

Monika Zolg, Rita Wodzinski, Holger Wöhrmann (Hrsg.)

Materialien für den naturwissenschaftlichen
und technischen Sachunterricht

1

Anette Lambert | Petra Reddeck

Brücken - Türme - Häuser

Statisch-konstruktives Bauen in der Grundschule

Kassel 2007

Das Werk ist unter der Creative Commons Licence veröffentlicht:



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/de/>

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<http://dnb.ddb.de> abrufbar

ISBN: 978-3-89958-259-4
URN: urn:nbn:de:0002-2597

© 2007, kassel university press GmbH, Kassel
www.upress.uni-kassel.de

Druck und Verarbeitung: Unidruckerei der Universität Kassel
Printed in Germany

INHALTSVERZEICHNIS

EINLEITUNG	1
1 BEGRÜNDUNG DES LERNGEGENSTANDES FÜR DIE GRUNDSCHULE	5
2 GRUNDLAGEN ZUM VERSTÄNDNIS DIESES MATERIALBANDES	
2.1 Ausgewählte Methoden für den technischen Bereich des Sachunterrichts	12
2.2 Erläuterungen zum Aufbau	19
3 BASISVERSUCHE ZUR STABILITÄT	
3.1 Profile / Materialumformung	22
3.2 Stabilität durch Aussteifung	31
3.3 Druck- und Zugkräfte	40
3.4 Standsicherheit durch Gleichgewicht	48
3.5 Standsicherheit im Mauerwerksbau	61
4 BRÜCKEN	
4.1 Fachtheoretische Grundlagen	75
4.2 Balkenbrücken	81
4.2.1 Fachwerkbalkenbrücken	94
4.3 Bogenbrücken	109
4.3.1 Kragsteinbogenbrücken	111
4.3.2 Keilsteinbogenbrücken	121
4.4 Hängebrücken	143
5 TÜRME	
5.1 Fachtheoretische Grundlagen	162
5.2 Türme aus Holzbausteinen	170
5.3 Türme aus Holzstäben	182
5.4 Murmeltürme aus Papier	191
6 HÄUSER	
6.1 Fachtheoretische Grundlagen	212
6.2 Häuser aus Mauerwerk	218
6.3 Fachwerkhäuser	229
SCHLUSS	247
GLOSSAR	248
LITERATURVERZEICHNIS	254
KOPIERVORLAGEN	

1 EINLEITUNG zur Materialreihe

Die vorliegende Materialreihe soll die Vermittlung und schulische Umsetzung naturwissenschaftlicher – vor allem physikalischer und chemischer – sowie technischer Themen im Sachunterricht unterstützen, indem sie als Informationsquelle sowohl in der Aus- als auch in der Fortbildung dient. Langjährige Erfahrungen in diesem Bereich haben uns immer wieder gezeigt, dass viele Studierende, aber auch Referendare/Referendarinnen und Lehrer/innen in der Aus- und Fortbildung kaum mit diesen Themenbereichen in Berührung gekommen sind. Als Folge davon ist festzustellen, dass diese Themengebiete im Sachunterricht nur in geringem Umfang aufgegriffen werden. In ihrer Untersuchung zur Situation der technischen Bildung im Sachunterricht in Nordrhein-Westfalen haben Kornelia Möller, Claudia Tenberge und Uwe Ziemann 1996 festgestellt¹:

- Weniger als die Hälfte aller Lehrer/innen bietet überhaupt technische Themen im Sachunterricht an
- Vier von fünf Lehrer/innen sind im Zuge ihrer Ausbildung gar nicht oder allenfalls geringfügig mit technischen Themen in Kontakt gekommen, wobei dieser Anteil bei Lehrerinnen höher ist als bei Lehrern
- Die Hälfte aller Lehrerinnen besitzt kein bzw. nur ein geringes theoretisches wie praktisches Technikinteresse. Bei den befragten Männern sind dies unter 20 %
- Nur jede 4. Lehrperson fühlt sich überhaupt kompetent genug, einen technikbezogenen Sachunterricht durchzuführen. Je inkompetenter sich die Lehrer/innen fühlen, desto weniger technische Themen werden im Unterricht angeboten
- Dagegen bestehen keine Bedenken darüber, dass technikbezogene Inhalte und das Erlernen handwerklich-praktischer Fähigkeiten in den Sachunterricht gehören. 67 % halten dies für wichtig bzw. sogar sehr wichtig
- Die wesentlichen Änderungsvorschläge beziehen sich auf ein verbessertes Ausbildungs- und Fortbildungsangebot (27 %), verbesserte Ausstattung, z. B. spezielle Fachräume, geringere Klassenstärken

Eine von Strunk, Lück und Demuth² durchgeführte Klassenbuch-Analyse, in der 6.062 Sachunterrichtsstunden von 56 Klassen in Kiel 1995/96 untersucht wurden, ergab ein

¹ vgl. Möller, Kornelia / Tenberge, Claudia / Ziemann, Uwe: Technische Bildung im Sachunterricht. Münster 1996. S. 69-70. Datenbasis: 1071 Fragebögen

² vgl. Strunk, Ulrich / Lück, Gisela / Demuth, Reinhard.: Der naturwissenschaftliche Sachunterricht in Lehrplänen, Unterrichtsmaterialien und Schulpraxis - Eine quantitative Analyse der Entwicklung in den letzten 25 Jahren. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. 4. H. 1. 1998. S.69-80

Inhaltsspektrum, das eher an den Heimatkundeunterricht erinnert und in dem Physik und Chemie nur eine sehr geringe Rolle spielten.

Die im Rahmen des BLK-Projektes NWWL (**N**etzwerk **W**issenschaftliche **W**eiterbildung für **L**ehrkräfte) von uns in 2004 und 2005 durchgeführten Untersuchungen zur Situation des technischen, physikalischen und chemischen Sachunterrichts in Nordhessen stimmen mit den vorherigen Untersuchungen überein. Vor allem wurde deutlich, dass über zwei Drittel der Lehrer/innen den Sachunterricht fachfremd unterrichten.

Daraus folgt, dass diese Themenbereiche in Aus- und Fortbildung besser verankert und durch entsprechendes Informationsmaterial unterstützt werden müssen. Dies ist die Intention dieser Materialreihe. Sie soll für Studierende in der Ausbildung und Lehrende in der Schulpraxis gleichermaßen als ein Informations- und Nachschlagewerk dienen. Der erste Band beschäftigt sich mit einem technischen Thema, die folgenden werden im Wechsel ein Thema aus dem physikalischen bzw. chemischen Themenspektrum des Sachunterrichts aufgreifen.

Monika Zolg – Rita Wodzinski – Holger Wöhrmann

EINLEITUNG zum Band 1

Mit dem Thema „Bauen“ sind sicherlich alle Grundschul Kinder in ihrem bisherigen Leben auf irgendeine Weise in Berührung gekommen: Beispielsweise haben einige von ihnen spielerisch zu Hause oder im Kindergarten Bauerfahrungen mit Holzbausteinen oder Baukästen sammeln können, andere wiederum haben schon selbst Hütten oder Sandburgen errichtet. Auch wenn manche Schüler und Schülerinnen vielleicht noch nie selbst etwas gebaut haben sollten, so haben sie zumindest in ihrer Umwelt unterschiedliche Baustellen und Bauwerke aller Art wahrnehmen können.

Kinder versuchen auf verschiedene Weisen sich ihre Umwelt zu erschließen und mit ihr vertraut zu werden, beispielsweise durch deren bauliche Nachgestaltung. Sie verfügen über eine ursprüngliche Lust am Bauen.³ „Die heutigen Lebensumstände verhindern jedoch häufig die Befriedigung dieser entwicklungsbedingten Antriebe“⁴, wenn die Kinder beispielsweise kein geeignetes Spielmaterial erhalten oder in einer Großstadt aufwachsen, weshalb das Thema „Bauen“ in der Grundschule einen wichtigen Stellenwert erhält. In diesem Materialband liegt dabei das Augenmerk auf dem „[e]lementare[n] Erschließen der Umwelt unter statisch-konstruktiven Gesichtspunkten.“⁵

Der Band *„Brücken – Türme – Häuser – Grundlagen des statisch-konstruktiven Bauens in der Grundschule“* beschäftigt sich mit der Konzeption und praktischen Umsetzung zum statisch-konstruktiven Bauen vor allem für die Klassen 1 bis 4. Da die Verfasserinnen beide ausgebildete Architektinnen sind, liegt ein Schwerpunkt dieses Materialbandes auf einer informativen Sachanalyse zu jedem thematischen Unterrichtsvorschlag. Darüber hinaus bilden didaktisch-methodische Anregungen, die mögliche Zugangsweisen zu den jeweiligen Themen mit vielen praktischen Hinweisen aufzeigen, einen weiteren Schwerpunkt. Alle Bauvorschläge wurden von den Verfasserinnen praktisch umgesetzt und im Hinblick auf ihre Tauglichkeit im Grundschulunterricht untersucht und bewertet.

Im ersten Kapitel wird auf den Stellenwert des statisch-konstruktiven Bauens im Grundschulunterricht eingegangen, wobei sich die Begründung dieses Lerngegenstands insbesondere am *Perspektivrahmen Sachunterricht*⁶ und am hessischen *Rahmenplan Grundschule*⁷ orientiert. Unter Punkt 2 werden ausgewählte Methoden für den technischen Bereich des Sachunterrichts vorgestellt und der Aufbau

³ vgl. Kälberer, Günter / Hüttenmeister, Hilleke: Bauen, Konstruieren, Montieren. Leipzig 2002. S. 6.

⁴ ebd.

⁵ Eckel, Johann / Halamiczek, Herbert: Werkerziehung Grundstufe 1. Bauen – Wohnen, Technik, Produktgestaltung. Wien 1981. S. 9

⁶ Perspektivrahmen Sachunterricht. Hg. v. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU). Bad Heilbrunn 2002

der vorliegenden Arbeit erläutert. In Kapitel 3 werden in verschiedenen Basisversuchen unterschiedliche Faktoren thematisiert, die für die Stabilität von Bauwerken verantwortlich sind. Die einzelnen Basisversuche dienen als Ergänzung bzw. Grundlage für die nachfolgenden Themen und sind jeweils für mehrere Bauvorschläge von Bedeutung. Kapitel 4–6 beschäftigen sich mit den Hauptthemen „Brücken“, „Türme“ und „Häuser“ und sind jeweils in verschiedene Unterkapitel, die sowohl fachliche wie auch methodisch-didaktische Informationen vermitteln, aufgeteilt.

Die Begriffe „statisch“ und „konstruktiv“ dürften bekannt sein, doch was sie genau bedeuten bzw. inwiefern sie sich unterscheiden, ist wahrscheinlich nicht allen Lesern und Leserinnen geläufig. (Bau-)Statik und (Bau-)Konstruktion sind zwei angrenzende Fachgebiete im Bauwesen.

Statik ist ein Begriff, der in verschiedenen Bereichen verwendet wird. In der Physik bezeichnet Statik ein Teilgebiet der Mechanik und ist „die Lehre von den Kräften, die im Gleichgewicht stehen, so dass der Körper, auf den Kräfte wirken, sich nicht bewegt, also in Ruhe bleibt.“⁸ Die dort gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für das technische Fachgebiet Baustatik, welche die Anwendung der Statik im Bauwesen zum Ziel hat.⁹ Bei der Baustatik geht es um die modellhafte Berechnung von Tragwerken, um so die notwendigen Dimensionen, Abmessungen, Querschnitte usw. von Bauteilen und Bauwerken zu ermitteln.¹⁰ Im Bauwesen ist „Statik“ die geläufige Kurzform von „Baustatik“ bzw. „Statik der Baukonstruktionen“ und eine andere Bezeichnung für „Tragwerkslehre“. In der vorliegenden Arbeit wird vorrangig der Begriff „Statik“ verwendet.

Beschäftigt sich die Statik mit der Bemessung von Bauteilen und Bauwerken, bezeichnet in der Bautechnik der Begriff „Konstruktion“ „alle Ideen, Überlegungen, Prinzipien, Berechnungen und Verfahren, welche die Funktion eines [...] Bauwerks [...] gewährleisten.“¹¹ Die Statik ist demnach ein Teil bzw. eine Grundlage für die Konstruktion eines Bauwerks, während die Konstruktion eine Vielzahl von unterschiedlichen Tätigkeiten beinhaltet und in einem Entwurf gebündelt die Grundlage für die Errichtung eines Bauwerks bildet.

Die verschiedenen Beispiele des vorliegenden Materialbandes beschäftigen sich in dem Maße sowohl mit statischen als auch mit konstruktiven Grundprinzipien, wie sie für die Grundschule relevant sind.

Monika Zolg

⁷ Rahmenplan Grundschule. Hg. v. Hessisches Kultusministerium. Wiesbaden 1995

⁸ vgl. Mann, Walther: Vorlesungen über Statik und Festigkeitslehre. Einführung in die Tragwerkslehre. 2., überarb. Aufl. Stuttgart 1997. S. 13/14

⁹ vgl. ebd. S. 15

¹⁰ vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Baustatik> (28.10.05)

¹¹ vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Konstruktion> (28.10.05)

1 BEGRÜNDUNG DES LERNGEGENSTANDES FÜR DIE GRUNDSCHULE

Der Lerngegenstand dieses Materialbands ist statisch-konstruktives Bauen, das in die Themenbereiche Brücken, Türme und Häuser sowie Basisversuche zur Stabilität untergliedert ist. Die Begründung des Lerngegenstandes wird im Folgenden mithilfe des zur Zeit gültigen *Rahmenplans Grundschule* von 1995, der für das Bundesland Hessen als Richtlinie dient, sowie anhand des Perspektivrahmens Sachunterricht von 2002, der von der Gesellschaft für die Didaktik des Sachunterricht (GDSU) als übergeordnetes bundesweites Medium zur Orientierung für den Sachunterricht herausgegeben ist, vorgenommen.

Im vorliegenden Band wurde versucht, die verschiedenen Unterrichtssequenzen und Unterrichtseinheiten so zu konzipieren, dass den Kindern durch die Kombination von Wahrnehmen, Denken und Handeln ein ganzheitliches Lernen ermöglicht wird. Durch diesen Aufbau sollen bei den Kindern „Lernprozesse [erreicht werden, die] [...] gekennzeichnet [sind] durch eine enge Wechselbeziehung zwischen Erfahren und Verarbeiten, Handeln und Nachdenken.“¹

RAHMENPLAN GRUNDSCHULE

Fachdidaktische Grundsätze

Nach den fachdidaktischen Grundsätzen des *Rahmenplans Grundschule* sind die "Themen des Sachunterrichts [...] aus der Umwelt der Kinder zu gewinnen."² Das Thema "Statisch-konstruktives Bauen" begegnet den Kindern in ihrer Lebenswelt, da sie von zahlreichen unterschiedlichen Bauwerken in ihrer Umwelt umgeben sind. Ziel des vorliegenden Lehrerhandbuches ist es, den Blick der Kinder für die sie umgebenden statischen und konstruktiven Sachverhalte zu schärfen. Das geschieht an konkreten Beispielen und knüpft an die Erfahrungen der Kinder an.

