennende Kerze mitten auf den Tisch gestellt und sie dann mit dem großen Glas (1000 ml) abgedeckt. Nach kurzer Zeit ist die Kerze ausgegangen. Nach unserer Stoppuhr hat das 25,6 Sekunden gedauert.“ Die Schüler der anderen Gruppen berichteten ähnlich. Der Lehrer hielt die Aussagen der Schüler an der Tafel in einer Übersicht fest.

Aus diesen Feststellungen ergab sich unmittelbar:

1. Die Kerze erlischt immer, wenn sie durch ein Glas abgedeckt wird.
2. Die Kerzen brennen unterschiedlich lange (die Brenndauer ist verschieden).
3. Unter dem großen Glas brennt die Kerze länger als unter dem kleinen; das stimmt aber nicht immer. Hier kamen spontane Einwände: Die haben es nicht richtig (gemeint war: sorgfältig) gemacht! Die können ja nicht stoppen! Unsere Zahlen stimmen, wir

haben es ganz genau gemacht. Diese (jene) Kerze ist größer, usw.

Ursprünglich wollte der Lehrer an dieser Stelle durch Versuche nachweisen, daß durch die brennende Kerze „ein Teil der Luft verbraucht wird“ (vgl. Teil 2 der Unterrichtseinheit, Seite 13). Die Meinungen und Gegenmeinungen der Schüler veranlaßten ihn jedoch, den geplanten Unterricht umzustellen und den hier offenliegenden Problemen und damit auch den Fragen der Schüler nachzugehen. Daraus resultierte der weitere Unterrichtsverlauf.

2.2 Problemformulierung/Aufstellen und Sammeln von Vermutungen

Die oben angedeutete Diskussion regte der Lehrer nun noch mit den Fragen an: „Woran kann es liegen, daß die Brenndauer so verschieden ist? Wovon hängt die Brenndauer vermutlich ab?“

Folgende Meinungen wurden geäußert und an der Tafel festgehalten:

Woran kann es liegen, daß die Brenndauer so verschieden ist?

Vermutungen:

1. *Größe des Glases:* Deckt man die brennende Kerze mit einem großen Glas ab, so brennt sie vermutlich länger. Unter einem kleinen Glas wird die Kerze vermutlich schneller ausgehen.
2. *Größe der Kerze:* Wenn unter dem Glas eine kleine Kerze steht, brennt sie vielleicht länger als eine große Kerze.
3. *Abdichtung zwischen Glas und Tisch:* Wenn das Glas gut abgedichtet auf dem Tisch steht, wird die Kerze vielleicht schneller erlöschen. Vielleicht nützt das Abdichten gar nichts.
4. *Größe der Flamme:* Die Kerze, die mit kleiner Flamme brennt, brennt vielleicht länger als die Kerze, die mit großer Flamme brennt.
5. *Weite des Glases:* Im engen, langen Glas brennt die Kerze vielleicht länger als im niedrigen, weiten Glas.
6. *Verbrauchte Luft – frische Luft im Glas:* Wenn die Luft im Glas frisch ist, brennt die Kerze länger; ist die Luft verbraucht, geht die Kerze vielleicht schneller aus.

Zum Teil wurden diese Vermutungen spontan von den Kindern geäußert, wobei der Lehrer darum bat, nicht nur ein Stichwort (z. B. Größe der Kerze), sondern eine konkrete Vermutung (die kleine Kerze brennt vielleicht länger als die große) zu äußern. Die Schüler waren sich bewußt, daß sie hier nur Vermutungen aussprachen. Dies zeigte sich an der wie-

*Wie viele Sekunden
brennt die Kerze
unter dem Glas?*

Brenndauer

<i>Glas</i>	<i>1. Gr.</i>	<i>2. Gr.</i>	<i>3. Gr.</i>	<i>4. Gr.</i>	<i>5. Gr.</i>	<i>6. Gr.</i>	<i>4. Gr.</i>
<i>150 ml</i>	<i>4,2</i>	<i>2,2</i>	<i>1,6</i>	<i>3,2</i>	<i>8,1</i>	<i>6,0</i>	<i>5,4</i>
<i>250 ml</i>	<i>10,2</i>	<i>5,8</i>	<i>8,8</i>	<i>12</i>	<i>7,0</i>	<i>6,0</i>	<i>13,4</i>
<i>600 ml</i>	<i>18,6</i>	<i>17,4</i>	<i>13,4</i>	<i>26</i>	<i>17,4</i>	<i>25,0</i>	<i>26,6</i>
<i>1000 ml</i>	<i>27,6</i>	<i>25,6</i>	<i>21,7</i>	<i>40</i>	<i>28,8</i>	<i>40,5</i>	<i>42</i>

Abb. 4: Die Meßwerte der einzelnen Gruppen sind nach Gruppen und Gläsern geordnet.

derholten Verwendung des Wortes „vielleicht“. Häufig machten sie auch den Zusatz „oder umgekehrt“. Sie meinten damit, es könne auch das Gegenteil eintreten, sie wüßten es jedenfalls nicht genau.

Als günstig erwies sich die Veränderung der ersten Tafelanschrift. Durch Ordnung wurden die Meßwerte der einzelnen Gruppen überschaubarer (Abb. 4). Anhand dieser neu geordneten Tabelle wurde deutlich: Die Brenndauer hängt von der Größe des Glases ab. Beim Vergleich der Meßwerte innerhalb jeder Gruppe läßt sich unmittelbar ablesen: In jedem Fall (bei jeder Gruppe) nimmt die Brenndauer mit der Größe des Glases zu. So wurde die erste Vermutung schon fast zur Gewißheit.

Als Hilfe für die Vermutungen erwies sich auch das vorhandene Material. Die Schüler wären vermutlich nicht auf den Gedanken gekommen, die Weite des Glases anzusprechen, wenn sie nicht die verschiedenen Gläser gesehen hätten. So genügte hier der Hinweis, einmal die Gläser in den verschiedenen Gruppen zu vergleichen. Bei der „Größe der Kerze“ waren die Meinungen zunächst verschieden. Die Schüler unterschieden nicht zwischen „große (dicke) Kerze“ und „Größe der Flamme“. Hier mußte durch einen kleinen Versuch erst aufgezeigt werden, daß eine große (dicke) Kerze nicht immer mit einer großen Flamme brennt. Es ist durchaus möglich, daß eine kleine Kerze mit einer größeren Flamme brennt, wenn der Docht entsprechend groß ist (Abb. 5). Auf die Vermutung mit „frischer“ und „verbrauchter Luft“ kamen die Schüler durch eine Wiederholung der Versuche im Arbeitsauftrag (vgl. Abb. 3). In zwei Gruppen gab es Widerspruch beim Stoppen der Brenndauer. Schüler aus diesen Gruppen waren der Meinung, daß die Brenndauer nicht richtig gestoppt wurde. Bei mehrfacher Wiederholung stellten die Schüler immer wieder andere Zeiten für die Brenndauer fest. Zweimal erlosch die

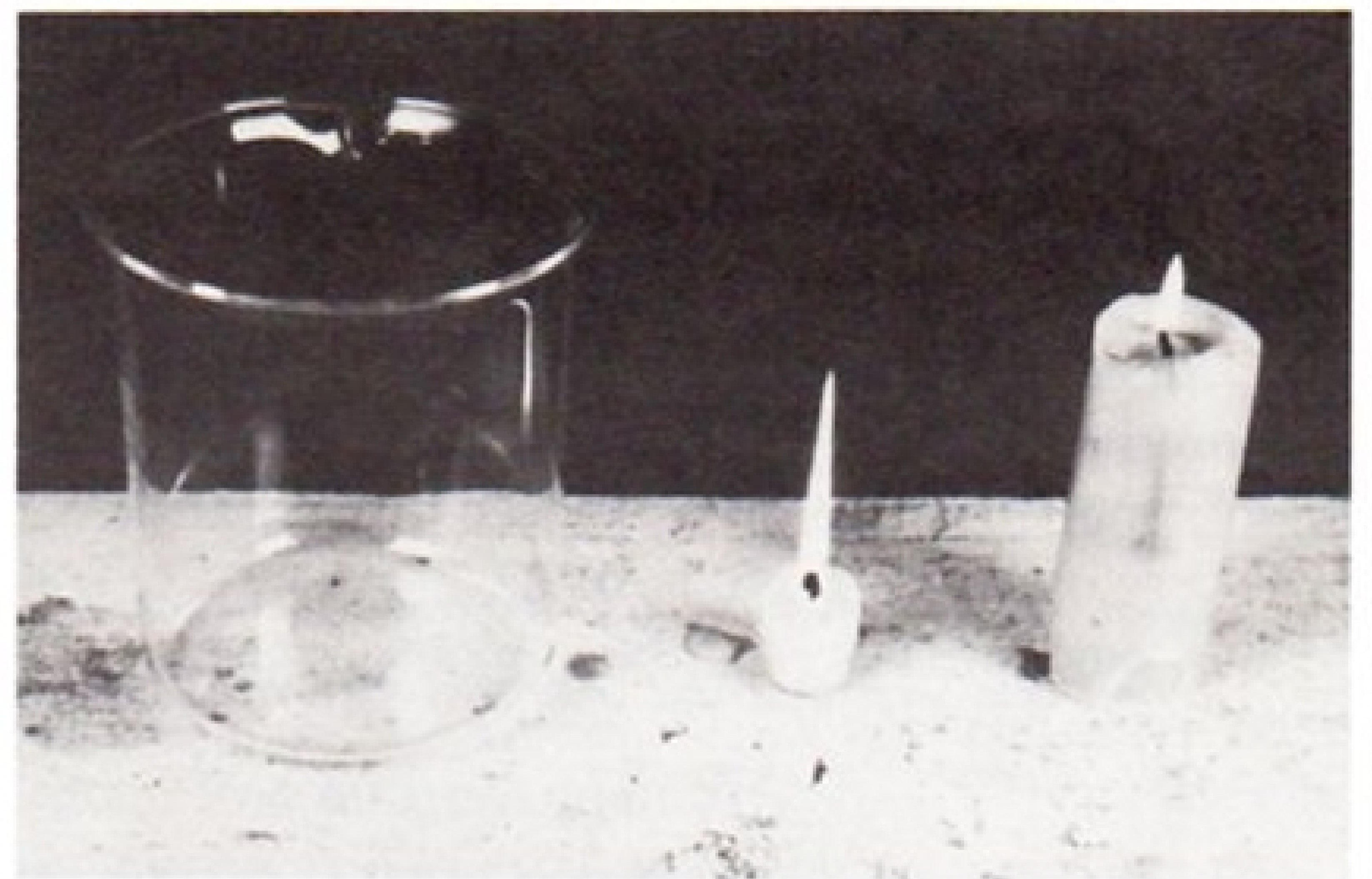


Abb. 5: Die kleine Kerze brennt mit großer Flamme, die große Kerze brennt mit kleiner Flamme.

brennende Kerze fast augenblicklich. Die Schüler stellten fest: „Da ist ja noch Rauch drin. Der Rauch erstickt die Kerze.“ „Das Glas ist nicht frisch.“ „Der Rauch müßte erst heraus.“ „Man darf das Glas nicht so herum aufstellen (d. h. mit der Öffnung nach unten).“ „Das Glas muß ein Weilchen so aufgestellt sein (Öffnung nach oben), dann kann der Rauch heraus. Dann brennt die Kerze besser, wenn man das Glas wieder über die Kerze deckt.“

Sollten die Schüler diese Vermutung nicht ansprechen, so ist es notwendig, sie durch einen Versuch auf dies Phänomen aufmerksam zu machen. Es würde die weiter unten folgenden Untersuchungen erheblich stören, ja unmöglich machen, wenn die Schüler nicht erfahren, daß sie bei ihren Versuchen immer auf „frische Luft“ im Glas achten müssen. Als Hilfe dient hier ein Versuch (vgl. Abb. 1, 2): Die Kerze wird mit dem Glas abgedeckt, die Brenndauer festgestellt; das Glas wird weggenommen (Öffnung nach unten), die Kerze erneut angezündet, die Kerze sofort wieder mit dem gleichen Glas abgedeckt. Dies läßt sich leicht mehrmals wiederholen.

2.3 Überprüfen der Vermutungen – Planen der Versuche

Dies war der für die Schüler schwierigste Teil des Unterrichts. Während sie beim ersten Teil (Problemfindung) und beim Sammeln der Vermutungen ausgesprochen eifrig und spontan mitarbeiteten, erforderte dieser Teil eine relativ starke Steuerung durch den Lehrer. Dies lag vermutlich daran, daß die Schüler selbst formulieren und beschreiben sollten, wie die Versuche durchgeführt werden müßten und worauf man zu achten habe. Dies ist jedoch relativ schwierig. Es hat zur Voraussetzung, daß die Schüler erfaßt haben: Nur der Faktor (z. B. Größe der Flamme) darf und muß variiert werden, dessen Einfluß untersucht werden soll. Alle anderen Fakto-

ren sind konstant zu halten. Da die Schüler dies zunächst noch nicht selbständig leisten können, wurde der Ablauf für das erste Experiment gemeinsam erarbeitet. Häufig fehlte den Schülern auch die Fantasie, z. B. die entsprechenden Versuchsmaterialien so auszuwählen und vorzuschlagen, daß die einzuhaltenden Bedingungen auch tatsächlich erfüllt waren.

„Wir haben nun unsere Meinungen (vgl. Liste der Vermutungen) zusammengestellt. Unsere Aufgabe wird es nun sein, diese Vermutungen zu überprüfen. Wir müssen also herausfinden, ob unsere Vermutungen durch Versuche bestätigt werden. Es kann auch sein, daß wir falsch vermutet haben. Dazu müssen wir die Versuche sorgfältig vorbereiten. Wir sollten das am Beispiel der Vermutung ‚Größe der Flamme‘ einmal zusammen überlegen: Wie können wir durch einen Versuch herausfinden, ob eine Kerze mit kleiner Flamme unter dem Glas länger brennt als eine Kerze mit großer Flamme?“

Wir brauchen für die Versuche etwa drei gleiche Kerzen: gleich groß, gleich dick; außerdem drei gleiche Gläser (immer mit frischer Luft). Wie erreichen wir, daß die Kerzenflammen verschieden sind? Der Docht der Kerze soll verschieden sein! Wie ein Vorversuch zeigte, brennt eine Kerze mit großem Docht mit großer Flamme, eine gleiche Kerze mit kleinem Docht mit kleiner Flamme (Abb. 6).

In der Versuchsreihe müssen wir *verändern*:

(Gleiche) Kerzen mit verschiedenem Docht, dadurch erhalten wir verschieden große Kerzenflammen.

Gleich bleiben muß: Größe des Glases, Größe der Kerze, Weite des Glases, Abdichtung zwischen Tisch und Glas, immer frische Luft im Glas.

Dies sind die Bedingungen für diesen Versuch! Die müssen wir einhalten. Nur dann können wir entscheiden, ob die Brenndauer von der Größe der Kerzenflamme abhängt.

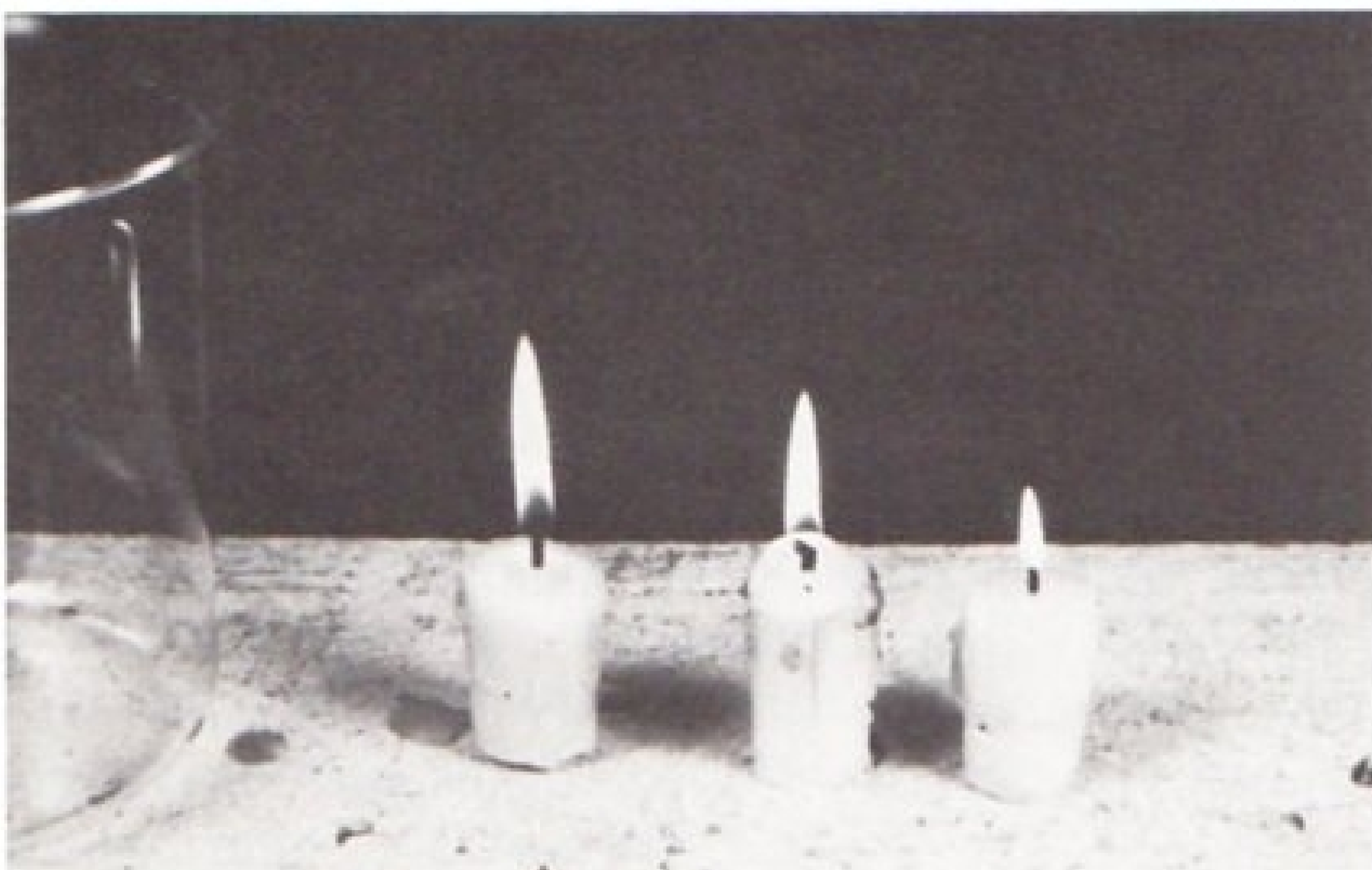


Abb. 6: Drei gleiche Kerzen mit verschieden großen Flammen

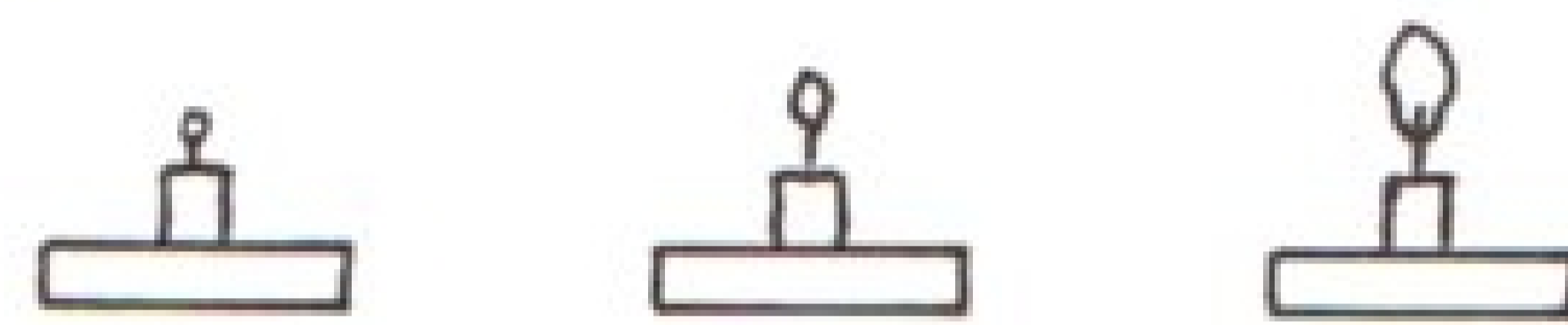
Vermutung: Die Kerze, die mit kleiner Flamme brennt, brennt vielleicht länger als die Kerze, die mit großer Flamme brennt.

Wie können wir herausfinden, ob diese Vermutung richtig ist?

Versuchsplanung:

Bedingung: Versuchsreihe (3 Versuche)

*eine Kerze mit kleiner Flamme
eine Kerze mit mittlerer Flamme
eine Kerze mit großer Flamme*



Wie können wir das verwirklichen?

durch 3 gleiche Kerzen:

*eine mit kurzem Docht - kleine Flamme
eine mit mittlerem Docht - mittlere Flamme
eine mit langem Docht - große Flamme*

Gleich bleiben muß:

- das Glas (Größe, Weite)
- immer frische Luft im Glas
- Größe der Kerze
- Abdichtung zwischen Glas und Tisch

Abb. 7: Versuchsplanung zur Überprüfung der Vermutung

Es wurden nun noch Beispiele durchgedacht: Wenn wir „aus Versehen“ ein Glas mit „verbrauchter Luft“ verwenden, . . . Wenn wir „aus Versehen“ ein kleines Glas verwenden würden, . . .

Dieses Einüben in die zu beachtenden Bedingungen erwies sich im folgenden Unterricht als sehr nützlich. Bei den späteren Versuchen zeigte sich, daß die Schüler allmählich mit dem Gedankengang vertraut wurden. Diesen unterstützte der dabei erarbeitete Tafeltext (Abb. 7).

2.4 Durchführen des Versuches

Arbeitsauftrag: Sucht aus dem vorhandenen Versuchsmaterial das heraus, was ihr für euren Versuch braucht. Überprüft, ob es den Bedingungen entspricht! Führt dann den Versuch genau durch. Beobachtet und haltet die Beobachtungen fest! Die Schüler erhielten nun Gelegenheit, die Überlegungen in Tätigkeit umzusetzen. Dies war gleichzeitig eine Kontrolle, ob und wie weit die Schüler den Gedankengang erfaßt hatten. Dabei zeigte sich, daß sie die Bedingungen sehr wörtlich nahmen: In den Vorversuchen hatten wir Bechergläser 600 ml verwendet: Jetzt suchten alle nach Gläsern dieser

Größe. Sie waren nur schwer davon zu überzeugen, daß die Bedingung auch eingehalten ist, wenn in einer Gruppe immer das gleiche Glas (oder lauter gleiche) verwendet wird, in anderen Gruppen aber ein anderes. Weil die Einhaltung der Bedingungen entscheidend für die Auswertung ist, war es notwendig, die von den Schülern ausgewählten Versuchsmaterialien zu kontrollieren: Alle Schüler versammelten sich um das Material einer Gruppe, die Gruppe erläuterte, die andern äußerten sich dazu und überzeugten sich so durch Wiederholung gegenseitig.