Unterricht sollte sich dabei nicht nur auf den Klasserraum beschränken, sondern zudem an außerschulischen Lernorten und in Realbegegnungen in der näheren Umgebung der Schule stattfinden.³ Dadurch wird eine Integration außerschulischer und

¹ Rahmenplan Grundschule. Hg. v. Hessisches Kultusministerium. Wiesbaden: Diesterweg 1995. S. 122.

² ebd. S. 123.

³ vgl. Lexikon Sachunterricht. Hg. v. Astrid Kaiser. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 168.

schulischer Sacherfahrungen erreicht, die den SchülerInnen die Möglichkeit bietet, sich statisch-konstruktive Sachverhalte in unterschiedlichen Lernumgebungen zu erschließen.⁴

In einigen Unterrichtseinheiten wird der Zugang zu statisch-konstruktiven Sachverhalten durch eine spielerische Herangehensweise initiiert, beispielsweise beim Bau mit Holzbausteinen. Einer freien spielerischen Bauphase folgt meistens eine zielgerichtete spielerische Bauphase. Größtenteils erfolgt der Einstieg in ein Unterrichtsthema allerdings mittels selbsttätig durchgeführter Versuche, die zur Veranschaulichung von statisch-konstruktiven Lerninhalten dienen, und bei denen vorher aufgestellte Hypothesen überprüft werden. Ein Ziel des Lehrerhandbuches ist es, durch verschiedene Zugänge zu diesem komplexen Lerninhalt, die unterschiedlichen Lernebenen der SchülerInnen anzusprechen und zu berücksichtigen.⁵

Beim statisch-konstruktiven Bauen wird den Schülerinnen durch das Herstellen von Bauwerken mit Modellmaterialien oder Versuchen der Zugang zu theoretischen Sachverhalten erleichtert. In den entstehenden Lernsituationen treffen somit die thematisch-inhaltliche Ebene und die Handlungsebene zusammen und ermöglichen den SchülerInnen, sich handelnd mit einem theoretischen Lerninhalt auseinanderzusetzen.⁶

Sachunterrichtliche Lernsituationen sollten so konzipiert sein, dass den SchülerInnen ermöglicht wird, Qualifikationen zu entwickeln und zu erweitern. Im vorliegenden Lehrerhandbuch zum statisch-konstruktiven Bauen wurde dies dadurch erreicht, dass einige Qualifikationen, z. B. beobachten, vergleichen, untersuchen, die in den Basisversuchen zur Stabilität entwickelt werden, in den daran anschließenden Unterrichtseinheiten erweitert werden können.⁷

Der Lerngegenstand des statisch-konstruktiven Bauens stellt hauptsächlich Bezüge zu den Lernfeldern Technik, Arbeit und Naturphänomene her und verbindet diese miteinander. Die Erstellung von Brücken, Häusern und Türmen mit Holzbausteinen, Papier, das durch Umformung mehr Stabilität erreicht oder anderen Materialien, ist dem Lernfeld Technik zuzuordnen. Die Methoden mit denen dies geschieht, wie

⁴ vgl. ebd. S. 64.

⁵ vgl. Rahmenplan Grundschule. S. 123/124.

⁶ vgl. ebd. S. 124.

⁷ vgl. ebd. S. 122/123.

Fertigungsaufgabe oder Konstruktionsaufgabe (vgl. 2.1), bei denen die SchülerInnen einen bestimmten Produktionsablauf durchlaufen und kennen lernen, sprechen Aspekte des Lernfelds Arbeit an. Der Umgang mit unterschiedlichen Materialien und Werkzeugen sowie das Durchführen von Versuchen sind im Lernfeld Naturphänomene anzusiedeln. Andere Lernfelder werden nur am Rande berührt und könnten bei einer anderen Akzentuierung und Durchführung der Unterrichts Anregungen intensiver bearbeitet werden.⁸

Verknüpfung von Lernfeldern und Qualifikationen

Im *Rahmenplan Grundschule* werden die "Fähigkeiten, Fertigkeiten und methodenorientierten Verhaltensweisen"⁹ unter dem Begriff der Qualifikationen zusammengefasst, als Lernfelder werden „Bereiche aus der natürlichen und sozialen Umwelt der Kinder“¹⁰ bezeichnet. Nach dem *Rahmenplan Grundschule* ist es die Aufgabe und das Ziel des Sachunterrichts, dass "Inhalte von Lernfeldern mit Qualifikationen verknüpft werden."¹¹

Im folgenden Abschnitt wird dieses Zusammenspiel an einigen Beispielen in Bezug auf das Thema des statisch-konstruktiven Bauens erläutert.

Die SchülerInnen sollen in allen vorgeschlagenen Unterrichtssituationen, z. B. beim Bau von Modellen oder bei der Durchführung von Versuchen, auch mit anderen Kindern zusammenarbeiten. Die SchülerInnen müssen sich dabei innerhalb einer Gruppe organisieren und absprechen. Es müssen Arbeitsschritte geplant, Aufgaben verteilt und Verantwortung für einen Teilbereich übernommen werden. Die Qualifikation des "mit anderen umgehen" wird hierbei mit den Lernfeldern "Arbeit" und "Technik" verknüpft.¹²

Auch wenn in den Unterrichts Anregungen nicht jedes Mal darauf hingewiesen wird, empfiehlt es sich bei geeigneten Themen, die Schülerinnen aufzufordern, zu Beginn oder während einer Einheit Informationen zu dem jeweiligen statisch-konstruktiven Thema zu sammeln und mitzubringen. Diese Materialien werden im Laufe der Einheit von den Kindern geordnet und in entsprechender Weise für die Klasse zugänglich

⁸ vgl. ebd. S. 123/132/133/136.

⁹ ebd. S. 122

¹⁰ ebd. S. 122

¹¹ ebd. S. 122.

¹² vgl. ebd. S. 125/132/133.

gemacht. Im Lernfeld "Technik" kann dabei die Qualifikation "Informationen sammeln, ordnen und weitergeben" erworben werden.¹³

Das Anfertigen einer selbst entworfenen Zeichnung oder das Lesen einer vorgegebenen Zeichnung geht in den Unterrichts Anregungen den Modellbauphasen voraus. Bei der Herstellung von Modellen begeben sich die SchülerInnen mithilfe der Zeichnungen von der zweidimensionalen Ebene der Fläche auf die dreidimensionale Ebene des Raumes. Die Kinder umbauen mit ihren Modellen einen Raum und gewinnen dadurch Orientierung in diesem, wenn auch kleinen, Raum. Wenn die Kinder zuerst ein Modell entwickeln und dieses danach abzeichnen, gehen sie in umgekehrter Weise vor, indem sie eine Ansicht des dreidimensionalen Modells als Fläche zweidimensional darstellen. Auch bei dieser Vorgehensweise müssen sich die SchülerInnen im Modellraum orientieren, um einen Ausschnitt in der Flächenebene abbilden zu können. Es findet hierbei eine Verknüpfung des Lernfeldes "Technik" mit der Qualifikation des "sich im Raum orientieren" statt.¹⁴

Für einige der vorgeschlagenen Versuche ist es notwendig, dass die Kinder genaue Beobachtungen anstellen, um die Ergebnisse der Versuche vergleichen und unterscheiden zu können. Um die SchülerInnen bei diesem Vorgehen zu unterstützen, ist es notwendig, ihnen möglichst konkrete Beobachtungsaufgaben während der Versuche zu stellen. Die SchülerInnen sollen dadurch lernen, wie man beobachtet. Die Qualifikationen des "Beobachtens, Vergleichens und Unterscheidens" werden mit dem Lernfeld "Naturphänomene" verknüpft.¹⁵

PERSPEKTIVRAHMEN SACHUNTERRICHT

Kompetenzen

Die im *Perspektivrahmen Sachunterricht* für die einzelnen Perspektiven geforderten "Kompetenzen [unterscheiden sich von den Qualifikationen des *Rahmensplans Grundschule* dadurch, dass sie] [...] neben Sach- und Faktenwissen (deklaratives Wissen), [...] Orientierungswissen, verfahrensbezogene[n] Fähigkeiten und Fertigkeiten (pro-zedurales Wissen) [auch] Wissen, das der Kontrolle und Steuerung von Lern- und Denkprozessen zugrunde liegt (metakognitives Wissen), [umfassen]. Sie

¹³ vgl. ebd. S. 127/133.

¹⁴ vgl. ebd. S. 125/133.

¹⁵ vgl. ebd. S. 126/136.

zielen damit, über den bloßen Erwerb von Kenntnissen und Fertigkeiten hinaus, auf die Förderung des Verstehens."¹⁶

Im Folgenden werden einige Kompetenzen, die nach Ansicht der Verfasserinnen bei dem Thema "Statisch-konstruktives Bauen" erworben werden können, angesprochen. Dabei wird sich hauptsächlich auf die Kompetenzen der technischen Perspektive, in einem Punkt auch auf die naturwissenschaftliche Perspektive, bezogen. Auf eine mögliche Vernetzung mit anderen Perspektiven wird im darauf folgenden Abschnitt eingegangen.

Beim Lerngegenstand des statisch-konstruktiven Bauens kommt der Kompetenz des zeichnerischen Entwerfens und Darstellens eine große Bedeutung zu. Die Methode des Zeichnens wird einerseits als Grundlage verwendet, um Modelle herzustellen (zeichnerisches Entwerfen), andererseits zur Ergebnissicherung von gebauten Konstruktionen oder Versuchsaufbauten (zeichnerisches Darstellen). Im Prozess des zeichnerischen Entwerfens wird zudem die Kompetenz des Konstruierens angewendet. Der Begriff des Bauens findet sich bereits in der Bezeichnung des Lerngegenstands statisch-konstruktiven Bauens wieder und stellt damit ebenfalls eine der grundlegenden Kompetenzen dar, die erworben werden sollen. Das Bauen wird in den dargelegten Unterrichts Anregungen unterschieden in Bauen, bei dem nach vorgegeben oder selbst angefertigten Zeichnungen ein Bauwerk hergestellt wird, oder Bauen, in dem die jeweilige Konstruktion im Prozess des Bauens entwickelt wird.¹⁷

In den Zeichen- und Bauphasen üben oder, je nach Vorerfahrungen, vertiefen die SchülerInnen Kompetenzen wie "das sachgerechte Verwenden einfacher [Zeichengeräte (Lineal, Geodreieck) und] Werkzeuge"¹⁸ (Schere, Säge, Heißklebepistole) sowie "das sach[...]gerechte Verwenden von Materialien"¹⁹, wie Papier, Karton, Holz, Knete, Wolle, Kleber usw. Die SchülerInnen wenden während der Zeichen- und Bauphasen zudem die Kompetenz des Planens an, indem sie eine Vorzeichnung anfertigen, Arbeitsschritte vorausdenken und Material vorbereiten.

Wie bereits erwähnt, sollten alle statisch-konstruktiven Sachverhalte an einer konkreten Konstruktion bzw. einem Bauwerktyp mit den SchülerInnen bearbeitet werden. Zudem wird in allen Unterrichts Anregungen, meistens in Form von Fotos oder Abbildungen oder seltener in einem Unterrichtsgang bzw. einer Realbegegnung, ein

¹⁶ Perspektivrahmen Sachunterricht. Hg. v. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU). Bad Heilbrunn: Klinkhardt 2002. S. 4.

¹⁷ vgl. ebd. S. 19/20.

¹⁸ ebd. S. 19.

¹⁹ ebd. S. 19.

Transfer zur gebauten Umwelt hergestellt. Beide Vorgehensweisen sollen die SchülerInnen dabei unterstützen, sich technische Zusammenhänge im Bereich des statisch-konstruktiven Bauens zu erschließen und diese verstehen und erklären zu können.²⁰

Bauen ist ein Thema, das Mädchen und Jungen interessant, z. B. gibt es viele Architektinnen. Bei den vorgeschlagenen Anregungen für den Unterricht soll an die Vorerfahrungen und das Vorwissen der SchülerInnen angeknüpft werden. Außerdem tragen ein kleinschrittiger Aufbau und Wiederholungen der durchgenommenen statisch-konstruktiven Sachverhalte dazu bei, dass Jungen und Mädchen "auf der Basis erworbenen Könnens, Wissens und Verstehens Interesse sowie ein positives Bewusstsein ihrer eigenen technikbezogenen Fähigkeiten aus[bilden können]."²¹

Die SchülerInnen nähern sich bei allen behandelten Themen dieses Lehrerhandbuches den statisch-konstruktiven Phänomenen auch immer mit Hilfe von Versuchen bzw. technischen Experimenten. In der technischen Perspektive wird die experimentelle Herangehensweise in komprimierter Form beschrieben: "durch einfache technische Experimente grundlegende technische Wirkungsprinzipien erkunden [...]."²² Eine differenzierte Auffassung von Versuchen, die dem von den Verfasserinnen beabsichtigtem Versuchscharakter eher entgegenkommt, findet sich in der naturwissenschaftlichen Perspektive wieder. Den Versuchen, die die SchülerInnen selbsttätig durchführen sollen, geht oftmals eine Phase der Hypothesenbildung voraus, die anhand des Versuchs verifiziert oder falsifiziert werden sollen. Dieser Aufbau von Versuchen wird auch im technischen Experiment praktiziert (vgl. 2.1). Die Ergebnisse werden meist auf zeichnerische Weise dargestellt und die Erkenntnisse auf andere statische Phänomene übertragen. Auch wenn der Aufbau der Versuche größtenteils vorgegeben ist, entwickeln die SchülerInnen dabei Kompetenzen, die den in der naturwissenschaftlichen Perspektive angesiedelten Kompetenzen des „Entwickeln[s] und Formulieren[s] von Vermutungen; [...]; Entwerfen[s], Durchführen[s] und Auswerten[s] von Versuchen; Darstellen[s] von Ergebnissen; Übertragen[s] von Versuchen auf weitere Naturphänomene"²³ in vielen Punkten entsprechen.

²⁰ vgl. ebd. S. 19.

²¹ ebd. S. 19.

²² ebd. S. 20.

²³ ebd. S. 16.

Vernetzung mit anderen Perspektiven

In den didaktischen Konzeptionen des *Perspektivrahmens Sachunterricht* wird eine sinnvolle Vernetzung der unterschiedlichen Perspektiven im Sachunterricht gefordert.²⁴

Beim Thema des statisch-konstruktiven Bauens können neben der technischen Perspektive, deren Kompetenzen, Inhalte und Verfahren den Hauptschwerpunkt des Lerngegenstands bilden, Aspekte der historischen Perspektive angesprochen werden, indem bei den einzelnen Themen auf die Ursprungsformen der verschiedenen Bauwerke eingegangen werden kann. Den Kindern kann dadurch deutlich werden, dass sich gegenwärtige Konstruktionen auf die Ergebnisse vergangener Entwicklungen, Erfahrungen und Entdeckungen stützen.²⁵

Verbindungen zur naturwissenschaftlichen Perspektive werden, wie bereits bei den Kompetenzen erwähnt, erreicht, indem die SchülerInnen Versuche durchführen und dabei Beobachtungen und Vergleiche anstellen, Vermutungen aufstellen und diese überprüfen.²⁶

Die sozial- und kulturwissenschaftliche Perspektive wird hauptsächlich bei der Bildung von Arbeitsgruppen und dem Einbringen und Argumentieren innerhalb einer Gruppe berührt.²⁷

²⁴ vgl. ebd. S. 3.

²⁵ vgl. ebd. S. 21.

²⁶ vgl. ebd. S. 16/17.

²⁷ vgl. ebd. S. 12.

2 GRUNDLAGEN ZUM VERSTÄNDNIS DIESES MATERIALBANDES

2.1 Ausgewählte Methoden für den technischen Bereich des Sachunterrichts

Die in diesem Buch vorgestellten Unterrichts Anregungen beziehen sich auf den technischen Schwerpunkt des Sachunterrichts. Da nicht davon ausgegangen werden kann, dass alle LeserInnen Erfahrungen in diesem Bereich haben, werden einige fachspezifische methodische Grundrichtungen des technisch orientierten Sachunterrichts, die in diesem Buch Verwendung finden, in Kurzform dargestellt: Konstruktionsaufgabe, Fertigungsaufgabe und technisches Experiment.

Darüber hinaus wird in knapper Form auf einige wesentliche Aspekte des Zeichnens im Sachunterricht hingewiesen.

KONSTRUKTIONSAUFGABE¹

„Die Konstruktionsaufgabe entspricht einem zentralen Bereich technischen Schaffens: dem zweckorientierten Erfinden, Entwerfen und Konstruieren.“² Bezogen auf das Bauen liegt der Schwerpunkt dabei auf dem Entwerfen und Konstruieren eines Bauwerks. Die Konstruktionsaufgabe ist eine recht anspruchsvolle Aufgabe, da die SchülerInnen nicht bloß einen vorgegebenen technischen Gegenstand nachahmen sollen, sondern angeregt werden, eine technische Problemstellung selbstständig in einem Erfindungsprozess zu lösen und die dafür notwendige Planung und Durchführung weitgehend selbst zu übernehmen. Voraussetzung dafür ist eine einleitende interessante, problemorientierte Aufgabenstellung, deren Aufgabe darin besteht, die Kinder zu motivieren und bei ihnen einen Erfindungsprozess einzuleiten, der zum Entwurf und zur Konstruktion eines funktionstüchtigen Modells führt. Dabei erfordert der Problemlösungsprozess von den SchülerInnen nicht nur technisch-funktionale, sondern auch technisch-konstruktive Überlegungen.

¹ Die Ausführungen zur *Konstruktionsaufgabe* beziehen sich ausschließlich auf die Autoren SCHMAYL und WILKENING, weshalb nur direkte Zitate mit Fußnoten kenntlich gemacht werden. Vgl. Schmayl, Winfried / Wilkening, Fritz: Technikunterricht. 2. überarb. u. erw. Aufl. Bad Heilbrunn: Klinkhardt 1995. S. 150/151.

² ebd. S. 150.

In der Konstruktionsaufgabe erfolgt der typische Verlauf einer technischen Problemlösung in acht Phasen:

- „1. Einstieg durch eine technische Problemstellung
2. Klären der Problemstellung
3. Sammeln von Informationen
4. Erfindungsprozeß (evtl. mit Werkskizzen, Probehandlungen und Teilexperimenten)
5. Entwurf (evtl. in einer Werkzeichnung objektiviert)
6. Konstruktion (einschließlich Arbeitsplanung und Herstellung)
7. Erprobung und Beurteilung
8. Auswertung, die über die am Einzelbeispiel gewonnenen Erfahrungen hinaus zum Verständnis übergreifender Systeme führt“³ und somit der Übung des Transfers dient.

Die Vorteile der Konstruktionssaufgabe bestehen darin, dass den Kindern problem-lösendes und entdeckendes Lernen ermöglicht wird und sie weitgehend selbstständig und kreativ tätig sein können. Darüber hinaus können sie ihren individuellen Vorerfahrungen entsprechend differenziert arbeiten und vielfältige Erfahrungen im materialkundlichen und fertigungstechnischen⁴ Bereich sammeln. Das hohe Maß an Selbstständigkeit und Kreativität kann sich allerdings auf leistungsschwächere SchülerInnen auch negativ auswirken, da diese eventuell überfordert werden könnten. Um sie vor Misserfolgen zu schützen, sollte die Lehrperson versuchen, ihnen individuelle, geeignete Hilfestellungen anzubieten. Als weiterer Nachteil kann der höhere Material- und Zeitaufwand gelten. Insbesondere wegen der beiden letztgenannten Gründe sollten die Themen für Konstruktionsaufgaben „so gewählt werden, daß mit ihr ein technisches Funktions- oder Konstruktionsprinzip von exemplarischer Bedeutung erfaßt wird, z. B. grundlegende Konstruktionen für Tragwerke [...]“⁵

Auch wenn die Konstruktionsaufgabe als eine fachspezifische Methode für den technischen Bereich gilt, kann sie dennoch übergreifend mit anderen Perspektiven des Sachunterrichts oder auch mit anderen Unterrichtsfächern verbunden werden, wenn diese als Bedingungsfaktoren für den technischen Problemlösungsprozess notwendig sind oder als sinnvolle Ergänzung des technisch orientierten Themas erscheinen.

³ ebd. S. 151.

⁴ vgl. Fertigungsaufgabe

⁵ Schmayl, W. / Wilkening, F.: Technikunterricht. S. 150.

FERTIGUNGSAUFGABE⁶

Bei der Fertigungsaufgabe stellen die SchülerInnen etwas nach einem vorgegebenen Entwurf her, wobei die sachgerechte Einzelherstellung oder die serienmäßige Produktion im Zentrum steht. Sie lernen dabei zweidimensionale Pläne zu lesen und diese in dreidimensionale Modelle umzusetzen. Innerhalb der Fertigungsaufgabe gibt es einen planerischen und einen praktischen Schwerpunkt. Beim Planen des Fertigungsablaufs können die Kinder vielfältige Erfahrungen beim Strukturieren eines ökonomischen Arbeitsablaufs sammeln, indem sie beispielsweise lernen, Werkzeuge und Werkstoffe zweckmäßig einzusetzen und eine möglichst sinnvoll Zeitabfolge zu organisieren. Der praktische Schwerpunkt dient dazu, dass die SchülerInnen ihre operativen Fähigkeiten verbessern und einen sachgemäßen Umgang mit Werkzeugen, Geräten und Maschinen lernen.

Die Fertigungsaufgabe ist in sechs Phasen aufgeteilt:

- „1. Stellen eines Fertigungsauftrages
2. Klären des Auftrages
3. Konzipieren der Fertigung
4. Vorbereiten der Fertigung
5. Ausführen der Fertigung
6. Auswerten der Fertigung“⁷

Die Vorteile der Fertigungsaufgabe bestehen darin, dass der zeitliche Umfang und Materialbedarf besser einzuschätzen ist als bei der Konstruktionsaufgabe, die Kinder dennoch selbstständig arbeiten und auch wenig kreative SchülerInnen erfolgreich etwas herstellen können. Kreativeren Kindern sollte hingegen von der Lehrperson zusätzlicher Gestaltungsraum angeboten werden.

TECHNISCHES EXPERIMENT⁸

Das final bestimmte, technische Experiment eignet sich dafür, dass SchülerInnen zunächst technologische Teilaspekte verstehen lernen, um diese anschließend in größere, zweckdienliche Funktionszusammenhänge integrieren zu können. Eine genaue Planung, zielgerichtete Untersuchungen und exakte Beobachtungen sind wichtige Bereiche technisch-experimenteller Tätigkeit. Die SchülerInnen erwerben dabei selbsttätig forschend, problemlösend und entdeckend technologische Kenntnisse, z. B. statisch-konstruktive Grundprinzipien bei der Untersuchung unterschiedlicher Faktoren,

⁶ Die Ausführungen zur *Fertigungsaufgabe* beziehen sich ebenfalls ausschließlich auf die Autoren SCHMAYL und WILKENING, weshalb wiederum nur direkte Zitate mit Fußnoten kenntlich gemacht werden. Vgl. Schmayl, Winfried / Wilkening, Fritz: Technikunterricht. S. 152/153.
⁷ ebd. S. 153.

⁸ Die Ausführungen des ersten Absatzes zum *technischen Experiment* beziehen sich ebenfalls ausschließlich auf die Autoren SCHMAYL und WILKENING, weshalb wiederum nur direkte Zitate mit Fußnoten kenntlich gemacht werden. Vgl. ebd. S. 153/154.

welche die Standsicherheit einer Mauerwerkswand beeinflussen. Technische Experimente können arbeitsgleich oder arbeitsteilig in Einzel-, Partner- bzw. Gruppenarbeit durchgeführt werden. Neben dem Schülerexperiment, bei dem das selbstständige Untersuchen im Vordergrund steht, gibt es darüber hinaus die Variante des Lehrerexperiments, welches für Demonstrationszwecke genutzt werden kann.

Es werden fünf Phasen für den Verlauf eines technischen Experiments vorgeschlagen:

- „1. Fragestellung als Einstieg
2. Hypothesenbildung
3. Planung der Versuchsanordnung
4. Durchführung des Experiments
5. Auswertung“⁹

Das technische Experiment nach SCHMAYL und WILKENING kann als Vorform wissenschaftlichen Experimentierens bezeichnet werden, bei dem es um die Bildung und Prüfung von Hypothesen geht. Dieser Ansatz ist recht anspruchsvoll und eignet sich daher eher für die Klassenstufen 3 und 4.

VARIANTEN DES TECHNISCHEN EXPERIMENTS

Doch neben diesem hohen Anspruch an technisch-experimenteller Tätigkeit, gibt es noch andere, weniger anspruchsvolle Formen, denn im Sachunterricht geht es „[...] meistens um die Demonstration eines Phänomens oder die Sammlung von Beobachtungen und nicht, wie beim wissenschaftlichen Experimentieren um die Prüfung einer Hypothese.“¹⁰ GERTRUD BECK und CLAUS CLAUSSEN¹¹ schlagen daher verschiedene didaktische Arrangements für das Experimentieren vor, mit denen Grundschul Kinder, unter Berücksichtigung ihrer Vorkenntnisse, schrittweise an die Methode des Experimentierens herangeführt werden können: Anregungssituationen für erste Erfahrungen, Versuchsaufgaben, Laborieren (vorstrukturierte Versuche) und Anregungen zum Entwickeln eigener Experimente.

• **Anregungssituationen für erste Erfahrungen**

In Anregungssituationen wird von der Lehrperson keine konkrete Aufgabenstellung vorgegeben, sondern die Kinder erhalten anregende Materialien und eventuell Tipps für eigene Erkundungen. „Im Vordergrund steht nicht eine naturwissenschaftliche [oder technische] Erkenntnis, sondern Neugier und die Bereitschaft eigenen Fragen

⁹ ebd. S. 154.

¹⁰ Wodzinski, Rita: Experimentieren im Sachunterricht. In: Basiswissen Sachunterricht. Band 5. Unterrichtsplanung und Methoden. Hg. v. Astrid Kaiser u. Detlef Pech. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 124.

¹¹ vgl. Beck, Gertrud / Claussen, Claus: Experimentieren im Sachunterricht. In: Die Grundschulzeitschrift 139 (2000). S. 10/11.

nachzugehen.“¹² Man kann diese Vorform des Experimentierens auch als auch freies spielerisches Versuchen bezeichnen.¹³

- **Versuchsaufgaben**

Bei Versuchsaufgaben bekommen die SchülerInnen Aufgaben gestellt, die sie durch gezieltes, aber spielerisches Probieren lösen können.¹⁴ Dabei sollen sie möglichst viele konkrete Erfahrungen sammeln und ihre bereits erworbenen Fähigkeiten vertiefen und ausdifferenzieren. Daneben wird die Fähigkeit des genauen Beobachtens geschult, „wobei die Suche nach Erklärungen durchaus schon einsetzen kann, aber nicht im Zentrum stehen muss.“¹⁵

- **Laborieren (vorstrukturierte Versuche)**

„Dem Experimentieren ein Stück näher ist das Laborieren, das Arbeiten an einem Problem, das mithilfe von Vermutungen durch gezieltes Ausprobieren untersucht wird [...] [und] die Frage nach Erklärungen stärker ins Blickfeld [rückt].“¹⁶ Das Laborieren ist demnach eine ideale Methode für problemlösendes Lernen „und vermutlich die häufigste Form des Einsatzes experimenteller Arbeit in der Unterrichtspraxis.“¹⁷

- **Anregung zum Entwickeln eigener Experimente (freies Experimentieren)**

Das freie Experimentieren ist die anspruchsvollste Stufe experimentellen Arbeitens¹⁸, in der die Kinder eigene Fragestellungen und Experimente entwickeln.

Die drei erstgenannten Varianten werden im vorliegenden Lehrerhandbuch in verschiedenen Vorschlägen für technische Experimente berücksichtigt, wobei nicht die von BECK und CLAUSSEN verwendeten Begriffe gebraucht werden, sondern der allgemeine Begriff „Versuch“, synonym zu „Experiment“¹⁹, benutzt wird. Die inhaltliche Differenzierung erschließt sich jedoch im jeweiligen Kontext.

DAS ZEICHNEN IM SACHUNTERRICHT

JEROME S. BRUNER geht davon aus, „daß man etwas auf drei verschiedene Weisen kennen kann: dadurch, daß man es tut, dadurch, daß man es sich bildlich vorstellt, und

¹² ebd. S. 11.

¹³ vgl. Wagner, Reinhold: Formen spielerischen Lernens im Sachunterricht der Grundschule. Ansbach: Prögel 1983. S. 14.

¹⁴ REINHOLD WAGNER bezeichnet diese Form als „gezieltes spielerisches Versuchen“. Vgl. ebd.

¹⁵ Beck, G. / Claussen, C.: Experimentieren im Sachunterricht. S. 11.

¹⁶ ebd.