Die Versuchsdurchführung in den einzelnen Gruppen verlief ohne Schwierigkeit. Die Schüler waren voller Eifer dabei, jetzt endlich gab es wieder etwas zu „tun“, jetzt konnten sie wieder handeln. Die Beobachtungen und Meßwerte der einzelnen Gruppen wurden an der Tafel gesammelt und gemeinsam erörtert (vgl. Tafelbild Abb. 8, Fortsetzung des Tafelbildes aus Abb. 7).

Die Schüler interpretierten die Beobachtungen und Meßwerte spontan und empfanden mit Befriedigung, daß ihre Vermutung bestätigt wurde. Die relativ großen Unterschiede in den einzelnen Gruppen wurden von ihnen damit gedeutet, daß – wie ein Vergleich zeigte – die Kerzen der einzelnen Gruppen untereinander nicht übereinstimmten. Ein Schüler meinte: Es ist nicht gelungen, die Kerzen, die eine kleine Flamme haben sollten, untereinander gleich zu machen.

2.5 Zusammenfassung – Analyse des Vorgehens/der Methode

Da ein wesentliches Ziel des Unterrichts darin bestand, den Schülern das methodische Vorgehen deutlich zu machen, wurde an dieser Stelle bereits das Vorgehen als Diagramm zusammengestellt: Wie sind wir vorgegangen, um diese Aussage machen zu können?

2.6 Überprüfen der andern Vermutungen

Nach dieser ausführlichen Vorbereitung wurde die Überprüfung der andern Vermutungen arbeitsteilig in den einzelnen Gruppen vorgenommen.

1. Gruppe: Größe der Kerze (vgl. 2. Vermutung)
2. Gruppe: Abdichtung zwischen Glas und Tisch (vgl. 3. Vermutung)
3. Gruppe: Weite des Glases (vgl. 5. Vermutung)
4. Gruppe: Verbrauchte – frische Luft (6. Vermutung)
5. Gruppe: Wie die 1. Gruppe (zum Vergleich)
6. Gruppe: Wie die 2. Gruppe (zum Vergleich)

Beobachtung / Meßwerte

Flamme	Brenndauer - Größe der Flamme Sekunden					
	1. Gr.	2. Gr.	3. Gr.	4. Gr.	5. Gr.	6. Gr.
kleine Fl.	41	30	34	21	63	29
mittlere	32	26	25	17	26	23
große Fl.	19	15	10	12	18	12

Schlußfolgerung:

Unsere Beobachtungen zeigen, daß eine Kerze mit kleiner Flamme unter dem Glas tatsächlich länger brennt als eine Kerze mit großer Flamme.

Unsere Vermutung wurde durch die Beobachtung bestätigt.

Abb. 8: Meßwerte und Schlußfolgerung

Arbeitsauftrag

„Durch Versuche sollt ihr herausfinden, ob die Vermutung richtig oder falsch ist:

Vermutung:

Beachtet dabei die folgenden Punkte:

Planen des Versuchs:

- Was wird verändert?
- Welches Versuchsmaterial?

Durchführen des Versuchs

Beobachten und Notieren der Meßwerte

Deuten der Meßwerte:

- Vergleich der Vermutung mit dem Versuch
- Was könnt ihr aus den Beobachtungen/den Meßwerten schließen?

Schwierigkeiten ergaben sich hauptsächlich bei der Materialauswahl: Die Schüler fanden manchmal keine Möglichkeit, die veränderlichen Größen so zu variieren, daß die andern dennoch konstant gehalten wurden. Der Lehrer mußte deshalb häufig Vorschläge machen, wie das Versuchsmaterial dem Versuch und der Fragestellung gemäß ausgewählt werden konnte. Auch bei Einzelfragen mußte geholfen werden: So wollte eine Gruppe den Versuch wiederholen, hatte aber keine „frischen Gläser“ mehr. Der Lehrer zeigte, wie durch Auffüllen mit Wasser die verbrauchte Luft aus dem Glas verdrängt wird und nach dem Ausgießen frische Luft einströmen kann.

Mitteilung der Ergebnisse aus den einzelnen Gruppen

In der Art eines Kurzreferates berichteten die Schüler über ihr Vorgehen, ihre Überlegungen, ihren

Versuch und gaben eine erste Antwort auf die Frage: War die Vermutung richtig oder falsch? Da alles Material unmittelbar vorhanden war, beschränkten sich die Schüler häufig auf die Aussage: „Das haben wir so gemacht“ und demonstrierten ihre Überlegungen durch Vorzeigen der Versuchsanordnung.

Bericht der ersten Gruppe:

Vermutung: Wenn eine kleine Kerze unter dem Glas steht, brennt sie vermutlich länger als eine große Kerze.

Versuchsmaterial: Drei Kerzen unterschiedlicher Größe. Die Dochte wurden so zugeschnitten, daß die Flammen etwa gleich groß waren. Verändert wurde also nur die Größe (das Volumen) der Kerze (Versuchsanordnung vgl. Abb. 9).

Die Schüler berichteten stolz, daß sie ganz ohne Stoppuhr ihren Versuch durchgeführt haben. Allein durch den Augenschein kann man feststellen, daß die Vermutung richtig war. Diese Gruppe versuchte auch bereits eine Deutung: „Wenn die große Kerze unter dem Glas steht, ist weniger Luft drin!“

Bericht der zweiten Gruppe:

Vermutung: Wenn das Glas gut abgedichtet auf dem Tisch steht, wird die Kerze vielleicht schneller erlöschen.

Diese Gruppe hatte zunächst erhebliche Schwierigkeiten. Wie sollte die Abdichtung verändert werden? Die Abdichtung sollte ja nicht nur ein bißchen, sondern möglichst stark verändert werden. Dennoch sollte *nur* die Abdichtung geändert werden. Hier mußte der Lehrer helfen: Zur Abdichtung konnte einmal Plastilin verwendet werden, auch kann man die Kerze auf einen Teller stellen und vorsichtig etwas Wasser darauf geben (vgl. Abb. 10). Um deutlich zu machen, ob die Abdichtung wirklich wichtig für die Brenndauer ist, wurden im Gegenversuch Kerze und Glas auf kleine Klötzchen gestellt, oder mit Stativmaterial angehoben, so daß das Glas unten nicht abgedichtet war (Abb. 11). Ohne ausdrückliche Besprechung zeigte der Augenschein, daß die anderen Bedingungen eingehalten waren.

Beobachtung/Meßwerte

Die Schüler dieser Gruppe versuchten, auf das Messen der Zeit mit der Stoppuhr zu verzichten. Sie suchten lange nach zwei gleichen Kerzen. Dann deckten sie gleichzeitig gleiche Gläser über die beiden brennenden Kerzen. Der Augenschein zeigte, daß beide Kerzen (fast) gleichzeitig erloschen. Die Wiederholung mit „frischen“ Gläsern und vertauschten Kerzen zeigte: Wieder erloschen die



Abb. 9: Benötigt wurden drei verschieden große Kerzen mit gleicher Flamme.

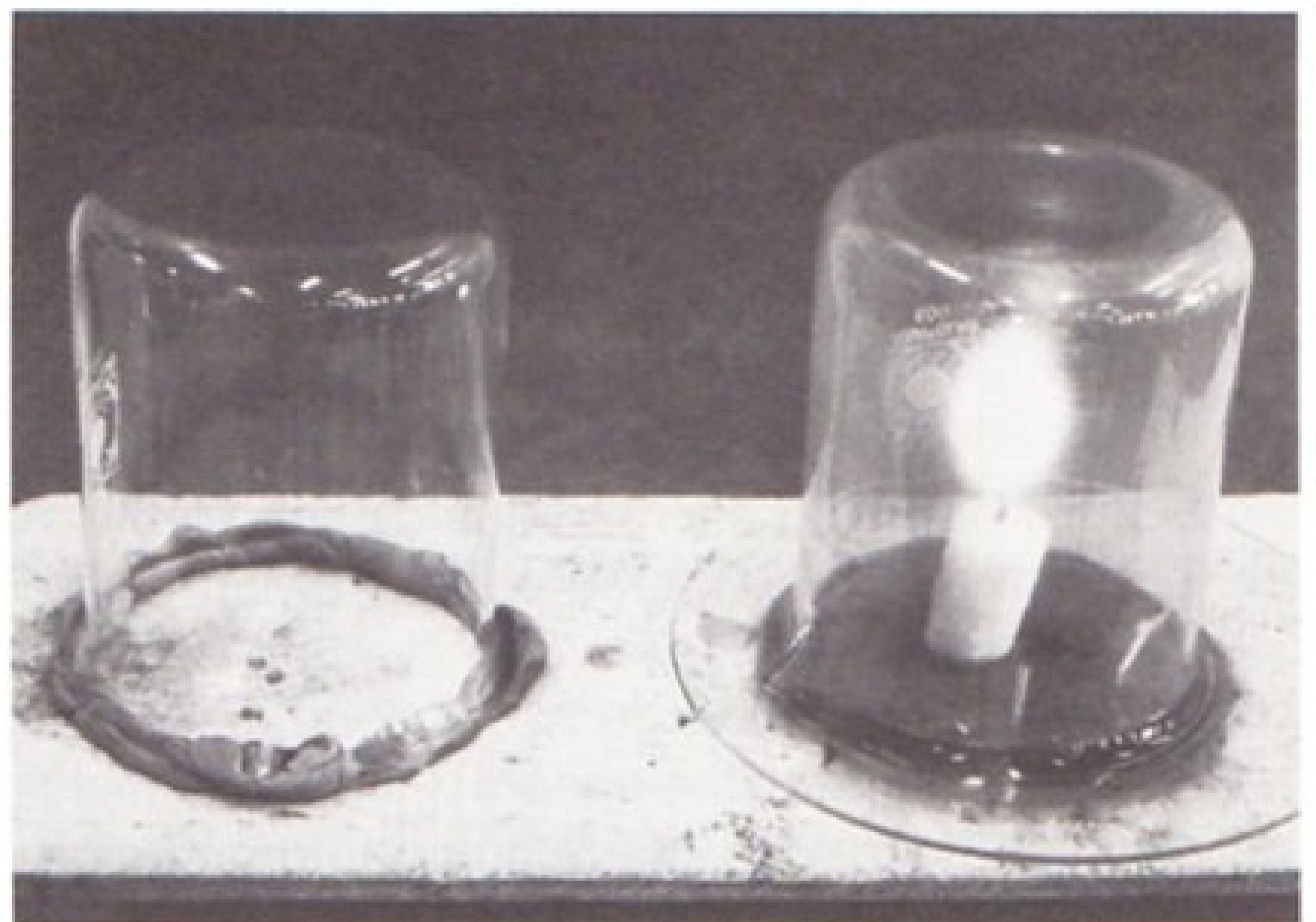


Abb. 10: Zwischen Tisch und Glas soll abgedichtet werden, damit keine „neue“ Luft einströmen kann (links mit Plastilin, rechts mit Wasser auf einer flachen Schale).

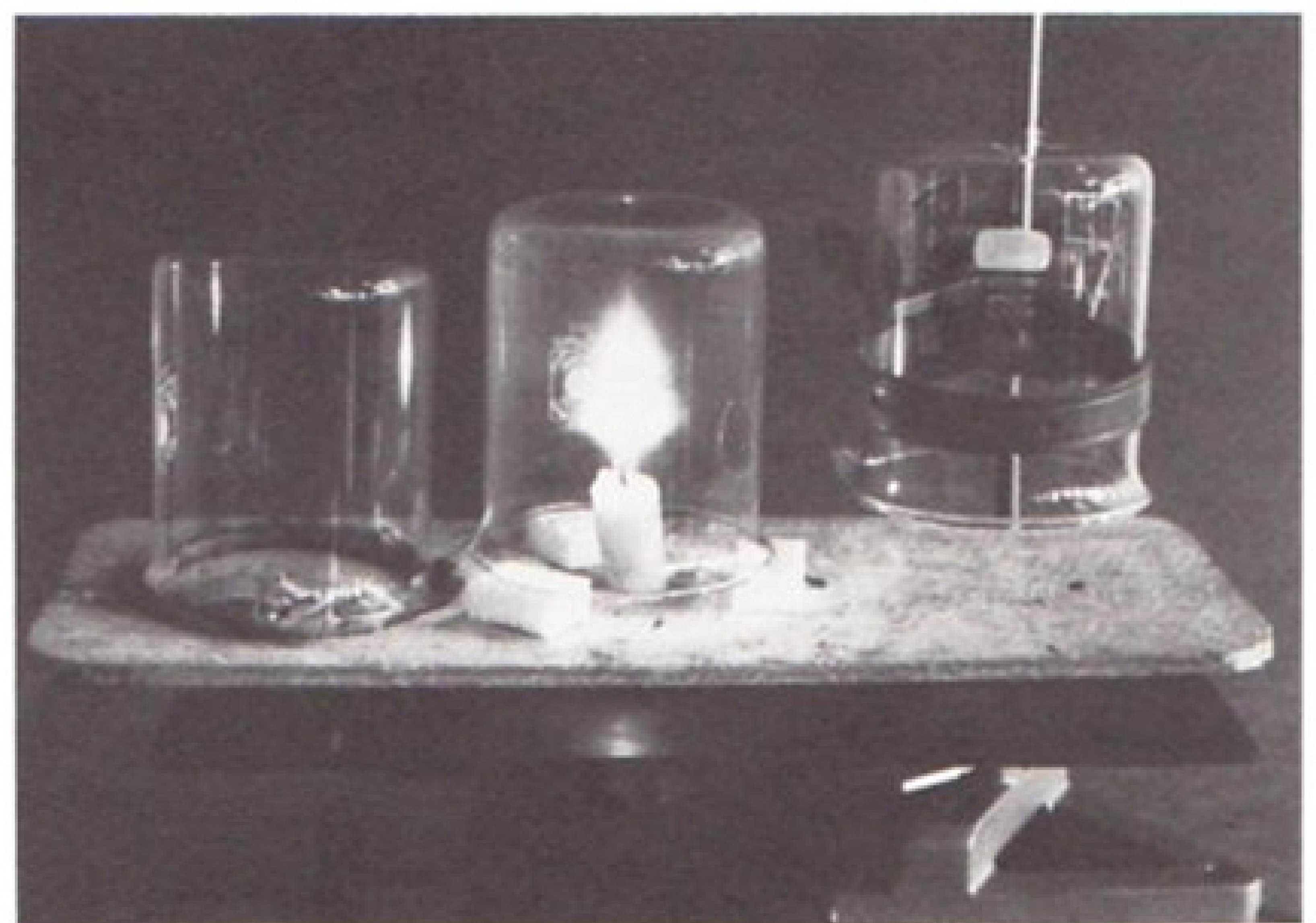


Abb. 11: So kann die Abdichtung verändert werden: Links mit Plastilin gut abgedichtet. Das Glas in der Mitte steht auf kleinen Klötzchen, rechts ist das Glas mit Hilfe von Stativmaterial etwas angehoben (nicht abgedichtet).

Kerzen fast gleichzeitig. Die Schüler berichteten, daß sie dieses mehrmals so festgestellt hätten. Sie entschieden wie folgt: Aus unserem Versuch kann man nicht feststellen, ob die Abdichtung für die Brenndauer wichtig ist. Die Wiederholung nach Abb. 11 zeigte dann eindeutig, daß die Kerze länger brennt, wenn das Glas erhöht aufgestellt, also nicht abgedichtet ist.

Bericht der dritten Gruppe:

Vermutung: Im engen, hohen Glas brennt die Kerze vielleicht länger als im niedrigen weiten Glas.

Als *Versuchsmaterial* standen enge, hohe Standzylinder (1) und niedrige, weite Bechergläser (2) zur Verfügung.

Beobachtung/Meßwerte

Glas	(1)	(2)
Brenndauer (Sekunden)	24,4 26,6 21,8	25,6 17,8 26,2 23,6

Die Schüler deuteten dies so: Aus diesen Meßwerten läßt sich nichts Genaues ablesen. Man müßte den Versuch noch viel „genauer“ durchführen!

Kommentar: Diese Aussage ist für den Lernprozeß genau so wichtig, wie eine andere „richtige“ Aussage! Zeigt sie doch, daß die Schüler aufgrund eigenen Erlebens beim Durchführen von Versuchen eingesehen haben, daß man allgemeine Feststellungen nicht voreilig treffen kann.

Bericht der vierten Gruppe:

Vermutung: Wenn die Luft im Glas frisch ist, brennt die Kerze vielleicht länger.

Das *Versuchsmaterial* war sehr einfach auszuwählen: Es wurde immer die gleiche Kerze und immer das gleiche Glas verwendet. Damit waren selbstverständlich alle Bedingungen eingehalten. Sollte der Versuch mit „frischer Luft“ wiederholt werden, so wurde das Glas mit Wasser gefüllt, dadurch wurde die verbrauchte Luft verdrängt; beim Ausgießen des Wassers konnte frische Luft einströmen.

Beobachtungen/Meßwerte

(f.L.: frische Luft; v.L.: verbrauchte Luft)

im Glas	f.L.	v.L.
Brenndauer (Sekunden)	18 20,6 17,4	9,5 12 0 4,6

Die Schüler führten ihren Versuch vor, weil sie meinten, so ließe sich am besten berichten: Mit frischer Luft im Glas dauerte es zwischen 17 und 21 Sekunden, bis die Kerze erlosch. War die Luft „verbraucht“, so erlosch die Kerze nach wesentlich kürzerer Zeit. Wenn dann das Glas erneut über die brennende Kerze gestülpt wurde, erlosch die Kerze fast augenblicklich.

Versuchsablauf: Kerze angezündet – Glas mit frischer Luft darüber gestülpt – Brenndauer 20 Sekunden, Glas vorsichtig entfernt, mit Öffnung nach unten zur Seite gestellt (damit keine frische Luft einströmen konnte) – Kerze angezündet – Glas mit verbrauchter Luft darüber gestülpt – Brenndauer 9,6 Sekunden – Glas erneut vorsichtig mit Öffnung nach unten zur Seite gestellt – Kerze angezündet – Glas mit dieser verbrauchten Luft darübergestülpt – Kerze sofort erloschen. Dies sofortige Erlöschen ließ sich jetzt mehrmals vorführen. Man mußte nur darauf achten, daß das Glas vorsichtig bewegt wurde und keine „neue, frische“ Luft einströmen konnte.

Deutung des Versuches: Wenn in dem Glas verbrauchte Luft ist, erlischt die Kerze fast augenblicklich. Jedenfalls ist die Brenndauer erheblich kürzer als in frischer Luft.

2.7 Zusammenfassung/Auswertung der Versuche

Die aus der Beobachtung abgeleitete Frage war: Wovon hängt vermutlich die Brenndauer einer Kerze ab, über die man ein Glas deckt? Die Frage können wir jetzt beantworten.

Die Brenndauer hängt ab:

1. von der Größe des Glases: Im großen Glas brennt die Kerze länger als im kleinen Glas.
 2. von der Größe der Flamme: Wenn die Flamme der Kerze klein ist, brennt die Kerze länger; wenn die Flamme groß ist, brennt die Kerze dagegen nicht so lange.
 3. von der Luft im Glas, ob sie frisch oder verbraucht ist: Wenn die Luft verbraucht ist, brennt die Kerze nicht so lange, wenn sie „stark“ verbraucht ist, erlischt die Kerze fast sofort.
 4. von der Größe der Kerze: Wenn eine große Kerze in dem Glas brennt, erlischt sie schneller. Eine kleine Kerze (mit gleich großer Flamme) brennt dagegen länger. Wenn eine große Kerze unter dem Glas steht, ist auch nicht mehr so viel Luft drin.
- Diese Zusammenfassung kann sich, das ergibt sich aus den Lernzielen dieser Unterrichtseinheit, nicht nur auf die erarbeiteten Inhalte beziehen. Vielmehr

muß jetzt auch über das Vorgehen, wie man zu exakten Aussagen kommt, noch einmal nachgedacht werden.

2.8 Erklären der Feststellungen Zweiter Teil der Unterrichtseinheit

Die Kerzenflamme (Das Feuer) verbraucht einen Teil der Luft

Der zweite Teil dieser Unterrichtseinheit wird eingeleitet mit einer kurzen Wiederholung der inhaltlichen Feststellungen aus den vorangegangenen Untersuchungen.

„Wir haben jetzt gesehen, daß eine Kerzenflamme erlischt, wenn sie mit einem Glas abgedeckt wird. Wir haben festgestellt, daß die Brenndauer von der Größe des Glases und von der Größe der Kerzenflamme abhängt. Auch die Größe der Kerze ist zu beachten, wenn wir die Brenndauer untersuchen! Ganz wichtig für die Brenndauer ist die Feststellung, ob in dem Glas frische oder verbrauchte Luft enthalten ist. Wir haben jetzt noch nicht untersucht, was in dem Glas geschieht und was „frische“ von „verbrauchter“ Luft unterscheidet“.

Die Schüler hatten sich offensichtlich mit dieser Frage noch nicht beschäftigt. Nur zögernd kamen einige wenige Aussagen wie: „Die Flamme erstickt, da ist zuviel Rauch drin, der Platz (gemeint war das Volumen) ist zu klein, die ‚Hitze‘ kann nicht so gut weg.“ Dies waren jedoch nur Meinungen einiger weniger Schüler. Die meisten konnten hierzu nichts beitragen. Lediglich der Hinweis mit dem Rauch fand Zustimmung. Einige Schüler wußten dazu sofort etwas zu sagen: „Feuerwehrlente tragen manchmal Gasmasken, damit sie vor Rauch nicht ersticken. Im Fernsehen habe ich gesehen, wie Leute Taschentücher vor Mund und Nase gehalten haben, damit sie nicht ersticken. Die Taschentücher sollen naß sein, dann wirken sie besser. Wenn ‚Smog‘ herrscht, ist auch viel Rauch in der Luft. Es kommt dann keine frische Luft.“ Die Schüler machten hier auch nicht den Vorschlag, dies in einem Versuch zu untersuchen. Sie konnten sich keinen Versuch vorstellen, mit dessen Hilfe der Vorgang näher untersucht werden kann.

Der Lehrer stellte deshalb den Schülern die folgende Versuchsanordnung vor (Abb. 12): Eine kleine Kerze steht auf einem kleinen Stückchen Styropor. Sie wird angezündet und vorsichtig auf das Wasser gesetzt. So schwimmt jetzt die brennende Kerze auf dem Wasser. „Was wird geschehen, wenn ich sie mit dem Glas (Becherglas 600 ml) abdecke?“ Die

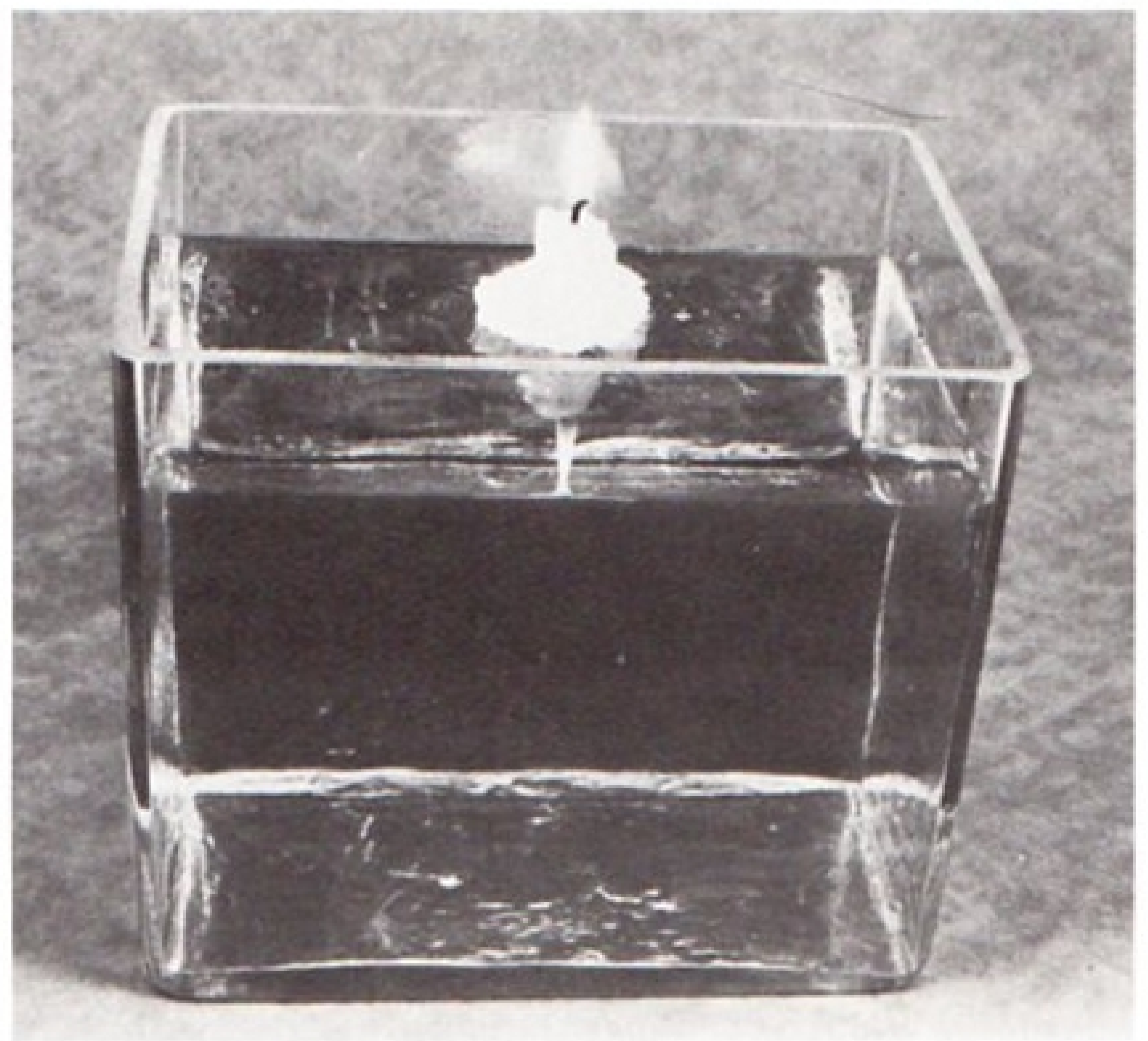


Abb. 12: Der Vorgang kann mit Hilfe der schwimmenden Kerze noch besser beobachtbar gemacht werden.

Schüler wußten sofort: „Sie wird erlöschen, sie wird nur noch höchstens 20 Sekunden brennen“. Der Lehrer hielt jetzt vorsichtig das Glas über die Kerze, so daß der Rand zwar ganz, aber nicht zu tief in das Wasser eintauchte. Der besseren Beobachtbarkeit wegen war das Wasser zuvor angefärbt worden. Beobachtung: „Die Kerze ist erloschen, das hat etwa 20 Sekunden gedauert.“

Den Schülern fiel nicht auf, daß der Wasserspiegel in dem Glas etwas gestiegen war. Selbst als der Lehrer die Schüler darauf aufmerksam machte, daß jetzt offensichtlich etwas Wasser in dem Glas ist, sagte dies den Schülern nichts. Der Lehrer wiederholte deshalb den Versuch mit einer kleinen Abänderung (Abb. 13a–c). Zur besseren Vergleichbarkeit von Ausgangsposition und Endzustand wurden zwei Kerzen auf Styropor auf das Wasser gesetzt, die Gläser mit Stativmaterial gehalten. Eine Kerze wurde nicht angezündet, sondern gleich mit dem Glas abgedeckt. Die zweite Kerze zündete der Lehrer an und deckte sie dann mit dem Glas ab. Jetzt stellten die Schüler fest: In dem ersten Glas geschieht nichts. Im zweiten Glas steigt der Wasserspiegel, die Kerze erlischt nach kurzer Zeit, das Wasser steigt etwa 1 bis 2 cm in dem Glas.

Jetzt war es wichtig, daß sich die Schüler erinnern. Zwei Schüler stellten dann auch fest: „In das Glas, in dem die Kerze brannte, ist etwas Wasser eingedrungen. Wasser kann aber nur eindringen, wenn die Luft entweicht. Wir haben aber keine Blasen gesehen!“ Damit allen Schülern dies deut-

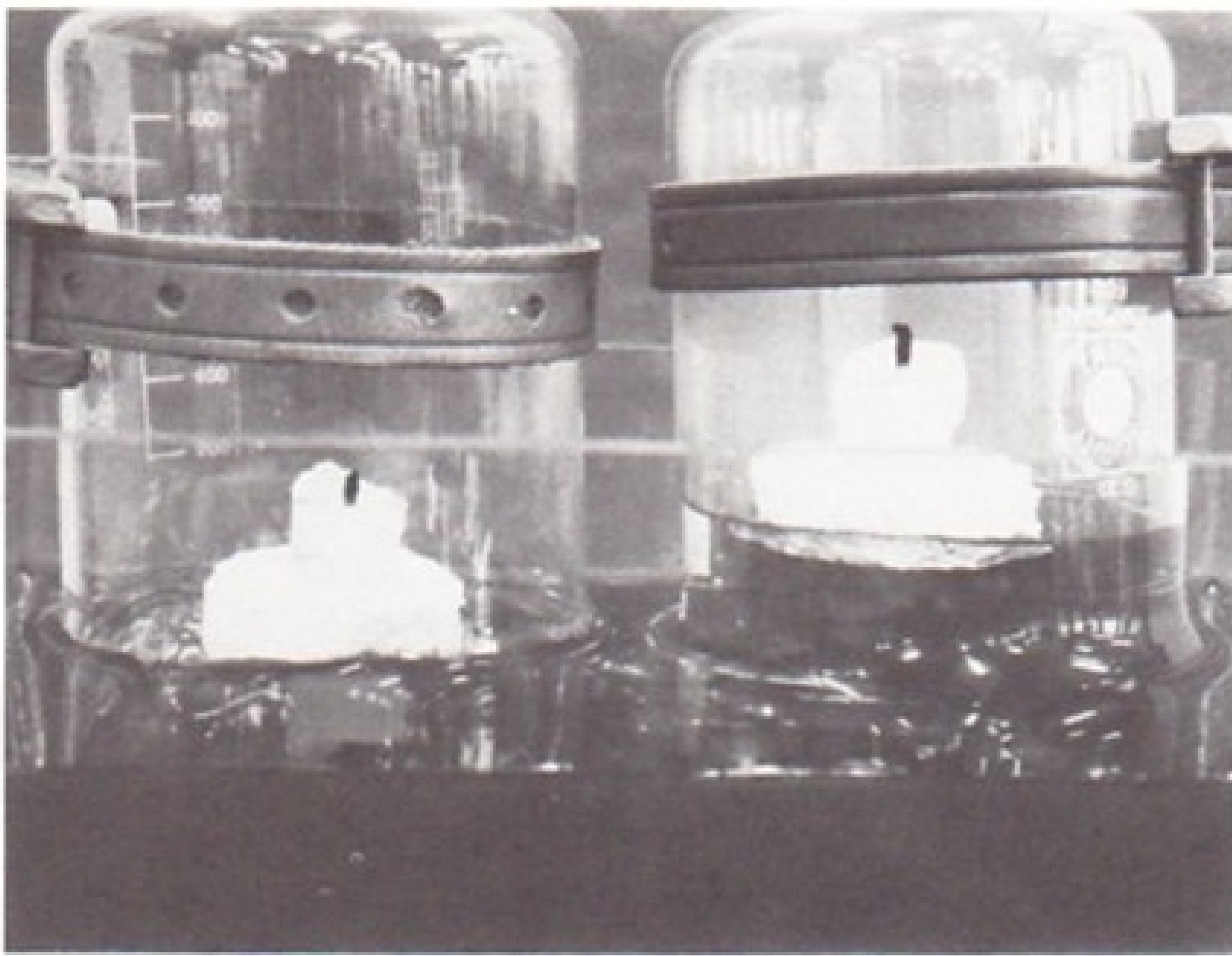


Abb. 13a: Die linke Kerze wurde nicht angezündet, nur die rechte brannte zunächst. Nach kurzer Zeit erlosch die rechte Kerze, der Wasserspiegel stieg etwas hoch.

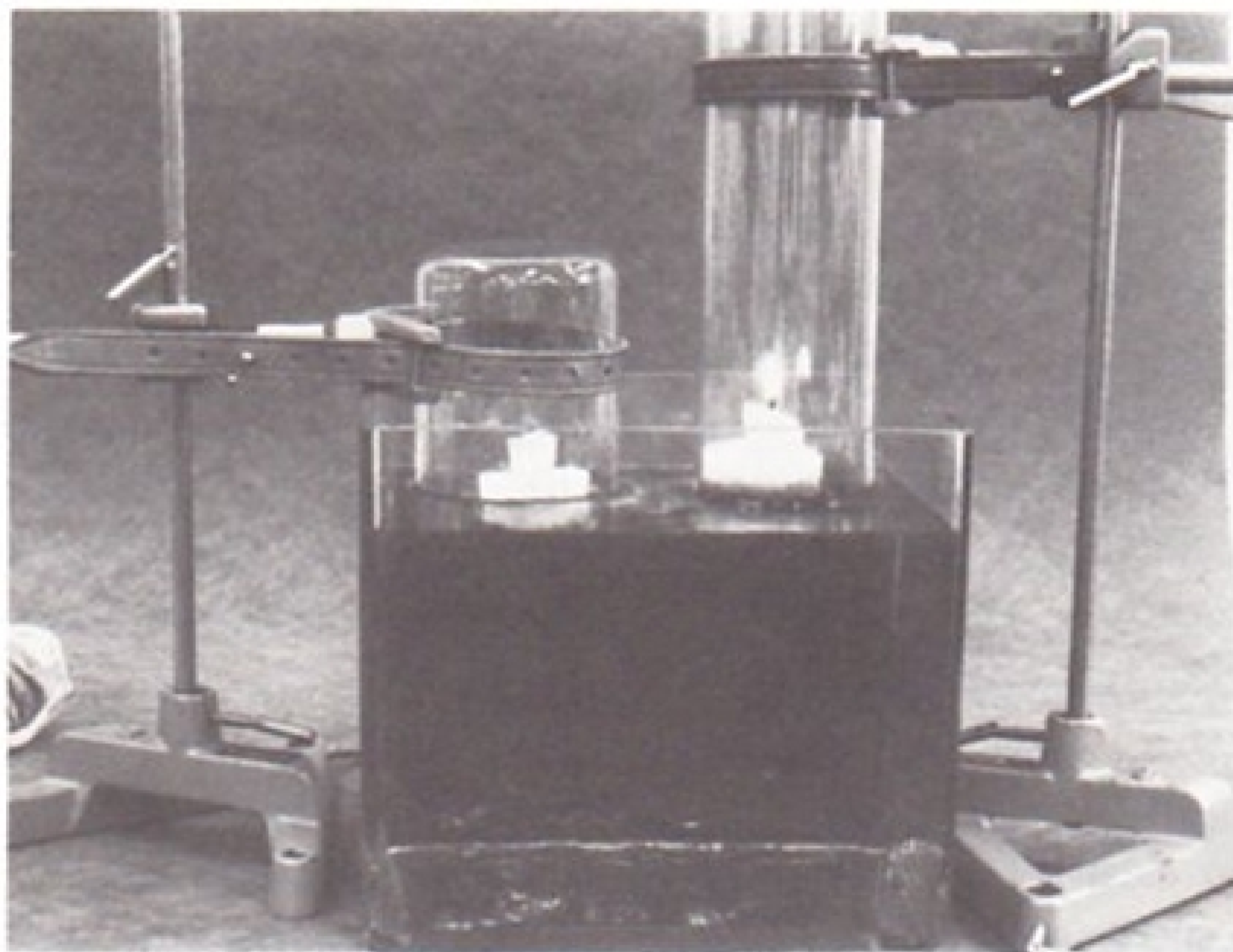


Abb. 13b: Statt des Becherglases kann auch ein hoher Standzylinder verwendet werden.

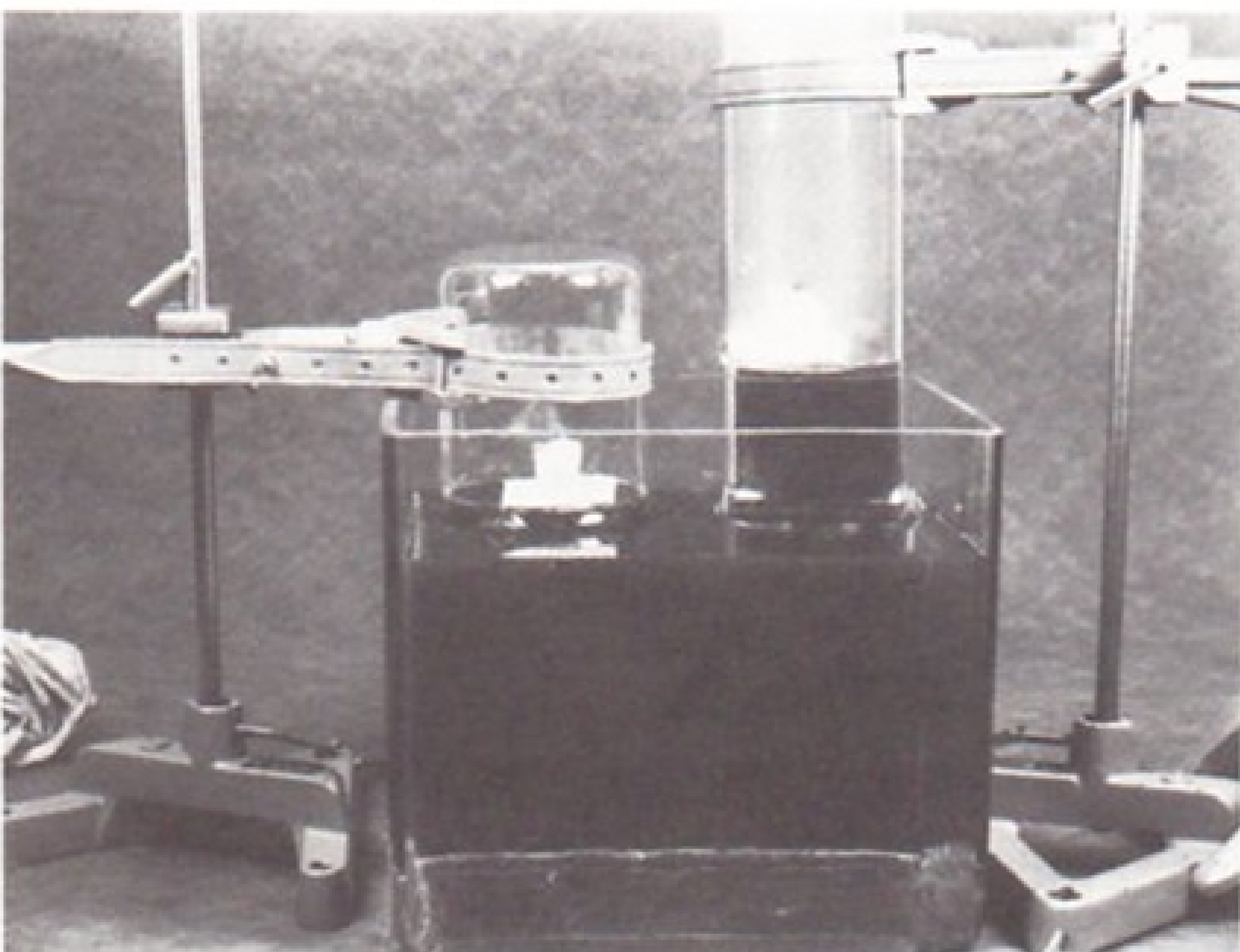


Abb. 13c: Wegen des geringeren Querschnitts steigt der Wasserspiegel im Standzylinder höher. Dies erleichtert die Beobachtung.

lich wurde, zeigte der Lehrer nochmals Versuche: Ein Becherglas wurde mit der Öffnung nach unten eingetaucht. Es kann kein Wasser eindringen: Ein Stückchen Papier, am Boden des Glases festgeklebt, bleibt trocken, obwohl das Glas ganz in das Wasser eingetaucht wurde. Ein Stückchen Styropor sank mit dem Wasserspiegel unter dem Glas nach unten (Abb. 14, 15). Erst als das Glas etwas schräg gehalten wurde, konnten Luftblasen entweichen, Wasser konnte in das Glas eindringen.

Der Lehrer forderte nun die Schüler auf, diese Beobachtung auf das Glas mit der brennenden Kerze und den gestiegenen Wasserspiegel anzuwenden.

Obwohl durch die Versuche und die Beobachtung nur der Schluß möglich war, daß durch die Kerzenflamme ein Teil der Luft „verbraucht“ wurde, gelang dieser Schluß nicht allen Schülern. Als Hilfe zum besseren Verständnis bot deshalb der Lehrer noch folgenden Versuch an. Mit einer kleinen Spritze (Einmal-Spritze 20 ml) wurde etwas Luft aus dem Glas abgesaugt, der Wasserspiegel stieg entsprechend, diese abgesaugte Luft wurde über einen Schlauch durch das Wasser gedrückt und so als Luftblase beobachtbar. Dieser Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden: Saugt man Luft ab, steigt der Wasserspiegel, bläst man Luft hinein, so sinkt der Wasserspiegel.

Da diese Stelle des Unterrichts besonders wichtig ist, erhielten die Schüler Gelegenheit, diesen Versuch auch noch selbst in den Gruppen durchzuführen.

Arbeitsauftrag: „Setzt die Kerze auf ein Stückchen Styropor und dann vorsichtig auf das Wasser. Entzündet die Kerze. Deckt dann ein Glas darüber. Beobachtet was geschieht! Achtet besonders auf den Wasserspiegel.“

Obwohl der Versuch zweimal vorgeführt worden war, hatten die Schüler teilweise erhebliche Schwierigkeiten: So tauchten sie das Glas z. B. zu tief ein, der Wasserspiegel stieg in dem Glas nicht so hoch, daß er höher stand als außerhalb.

Dies veranlaßte sie zu dem Schluß: „Bei uns hat die Kerzenflamme keine Luft verbraucht!“ Andere tauchten das Glas nicht tief genug ein, so konnte Luft durch die Ausgußöffnung („Schnabel“) in das Glas eindringen. Als Folge davon stieg natürlich der Wasserspiegel nicht. Andere hielten das Glas leicht schräg, Luftblasen konnten entweichen. Also stieg der Wasserspiegel in dem Glas besonders hoch. Wieder andere hatten Schwierigkeiten mit der „schwimmenden Kerze“: Das Styroporschiffchen mußte ja kleiner sein als die Öffnung des Glases. Manches Schiffchen kippte, die Kerze wurde naß und brannte nicht mehr richtig.

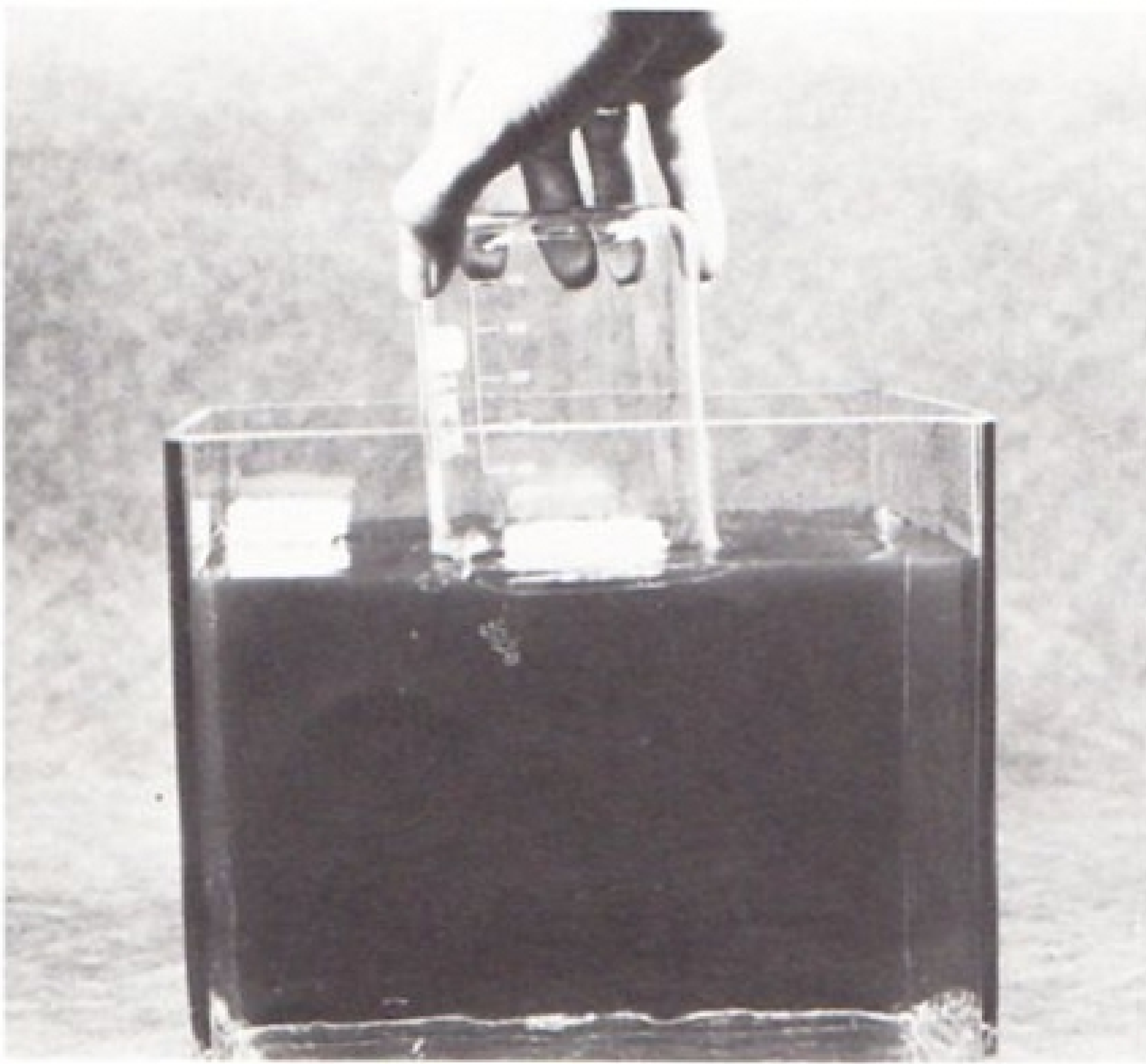


Abb. 14: Der Versuch soll zeigen, daß das Wasser nur dann in das Glas eindringen kann, wenn die Luft „verschwindet“.