¹⁷ Wodzinski, R.: Experimentieren im Sachunterricht. S. 127.

¹⁸ vgl. ebd.

¹⁹ vgl. Lexikon Sachunterricht. Hg. v. Astrid Kaiser. 3., unveränd. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 228.

dadurch, daß man ein symbolisches Mittel wie z. B. die Sprache verwendet.“²⁰ „Nach Bruner [...] können Erfahrung und Wissen in Handlungen als *enaktives Wissen*, in wahrgenommenen und vorgestellten Bildern als *ikonisches Wissen* sowie in der Sprache und in anderen Symbolsystemen als *symbolisches Wissen* repräsentiert werden.“²¹ Er vertritt die Meinung, dass auch die Denkentwicklung des Menschen durch die handlungsmäßige, bildhafte und symbolische Darstellungsmethode repräsentiert wird, wobei das Kind sich zunächst durch Handlungen mit seiner Umwelt auseinandersetzt, nachfolgend die bildhafte Darstellung nutzen kann und erst allmählich Handlungen sowie Bilder in Sprache übersetzen kann. Daraus resultiert als Konsequenz für den Unterricht, dass ein Lerngegenstand erst handelnd (enaktiv), dann bildlich (ikonisch) und schließlich symbolisch erfahren werden sollte, das heißt, dass die SchülerInnen vom Konkreten zum Abstrakten lernen. Die drei Repräsentationsformen nach BRUNER stehen gleichwertig nebeneinander und werden auch im intellektuellen Leben des Erwachsenen wechselseitig angewendet.²²

Das Zeichnen entspricht der zuvor erwähnten bildhaften Darstellungsmethode und hat nach WOLFGANG BIESTER „als Medium des Denkens“²³ vielfältige Bedeutungen für den Sachunterricht in der Grundschule: „Zeichnen begünstigt das Vorstellen von [...] technischen Sachverhalten [...] [,] ist konkreter als die Sprache und abstrakter als die Handlung.“²⁴ Flüchtige Vorstellungen werden durch Zeichnen in Bilder von einiger Dauer verwandelt, so dass dadurch, als Metapher ausgedrückt, die Kinder beim Zeichnen ihren Vorstellungen gegenüber stehen, wodurch eine Distanz geschaffen wird, die eine Voraussetzung für eine objektivierende Betrachtung ist.²⁵ „Zeichnen gibt dem Wahrgenommenen und Vorgestellten einen *höheren Bewußtseinsgrad*, hilft *Vorstellungsmängel* zu entdecken und lenkt die Aufmerksamkeit.“²⁶ Mit Hilfe des Zeichnens können Probleme, Versuche und Handlungen entwerfend strukturiert werden und dadurch „auf die Ebene *der reflektierenden Auseinandersetzung und aspekthafter Betrachtung* gelangen.“²⁷ Vorhandene Gedanken und Vorstellungen

²⁰ Bruner, Jerome S.: Über kognitive Entwicklung. In: Studien zur kognitiven Entwicklung. Eine kooperative Untersuchung am „Center for Cognitive Studies“ der Harvard-Universität. Hg. v. Jerome S. Bruner, Rose R. Olver u. Patricia M. Greenfield. Stuttgart: Klett 1971. S. 27.

²¹ Biester, Wolfgang: Denken über Natur und Technik. In: Denken über Natur und Technik. Zum Sachunterricht in der Grundschule. Hg. v. Wolfgang Biester. Bad Heilbrunn / Obb.: Klinkhardt 1991. S. 43.

²² vgl. Bruner, J. S.: Über kognitive Entwicklung. S. 21.

²³ Biester, W.: Denken über Natur und Technik. S. 43.

²⁴ ebd. S. 60/61.

²⁵ vgl. ebd. S. 61.

²⁶ ebd.

²⁷ ebd.

werden beim Zeichnen strukturiert und dabei „geprüft, korrigiert oder verworfen“²⁸, wodurch sie neu geordnet, d. h. verändert werden.

Auch ASTRID KAISER bezeichnet das Zeichnen im Sachunterricht als eine Methode, die vielfältige Funktionen erfüllen kann²⁹ und weist darauf hin, dass sie auch deshalb ausgesprochen produktiv sei, „weil sie dem noch wenig entwickelten sprachlichen Ausdrucks- und Abstraktionsvermögen in dieser Altersstufe besonders angemessen ist.“³⁰ Des Weiteren bemerkt sie, dass Zeichnungen von Kindern „als Instrument der Diagnose von Lernvoraussetzungen“³¹ geeignet sind, da dadurch die Lehrperson einen Einblick in die individuellen Vorerfahrungen bzw. Vorkenntnisse der SchülerInnen gewinnen kann.

²⁸ ebd.

²⁹ vgl. Kaiser, Astrid: Zeichnen und Malen als produktive Zugänge zur Sache. In: Basiswissen Sachunterricht. Band 5. Unterrichtsplanung und Methoden. Hg. v. Astrid Kaiser u. Detlef Pech. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 101.

³⁰ ebd. S. 100.

³¹ ebd. S. 97.

2.2 Erläuterungen zum Aufbau

Die Erläuterungen zum Aufbau beziehen sich ausschließlich auf die nachfolgenden Kapitel 3 bis 6.

Das dritte Kapitel nimmt dabei eine Sonderstellung ein, da dort in den so genannten Basisversuchen unterschiedliche Faktoren thematisiert werden, die für die Stabilität von Bauwerken verantwortlich sind, und die als elementare Grundlage bzw. Ergänzung für die drei daran anschließenden Hauptthemen „Brücken“, „Türme“ und „Häuser“ dienen.

Die Kapitel „4. Brücken“, „5. Türme“ und „6. Häuser“ gliedern sich jeweils in verschiedene Unterkapitel, wobei immer das erste von ihnen mit den „fachtheoretischen Grundlagen“ einen allgemeinen Überblick über das entsprechende Hauptthema verschafft und die weiteren Unterkapitel sich mit Bauaufgaben zu speziellen Themen auseinandersetzen.

Die Unterkapitel der Hauptthemen 4 bis 6 dieses Lehrerhandbuchs sind so konzipiert, dass sie einzeln gelesen werden können, was zur Folge hat, dass es zu einigen Wiederholungen kommt.¹ Dem hätte entgegengewirkt werden können, indem die sich wiederholenden Textabschnitte in einem gesonderten Kapitel thematisiert worden wären, was jedoch den Lesefluss erheblich einschränken würde, da man entsprechende Verweise nachschlagen müsste. Aus diesem Grund wird der negative Aspekt der Wiederholung in Kauf genommen. Als ergänzende Lektüre werden für jedes Unterkapitel sowohl die „fachtheoretischen Grundlagen“ als auch die ergänzenden Basisversuche empfohlen.

Die Basisversuche und Unterkapitel, mit Ausnahme der „fachtheoretischen Grundlagen“, haben alle den gleichen strukturellen Aufbau. Jeweils zu Beginn bietet eine Tabelle einen schnellen Überblick über verschiedene Aspekte:

In der ersten Tabellenzeile ist zu erkennen, für welche Themen sich ein **Basisversuch** eignet bzw. umgekehrt, welche Basisversuche sich als sinnvolle Ergänzung einer Bauaufgabe anbieten. Wenn die Angaben nicht fett gedruckt sind, bedeutet dies, dass nur Teilabschnitte eines Basisversuchs für ein Thema interessant sind.

Der **Schwierigkeitsgrad** wird in drei Stufen angegeben: niedriger, mittlerer und hoher Anspruch. Der Anspruch bezieht sich dabei auf die Anforderungen, die durch die jeweiligen Unterrichtsinhalte an die Kinder gestellt werden. Die SchülerInnen müssen je nach Schwierigkeitsgrad über mehr oder weniger Vorerfahrungen und Vorkenntnisse

¹ Insbesondere in den Kapiteln, in denen Holzbausteine als Baumaterialien zum Einsatz kommen.

verfügen, um die Kompetenzen erwerben zu können, die ihnen bei den jeweiligen Bauaufgaben vermittelt werden sollen. Eine Einteilung in Klassenstufen wurde nicht vorgenommen, da das Leistungsniveau sehr unterschiedlich sein kann. Die Lehrperson muss selbst entscheiden, welcher Schwierigkeitsgrad für ihre Klasse geeignet ist.

In der Tabellenzeile **Zeit** werden Angaben zum zeitlichen Umfang gemacht, die allerdings nur als ungefähre Richtwerte anzusehen sind, da die Unterrichtsvorschläge bis auf das Kapitel „5.4 Murmeltürme aus Papier“ nicht in der Praxis umgesetzt wurden. Sie beziehen sich ausschließlich auf den jeweiligen Basisversuch bzw. auf das jeweilige Thema, d. h. ohne Berücksichtigung der empfohlenen ergänzenden Kapitel.

Bei der Auswahl der **Materialien** wurde großer Wert auf möglichst geringe Kosten gelegt. Die Kosten werden nicht aufgeführt, da diese zum einen je nach Einkaufsquelle differieren und zum anderen sich diese Angaben schnell ändern können. Darüber hinaus werden bei dem Material „Papier“ Hinweise für eine möglichst ökonomische Ausnutzung dieses Werkstoffs gegeben. Für einige Bauaufgaben sind neben den Materialien noch **Werkzeuge** notwendig, die ebenfalls aufgelistet werden.

Die **Sachanalysen** der Basisversuche bzw. der thematischen Bauaufgaben werden sehr ausführlich behandelt und bieten somit eine fundierte Wissensgrundlage für die Lehrperson. Ein Teil der Sachanalyse befasst sich mit Material und Aufbau der jeweiligen Modelle. Die Informationen, die sich für eine Vermittlung im Unterricht eignen, werden in den nachfolgenden „didaktisch-methodischen Anregungen“ wieder aufgegriffen. Falls einige Fachbegriffe nicht erklärt werden, da dies beispielsweise in anderen Kapiteln geschieht, kann das Glossar als Nachschlagewerk genutzt werden.

Die **didaktisch-methodischen Anregungen** sind wörtlich als solche zu verstehen und müssen keinesfalls in dieser Form im Unterricht umgesetzt werden. Die Ausführungen haben daher auch keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die für eine Klasse geeignete Unterrichtsgestaltung sollte individuell erfolgen, denn sie hängt sowohl von der Persönlichkeit der Lehrperson als auch von der Individualität der SchülerInnen ab. Der Fokus der Anregungen liegt vorrangig auf der Vermittlung statisch-konstruktiver Grundprinzipien, welche durch andere Perspektiven, z. B. geschichtliche Gesichtspunkte, ergänzt werden können.

Wenn es sich anbietet, wird vorgeschlagen, die Unterrichtsinhalte durch außerschulische Erkundungen zu ergänzen. Des Weiteren empfiehlt es sich bei allen Themen, gemeinsam mit den SchülerInnen eine Klassenbibliothek einzurichten, die aus Büchern, Fotos, Zeichnungen, Internetseiten etc. bestehen kann.

In den didaktisch-methodischen Anregungen werden fachspezifische Methoden vorgeschlagen, die dort nicht in aller Ausführlichkeit beschrieben werden. Wenn die LeserInnen diesbezüglich Informationsbedarf haben, finden sie entsprechende nähere Erläuterungen unter Kapitel 2.1.

Am Schluss der Basisversuche und Unterkapitel, mit Ausnahme der „fachtheoretischen Grundlagen“, gibt eine zweite Tabelle eine weitere Übersicht über folgende Aspekte:

Unter **Tipps und Tricks** werden verschiedene hilfreiche Hinweise zur praktischen Umsetzung gegeben.

Wenn in den didaktisch-methodischen Anregungen Medien zum Einsatz kommen, werden diese unter **Medien** aufgeführt.

In der Tabellenzeile **Literatur** werden Bücher, Aufsätze oder Internetseiten aufgelistet, die im jeweiligen Kapitel zitiert oder als Grundlage genutzt wurden. Wenn bestimmte Ideen von anderen AutorInnen übernommen wurden, werden diese Anregungen extra angegeben.

Die Quellenangaben der Fotos und Zeichnungen, die nicht von den Verfasserinnen stammen, werden unter **Abbildungen** aufgelistet.²

² Sämtliche Bildquellen der Verfasserinnen (Fotos, Zeichnungen etc.) werden mit deren Genehmigung veröffentlicht. Eine Nummerierung und Betitelung wird bei genannten Quellen aus Gründen der Vereinfachung nicht vorgenommen, da sich alle Abbildungen aus dem begleitenden Textmaterial erklären.

3. BASISVERSUCHE ZUR STABILITÄT

3.1 Profile / Materialumformung

BASISVERSUCH FÜR	<ul style="list-style-type: none"> • 4.2 Balkenbrücken • 5.4 Murmeltürme aus Papier
SCHWIERIGKEITSGRAD	<ul style="list-style-type: none"> • niedriger Anspruch: Das Durchführen der Versuche entspricht eher einem niedrigen Anspruch. • mittlerer Anspruch: Das Beantworten der Leitfragen und das Einnehmen einer selbstreflexiven Haltung entsprechen dagegen eher einem mittleren Anspruch.
ZEIT	Einzelstunde bis Doppelstunde
MATERIALIEN	<p>pro Modell</p> <ul style="list-style-type: none"> • DIN-A4-Papier (160 g/m²), Maße: 10,5 cm * 29,7 cm (= 1/2 DIN-A4-Format), Menge: 2 Streifen • ca. 6 bis 8 Holzbausteine für die seitlichen Pfeiler (z.B. Fröbel – Bausteine mit dem Grundmaß 33 1/3 mm, Standardgröße: ca. H 16,7 * B 33,3 * L 66,7 mm (entspricht einem Maßverhältnis von 1:2:4)) • Spielzeugautos

SACHANALYSE

Profile

Mit Profilen wird hauptsächlich im Stahlbau gearbeitet. Die Bezeichnungen der verschiedenen Profile ergeben sich aus der Form der Querschnitte. Zu den gängigsten Profilen für Stahlbauten zählen I-, L-, U- und T-Profilstähle sowie Rohre mit kreisförmigen, quadratischen und rechteckigen Querschnitten.