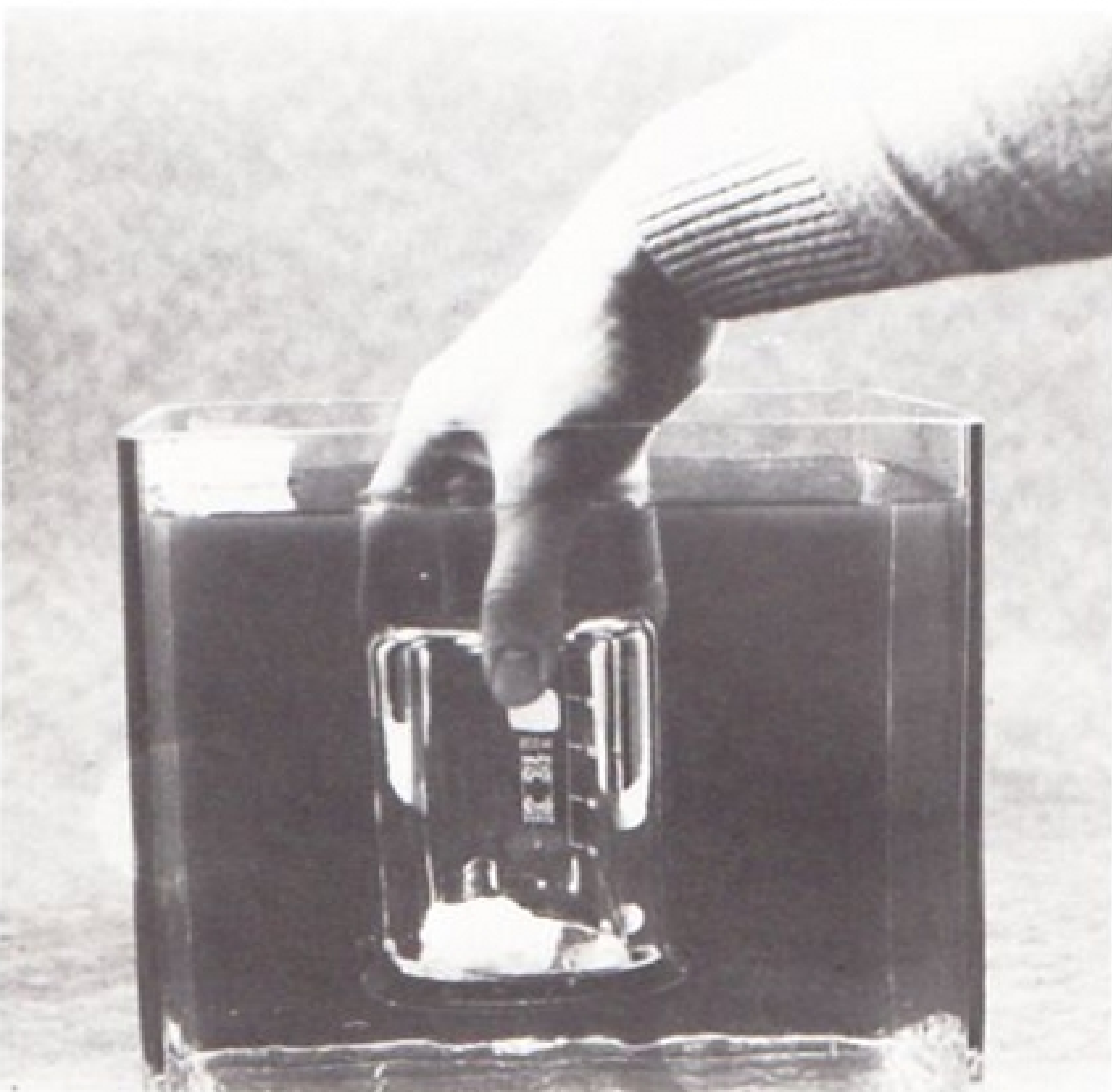


Abb. 15: Das Glas ist ganz eingetaucht, das Styropor zeigt, daß kein Wasser in das Glas eingedrungen ist.

Diese „Schwierigkeiten“ zeigen jedoch auch, wie wichtig es ist, daß Schüler Gelegenheit erhalten, Versuche selbst durchzuführen. Es war ein willkommener Anlaß, wieder auf „Experimentieren“ und auf das genaue Einhalten der „Bedingungen“ hinzuweisen. Außerdem ließen sich die Schwierigkeiten mit etwas Stativmaterial beheben. Das Glas wurde befestigt und so eingestellt, daß es tief genug, aber nicht zu tief eintauchte. So wurden die Beobachtungen auch wiederholbar. Einige Schüler,

die noch nicht „überzeugt“ waren, wollten nämlich wissen: „Ist das immer so?“ Nach dem beschriebenen Verfahren konnte die verbrauchte Luft aus dem Glas verdrängt werden und der Versuch „unter den gleichen Bedingungen“ wiederholt werden. So konnte auch dem Gedanken nachgegangen werden: Was geschieht, wenn wir nur die Kerze wieder anzünden und das Glas (mit „verbrauchter“ Luft) wieder darüber stülpen? Die Schüler stellten fest, daß es unmöglich zu verhindern ist, daß wenigstens ein bißchen „frische“ Luft in das Glas strömt. Bei der Wiederholung der Versuche mit „verbrauchter“ Luft zeigte sich, daß die Kerze kurze Zeit brannte, der Wasserspiegel aber nicht so hoch stieg wie bei dem Vorhandensein von frischer Luft.

3. Weiterführung

Die Weiterführung dieser Unterrichtseinheit kann in zweierlei Richtungen erfolgen:

1. Anwenden der Beobachtungen aus den Versuchen auf die Umwelt:

Aus diesen Versuchen läßt sich die Notwendigkeit ableiten, daß Räume, in denen ein Feuer brennt, „mit frischer Luft“ versorgt werden müssen und daß die „verbrauchte Luft“ entfernt werden muß. Ein gutes Beispiel dafür ist die Belüftung und die Entlüftung des Raumes, in dem die Zentralheizung steht. Leitfrage: Woher bekommt das Feuer der Heizungsanlage frische Luft? Dies können besondere „Zuluftschächte“ oder auch nur ein offenes, durch ein Gitter gesichertes Fenster sein. Verbrauchte Luft kann durch das Fenster oder durch einen besonderen Abluftkanal entweichen.

Wenn das Feuer im Ofen (Kachelofen, Ölofen) gut brennen soll, muß die Luftzufuhr geöffnet werden. Durch Blasen z. B. mit einem Blasebalg wird Luft zugeführt, damit die Holzkohle im Grill besser glüht (besser brennt).

Im Klassenzimmer muß oft gelüftet werden, denn auch da wird „die Luft verbraucht“. Auch die Menschen verbrauchen Luft, wenn sie atmen.

2. Die Versuche zeigten sehr eindringlich und unmittelbar, daß das nur einmalige Durchführen, beobachten und messen zu keinen „genauen, exakten“ Aussagen führen kann. Die Schüler können hier darauf aufmerksam werden, daß eine Aussage erst durch viele Beobachtungen und Messungen abgesichert werden muß, wenn sie exakt und reproduzierbar sein soll. Dies gilt für alle Aussagen im naturwissenschaftlichen Bereich, sollte jedoch auch in anderen Bereichen angewandt werden.

Gerhard Ruckwied, Helmut Wiederrecht

Windräder

Eine Unterrichtseinheit für die Grundschule

1. Einleitung

Maschinen, die durch Wind- oder Wasserkraft angetrieben werden, sind aus dem heutigen Landschaftsbild fast vollständig verschwunden. Sie werden allenfalls noch als Denkmäler erhalten. Die Diskussion um Kernkraftwerke und die allgemeine Situation bei der Energieversorgung hat in unseren Tagen die umweltfreundlichen Energiearten des Wassers und des Windes wieder ins Bewußtsein gebracht. Dieses neuerweckte Interesse wirkt bis in die Schule hinein.

In vielen Lehrplänen wird in unterschiedlichem Zusammenhang und innerhalb unterschiedlicher Rahmenthemen das Thema „Wind- und Wasserräder“ angegeben. Häufig taucht es innerhalb des Aufgabenfeldes „Maschine, Mechanismen zum Antreiben“ auf, es tritt aber auch als Werkaufgabe innerhalb des Themas „Luft und einige ihrer Eigenschaften“ auf.

2. Lernziele der Unterrichtseinheit

Lernzielgruppe 1: Konstruktion des Flügelrades

Die Schüler sollen ein Windrad konstruieren, das durch einen Luftstrom von „vorn“ (Blasen, Wind, Ventilator) in eine drehende Bewegung versetzt wird. Beim Konstruieren und Erproben sollen sie herausfinden:

- Das Windrad dreht sich nur, wenn die Flügelflächen schräg stehen.
- Die Wirkung des Windes hängt vom Anstellwinkel der Flügel ab.
- Die schräg gestellten Flügel müssen richtungsgleich stehen.
- Die Zahl der Flügel hat (zunächst) keinen merkbaren Einfluß.
- Das Windrad dreht sich leichter, wenn das Lager der Achse stabil ist und die Lagerung möglichst wenig klemmt und reibt (reibungssarm ist).
- Das Windrad dreht sich „am besten“, wenn es so steht, daß der Wind von „vorn“ kommt.

Lernzielgruppe 2: Das Windrad als Antrieb einer Arbeitsmaschine

Die Schüler sollen zu ihrem Windrad eine einfache Arbeitsmaschine (z. B. Winde, Hammerwerk, Sägemaschine) entwickeln und sie so mit dem Windrad verbinden, daß durch die Drehung des Windrades eine Arbeit verrichtet wird, z. B. Anheben eines kleinen Wägestückes durch eine Seilwinde, Antreiben eines kleinen Hammerwerks.

Lernzielgruppe 3: Einstellen des Windrades in Windrichtung

Die Schüler sollen eine Vorrichtung entwickeln, die die Einstellung des Windrades in die Windrichtung ermöglicht, ohne daß die „Verankerung im Boden“ mitbewegt wird. Dazu sollen sie

- einen waagrechten Träger, an dem das Windrad befestigt ist, auf einer senkrechten Stütze beweglich lagern, die Welle mit dem Windrad von Hand drehen, die Drehbarkeit nach allen Richtungen um 360 Grad erproben und eine möglichst reibungsarme Lagerung erzielen.
- eine Steuerflosse (Windleitblech) anbringen, auf die der Wind einen Druck ausüben kann und so das Windrad nach Art einer Windfahne selbständig in Windrichtung dreht.

3. Möglichkeiten im Modellbau

3.1 Windräder

Windräder mit axialer Anströmrichtung sind mit den Bauelementen des Lernbaukastens gut darstellbar. Wegen der schräg zu stellenden Flügel erscheinen

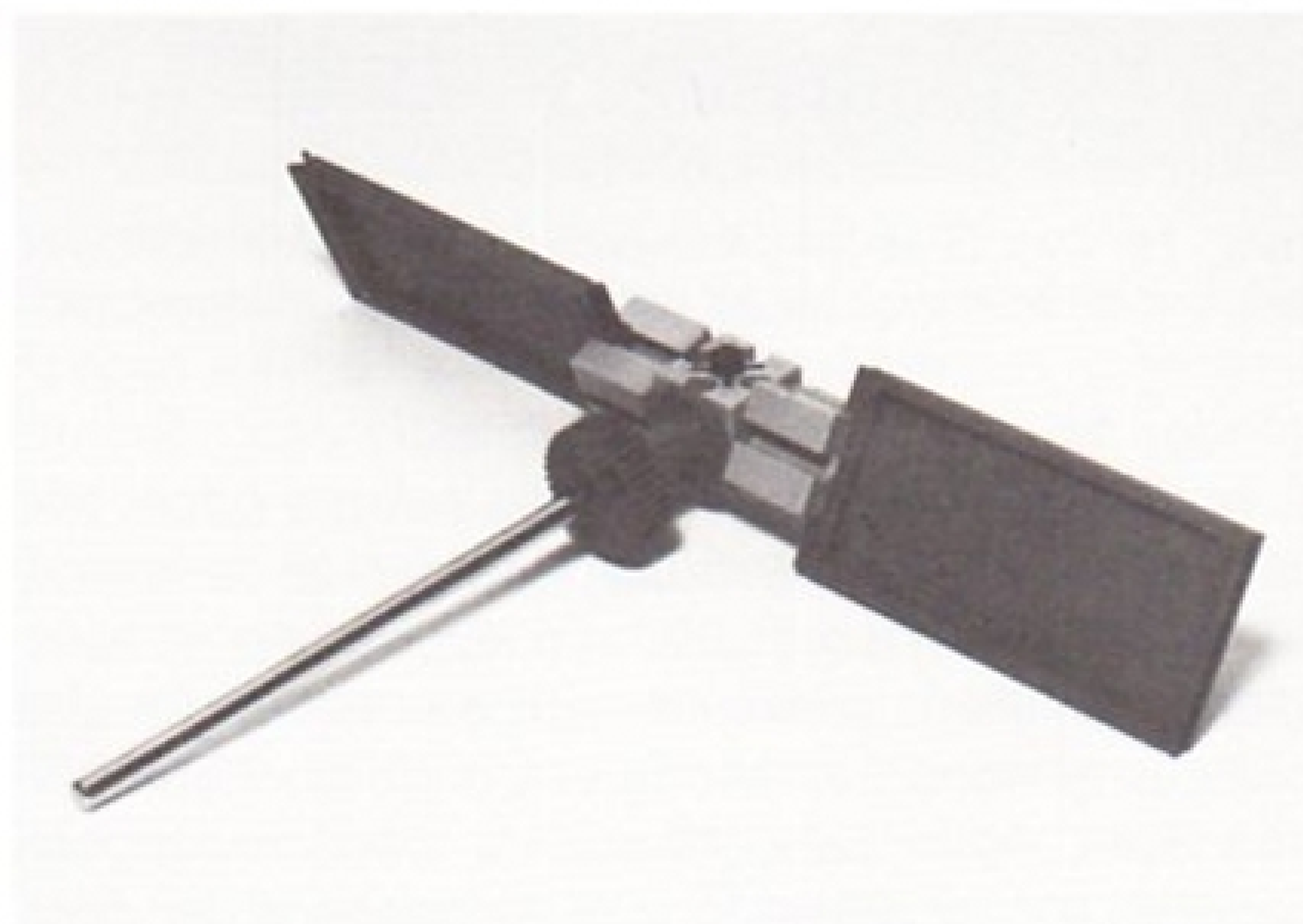


Abb.1: Flügelrad mit zwei Flügeln. Die beiden Flachsteine sitzen in je einem Baustein mit einem roten, runden Zapfen.

die Achsenkreuze auf den ersten Blick etwas kompliziert. Um Drehgelenke zu erhalten, müssen die Bausteine 15 mit einem oder mit zwei roten, runden Zapfen verwendet werden. Zur Montage auf der Achse verwendet man die Seiltrommel oder die Drehscheibe. Abb. 1 zeigt ein einfaches, zweiflügeliges Windrad: auf dem mittleren Baustein 15 sind zwei Bausteine 15 mit einem runden Zapfen mit je einem Flachstein (30×60) als Flügel befestigt. Abb. 2 zeigt dieses Flügelrad aus Abb. 1 in einem Gestell gelagert. Abb. 3 und 4 zeigen eine andere Lösung

mit größeren Flügeln (Bauplatte 90×30). Der mittlere Baustein 15 hat zwei rote Zapfen, so daß die beiden Bausteine 30 mit den Flügeln beliebig verstellt werden können.

Für ein Windrad mit vier Flügeln müssen die Bausteine des Achsenkreuzes so angeordnet werden, daß die Enden der vier Arme jeweils einen runden Zapfen aufweisen. Wie dieses erreicht wird, zeigt die Reihe in Abb. 5. Es werden dabei zwei Steine mit einem und zwei Steine mit zwei runden (roten) Zapfen verwendet.

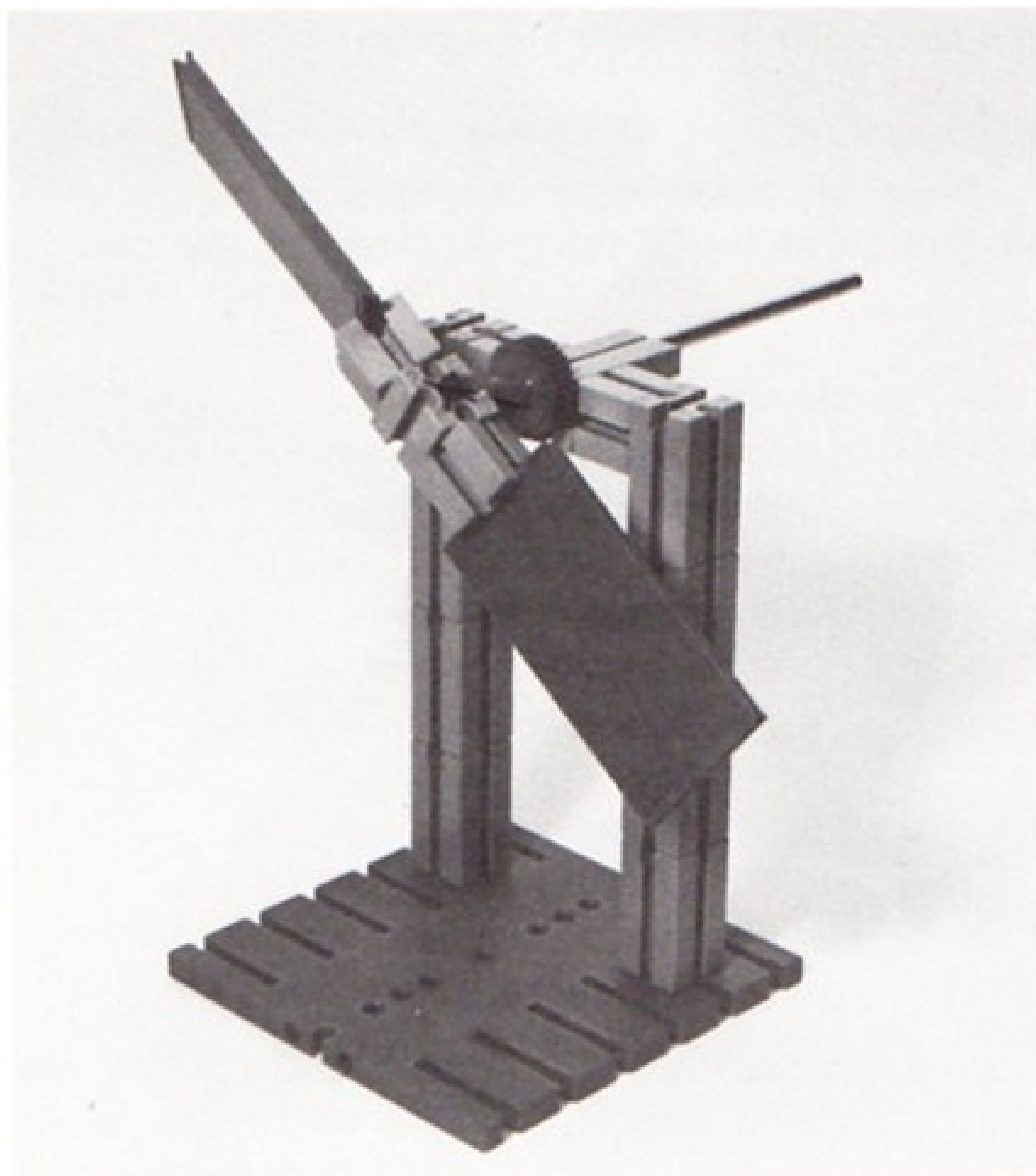


Abb. 2: Das Flügelrad aus Abb. 1 ist in ein Gestell eingebaut.

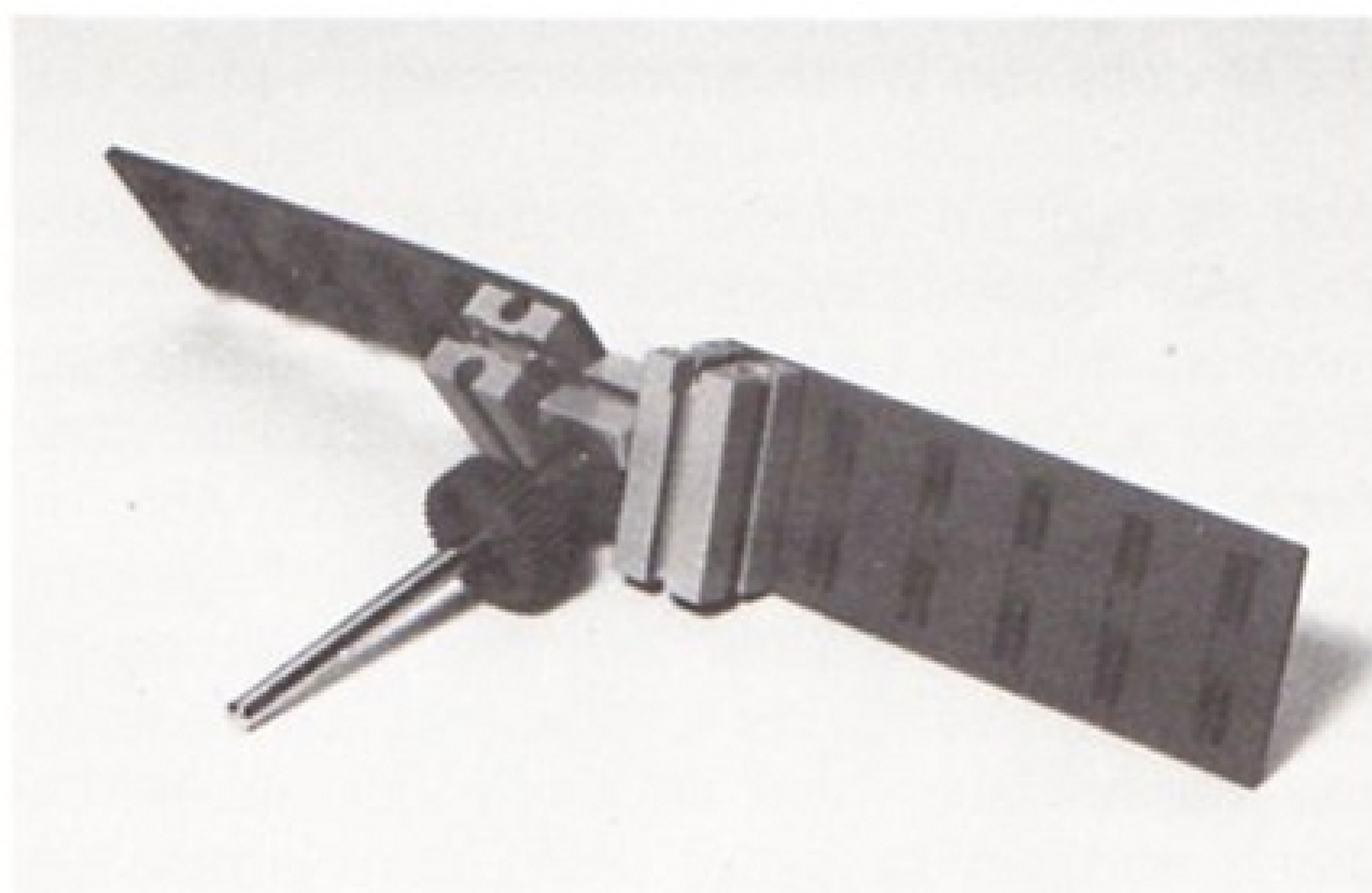


Abb. 3: Flügelrad mit zwei Flügeln; die Seiltrommel sitzt in einem Baustein mit zwei roten, runden Zapfen. Dadurch können die Bausteine mit den Flügeln in die notwendige Schrägstellung gedreht werden.

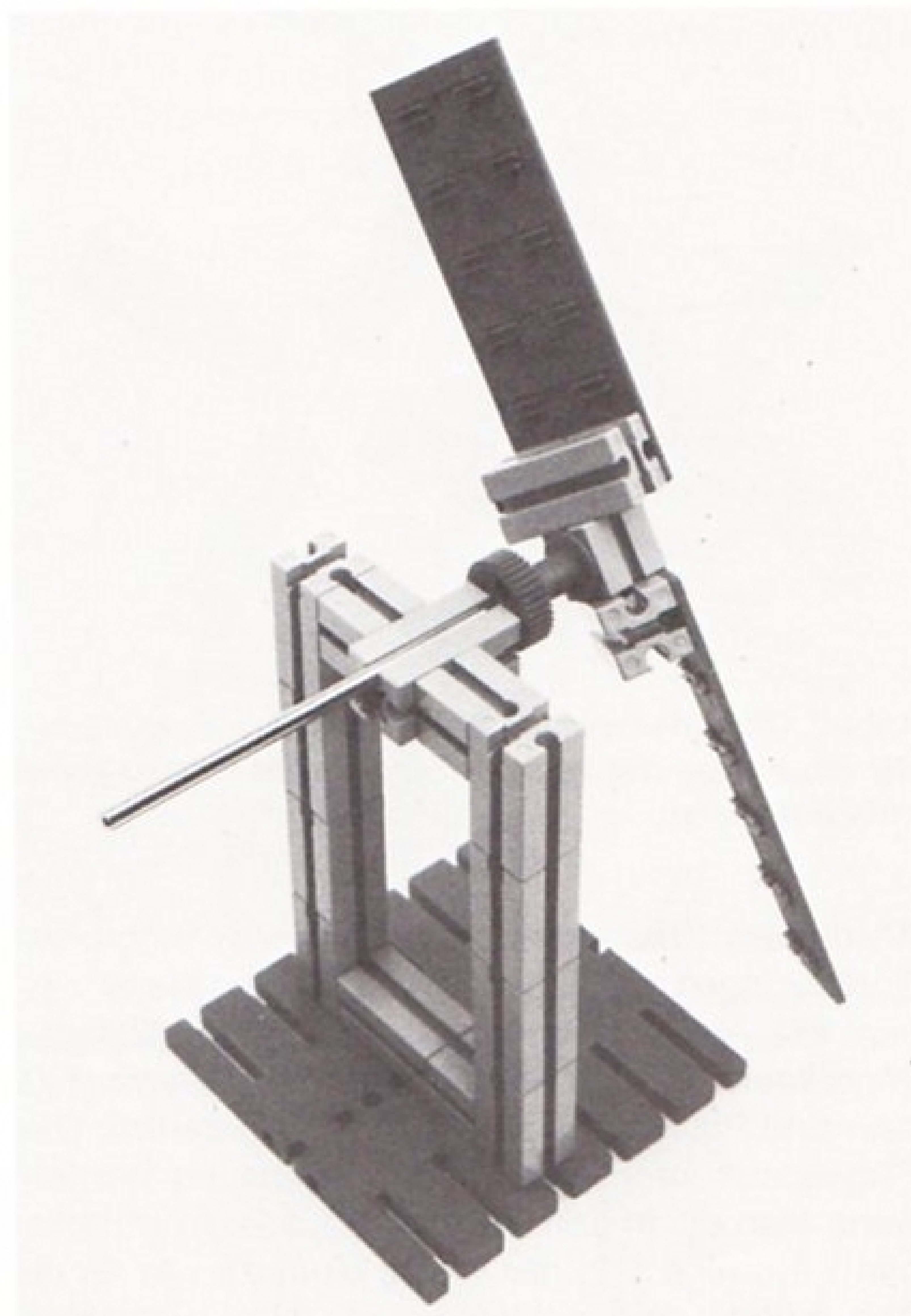


Abb. 4: Windrad mit zweiflügeligem Flügelrad

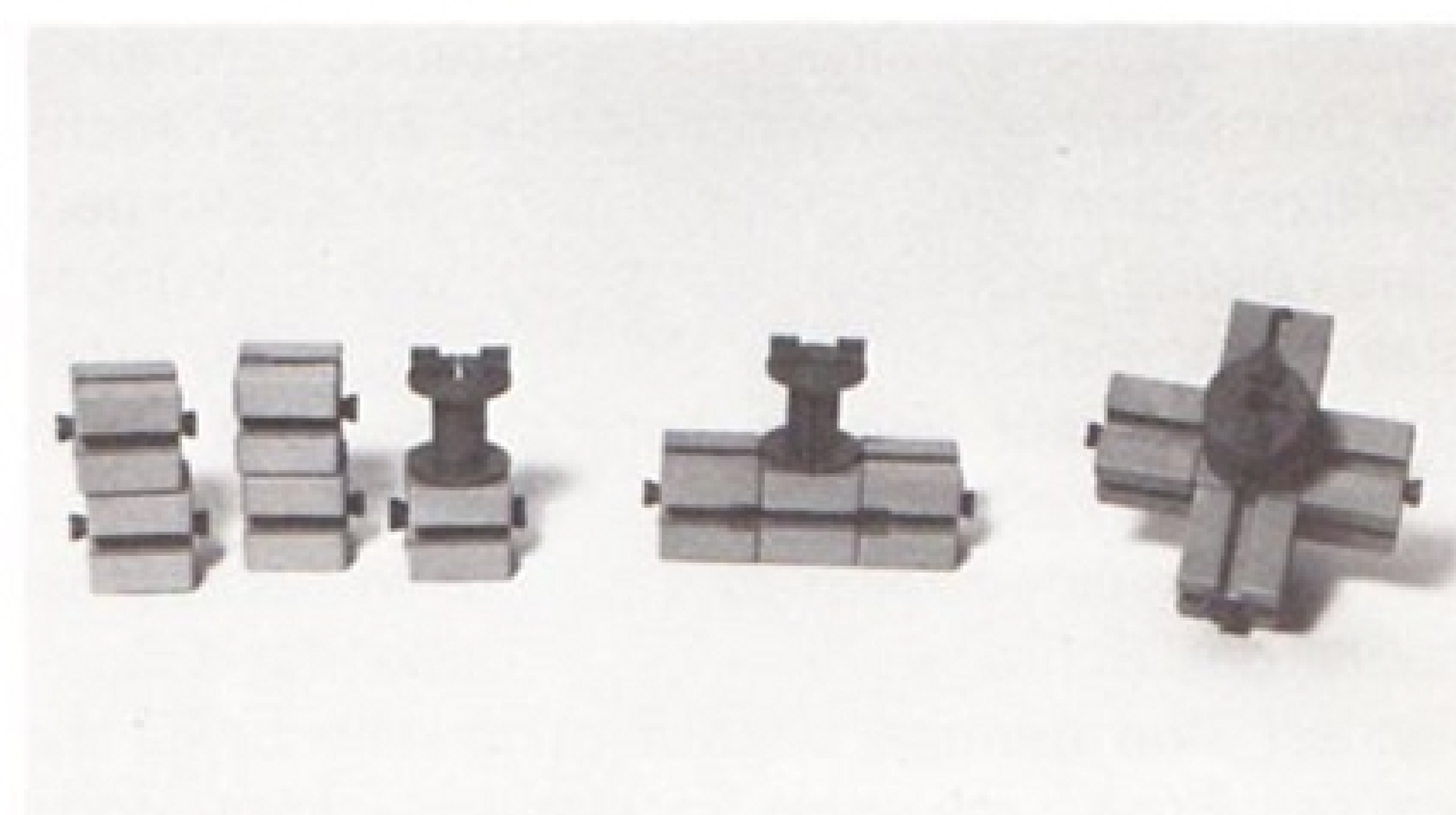


Abb. 5: Teile und Aufbau des Flügelkreuzes

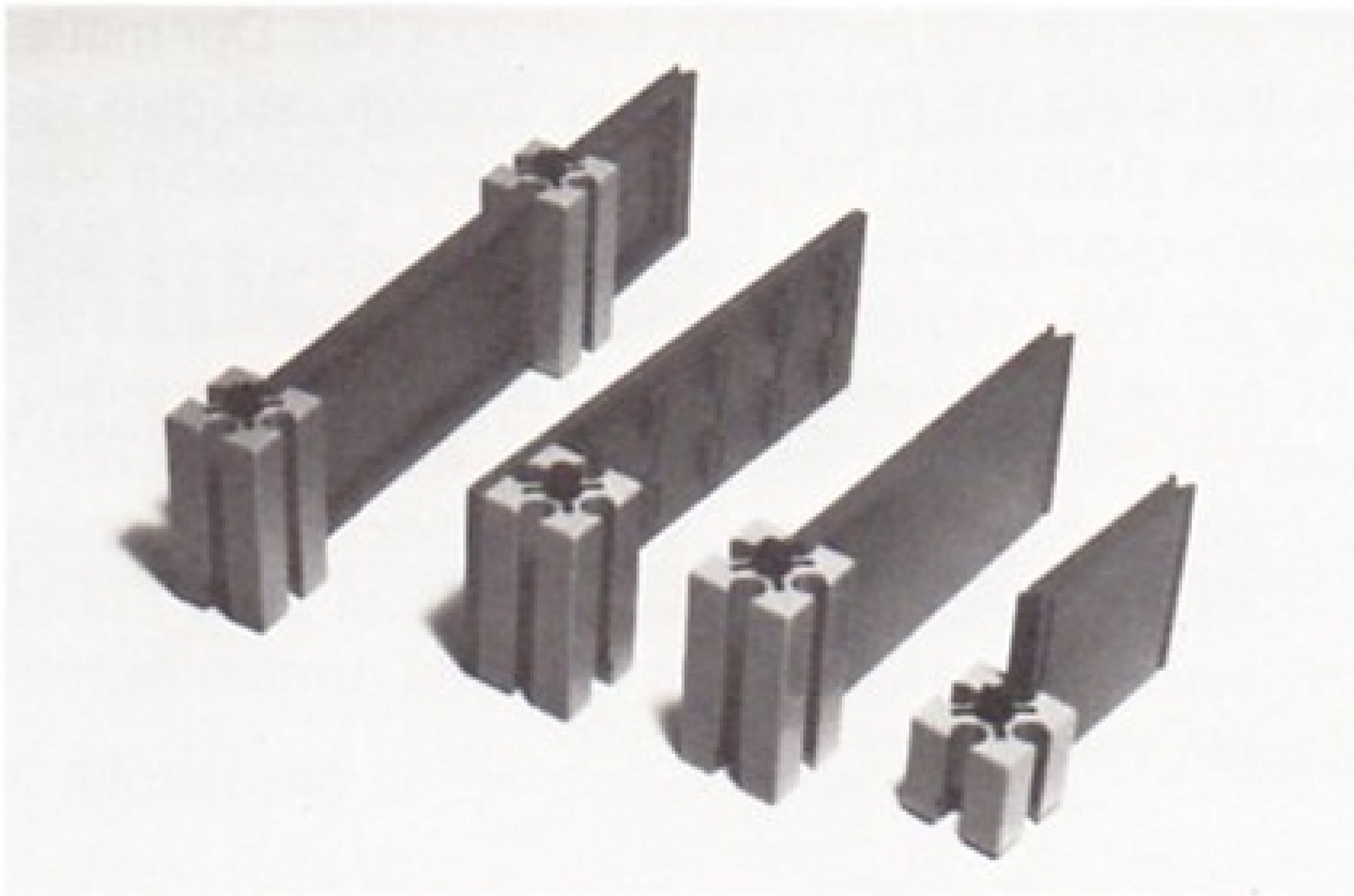


Abb. 6: Verschiedene Flügel

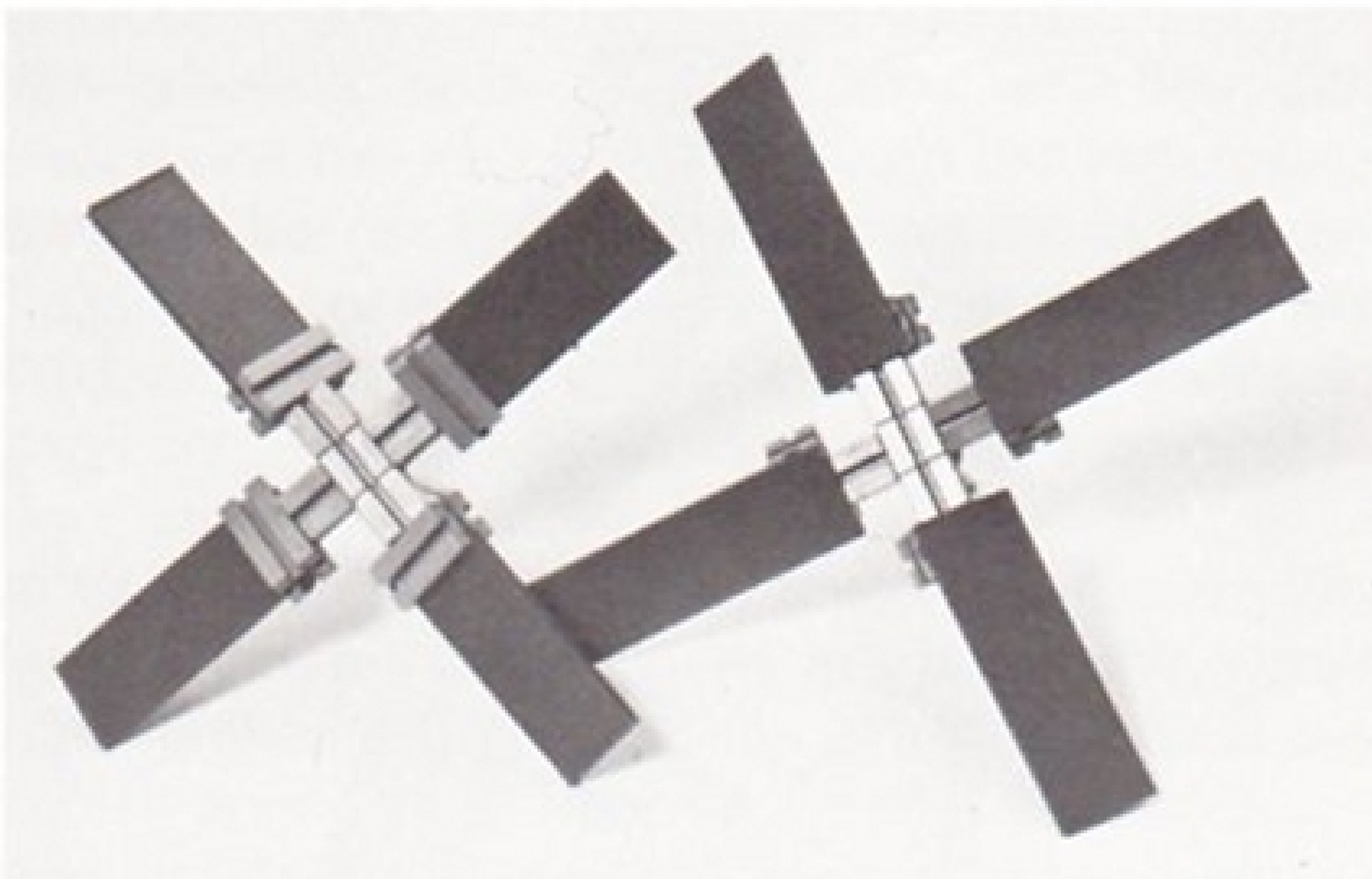


Abb. 7: Zwei verschiedene vierflügelige Flügelräder; die Bauplatten des rechten Flügelrades stammen aus zwei Baukästen.

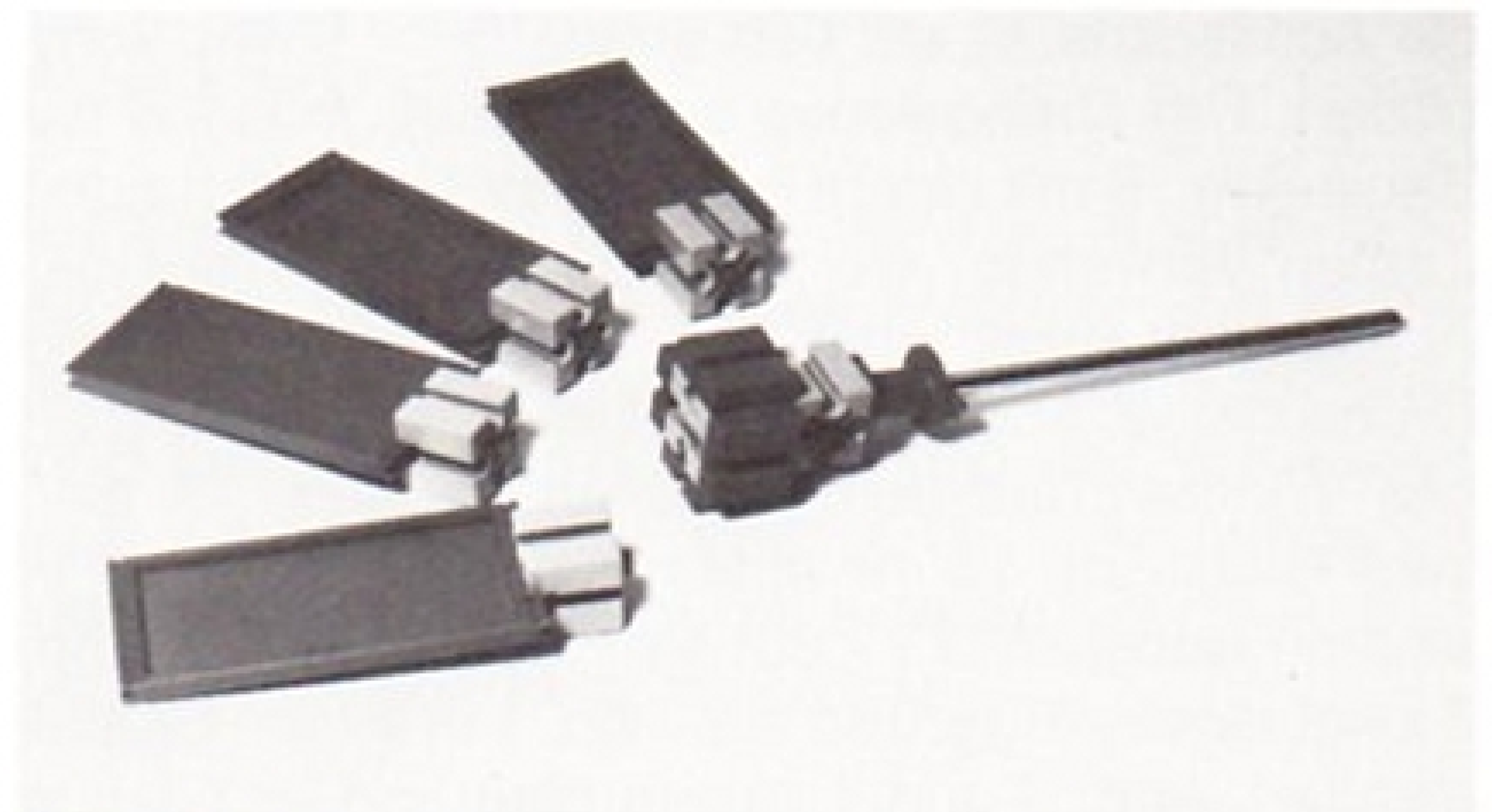


Abb. 8: Aufbau eines vierflügeligen Flügelrades; die vier Flügel sitzen in je einem Baustein mit einem roten, runden Zapfen (aus zwei Baukästen).

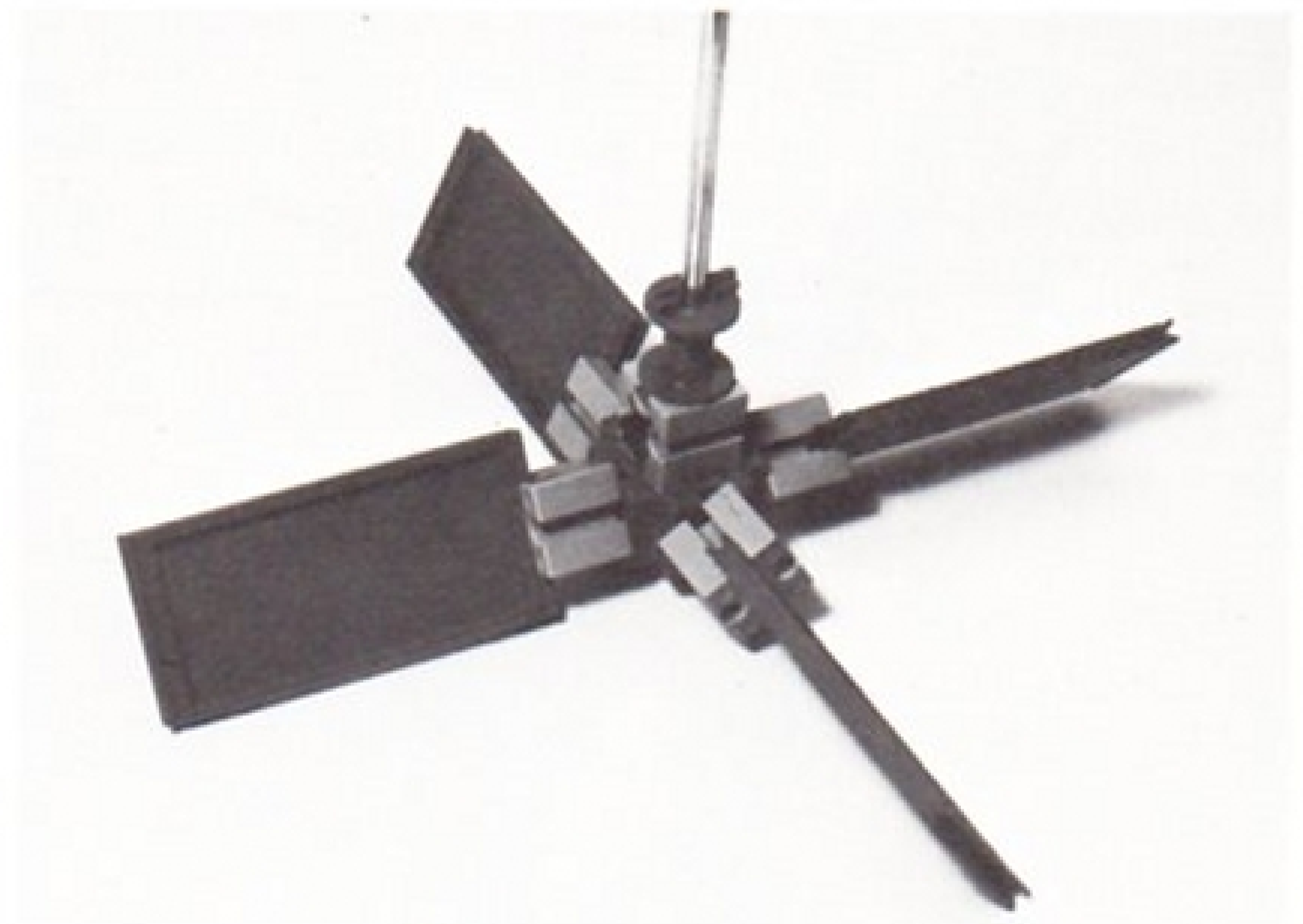


Abb. 9: Fertiges Flügelrad

An diesem Kreuz können nun die vier möglichen Ausführungen von Flügeln (Abb. 6) angesetzt werden. Die Abb. 7 zeigt zwei komplette vierflügelige Windräder. Für das Modell mit den größeren Flügeln sind Platten aus zwei Kästen erforderlich. Das Flügelkreuz kann etwas kleiner gehalten werden, wenn man die in den neueren Baukästen enthaltenen Bausteine 5 in der Weise einsetzt, wie es die Abb. 8 und 9 zeigen. Man braucht für ein vierflügeliges Rad dann jedoch vier Bausteine 15 mit einem runden Zapfen (aus zwei Baukästen).