I-Profil

L-Profil

U-Profil

T-Profil



kreisförmiger

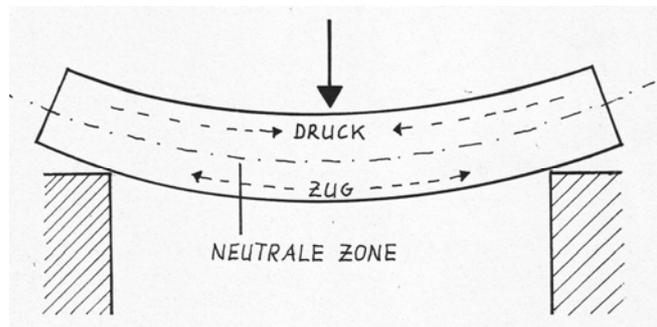
quadratischer

rechteckiger Rohrquerschnitt

Stahlprofile werden im Stahlskelettbau für druck- und biegebeanspruchte Bauteile, wie Stützen und Träger, eingesetzt. Wenn Stützen zentrisch belastet werden, knicken sie ab einer bestimmten Last aus. Je länger und dünner, das heißt je schlanker eine Stütze ist, desto eher knickt sie aus. Das Knickverhalten einer Stütze hängt von der Querschnittsfläche, der Querschnittsform, der Länge, dem Werkstoff sowie von den Lagerbedingungen an den Enden der Stütze ab.¹ Hohlprofile mit kreisförmigen Querschnitten eignen sich als Stützenquerschnitt tendenziell gut, da die Biegefestigkeit um jede gedachte Achse gleich groß ist. Wenn die Wandstärke zu gering bemessen ist, versagt die Stütze.²

Aus architektonischen Gründen wird alternativ zum Hohlprofil mit kreisförmigem Querschnitt, häufig das Hohlprofil mit quadratischem Querschnitt verwendet, das bei gleicher Querschnittsfläche ein annähernd gutes Knickverhalten aufweist.

Träger werden durch vertikale Kräfte auf Biegung beansprucht, das heißt bei einem senkrecht von oben belasteten Träger treten im oberen Bereich Druck- und im unteren Bereich Zugspannungen auf. Bei der Dimensionierung und



Form der Profilquerschnitte greift man auf die Kenntnis der Spannungsverteilung zurück. Ein I-Profilträger ist durch seinen speziellen Querschnitt prädestiniert große Biegemomente zu ertragen, da er das Material im Bereich des Randes konzentriert, also in dem Bereich, in dem die stärksten Druck- und Zugspannungen auftreten.³ Allgemein ist zu sagen, dass ein Träger größere Biegemomente ertragen kann, wenn sein Querschnitt so geformt ist, dass möglichst viel Material weit weg vom Schwerpunkt⁴ ist.⁵

¹ vgl. Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 7.,vollst. überarb. Aufl. Köln: Müller 1996. S. 171/172.

² vgl. ebd. S.182.

³ vgl. ebd. S.239.

⁴ Der Schwerpunkt ist der Punkt, in dem sich ein Körper mit gleichmäßiger Dichte im Gleichgewicht befinden würde, wenn man ihn an diesem Punkt aufhängt.

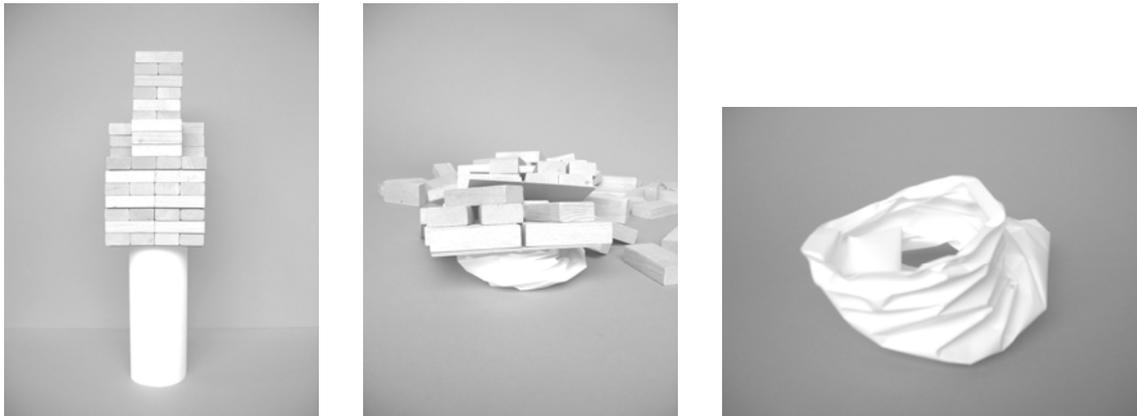
⁵ vgl. ebd. S.186.

Kritische Anmerkungen zur Verwendung von Papier als Modellmaterial für Stützen und Träger

Papier ist aufgrund seiner geringen Dicke für die Herstellung von Trägern, beispielsweise als I-Querschnitt, vollkommen ungeeignet. Ein Träger mit geeigneten Proportionen (Höhe zu Dicke wie bei Stahlprofilen) wäre so klein, dass er mit angemessenen Hilfsmitteln nicht herstellbar wäre. Zur Verdeutlichung eine Beispielrechnung:

Ein I-Profilstahlträger hat eine Querschnittshöhe von 100 mm und eine Materialstärke von 6 mm. Ein DIN-A4-Papier (80 g/m²) weist eine Materialstärke von 0,11 mm⁶ auf. Die proportionale Höhe eines I-Profilpapierträgers wäre demnach:
 (100 mm : 6 mm) * 0,11 mm = 1,833 mm.

Da der Zusammenhang der Proportionalität für Kinder zu abstrakt und schwer zu verstehen ist, sollte er nicht thematisiert werden. Die Lehrperson sollte den Vergleich von Papier und Stahlprofilen auf den Aspekt beschränken, dass beide durch Umformung stabiler werden.



In der didaktischen Literatur werden häufig Belastungsversuche mit Stützen unterschiedlichen Profils durchgeführt und verglichen. Diese Experimente wurden von den Verfasserinnen untersucht. Stützen mit unterschiedlichen Profilen wurden bei Belastungsversuchen so dimensioniert, dass sie jeweils aus einem DIN-A4-Blatt erstellt wurden, das in Längsrichtung gefaltet oder gerollt wurde. Beim Versagen ist die Papierstütze mit kreisförmigem Querschnitt wie eine Ziehharmonika zusammengesackt.

⁶ Dieser Wert ist errechnet: 500 Blatt DIN-A4-Papier (80 g/m²) sind 55 mm hoch, ein Blatt ist demnach 0,11 mm dick.

Bei den Stützen mit dreieckigen und quadratischen Querschnitten kündigte sich das Versagen an den geklebten Stellen an, die dort ausbeulten. Auch sie zeigten kein Knickverhalten, sondern fielen (wie auf dem mittleren Foto) teilweise um.

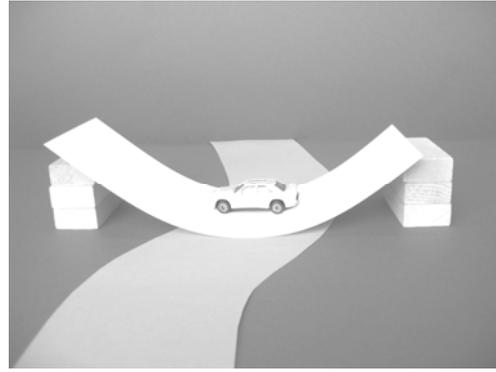
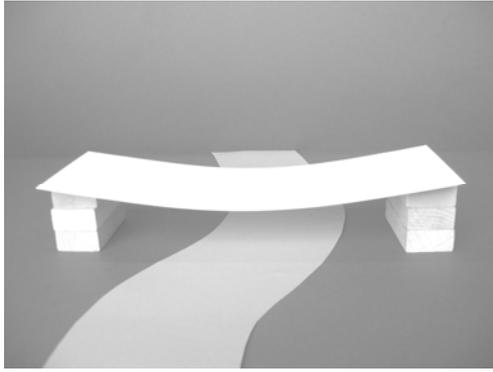


Es wurde bei den Versuchen eine große Streuung beobachtet, das heißt es wurde keine Reliabilität (Zuverlässigkeit) erreicht, weswegen auch keine sinnvollen Angaben über die Tragfähigkeit gemacht werden konnten. Um Schlüsse aus den Ergebnissen ziehen zu können, müsste der Stichprobenumfang erheblich vergrößert werden. Ein Vergleich unterschiedlicher Querschnitte von Stützen- oder auch Trägermodellen aus Papier, der in der Literatur oft vorgeschlagen wird, ist nach Ansicht der Verfasserinnen aufgrund der vorher genannten Gründe fachlich nicht richtig und sollte im Unterricht daher nicht behandelt werden.

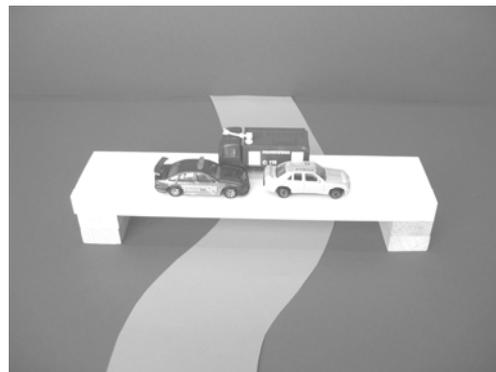
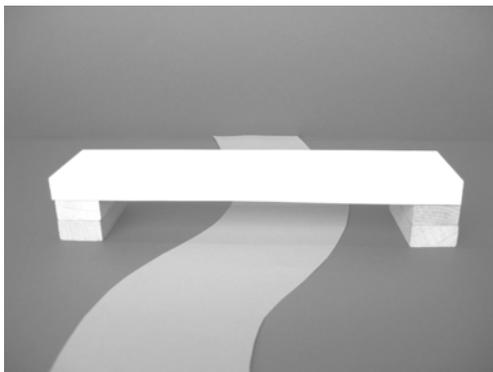
SACHANALYSE – Materialumformung mit Papier

Trotzdem kein direkter Vergleich von Stahlprofilen mit Profilen aus Papier möglich ist, kann dargestellt werden, dass ein DIN-A4-Papier durch Materialumformung stabiler wird. Dazu kann Papier der Stärke 160 g/m^2 verwendet werden, welches dicker und stabiler als Papier der Stärke 80 g/m^2 ist und sich trotzdem noch gut falten und rollen lässt. Das Phänomen, dass ein DIN-A4-Papier durch Umformung stabiler wird, kann durch den Vergleich einer Balkenbrücke aus einem ungefalteten Papierstreifen, mit einer Balkenbrücke aus einem zu einem U-Profil gefalteten Papierstreifen veranschaulicht werden. Als seitliche Pfeiler können mehrere übereinander gestapelte Holzbausteine verwendet werden.

In einer ersten Versuchsanordnung wird ein halbes Blatt DIN-A4-Papier in Längsrichtung über die Holzbausteine gelegt. Als Belastungsprobe wird ein Spielzeugauto auf den Papierstreifen gestellt. Es ist zu beobachten, dass die Papierbalkenbrücke schon bei einem Spielzeugauto einstürzt.



In einem weiteren Versuch kann ein halbes DIN-A4-Blatt an den beiden Längsseiten so gefaltet werden, dass ein u-förmiges Profil entsteht. Auch dieses Papier wird über die zu Pfeilern gestapelten Holzbausteine gelegt und zwar so, dass die gefalteten Seiten nach unten zeigen. Die Belastungsprobe zeigt, dass mehrere Spielzeugautos auf die Papierbrücke gestellt werden können, ohne dass diese Anzeichen von Versagen zeigt.



Zu erklären ist das Verhalten der beiden Papierbalkenbrücken durch die Druck- und Zugspannungen in einem Balken. Bei einem senkrecht von oben belasteten Balken wird dieser auf Biegung beansprucht und es treten im oberen Bereich Druck- und im unteren Bereich Zugspannungen auf (s. Skizze weiter oben).

Damit ein Träger nicht versagt, muss er entsprechend dimensioniert sein. Da der Papierstreifen im ersten Versuch einem sehr dünnen Balken gleicht, kommt es schon bei geringer Belastung zum Versagen. Im zweiten Versuch verteilen sich Druck- und Zugspannungen auf das gesamte Profil, das höher ist als der ungefaltete Papierstreifen. Die gesamte Last wird von den beiden gefalteten Längsseiten, die wie hochkant stehende Biegebalken wirken, abgetragen. Die Fahrbahn hat die Funktion die Last quer zu der Brückenlängsrichtung zu verteilen. Daraus kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass je höher die gefalteten Längsseiten sind, desto mehr Last kann abgetragen werden. Das entspricht der Erkenntnis, dass ein hochkant stehender rechteckiger Querschnitt stärker auf Biegung beansprucht werden kann als ein liegender rechteckiger Querschnitt. Dieser Zusammenhang sollte in dieser

Unterrichtsequenz jedoch nicht weiter thematisiert werden, da der Fokus auf der Materialumformung liegt.

Ein U-Profil wird ebenso im Kapitel "Hängebrücken" (vgl. 4.4) als Konstruktion für die Fahrbahn verwendet und verbessert auch hier die Stabilität. Beim Murmelturm aus Papier (vgl. 5.4), der aus L-Profilen mit Papier (160 g/m^2) erstellt ist, wird der Turm, neben der Aussteifung durch Streben, durch die Verwendung von gefalteten L-Profilen stabiler. Bei der Fachwerkbalkenbrücke (vgl. 4.2.1), die aus Papierröhren (80 g/m^2) gebaut ist, bewirkt die Materialumformung der mehrfach gerollten Profile eine zusätzliche Steifigkeit des Fachwerkes.

LERNVORAUSSETZUNGEN

- Es sollte eine gewisse Handgeschicklichkeit im Umgang mit Papier vorhanden sein, das heißt die Kinder sollten Papier falten können.
- Die SchülerInnen sollten in der Lage sein, ihre Handlungen und Gedanken in schriftlicher Form stichpunktartig zu dokumentieren.

LERNZIELE

Die SchülerInnen sollen

- selbst gesteuerte Versuche durchführen, mit denen sie durch probierendes Handeln erkennen, dass die Stabilität und Tragfähigkeit von Papier durch Umformung verbessert wird:
 - ihre Handlungsschritte in schriftlicher Form mit Hilfe von Leitfragen dokumentieren und dabei eine selbstreflexive Haltung entwickeln.
 - die Ergebnisse der Versuche anhand ihrer Modelle vor der Klasse präsentieren.
- einen Bezug zu Profilen in ihrer Umwelt herstellen.
- die Vorteile von Profilen gegenüber massiven Querschnitten kennen lernen.