Anstelle der Seiltrommel und der Kreuze kann auch die Drehscheibe verwendet werden. Mit den sechs Schlitten kann sie 2, 3, 4 oder 6 Flügel aufnehmen. Eine Lösung zeigt die Abb. 10. Hier werden Winkelsteine eingesetzt, um die Schrägstellung zu erreichen. Damit läßt sich ein sehr stabiles drei-, vier- oder sechsflügeliges Rad aufbauen (Abb. 11).

Wichtig für einen leichten Lauf der Windräder ist außer der Schrägstellung und Größe der Flügelflächen eine geringe Lagerreibung. Hierzu ist ein stabiles Gestell mit exakt fluchtenden Lagern erforderlich. Abb. 12 zeigt Lagerböcke, die eine stabile

Lagerung ohne Verkanten ermöglichen. Da der Wind das Rad gegen das Gestell drückt, ist es günstig, z. B. eine Klemmbuchse oder besser eine Seilrolle quasi als Gleitlager zwischen Gestell und Flügelkreuz auf die Welle zu schieben.

3.2 Modelle von Windkraftmaschinen

Abb. 13 zeigt ein Windkrafthebezeug. Auf der Welle des zweiflügeligen Windrades ist eine Seiltrommel montiert, mit der beim Drehen des Windrades ein Hubseil aufgewickelt und dadurch ein Gegenstand hoch- oder herangezogen werden kann. Abb. 14 zeigt ein Windkraft-Hebezeug mit vierflügeligem Windrad. Aufgrund einer Zahnradübersetzung ins Langsame im Verhältnis 4:1 dreht sich die Seiltrommel viermal langsamer als die Windradwelle; dadurch wird die Drehkraft (das Drehmoment) der Seiltrommelwelle viermal größer als die der Windradwelle.

Abb. 15 zeigt ein Windkraft-Hammerwerk. Die Drehbewegung des Windrades wird mit einer Überset-

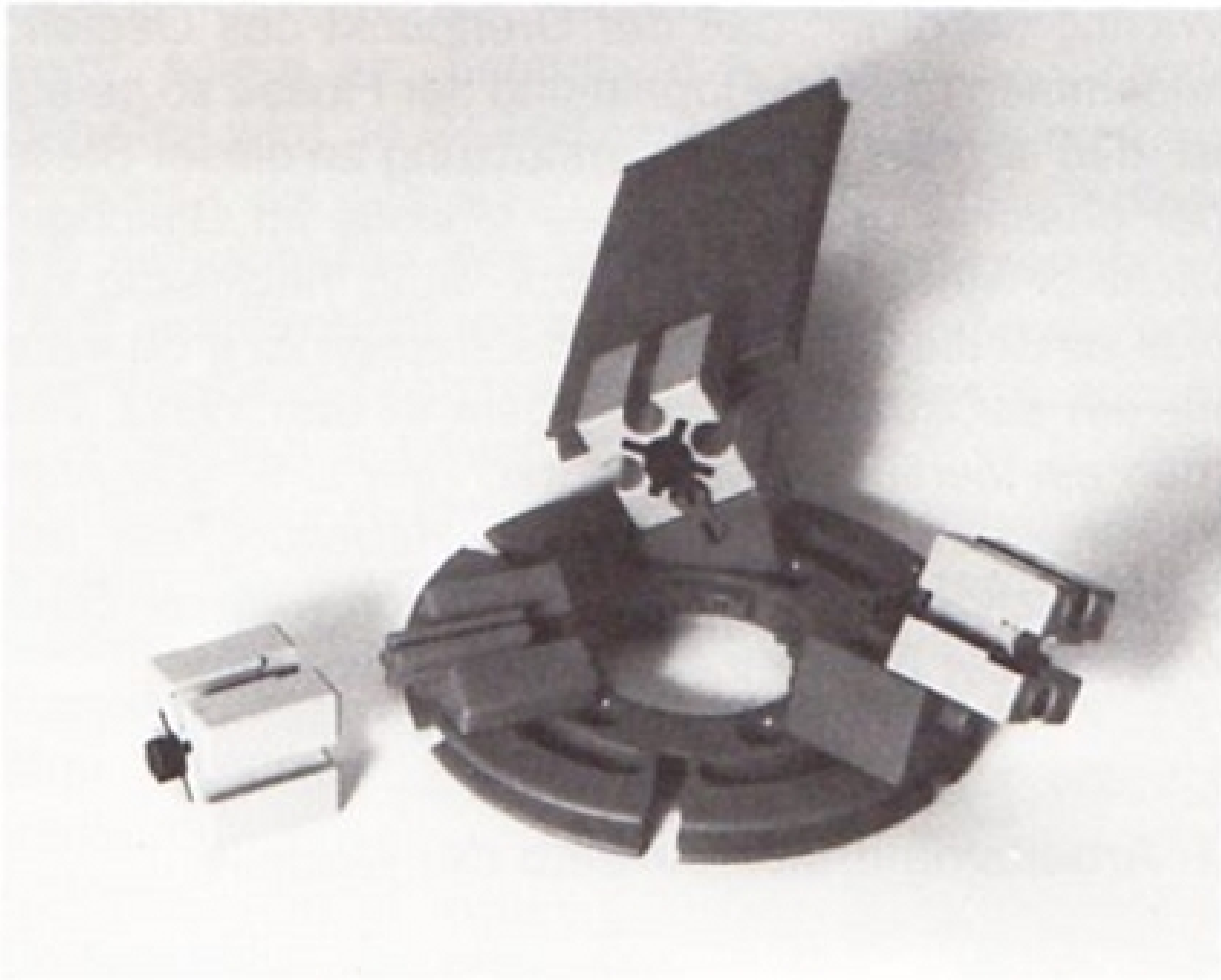


Abb. 10: Das Flügelrad soll mit der Drehscheibe gebaut werden. Die Schrägstellung der Flügel wird durch die Winkelsteine erreicht.

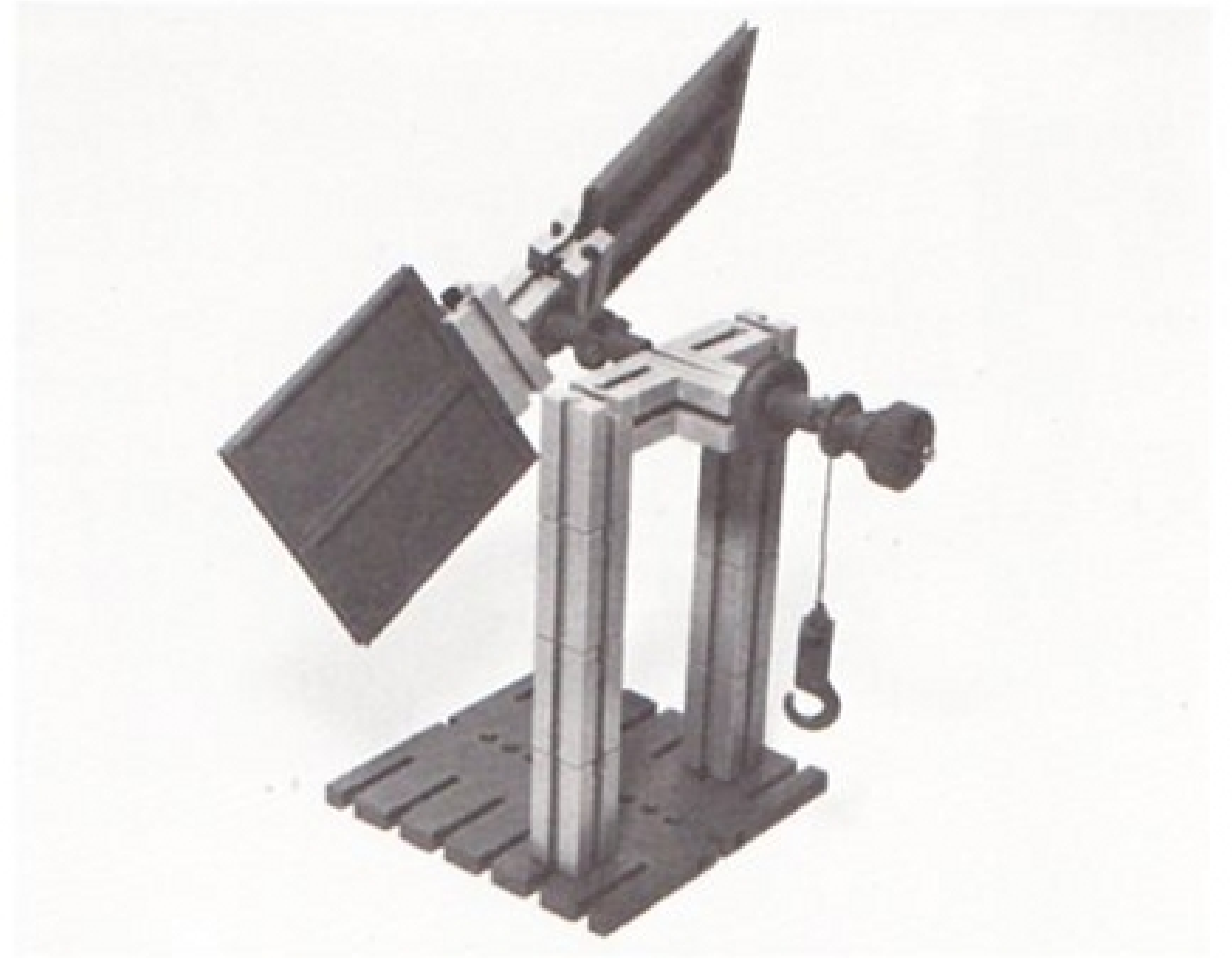


Abb. 13: Windrad mit einfacher Seilwinde

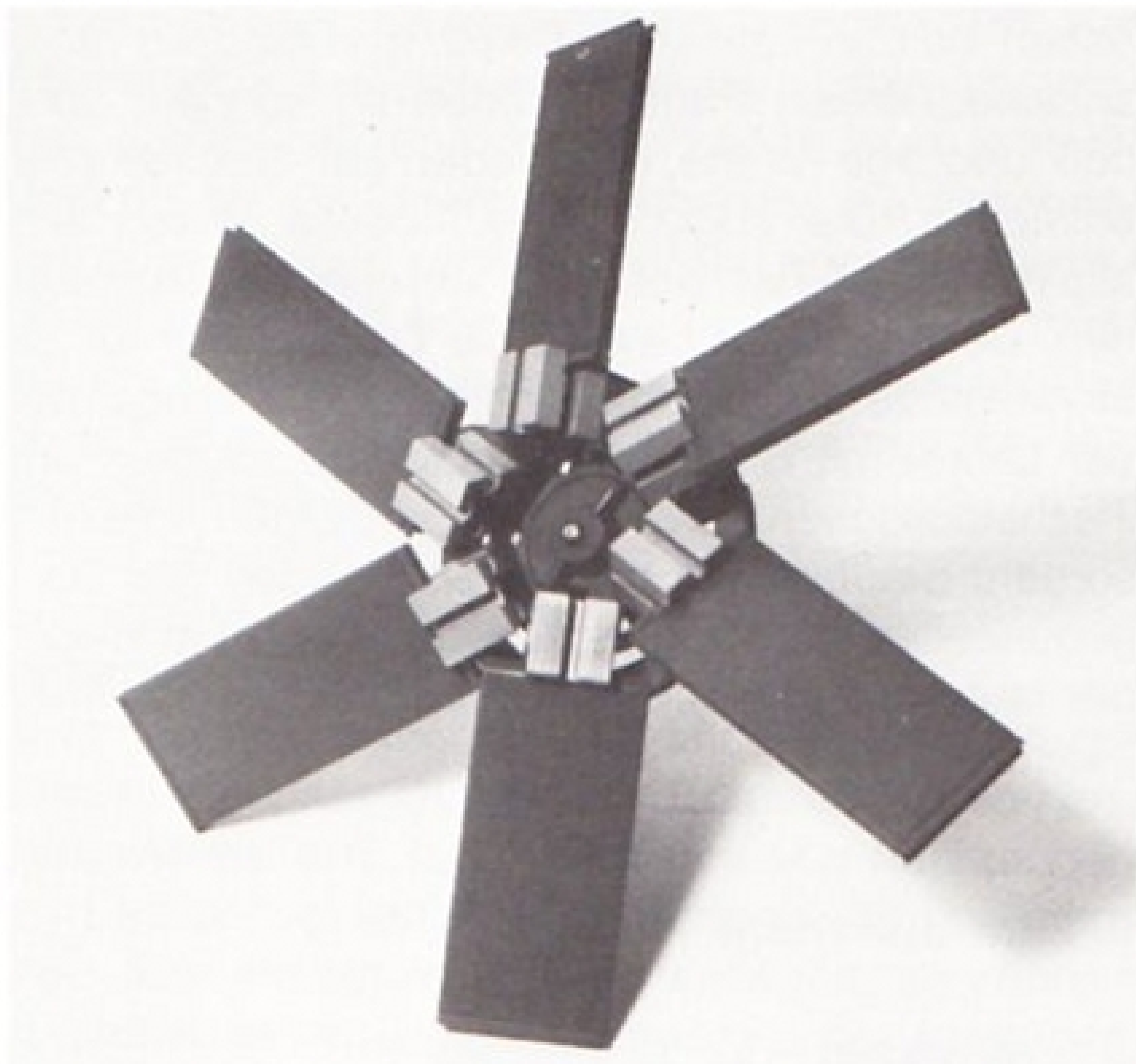


Abb. 11: Flügelrad, das mit der Drehscheibe gebaut ist und sechs Flügel hat

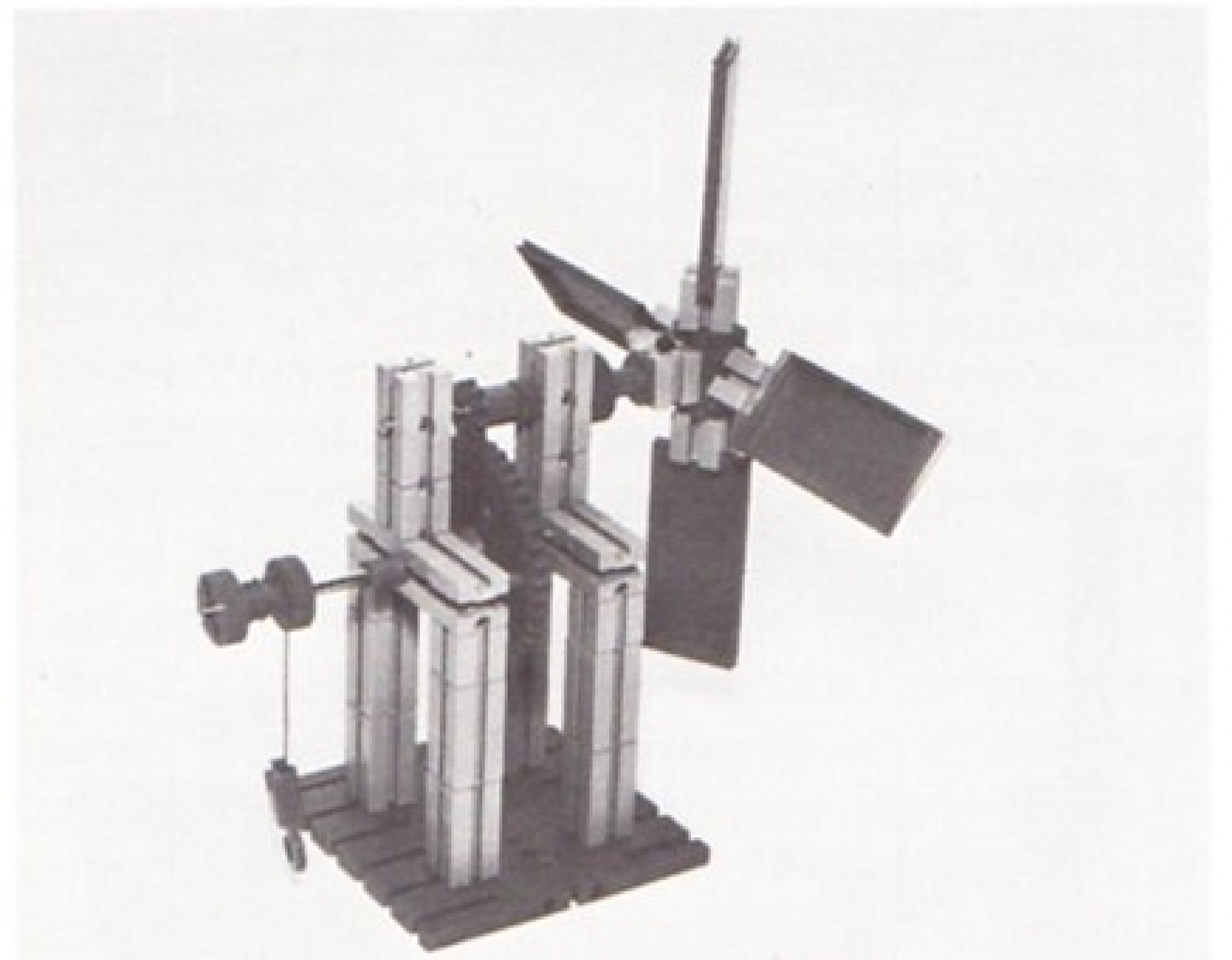


Abb. 14: In dieses Windkraft-Hebezeug ist eine Seilwinde mit einer Übersetzung im Verhältnis 4:1 ins Langsame eingebaut.

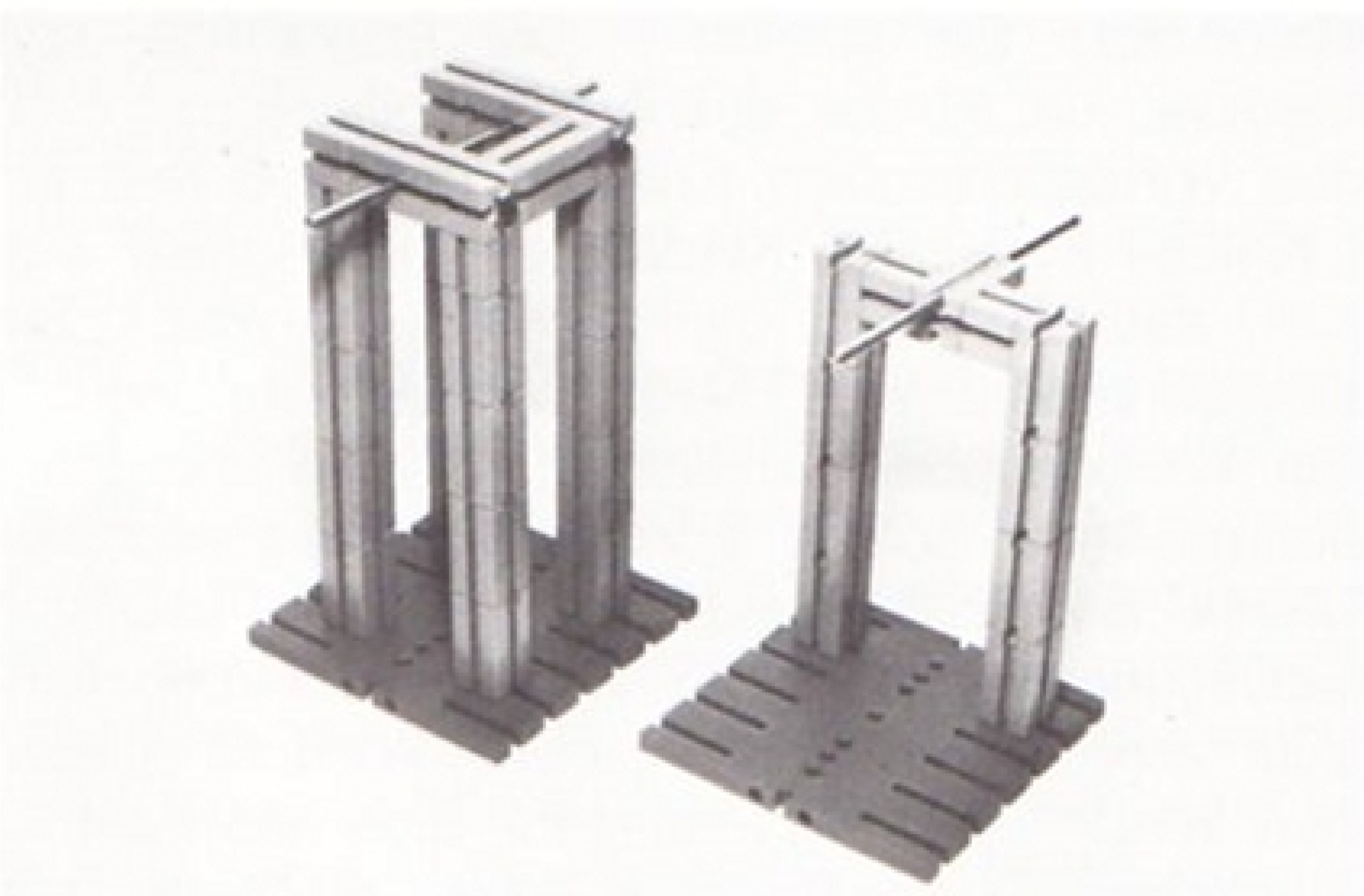


Abb. 12: Zwei stabile Gestelle

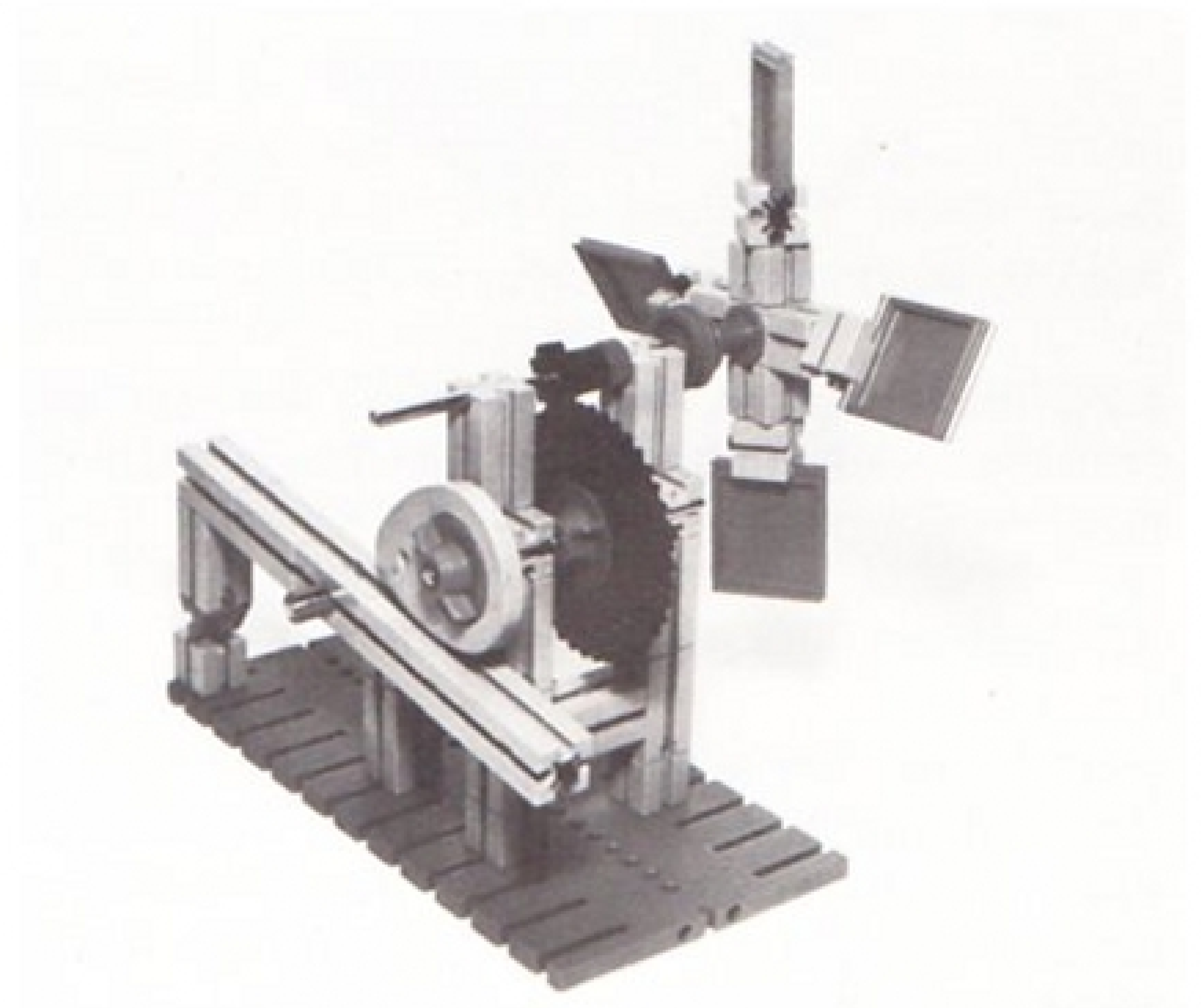


Abb. 15: Das Windrad treibt ein kleines Hammerwerk.

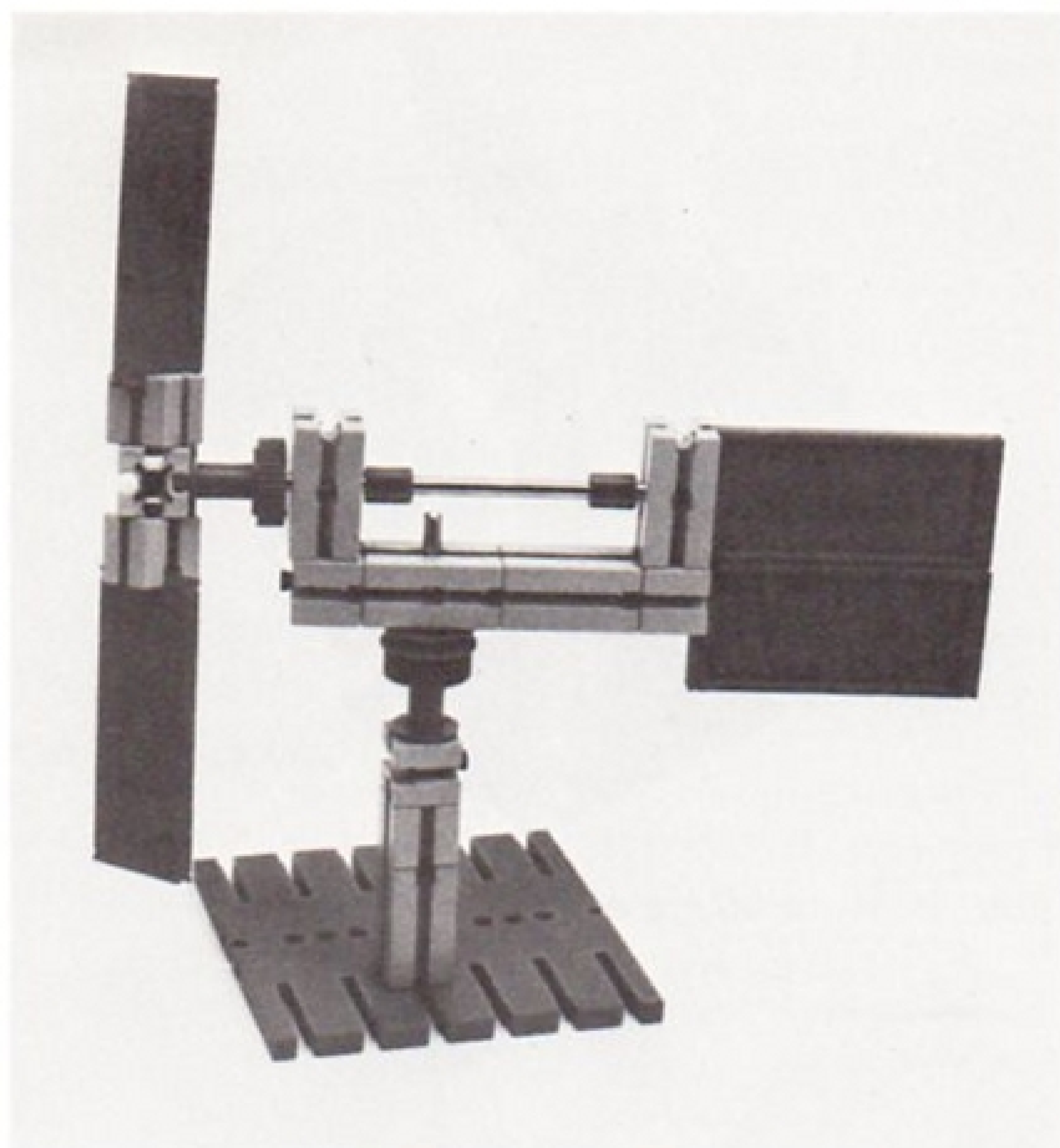


Abb. 16: Dieses Windrad stellt sich mit Hilfe der Steuerflosse selbsttätig in den Wind.

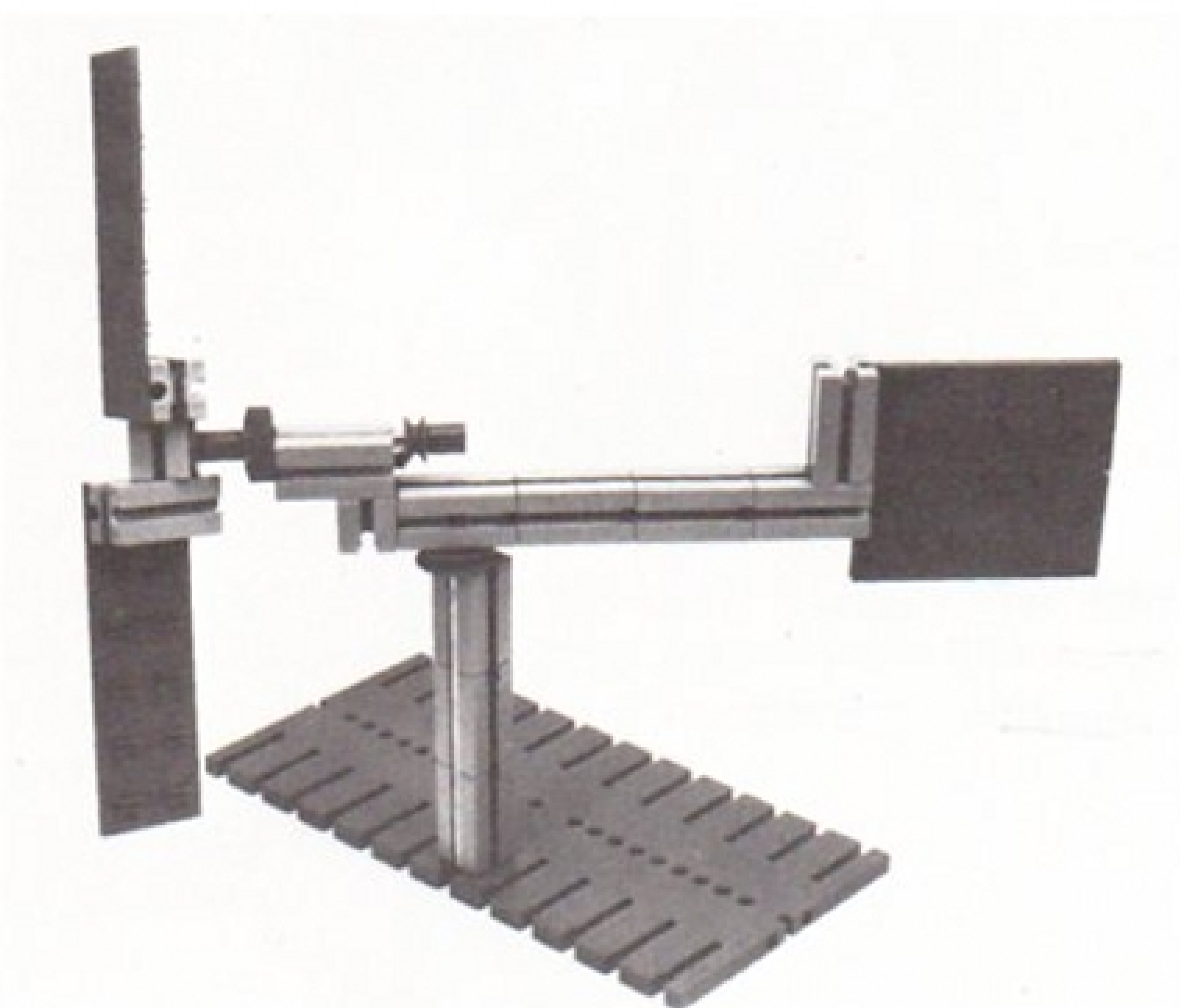


Abb. 17: Windrad mit Steuerflosse

zung ins Langsame im Verhältnis 4:1 auf eine Nockenscheibe übertragen, die einen Hammer hebt.

3.3 Windräder mit Steuerflosse

Modelle, die ein selbsttätiges Einschwenken des Windrads rechtwinklig zum Wind bei wechselnder Windrichtung veranschaulichen, zeigen die Abbildungen 16 und 17. Sie sind beide mit einem zweiflügeligem Windrad ausgestattet und können mit den Bauteilen eines Baukastens gebaut werden.

Wichtig dabei ist, daß der Drehpunkt des Gestells zusammen mit den Flügeln und der Flosse so gelegt ist, daß sich bei einer Unterstützung an dieser Stelle der gesamte obere Teil des Modells im Gleichgewicht befindet und nicht kopf- oder hecklastig ist, weil sonst die Reibung am Drehzapfen zu groß wäre für ein selbsttätiges Einpendeln in den Wind. Will man ein vierflügeliges Windrad (wie z. B. aus Abb. 7) einsetzen, dann muß der Hebelarm mit der Schwanzflosse durch den Anbau von weiteren Bauplatten oder Bausteinen beschwert werden.

4. Arbeitsmaterial – Antrieb der Modelle

Zum Bauen der Windräder genügen Lernbaukästen u-t 1. Zur Erzeugung von Wind eignen sich am besten mehrere, an verschiedenen Stellen des Klassenzimmers aufgestellte Tischventilatoren, die die Schüler z. T. sicher mitbringen können. Damit haben sie dann die Möglichkeit, ihre Modelle rasch an einem freien Platz erproben zu können, ohne daß unnötige Wartezeiten oder gar Streitigkeiten entstehen. Die abgebildeten Modelle lassen sich alle mit einem Tischventilator üblicher Größe antreiben. Der Ventilator bewegt die Luft in einer für die Modellgröße günstigen Frontfläche. Allerdings muß der Lehrer mit Hilfe von Verlängerungskabeln und Tischsteckdosen für einen zweckmäßigen Anschluß sorgen. Staubsauger eignen sich wegen des stark gebündelten Luftstromes am Abluftrohr und wegen der lauten Geräusche für Unterrichtszwecke weniger gut.

5. Zum Unterricht

5.1 Vorwissen – Vorkenntnisse

Vorwissen aus Umwelterfahrung

Wind und Wasser sind anschauliche, erlebnisstarke Naturkräfte. Sie spielen in der Erfahrungs- und Spielwelt der Kinder eine große Rolle. So ist z. B. das Windrad in allen Kulturen und Epochen ein beliebtes Spielzeug. Kinder der Grundschule wissen, daß der Wind die Windräder antreibt. Sie kennen Windräder z. B. von Dekorationen und von der Werbung bei Tankstellen, als Spielzeug auf Jahrmärkten. Solche bunten Spielzeugwindräder lassen sich z. B. durch die „eigene Puste“ in Bewegung versetzen. Wind zum Antreiben wird auch erzeugt, wenn man mit dem Windrad „gegen den Wind“ läuft. Man kann es auch ans Fahrrad montieren. Beim schnellen Fahren dreht es dann der „Fahrtwind“. Beim schnellen Drehen um die

eigene Körperachse wird das Windrad auch bewegt, sofern es „richtig“ (d. h. gegen den Wind) gehalten wird. In Gärten sind manchmal Windräder zu sehen, die sich durch die Windfahne (Steuerflosse) selbsttätig in den Wind stellen. Wetterfahnen (z. B. auf Kirchen) zeigen die Windrichtung an, weil der Wind ein Drehmoment auf die Flosse ausübt und dadurch die Wetterfahne dreht. Von Bildern, von Berichten im Fernsehen oder von Urlaubsreisen kennen Kinder manchmal auch historische Windmühlen. Wind ist nicht nur eine natürlich vorkommende Luftbewegung, Wind kann auch durch Fächer, Ventilator, Föhn oder Staubsauger erzeugt werden.

Erforderliche Vorkenntnisse im Umgang mit dem Lernbaukasten

Die Schüler sollten einige Bauelemente und die Verbindungstechniken der Grundelemente kennen, also z. B. bereits Wägelchen mit leicht laufenden Rädern gebaut haben. Der schwierigste Teil der Konstruktion bei der vorliegenden Unterrichtseinheit, das Flügelkreuz der Windräder, kann je nach Umfang der Bauerfahrung entweder nur beschrieben oder als Teilmodell vorgezeigt oder zum Nachbauen ausgestellt werden.

Für die Entwicklung einer kleinen Arbeitsmaschine bedarf es bereits umfassenderer Erfahrungen. Für die Klassenstufe 2 und 3 sollte man sich daher darauf beschränken, lediglich eine Seiltrommel mit Schnur und Haken unmittelbar auf die Windradwelle zu setzen.

Sind nach vorangegangenen anderen Arbeiten mit dem Lernbaukasten größere Erfahrungen vorhanden, wie sie z. B. nach dem Bau von Fahrzeugen mit Lenkung, diversen Maschinchen mit Kurbelantrieb oder einfachen Kränen vorliegen, so können durchaus bewegungsumformende oder kraftübertragende Maschinenelemente angebaut werden, z. B. übersetzte Seilwinden, Hammerwerke, Pumpmaschinen u. a.

5.2 Entwicklung der Aufgabe

Auf seine Erlebnisse und anschaulichen Erfahrungen gestützt soll der Schüler lernen, wie sich der Mensch die Naturkraft des Windes durch technische Erfindungen zunutze gemacht hat. Damit diese Einsicht kreativ entwickelt werden kann, erscheint es günstig, in einem Gespräch vor dem eigentlichen Arbeitsauftrag von Fragestellungen auszugehen, wie sie damals den Erfindern von Windkraftmaschinen auch vorgelegen haben. Bekannt war – und ist es auch den Kindern – daß Wind zur Fortbewegung (Segelboote, Schiffe, Segelwagen) dienlich sein

kann. Da eine Reihe von Arbeitsvorgängen durch eine Drehbewegung ausgeführt werden kann (damals z. B. das Mahlen von Korn mit sich aufeinander drehenden Steinen oder das Hochziehen eines Schöpfeimers mit einem Haspelrad), war von Interesse, ob eine geradlinig fortschreitende Luftströmung in eine kontinuierliche Drehbewegung umgewandelt werden könnte, um eine Kraft zu erhalten, mit der z. B. Mühlsteine bewegt und Schöpfeimer hochgehoben werden könnten.

Diese Problemstellung ist auch auf das Unterrichtsvorhaben übertragbar. Da jedoch Mühlsteine oder Schöpfeimer und die im Zusammenhang damit erforderlichen Arbeitsabläufe den Kindern heute weitgehend unbekannt sind, sollte bei der Aufgabenstellung von andern, den Kindern einleuchtenderen Problemstellungen ausgegangen werden. Hier kann folgende Überlegung helfen: Drehbewegungen sind an vielen Geräten und Maschinen zu beobachten:

- im Haushalt beim Mixer, Plattenspieler, bei der Brotschneidemaschine, Waschmaschine, Wäscheschleuder, Kaffeemühle;
- in der Werkstatt beim Bohren mit der Handbohrmaschine oder elektrischen Bohrmaschine, bei der Schleifmaschine für Werkzeuge, Messer, Scheren . . . , bei der Kreissäge;
- auf Jahrmärkten beim Karussell . . . ;
- auf Baustellen Betonmischer, Seiltrommeln bei Kränen, Seilwinden; Fördermaschinen (Bergwerk). Drehbewegungen werden also sehr häufig benötigt, um die Arbeit zu verrichten und zu erleichtern. Es ist deshalb sinnvoll, nach einer Möglichkeit zu suchen, die Kraft des Windes zu nutzen und sie zur Erzeugung einer Drehbewegung zu verwenden.

5.3 Vorschläge für Anfangssituationen

(Klasse 2–3)

Ihr wißt, daß die Menschen viele Dinge erfunden haben, um sich das Leben bequemer und die Arbeit leichter zu machen. Nennt Beispiele für solche Erfindungen!

Heute gibt es viele Maschinen, die dem Menschen die Arbeit erleichtern, z. B. Sägemaschine, Kaffeemühle, Staubsauger, Bagger, Kräne, Lastautos . . . Um diese Maschinen anzutreiben, braucht man etwas, was die Antriebsenergie abgibt, z. B. Automotor, Strom . . .

Früher hatte man noch keine Motoren und keinen Strom; trotzdem hatten die Menschen schon Maschinen, z. B. große Mühlen. Wie wurden diese wohl angetrieben? (vom Wasser und vom Wind). Wie das z. B. mit dem Wind vor sich ging, sollt ihr nun erfahren.

(Klasse 4)

Wir haben schon über den elektrischen Strom gesprochen. Ihr wißt daher noch, daß es verschiedene Stromquellen gibt, z. B. Batterien, Akkus, Dynamos am Fahrrad und riesige Dynamos in Kraftwerken, die man Generatoren nennt und die den elektrischen Strom für unsere Fabriken und Wohnungen erzeugen.

Der Dynamo hat ein Rädchen, das schnell gedreht werden muß, damit Strom erzeugt wird. Ebenso ist es bei einem großen Generator. Die Techniker versuchen auf alle möglichen Weisen, mit Maschinen diese Drehbewegung zu erzeugen, um die Generatoren anzutreiben, z. B.

- mit Motoren, wie wir sie bei den Traktoren und Lastwagen haben;
- mit Wasserdampf, der ein Schaufelrad antreibt,
- mit Wasser, das mit hohem Druck auf ein Turbinenrad gelenkt wird.

Weil viele dieser Maschinen gefährliche Abgase und Schmutz verursachen oder auch viel Öl brauchen, untersucht man heute, ob man mit Wind Drehbewegungen erzeugen könnte, um Generatoren für die Stromversorgung anzutreiben. Tatsächlich kann der Wind große Kräfte ausüben, wie das ja von den Segelschiffen her bekannt ist. Das Problem ist daher, wie man diese Kräfte in Drehbewegungen umwandeln kann. Dieses Problem sollt ihr heute selbst zu lösen versuchen.

Alternativ-Vorschlag

Das Gespräch über Windräder zur Aktivierung des Vorwissens kann auch durch Bilder von Windmühlen ausgelöst werden. Die Schüler werden dadurch aufgefordert zu erzählen, was sie von Windrädern und Windmühlen wissen.

Hinweis: Um die Schüler auf den Arbeitsauftrag weiter vorzubereiten, ist im Anschluß an das Gespräch ein Windrad in Betrieb zu nehmen. Das Anblasen geschieht am zweckmäßigsten mit einem Ventilator („Damit ich nicht ständig blasen muß, benutze ich den Ventilator“). Bei dieser Demonstration ist insbesondere zu klären, daß der Wind von „vorn“ kommen muß, damit das Windrad läuft.

5.4 Arbeitsaufträge

1. Baut ein Windrad mit zwei oder mehr Flügeln und setzt es auf eine Achse.
2. Baut ein stabiles Gestell für Windrad und Achse und sorgt dafür, daß sich das Windrad leicht darin drehen kann.
3. Haltet das Modell schließlich in den Luftstrom eines Ventilators und beobachtet, was geschieht.