DIDAKTISCH–METHODISCHE ANREGUNGEN

BEZUG ZUR LEBENSWELT DER KINDER

Die Kinder kommen in ihrer Lebensumwelt mit ganz unterschiedlichen Profilen in Berührung. Außerhalb ihrer Wohnung können die Kinder U-Profile, L-Profile und Profile mit rechteckigen Querschnitten bei Baukränen, Geländern sowie Stahlträgern und Stahlstützen entdecken. Profile mit rundem Querschnitt begegnen ihnen wenn sie ein

Getränk mit einem Trinkhalm⁷ trinken und auch im Möbelbau sind Stangen im Kleiderschrank oder Freischwingerstühle sowie Duschvorhänge meistens aus einem Profil mit kreisförmigem Querschnitt hergestellt. Ebenfalls häufig im Möbelbau zu finden sind Rohre mit quadratischem Querschnitt bei Stuhl- und Tischbeinen.⁸ Die Kinder benutzen einige dieser Gegenstände täglich in ihrem Alltag. Seltener jedoch werden sie sich über den statischen Sachverhalt der hohen Stabilität dieser Profile, bei Material- und Gewichtseinsparung, im Vergleich zu massiven Querschnitten im Klaren sein. Um diesen Zusammenhang deutlich zu machen, sollen die Kinder Erfahrungen im Umgang mit Materialumformung durch Papier sammeln und die gewonnenen Erkenntnisse auf Gegenstände in ihrer Umwelt übertragen, um ihren Blick für die Ausführung dieses technischen bzw. statischen Prinzips in ihrer Umwelt zu schärfen.

ABSICHTEN DER UNTERRICHTSSEQUENZ

Die SchülerInnen lernen in dieser Unterrichtssequenz durch eigenständig durchgeführte Versuche, dass Papier durch Umformung stabiler wird und dass durch Profilquerschnitte Material und Gewicht eingespart wird.

HINWEISE ZUR DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHE

Als Einstieg in das Thema Materialumformung von Papier eignet sich die Problemstellung, einen Fluss, der durch einen blauen Papierstreifen symbolisiert werden kann, zu überbrücken. Die Vorgabe sollte sein, dass die Brücke so stabil werden sollte, dass sie mit Spielzeugautos befahren werden kann. Als Baumaterial werden den SchülerInnen halbe DIN-A4-Bögen (160 g/m²) zur Verfügung gestellt. Holzbausteine werden für den Versuch nur in geringer Zahl benötigt und sollen lediglich als seitliche Pfeiler, zur Auflage des Papiers, eingesetzt werden. Die SchülerInnen können als Sozialform entweder in Einzelarbeit oder in Partnerarbeit arbeiten. Gruppenarbeit ist aufgrund der geringen (räumlichen) Ausmaße des Versuchs nicht geeignet, da bei mehr als zwei SchülerInnen nicht alle Kinder direkt am Modell hantieren können. Das experimentelle Probieren der Kinder sollte durch Leitfragen begleitet werden, die die Kinder im Anschluss an die Experimentierphase beantworten sollen.

⁷ Bei diesem Beispiel ist allerdings zu beachten und darauf hinzuweisen, dass der Trinkhalm nicht aus Stabilitätsgründen, sondern aus funktionalen Gründen einen Hohlquerschnitt aufweist.

⁸ vgl. Schoeler, Udo: Bauen – Aspekte eines lernfeldübergreifenden Themas. In: Sachunterricht in der Grundschule. Hg. v. Richard Meier / Henning Unglaube / Gabriele Faust-Siehl. Frankfurt a. M.: Grundschulverband, Arbeitskreis Grundschule 1997. S. 261.

ERGEBNISSICHERUNG - Arbeiten mit Leitfragen

Mögliche **Leitfragen** könnten sein:

- Wie habe ich angefangen bzw. was habe ich als erstes ausprobiert?
- Warum habe ich genauso angefangen?
- Was habe ich mir dabei gedacht?
- Wie habe ich meine Idee umgesetzt?
- Wie war die Wirkung meiner Bau-Idee?
- Musste ich meine Idee verändern?
- Was waren meine nächsten Schritte?⁹

Bevor die einzelnen Gruppen ihre Ergebnisse mit Hilfe ihrer Modelle in einer Präsentation, bei der sie sich auf die Leitfragen beziehen, der Klasse erläutern, sollten sich die SchülerInnen vorher stichpunktartig Notizen zu den Leitfragen machen. Das hilft ihnen ihre Gedanken festzuhalten und die Fragen in Ruhe zu beantworten. Die Leitfragen unterstützen die SchülerInnen dabei, über die einzelnen Schritte ihres Handelns nachzudenken, indem sie eine selbstreflexive Haltung einnehmen, in der sie sich ihre eigene Handlung und deren Beweggründe in Erinnerung rufen. Sie begeben sich dazu auf eine Metaebene, von der aus die eigene Problemlösungsstrategie rückblickend mit Distanz betrachtet wird.¹⁰

Da alle SchülerInnen mit dem gleichen Material gearbeitet haben, können die anderen Gruppen die Erläuterungen der jeweils präsentierenden Kinder an ihren eigenen Modellen nachvollziehen bzw. selbst ausprobieren. Es werden dadurch direkte Stellungnahmen und der Vergleich gefundener Lösungen möglich. Die Kinder erfahren durch probierendes Handeln, dass sich durch die Umformung von Papier dessen Stabilität und Tragfähigkeit verbessert.

TRANSFER

In einem Unterrichtsgespräch sollte ein Transfer der Umformungen, die die Kinder mit Papier durchgeführt haben, auf die Realität geleistet werden, beispielsweise auf unterschiedliche Stahlprofile, die wie Papier die Eigenschaft besitzen, dass sie durch Umformung stabiler werden. Eine weitere Gemeinsamkeit ist, dass sowohl bei Stahlprofilen, als auch bei Papierprofilen durch ihren Einsatz eine Material- und Gewichteinsparung erreicht wird. Auf Modellebene kann dieser Aspekt bzw. Vorteil durch einen

⁹ vgl. ebd. S. 263.

¹⁰ vgl. Lexikon Sachunterricht. Hg. v. Astrid Kaiser. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 169/170.

Vergleich von Papierprofilen und Holzbausteinen, die massive Querschnitte aufweisen, erreicht werden. In der Realität könnte z. B. ein hohles Aluprofil mit einem massiven Aluprofil gleichen Durchmessers verglichen werden.

ERWEITERUNG

Wenn das Thema "Profile / Materialumformung" intensiviert werden soll, können sich die Kinder auf die Suche nach Gegenständen und Abbildungen hierzu machen, die sie in Form einer Ausstellung zusammentragen. Diese konkrete Auseinandersetzung, in Form des Auffindens geeigneter Materialien in ihrer Umwelt, soll die SchülerInnen für den statischen Sachverhalt der Profile sensibilisieren und ihre Aufmerksamkeit für dieses technische Prinzip stärken.¹¹

TIPPS UND TRICKS	<ul style="list-style-type: none"> • Das DIN-A4-Papier kann mit einer Schneidmaschine in Längsrichtung zugeschnitten werden.
MEDIEN	<ul style="list-style-type: none"> • Plakate, auf denen Bilder und Materialien für die Ausstellung präsentiert werden können.
LITERATUR	<p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 7.,vollst. überarb. Aufl. Köln: Müller 1996. S. 170-186, 239-243. • Lexikon Sachunterricht. Hg. v. Astrid Kaiser. 3., unveränd. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. • Schoeler, Udo: Bauen – Aspekte eines lernfeldübergreifenden Themas. In: Sachunterricht in der Grundschule. Hg. v. Richard Meier / Henning Unglaube / Gabriele Faust-Siehl. Frankfurt a. M.: Grundschulverband, Arbeitskreis Grundschule 1997. S. 261-263. • Ullrich, Heinz / Klante, Dieter: Technik im Unterricht der Grundschule. Didaktische Grundlegung, Unterrichtsmodelle, Unterrichtsmaterialien. 6., unveränd. Aufl. Villingen-Schwenningen: Neckar 1994. S. 109-113.

¹¹ vgl. Schoeler, U.: Bauen - Aspekte eines lernübergreifenden Themas. 1997. S. 263.

3.2 Stabilität durch Aussteifung

BASISVERSUCH FÜR	<ul style="list-style-type: none"> • 4.2.1 Fachwerkbalkenbrücken • 5.3 Türme aus Holzstäben • 5.4 Murmeltürme aus Papier
SCHWIERIGKEITSGRAD	<ul style="list-style-type: none"> • niedriger Anspruch: Das Durchführen der Versuche entspricht eher einem niedrigen Anspruch. • mittlerer Anspruch: Das Formulieren der Beobachtungen und das Beschreiben von Sachverhalten entsprechen dagegen eher einem mittleren Anspruch.
ZEIT	Einzelstunde bis Doppelstunde

SACHANALYSE

Eine Möglichkeit, eine ebene Fläche auszusteifen, besteht durch die Bildung von Dreiecken im Sinne von dreiecksförmigen Aussteifungsverbänden. Jedes Dreieck besteht aus drei geraden Linien und drei Ecken. In der Mathematik ist das Dreieck die einfachste geradlinig begrenzte Fläche. Von Flächen spricht man, wenn eine ebene geometrische Figur allseitig geschlossen ist.¹ Auch das einfachste Fachwerk bildet aus drei Stäben und drei Knoten ein Dreieck. In den Knoten, den Verbindungsstellen, sind die Stäbe gelenkig miteinander verbunden. Das einfachste Fachwerk basiert auf der statischen Grundannahme, dass sich ein Dreieck bei Belastung nicht verwindet oder verformt. Auch im Skelettbau macht man sich das Prinzip des stabilen Dreiecks zu Nutze. Die Konstruktionselemente des Skelettbaus sind Stäbe, die in den Knotenpunkten entweder gelenkig oder steif ausgebildet sind. Um im Skelettbau eine räumliche Stabilität zu erreichen, muss eine Aussteifung in mindestens drei zueinander senkrechten Ebenen erfolgen.² Bei Skelettbauten mit gelenkigen Knotenpunkten kann das durch Dreiecks- bzw. Diagonalverbände³, oder Scheiben erreicht werden. Steife Knoten werden durch biegesteife Rahmenecken und Einspannungen von Stäben im Fundament ausgeführt.⁴ Es wird in diesem Kapitel nur die Aussteifung gelenkig gelagerter Knotenpunkte durch Dreiecksverbände betrachtet.

Die im Folgenden erläuterten statischen Gesetzmäßigkeiten gelten neben dem Skelettbau selbstverständlich auch für den Fachwerkbau.

¹ Bewert, Fritz / Pester, Heinz: Lehr- und Übungsbuch Mathematik Band II. Leipzig: Deutsch / Thun 1985. S. 34.

² Schmitt, Heinrich / Heene, Andreas: Hochbaukonstruktion. Die Bauteile und das Bauegefüge. Grundlagen des heutigen Bauens. 15., vollst. überarb. Aufl. Braunschweig / Wiesbaden: Vieweg 2001. S. 400.

³ Beide Bezeichnungen werden verwendet und sind möglich, da die Diagonale ein Rechteck in zwei Dreiecke unterteilt.

⁴ Baulexikon. Erläuterungen wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Hg. v. Rüdiger Wormuth / Klaus-Jürgen Schneider. Berlin: Bauwerk 2000. S. 241.

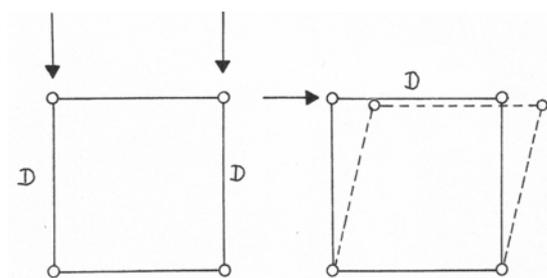
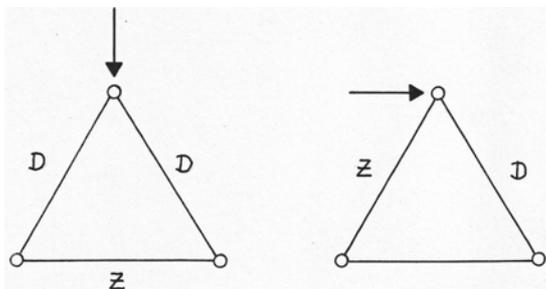
Bei Kräften wird zwischen äußeren und inneren Kräften unterschieden. Äußere Kräfte wirken von außen, z. B. auf ein Gebäude, ein. Zu ihnen gehören die vertikalen und horizontalen Aktions- und Reaktionskräfte sowie die Drehmomente (vgl. 3.4). Innere Kräfte und Biegemomente werden durch äußere Kräfte und Drehmomente hervorgerufen. Aus den inneren Kräften lassen sich Rückschlüsse auf die Spannung im Tragteil ziehen.

Symbolerklärung:

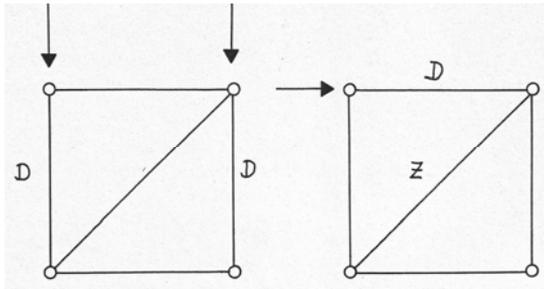
Stäbe	—————
Knoten	○
innere Druckkräfte	D
innere Zugkräfte	Z
äußere Kräfte	—————▶

Im Folgenden wird der Fokus auf der angreifenden Kraft (Aktionskraft) und dem Verlauf der inneren Kräfte liegen, die sich in diesem Kapitel auf Druck- und Zugkräfte beschränken. Die Auflagerreaktionen werden in den Skizzen nicht dargestellt.

Wenn eine Kraft von oben auf die Spitze eines Dreiecks, den gelenkigen Knoten, wirkt, entstehen in den beiden schrägen Stäben Druckkräfte und im unteren horizontalen Stab Zugkräfte. Bei einer horizontal von links auf die Spitze des Dreiecks wirkenden Kraft, entsteht im rechten schrägen Stab eine Druckkraft, und im linken schrägen Stab eine Zugkraft. Bei beiden Kräfteinwirkungen kommt es zu keiner sichtbaren Verformung des Dreiecks. Die Struktur bleibt stabil.



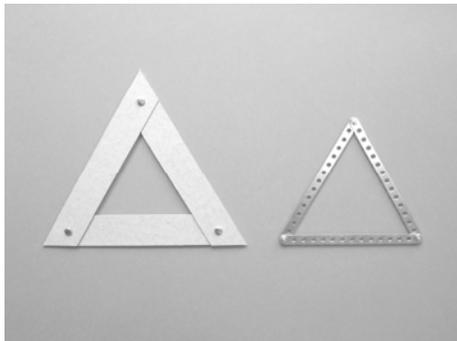
Wirken auf ein Quadrat, das nicht durch eine Diagonale ausgesteift ist, zwei vertikale Kräfte von oben auf die gelenkigen Knoten, so entstehen in den beiden vertikalen Stäben Druckkräfte. Bei einer horizontal angreifenden Kraft auf die linke obere Ecke, den gelenkigen Knoten, verformt sich das Quadrat erheblich. Die Struktur wird offenbar instabil bzw. beweglich.



Bei einem mit einem Diagonalstab aussteiften Quadrat ist der Kräfteverlauf bei zwei angreifenden vertikalen Kräften von oben wie in dem Quadrat, das nicht aussteift ist. Die vertikalen Stäbe nehmen Druckkräfte auf. Bei der horizontal angreifenden Kraft auf die linke obere Ecke, entstehen im oberen horizontalen Stab Druckkräfte und im Diagonalstab Zugkräfte. Da durch den Diagonalstab das Quadrat in zwei Dreiecke unterteilt wird, bleibt die Struktur ebenso wie bei der Krafteinwirkung auf ein einzelnes Dreieck stabil.

Bei der horizontal angreifenden Kraft auf die linke obere Ecke, entstehen im oberen horizontalen Stab Druckkräfte und im Diagonalstab Zugkräfte. Da durch den Diagonalstab das Quadrat in zwei Dreiecke unterteilt wird, bleibt die Struktur ebenso wie bei der Krafteinwirkung auf ein einzelnes Dreieck stabil.

SACHANALYSE - Modelle aus Kartonstreifen oder Metallflachstäben

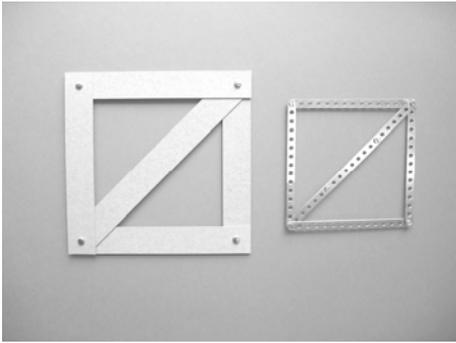


Das Phänomen des einfachsten Fachwerks aus drei Stäben und drei gelenkigen Knoten kann im Modell aus Karton und Paketklammern oder Metallflachstäben mit Schrauben nachgebaut werden. Ein Stab wird durch einen Kartonstreifen oder Metallflachstab symbolisiert, ein gelenkiger Knoten durch eine Paketklammer oder eine Schraube, die die Stäbe miteinander verbindet. Die Kartonstreifen sollten ca. 3 cm breit sein und eine Länge von ca. 20 cm haben. An den Enden werden die Streifen gelocht und überlappen sich. Die Länge der Metallflachstäbe richtet sich nach den vorhandenen Längen in den Baukästen⁵.

Das Quadrat, das nicht durch eine Diagonale aussteift ist, und aus zwei vertikalen und zwei horizontalen Stäben und vier gelenkigen Knoten besteht, kann auf ähnliche Weise hergestellt werden. Die Abmessungen der Kartonstreifen können wie im obigen Beispiel gewählt werden.



⁵ Die verwendeten Metallflachstäbe sind aus dem construction CO2 Baukasten entnommen, ähnliche Stäbe finden sich aber auch in gleichwertigen Kästen wie beispielsweise den Märklin Baukästen.



Bei den dreiecksförmigen Aussteifungsverbänden, die aus zwei vertikalen und zwei horizontalen Stäben, einem Diagonalstab und vier gelenkigen Knoten bestehen, wird im Gegensatz zum vorher beschriebenen Quadrat eine Diagonale eingesetzt. Die Länge der Diagonale kann rechnerisch mit Hilfe des Satzes von Pythagoras ($a^2 + b^2 = c^2$)

ermittelt werden. Bei den Metallflachstäben ist zu beachten, dass die Diagonale je nach vorhandenen Längen in den Baukästen, evtl. aus zwei Stäben, zusammengeschaubt werden muss.

Alternativen:

Eine andere Möglichkeit das Quadrat mit Diagonalen auszusteifen, kann durch das Ausspannen mit zwei Fäden (möglichst reißfest) erreicht werden, die an jeweils zwei gegenüberliegenden Ecken befestigt werden und die wie zwei Zugstäbe wirken.

Eine weitere Aussteifung, neben der durch Diagonalverbände, kann durch Scheiben erfolgen. Unter einer Scheibe versteht man ein ebenes Flächentragwerk, das nur durch Kräfte in Scheibenebene beansprucht wird.⁶

Das Modell einer Scheibe kann durch Kartonstreifen mit eingefügter Kartonscheibe veranschaulicht werden. Die zwei vertikalen und zwei horizontalen Stäbe werden wie in den dreiecksförmigen Aussteifungsverbänden erstellt. Statt einer aussteifenden Diagonalstrebe wird eine Kartonscheibe eingefügt, die aussteifend wirkt.⁷

LERNVORAUSSETZUNGEN

- Für diese Unterrichtssequenz ist es erforderlich, dass die SchülerInnen über inhaltsbezogene mathematische Kompetenzen, wie das Erkennen und Benennen der geometrischen Figuren Dreieck und Quadrat, verfügen.
- Die SchülerInnen sollten zudem über Schreibfertigkeiten verfügen.
- Für die Gruppenarbeit ist es hilfreich, wenn die SchülerInnen Erfahrungen haben in einer Gruppe zusammenzuarbeiten. Sie können die anderen Kinder dadurch leichter an ihren Entdeckungen teilhaben lassen.

⁶ vgl. ebd. Baulexikon. S. 221.

⁷ Abbildungen zu beiden Aussteifungsmöglichkeiten sind in dem Lehrerband von Wolfgang Pospischil zu finden.

LERNZIELE

Die SchülerInnen sollen

- das statische Prinzip der Stabilität durch Aussteifung kennen lernen:
 - an verschiedenen Modellen selbsttätig Versuche durchführen und das System des Dreiecksverbands begreifen.
 - die Merkmale einer stabilen Konstruktion auf eine bewegliche übertragen.
 - die Fachbegriffe "stabil", "beweglich" und "Diagonale" kennen lernen.
 - Sachverhalte beschreiben, indem sie ihre Beobachtungen wiedergeben und versuchen Begründungen und Erklärungen zu finden.
- darüber Kenntnis gewinnen, dass die erarbeiteten statischen Sachverhalte bei unterschiedlichen technischen Konstruktionen wirken.

DIDAKTISCH-METHODISCHE ANREGUNGEN

BEZUG ZUR LEBENSWELT DER KINDER

Die Kinder kennen Konstruktionen und Bauwerke, die durch Dreiecksverbindungen ausgesteift sind, wie Gittermaste von Hochspannungsleitungen, die Tragkonstruktion eines Baukrans, Brücken oder Geländer. Das Phänomen der Stabilität durch Aussteifung begegnet den Kindern dadurch in vielfältiger Weise in ihrer Lebensumwelt, ohne dass ihnen dieses bewusst ist.



Fachwerkbalkenbrücke zur Verbindung zweier Gebäudeteile in Kassel (AVZ)

Diese Unterrichtssequenz eignet sich nicht dazu, sie isoliert und losgelöst zu behandeln, da der Inhalt für Grundschulkinder zu abstrakt ist und ohne konkreten Bezug schwierig in ihre bisherigen Erfahrungen zu integrieren ist. Aus diesem Grund sollten die Basisversuche entweder zum Einstieg in ein Thema oder während einer Einheit zur Klärung eines statischen Sachverhalts eingesetzt werden, damit sich die SchülerInnen auf der Grundlage dieses statischen Prinzips den Aufbau unterschiedlicher technischer Konstruktionsformen erschließen können. Durch die Anwendung der Versuche auf Bauwerke, die die Kinder kennen, werden sie in einen konkreten Zusammenhang eingebunden und gewinnen durch den Lebensweltbezug für die SchülerInnen an Bedeutung. Die Kinder werden dadurch angeregt ihre Umgebung bewusster wahrzunehmen und mit einem "statischen Blick" zu betrachten.

ABSICHTEN DER UNTERRICHTSSEQUENZ

Die SchülerInnen lernen in dieser Unterrichtssequenz das statische Prinzip der Stabilität durch Aussteifung, mit Hilfe von Versuchen, kennen. An Modellen, mit denen sie verschiedene Belastungsversuche eigenständig durchführen, sammeln sie Erfahrungen mit stabilen und beweglichen Strukturen und erhalten Einblick in deren Konstruktionsprinzip. Die erworbenen Kenntnisse stabiler Konstruktionen sollen bei Versuchen auf eine bewegliche Konstruktion übertragen werden. Die während der Belastung in den Stäben auftretenden Druck- und Zugkräfte, die in der Sachanalyse beschrieben sind, werden nicht thematisiert, da sie für Kinder nicht erfahrbar bzw. sichtbar gemacht werden können.

HINWEISE ZUR DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHE

Die Belastungsversuche erfolgen an Modellen, die in den Verbindungsstellen gelenkig verbunden sind. Wie bereits in der Sachanalyse erwähnt, ist das notwendig, damit während der Versuche die Stabilitätsunterschiede zwischen einem Dreiecks- und einem Vierecksverband deutlich werden. Die SchülerInnen sollten mit den Modellen in sechs Kleingruppen von ca. drei bis vier Kindern arbeiten, um sich bezüglich ihrer Entdeckungen besser untereinander austauschen und ergänzen zu können. Jeder Gruppe wird ein Modell eines Dreiecks oder eines nicht ausgesteiften Quadrats aus Kartonstreifen oder Metallflachstäben zur Verfügung gestellt. Damit alle Kinder gleichermaßen Erfahrungen mit den beweglichen und stabilen Modellen machen können, werden diese nach Beendigung der Versuche unter den jeweiligen Gruppen getauscht.

Der Zugang zum Verständnis von stabilen Dreiecksstrukturen, die sich nicht verformen bzw. bewegen und nicht ausgesteiften Quadraten, die beweglich sind, kann in drei Schritten erfolgen:

1. Schritt

Im ersten Schritt können die SchülerInnen sich spielerisch mit dem Modell vertraut machen, indem sie erkunden wie es zusammengebaut ist.

2. Schritt

Im zweiten Schritt bekommen die Kinder die Aufgabe, die Modelle hochkant auf den Tisch zu stellen und sie von oben an den Verbindungsstellen zu belasten und dabei zu beobachten, was mit den Stäben der Modelle passiert. Bei den Dreiecken wird leichter Druck auf die Spitze, bei den Quadraten auf die beiden oberen Ecken ausgeübt. In

einem zweiten Versuch werden die Modelle horizontal von der Seite belastet. Beim Dreieck wird von der linken Seite gegen die Spitze gedrückt, beim Quadrat von der linken Seite gegen die linke obere Ecke. (Skizzen zur Veranschaulichung der Belastungsversuche finden sich in der Sachanalyse).

Die Beobachtungen aus den beiden Versuchen und den verschiedenen Gruppen werden von den Kindern in einem gemeinsamen Unterrichtsgespräch im Klassenverband zusammengetragen. Die vier unterschiedlichen Belastungsversuche werden schematisch in einem Tafelbild dargestellt und die wichtigsten Beobachtungen in Stichpunkten festgehalten. Falls der Sachverhalt der Stabilität und Beweglichkeit von den Kindern nicht thematisiert wurde, sollte von der Lehrperson die Aufmerksamkeit darauf gelenkt werden und mit den Begriffen "stabil" und "beweglich" verdeutlicht werden.

3. Schritt

Im dritten und letzten Schritt könnte die Frage aufgeworfen werden, wie das quadratische Modell, das sich als beweglich herausgestellt hat, durch geeignete Maßnahmen stabilisiert werden kann. Die SchülerInnen sollten Vorschläge zur Problemlösung äußern und sie auch begründen. Im Anschluss bekommen sie einen vorbereiteten diagonalen Kartonstreifen zur Verfügung gestellt, mit dem das Quadrat ausgesteift werden kann. Nachdem die Kinder die Diagonale in das Quadrat eingebaut haben, sollen die Belastungsversuche an dem veränderten Quadrat wiederholt werden. Sie können dann überprüfen, ob die Erweiterung der Konstruktion durch die Diagonale zu einer Veränderung des statischen Verhaltens führt. Damit die Versuche an dem ausgesteiften Modell von allen SchülerInnen verfolgt werden können, schließen sich die Gruppen, die sich zuletzt mit den Dreiecken beschäftigt haben, den anderen Gruppen an.

Die Beobachtungen während der Versuche werden in einer Abschlussrunde zusammengetragen und ausgewertet. Wichtig ist, dass die SchülerInnen erkennen, dass der Kartonstreifen das Quadrat in zwei Dreiecke unterteilt und es aus diesem Grund stabil geworden ist. Gegebenenfalls kann der Begriff "Diagonale" eingeführt und im Mathematikunterricht vertieft werden.

ERGEBNISSICHERUNG - Zeichnungen

Zur Ergebnissicherung werden die an der Tafel skizzierten Belastungsversuche und Stichpunkte von den SchülerInnen in ihren Arbeitsunterlagen zeichnerisch und schriftlich dokumentiert und um den letzten Versuch und ihre Beobachtungen dazu ergänzt.

Hierbei können sie sich an den ersten beiden Versuchen, bezüglich zeichnerischer Darstellung und Beschreibung, orientieren. Zur weiteren Hilfestellung verbleiben die Modelle als Anschauungsobjekte auf den Tischen. Als Abschluss der Unterrichtssequenz werden die behandelten Inhalte besprochen und reflektiert.

BEZUGNAHME ZU DEN UNTERRICHTSEINHEITEN

Da die Versuche zur Stabilität durch Aussteifung als Basisversuche für weiterführende Themen dienen, sollte angesprochen werden, dass die erarbeiteten Sachverhalte in anderen technischen Konstruktionen ebenso wirken und darauf übertragen werden können. Es sollte dabei auf die jeweiligen Themen der Unterrichtseinheiten, in die die Basisversuche integriert werden, wie der Aufbau eines Fachwerkbalkenträgers, die Aussteifung von Türmen aus Holzspießen sowie von Murmeltürmen aus Papierwinkelschienen, zu Beginn und am Ende dieser Unterrichtssequenz Bezug genommen werden.