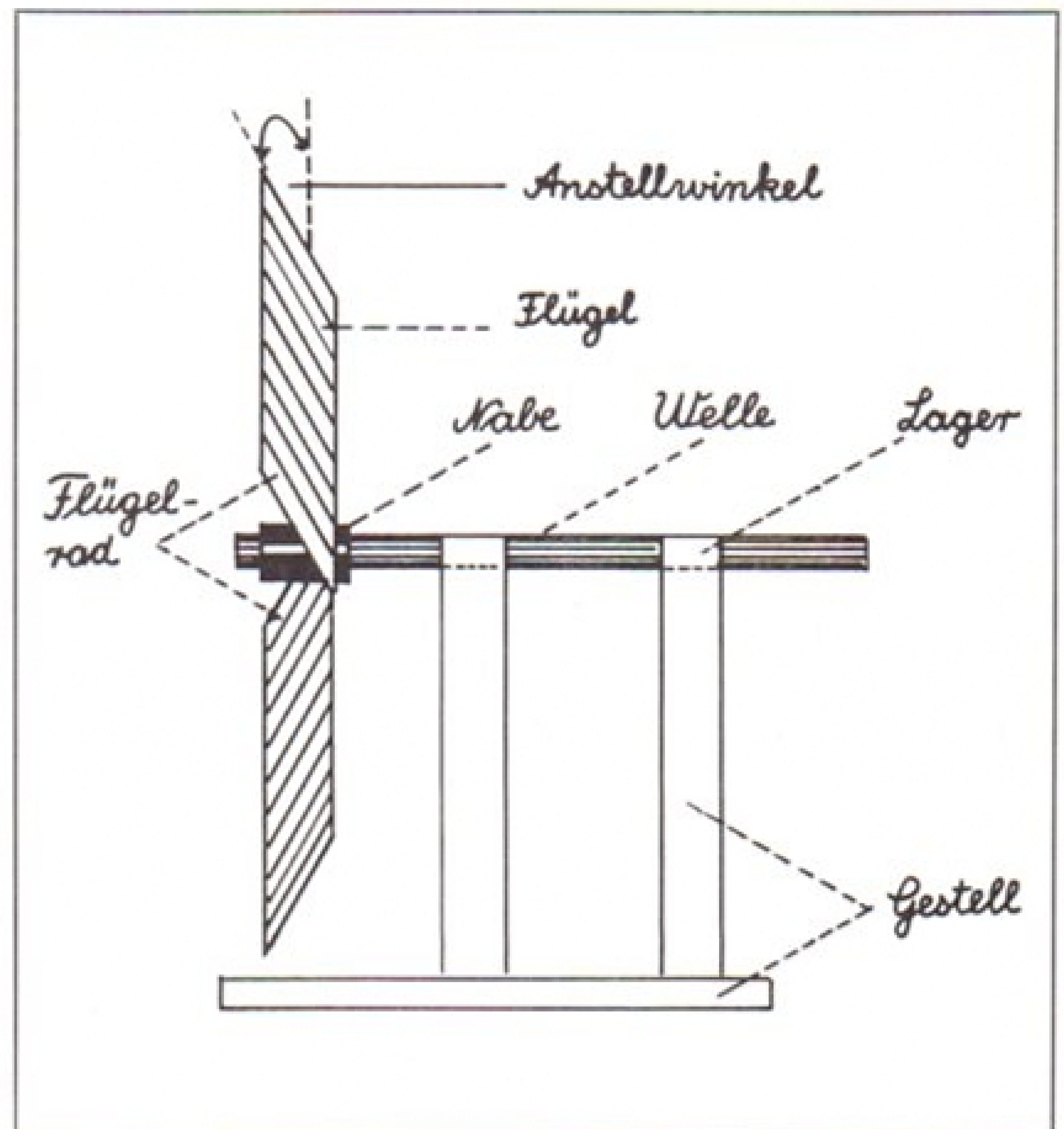


Abb. 18: Anhand dieser Skizze können wichtige Begriffe geklärt werden.

4. Wenn sich das Windrad nicht oder zu wenig dreht, dann versucht, die Ursache (den Grund) zu finden und euer Modell zu verbessern.

*5.5 Zur praktischen Arbeit**5.5.1 Konstruktion des Flügelrades*

Sofern genügend Zeit zur Verfügung steht, kann man die Kinder zunächst frei planen und bauen lassen. Als Hilfen kann auf die Möglichkeiten verwiesen werden, Drehscheiben, Seiltrommeln und Flachbausteine zu verwenden. In einer solchen ersten Phase wird es wahrscheinlich keinem Kind gelingen, ein funktionsfähiges Windrad zu bauen. Die Schrägstellung der Flügel wird, wenn sie von den Kindern überhaupt bewußt angestrebt wird, meist nur mit Hilfe der Winkelsteine versucht. Bei der Erprobung zeigt sich dann, daß die Modelle nicht oder nur bei einseitigem Anblasen funktionieren. Wenn die Schüler nicht von selbst vermuten oder feststellen, daß die Flügel schräg stehen müssen, so kann dies an einem einfachen Modell gezeigt werden. Der Lehrer stellt z. B. ein Modell wie in Abb. 2 oder Abb. 9 vor, dessen Flügel alle in einer Ebene senkrecht zur Windrichtung stehen. Beim Anblasen dreht sich das Rad nicht. Sobald nun ein Flügel an dem Modell schräg gestellt wird, beginnt es, sich zu drehen; um so stärker, je mehr Flügel in derselben Richtung verdreht werden. Nach dieser ersten Bauphase (und wenn hierfür keine

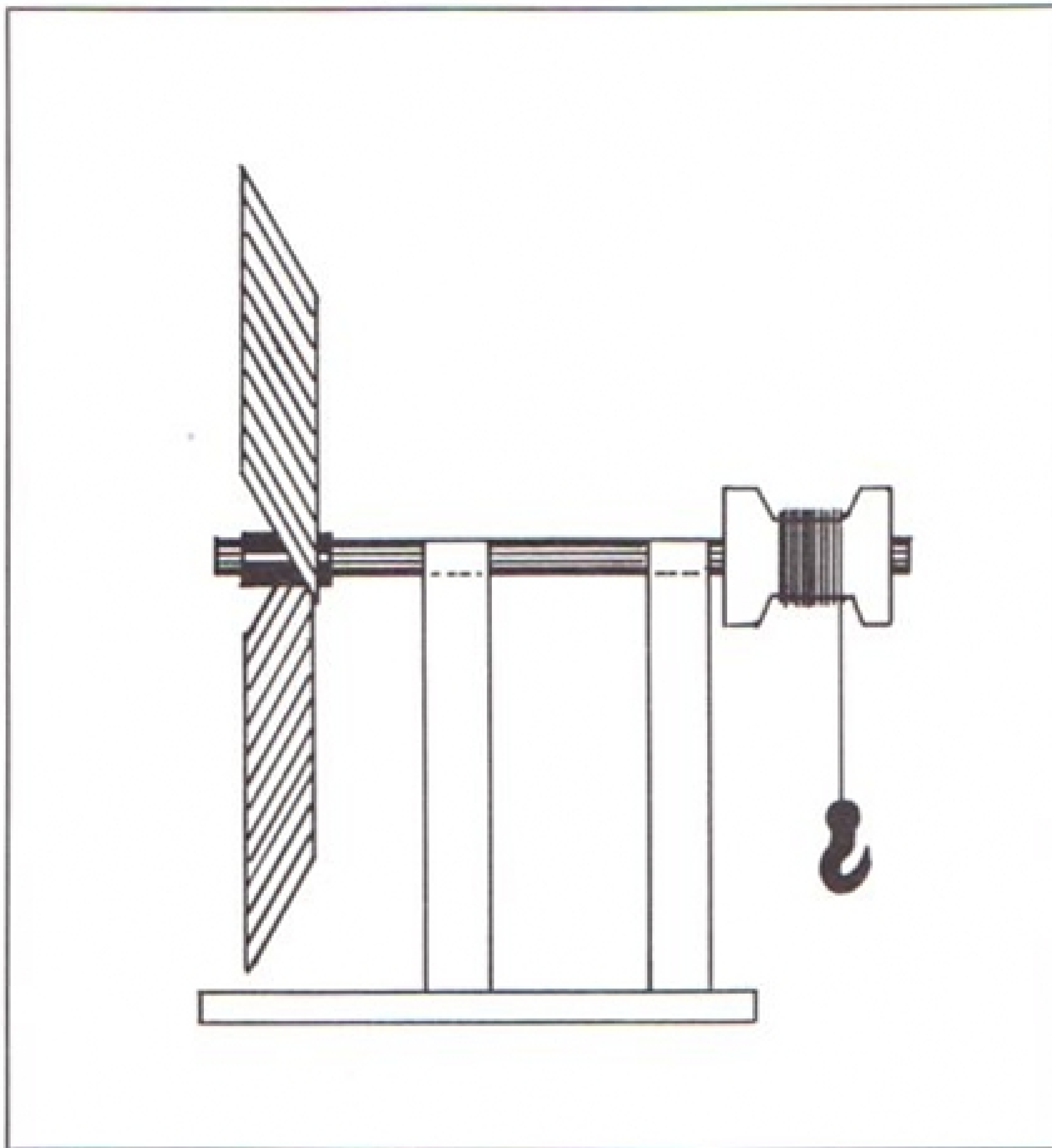


Abb. 19: Skizze zur Verdeutlichung des Auftrags „Bau eines einfachen Hebezeugs“

Zeit zur Verfügung steht, gleich zu Beginn der praktischen Arbeit) kann der Lehrer zeigen, wie die Flügelkreuze am besten gebaut werden, so daß an den Enden runde Zapfen vorhanden sind (Abb. 5, 7 und 8), ohne daß er die Notwendigkeit hierfür sofort mitteilen muß. Die Schüler haben dann mit dem Anbringen der Flügel und dem Bau des Gestells noch genügend Probleme zu lösen.

Zur Prüfsituation

Die Erprobung geschieht am zweckmäßigsten in der Weise, daß das Windrad von einem Ventilator angeblasen und die Wirkung des Windes auf das Windrad beobachtet wird.

Im Blick auf die Zahl der entstandenen Modelle ist es günstig, nach Fertigstellung der Arbeiten Gruppen an jedem vorhandenen Ventilator bilden zu lassen, um unnötige Wartezeiten bei der Erprobung zu vermeiden. Ein Schüler kann dann jeweils angewiesen werden, bei der Erprobung auf besondere Stellen zu achten, z. B. auf die Schrägstellung der Flügel, auf gute Befestigung der Achse bzw. Welle, auf stabiles Gestell, auf leichten Lauf der Welle, auf feste Flügel.

Zur Verständigung sollten an der Tafel mit Hilfe einer Skizze (Abb. 18) wichtige Begriffe eingeführt werden: Flügel, Flügelrad, Nabe, Welle, Lager, Gestell, Schrägstellung (Anstellwinkel). Besonderes Augenmerk ist bei der Erprobung darauf zu legen, ob die Schrägstellung der Flügel bei allen Modellen richtungsgleich erfolgt ist. Bei manchen Modellen

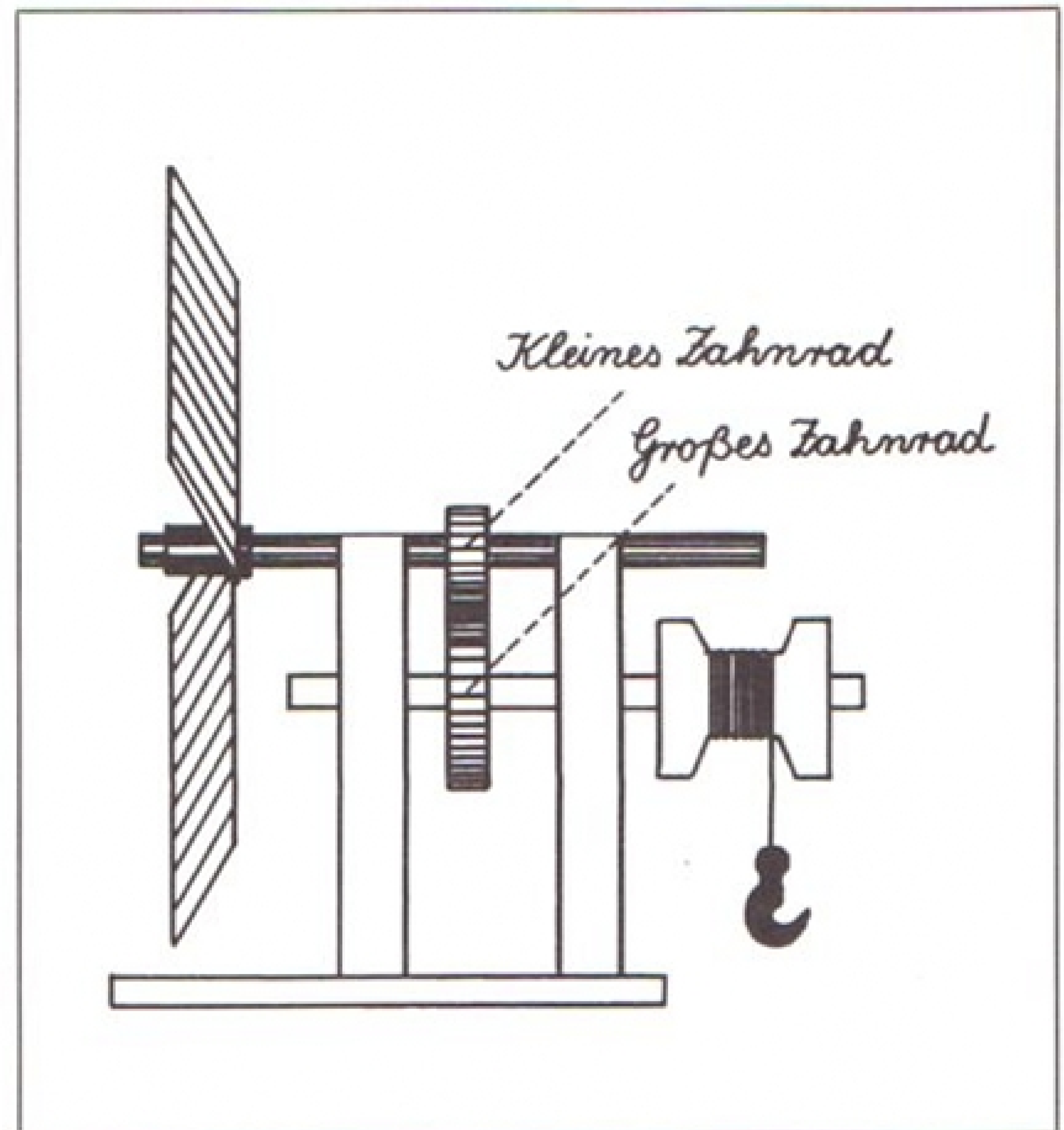


Abb. 20: Skizze des Windkraft-Hebezeugs mit Übersetzung ins Langsame

werden die Flügel zwar verdreht, stehen aber nicht richtungsgleich. Dadurch hebt sich die Windkraft-Wirkung teilweise auf. Die Kontrolle erfolgt in der Weise, daß alle Flügel nacheinander in dieselbe Stellung gebracht werden und dabei untersucht wird, ob jeder Flügel in derselben Richtung verdreht ist, also z. B. jeder im Uhrzeigersinn oder jeder entgegengesetzt.

5.5.2 Bau einer Windkraftmaschine

Nun habt ihr die Bewegung des Windes mit Hilfe des Windrads in eine Drehbewegung umgewandelt. Was können wir nun mit dieser Drehbewegung anfangen? Was für eine kleine Maschine, die durch die Drehung angetrieben wird, könnten wir dazu bauen? Wir könnten z. B. „Autorennen“ spielen. Wir stecken auf die Welle des Windrades eine Fadenrolle. Wenn der Wind das Rad dreht, wird sich der Bindfaden aufwickeln und das Auto heranziehen oder eine kleine Last anheben (Abb. 19).

Probiert das einmal! Verwendet anstelle einer Fadenrolle die Seiltrommel.

Erweiterung für eine 4. Klasse

Damit eine größere Last angehoben werden kann, kann man ein Zahnradgetriebe einbauen. Auf die Welle des Windrades wird ein kleines Zahnrad gesetzt. Dann bauen wir eine zweite Welle mit einem großen Zahnrad ein, das in das kleine greifen soll (Abb. 20). Beobachtet was geschieht! (Wenn wir auf diese Welle eine Seiltrommel setzen, dreht sie

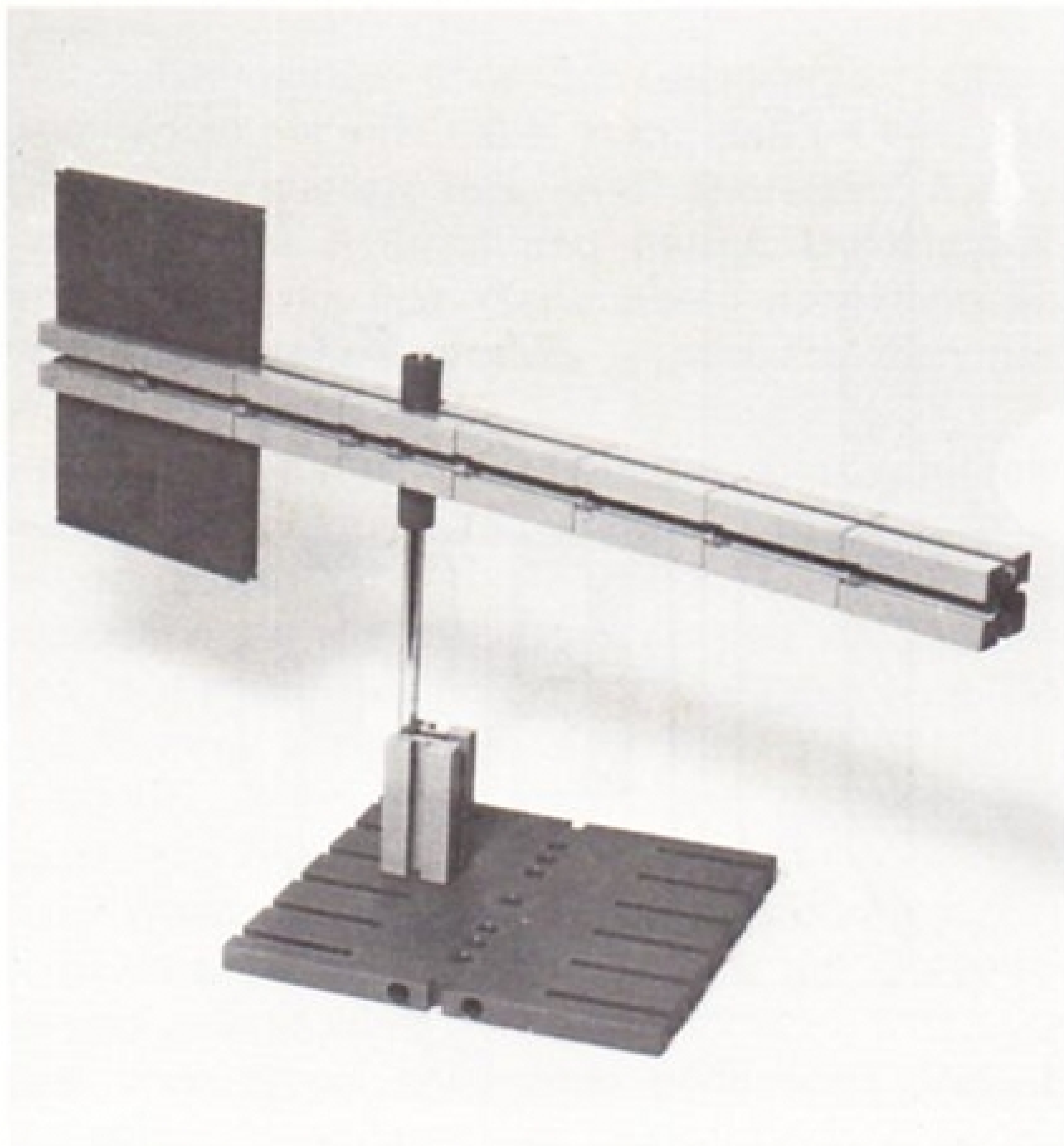


Abb. 21: Balken mit Steuerflosse als Vorstufe zum Bau des Windrads mit Steuerflosse

sich langsamer als vorher, sie kann jedoch ein schwereres Gewicht heben.)

Statt der Seiltrommel kann auch eine Nockenscheibe eingesetzt werden, durch die dann ein Hammerwerk angetrieben werden kann (Abb. 15).

5.5.3 Bau eines Windrads mit Steuerflosse

Es erscheint sinnvoll, die Erfindung eines sich automatisch in den Wind stellenden Windrades für sich neu aufzugreifen, nachdem die Kinder festgestellt haben, daß die gebauten Windräder und Windkraftmaschinen nur dann richtig funktionieren, wenn der Wind das Windrad parallel zur Achse durchläuft.

Für die Konstruktion von Modellen mit Steuerflossen ist eine leichtere Bauform günstig (Abb. 16 und Abb. 17) und ein völlig anderes Gestell erforderlich, als es für die Vorversuche und den Bau kleinerer Maschinen zweckmäßig war. Daher ist es unergiebig, die ursprünglichen Modelle umzubauen, sondern besser, neu zu beginnen.

Der Lehrer weist in der Anfangssituation darauf hin, daß für den Betrieb der Windkraftmaschinen das große Problem besteht, daß der Wind nicht immer aus derselben Richtung kommt. Die Kinder werden vorschlagen, daß man das Windrad dann eben entsprechend schwenken können sollte, um die Flügel günstig in den Wind zu bringen. Der Lehrer behauptet nun, daß es durch eine technische Maßnahme möglich sei, daß sich das Windrad ohne

Eingreifen des Menschen automatisch in den Wind stellt.

Vielleicht haben einige Kinder schon konkrete Vorstellungen und tragen diese vor. Wenn nicht, kann der Lehrer einen zweiseitigen Hebel als Denkanstoß vorzeigen, der an einem Ende mit einer senkrecht stehenden Platte versehen ist (Abb. 21). Wenn man diesen quer zur Windrichtung an den Ventilator hält, schwenkt die Platte nach hinten und stellt den Hebel in Richtung des Ventilators, also parallel zur Windrichtung ein.

Die Kinder sollen nun einen solchen zweiseitigen Hebel bauen. Er soll an einem Ende ein Windrad, am anderen Ende eine Steuerflosse tragen. Er sollte dort senkrecht unterstützt (gelagert) werden, wo sein Schwerpunkt ist. Diesen findet man dadurch, daß man den Hebel mit Windrad und Steuerflosse auf einem Finger balanciert. Wenn der Hebel im Gleichgewicht ist, sollte er an dieser Stelle gelagert werden. Auch durch zusätzliche Bausteine kann man den Hebel ausbalancieren.

5.5.4 Zur Auswertung

Als Erklärung für das Zustandekommen der Drehbewegung kann folgende Information dienen: Drückt man mit dem Finger oder einem Bleistift von vorn gegen den schräg gestellten Flügel, so wird er nach der Seite weggedreht. Dasselbe ist der Fall, wenn der Wind gegen den schräg gestellten Flügel drückt. Steht der Flügel dagegen mit seiner breiten Fläche direkt gegen den Wind, so drückt der Wind das Windrad nur weg. Es gibt in diesem Fall keine Drehbewegung.

5.5.5 Weiterführung/Realbezug

Das Vorstellen von Windkraftmaschinen aus der Vergangenheit und der Gegenwart stellt den Bezug zur technischen Wirklichkeit her. Durch das Vergleichen der entwickelten Modelle mit Gebilden aus der Wirklichkeit begegnet dem Schüler das Gebilde „Windrad“ in einer anderen Weise (z. B. Foto, Zeichnung). Diese neue Darstellungsform und die andere Erscheinungsweise reizen ihn, Ähnlichkeiten zu suchen und zu beschreiben. So werden wichtige Fachausdrücke erneut benötigt. Wesentliche Funktionsmerkmale sind wiederzufinden (schräg gestellte Flügel, beliebige Anzahl der Flügel, axiale Windrichtung . . .).

So wird dadurch, daß der Schüler seine Erfahrungen aus dem Bauen und Erproben des Modells zur Beschreibung der Funktionsweise des realen technischen Gebildes heranziehen kann, ein Beitrag zum Erreichen des Ziels geleistet: Dinge aus der Umwelt besser zu durchschauen und besser zu erfassen.