TIPPS UND TRICKS	<ul style="list-style-type: none"> • Beim Herstellen der Modelle, sollten die Löcher an den Ecken für die Verbindung mit den Paketklammern angezeichnet werden, damit die Kartonstreifen gleichmäßig überlappen. • Damit das Dreieck saubere Ecken bekommt, können die Kartonstreifen an den Enden so abgeschrägt werden, dass sie mit der anliegenden Dreiecksseite eine Linie bilden. Das gleiche gilt für die Diagonale beim Quadrat. (Siehe hierzu die Modelle auf den Fotos).
MEDIEN	<p>3 Dreieck - Modelle pro Modell</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3 Streifen aus festem Karton, Breite: 3 cm, Länge: 20 cm • 3 Musterklammern (Paketklammern) <p>3 Quadrat - Modelle (ohne Diagonale) pro Modell</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4 Streifen aus festem Karton, Breite: 3 cm, Länge: 20 cm • 4 Musterklammern (Paketklammern) <p>3 Quadrat - Modelle (mit Diagonale) pro Modell</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4 Streifen aus festem Karton, Breite: 3 cm, Länge: 20 cm • 1 Streifen aus festem Karton, Breite: 3 cm, Länge: 28,3 cm • 4 Musterklammern (Paketklammern) <p>für alle Modelle</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 Locher • Cutter oder Schere
LITERATUR	<p>ANREGUNGEN DURCH: Die Anregungen, die Modelle aus Kartonstreifen herzustellen und an den Verbindungsstellen mit Musterklammern zu verbinden, sind von Johann Eckel und Herbert Halmiczek sowie Carl Schietzel übernommen worden. Alternative Aussteifungsmöglichkeiten mittels Fäden sind bei Günther Kälberer beschrieben.</p> <p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baulexikon. Erläuterungen wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Hg. v. Rüdiger Wormuth / Klaus-Jürgen Schneider. Berlin: Bauwerk 2000. • Bewert, Fritz / Pester, Heinz: Lehr- und Übungsbuch Mathematik Band II.

Leipzig: Deutsch / Thun 1985.

- **Eckel, Johann / Halamiczek, Herbert:** Werkerziehung Grundstufe 2. Wien: Österreichischer Bundesverlag 1983. S. 10-22.
- **Kälberer, Günther:** Elementares Bauen. Arbeitsanregungen für naive, konstruktive u. funktionale Bauaufgaben. Ravensburg: Maier 1980. S. 64/65.
- **Schietzel, Carl / Raabe, Hermann / Vollmers, Christian:** Erste Schritte in die Welt der Technik. Werk- und Lernbeispiele für Vier- bis Siebenjährige. Ravensburg: Maier 1976. S.26-29.
- **Schmitt, Heinrich / Heene, Andreas:** Hochbaukonstruktion. Die Bauteile und das Baugesfüge. Grundlagen des heutigen Bauens. 15., vollst. überarb. Aufl. Braunschweig / Wiesbaden: Vieweg 2001. S. 400-404.

ERGÄNZENDE LITERATURHINWEISE:

Weitere Vorschläge zur Stabilisierung eines Quadrats sind in dem Lehrerband von Wolfgang Pospischil zu finden.

- **Pospischil, Wolfgang / Ziebell, Horst:** Lehrerband mit Kopiervorlagen. Werken Klassen 1 bis 4. Berlin: Volk und Wissen 1998. S. 72/73.

3.3 Druck- und Zugkräfte

BASISVERSUCH FÜR	4.2 Balkenbrücken
SCHWIERIGKEITSGRAD	niedriger Anspruch
ZEIT	Einzelstunde bis Doppelstunde
MATERIALIEN UND WERKZEUGE	<ul style="list-style-type: none"> • 20 bis 24 halbe Holzstäbe (z.B. Schaschlik-Stäbe), ca. 12 cm lang • Gartenschere zum Halbieren und Abschneiden der Spitze

SACHANALYSE

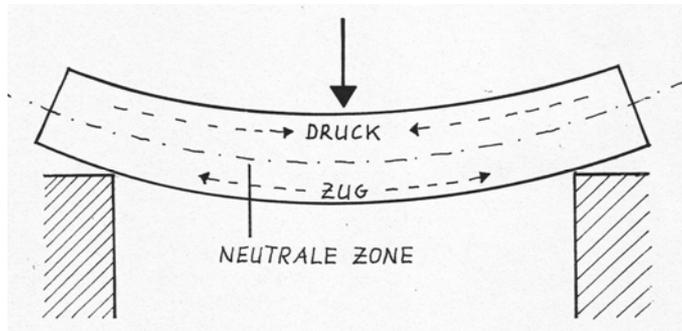
In diesem Kapitel werden innere Kräfte und Momente betrachtet, die in den Bauteilen einer tragenden Konstruktion wirken und Spannungen erzeugen. Die inneren Kräfte (Schnittkräfte) und Momente sind ein Maß für die Materialbeanspruchung (Spannung). Ihre Kenntnis ist wichtig, wenn man die Tragfähigkeit von Tragwerken untersucht oder Querschnitte dimensioniert. Bei standsicher dimensionierten Tragkonstruktionen übersteigt die Spannung in keinem Bauteil diejenige Spannung, die das jeweilige Material dauerhaft erträgt. Kenntnis von dieser Spannung erhält man aus Materialuntersuchungen. Im Gegensatz zu äußeren Momenten (Drehmomenten – vgl. 3.4) werden die inneren Momente als Biegemomente bezeichnet. Auf Biegung beanspruchte Bauteile sind neben Balken / Träger, auch Decken, Stürze (Fenster- oder Türstürze) und Sparren. Die inneren Kräfte und Biegemomente werden exemplarisch am Beispiel eines Balkens dargestellt.

Eine Kraft ist nicht direkt wahrnehmbar, sondern sie ist nur an ihren Wirkungen zu erkennen. Das heißt inwieweit sie einen Körper beschleunigt, deformiert oder seine Bewegungsrichtung verändert. Die Kraft ist eine abgeleitete Größe, deren Einheit mit Newton (N) festgelegt ist. 1 N ist die Kraft, die einen Körper der Masse 1 kg mit 1 m/s^2 beschleunigt.¹ Ein Moment entsteht, wenn zwei Kräfte nicht in der gleichen Wirkungslinie, sondern um einen Hebelarm versetzt angreifen. Hebelarm und Wirkungslinie stehen dabei immer rechtwinklig zueinander. Ein Moment **M** ist das Produkt aus einer Kraft **F** und einem Hebelarm **a**: $\mathbf{M} = \mathbf{F} * \mathbf{a}$. Je größer der Abstand der Wirkungslinien, und damit des Hebelarms a ist, umso größer ist das Moment.²

¹ vgl. Schüler Duden. Die Physik. Hg. u. bearb. v. Meyers Lexikonredaktion in Zusammenarb. mit Klaus Bethge. 3., überarb. u. erg. Aufl. Mannheim / Leipzig / Wien / Zürich: Dudenverlag 1995. S. 238/299.

² vgl. ebd. S. 82.

Ein Balken, der senkrecht zu seiner Längsachse von oben mit einer Kraft belastet wird, wird auf Biegung beansprucht. Der Balken biegt sich durch die äußere Krafteinwirkung durch und wird an der Oberseite gedrückt und an der Unterseite gezogen.



Im Inneren des Balkens erzeugt das Biegemoment an der Oberseite Druckspannungen und an der Unterseite Zugspannungen. Der Verlauf dieser Spannungen über die Querschnittshöhe ist linear. Das Biegemoment ist im

Angriffspunkt der Kraft am Größten und an den Auflagerpunkten des Balkens Null.³

Bei Stahlbeton-Konstruktionen nutzt man die Kenntnis über die Spannungsverteilung in einem Balkenquerschnitt. Da Beton über eine hohe Druckfestigkeit, jedoch über eine sehr geringe Zugfestigkeit verfügt, werden die zugbeanspruchten Bereiche eines Querschnitts mit Stahl verstärkt. In einem Stahlbetonbalken liegen daher die Stahlstäbe im unteren Teil des Balkens, da hier Zugspannungen auftreten.

Die inneren Momente (Biegemomente) stehen in engem Zusammenhang mit den äußeren Momenten (Drehmomenten). Erhöht sich das Drehmoment, so erhöht sich auch das Biegemoment.⁴ Da ein Moment das Produkt von zwei Größen (Hebelarm und Kraft) ist, würde eine höhere Krafteinwirkung, ebenso wie ein längerer Hebelarm, zu einem größeren Drehmoment und damit auch zu einem größeren Biegemoment führen. Übertragen auf den Balken bedeutet das, dass sich ein sehr langer Balken, der mittig von oben belastet wird und damit einen langen Hebelarm hat, erheblich mehr durchbiegen würde als ein kurzer Balken. Der Querschnitt eines langen Balkens müsste dann, um die entstehenden Dreh- und Biegemomente aufnehmen zu können, groß genug proportioniert sein. Balken mit hochkant stehender Querschnittsfläche sind biege fester als solche mit liegender Querschnittsfläche.⁵ Ist die Querschnittsfläche eines Balkens nicht genügend groß bemessen, erträgt das Bauteil die Spannungen nicht und es kommt zum Bruch.

³ vgl. Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 7., vollst. überarb. Aufl. Köln: Müller 1996. S. 81.

⁴ vgl. Schulze, Walter / Lange, Joachim / Wanner, Artur: Kleine Baustatik. Einführung in die Grundlagen der Statik und die Berechnung der Bauteile für den Baupraktiker. 12., überarb. Aufl. Stuttgart / Leipzig / Wiesbaden: Teubner 2002. S. 41.

⁵ vgl. Nestle, Hans: Bautechnik. Fachkunde Bau. 3. Aufl. Wuppertal: Europa-Lehrmittel 1983. S. 131.

SACHANALYSE – Modell eines Balkens aus Schaumstoff

Der Kräfteverlauf in einem Balken kann modellhaft mit einem dicken Streifen aus Schaumstoff, der belastet wird, verdeutlicht werden. Um den Abmessungen eines Balkens weitgehend zu entsprechen, sollte der Schaumstoffstreifen ca. 60 bis 70 cm lang sein und einen Querschnitt von 9 x 7 cm haben. Bevor der Belastungsversuch durchgeführt wird, muss der Streifen in regelmäßigen Abständen im mittleren Bereich, an zwei nebeneinander liegenden Längsseiten, mit senkrechten Filzstiftstrichen versehen werden. So kann der Versuch einmal mit liegender Querschnittsfläche und einmal mit hochkant stehender Querschnittsfläche durchgeführt werden. Für den Versuch werden das rechte und das linke Ende des Schaumstoffbalkens auf zwei auseinander stehende Tische oder auf zwei Kisten aufgelegt und in der Mitte mit einem Buch oder einer Flasche belastet. Während des Versuchs lässt sich beobachten, dass sich die Lage der Filzstiftlinien verändert. Daraus können Rückschlüsse auf die entstandenen inneren Kräfte gewonnen werden: An der Oberseite des Modellbalkens sind die Abstände der Linien kleiner als vorher, der Schaumstoff wird zusammengedrückt, das heißt es sind Druckspannungen entstanden. An der Unterseite dagegen sind die Abstände größer als vorher. Die Kräfte haben den Schaumstoff auseinander gezogen und demnach sind Zugspannungen entstanden. Im mittleren Bereich ist der Abstand der Linien gleich geblieben. Die Druck- und Zugspannungen heben sich hier gegenseitig auf. Es handelt sich also um eine neutrale Zone.⁶ Des Weiteren ist zu beobachten, dass sich ein Balken mit liegender Querschnittsfläche weiter durchbiegt, als ein Balken mit hoch stehender Querschnittsfläche.

LERNVORAUSSETZUNGEN

- Für diese Unterrichtssequenz sind keine besonderen Voraussetzungen notwendig.

LERNZIELE

Die SchülerInnen sollen

- aufgrund eines eigenständig durchgeführten Versuchs Hypothesen zu den Wirkungen auf einen Balken aufstellen.
- Kenntnisse über die inneren Kräfte in einem Balken gewinnen:
 - aufgrund von Beobachtungen bei einem Versuch erkennen, dass in einem biegebeanspruchten Balken oben Druck und unten Zug wirkt.

⁶ vgl. Köthe, Rainer: Brücken. Nürnberg: Tessloff 1991. (= WAS IST WAS) Bd. 91). S. 9.

- ihre vorher aufgestellten Vermutungen, mit Hilfe der neu gewonnen Erkenntnisse, überprüfen.
- einen zweiten Versuch durchführen und formulieren, dass die Tragfähigkeit eines Balkens von der Querschnittsfläche beeinflusst wird.
- den Versuchsaufbau zeichnerisch darstellen und die Ergebnisse des Versuchs durch die Begriffe "Druck" und "Zug" verdeutlichen.

DIDAKTISCH–METHODISCHE ANREGUNGEN

BEZUG ZUR LEBENSWELT DER KINDER

Bei den in dieser Unterrichtssequenz behandelten Druck- und Zugkräften handelt es sich um innere Kräfte, die in Bauteilen oder Gegenständen wirken und die im Alltag nicht ohne weitere Hilfsmittel zu beobachten oder wahrzunehmen sind. Trotzdem sind Kinder aber mit den Auswirkungen von Druck- und Zugkräften in ihrer Lebensumwelt konfrontiert, z. B. wenn sie einen Ast durchbrechen oder ihnen ein Spielzeug kaputt geht. Es kann in dieser Unterrichtssequenz an diese Vorerfahrungen angeknüpft werden durch einen Versuch, in dem ein Alltagsgegenstand zerbrochen wird. Das kann die Neugierde der Kinder wecken, um daraufhin gemeinsam zu ergründen, warum eine bestimmte Wirkung eingetreten ist, bzw. wodurch sie ausgelöst wurde.

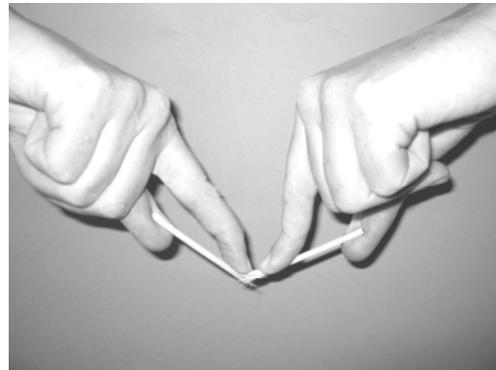
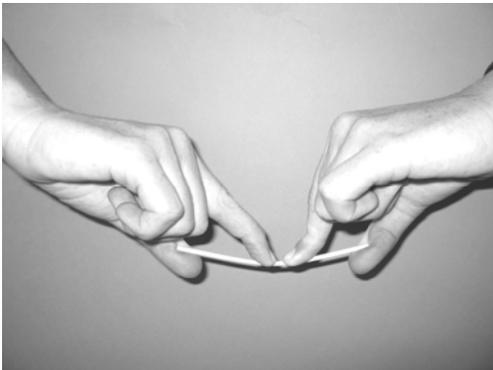
Neben der Anknüpfung an die Erfahrungen der Kinder sollte das Phänomen der Druck- und Zugkräfte in ein Sachunterrichtsthema, wie z. B. Brücken und insbesondere das Tragwerk einer Balkenbrücke, eingebunden werden. Beides trägt zur Veranschaulichung und zum Verständnis bei. Darüber hinaus unterstützt es die SchülerInnen dabei, einen Blick und ein Gespür dafür zu entwickeln, andere Vorgänge in ihrer Lebensumwelt dahingehend zu betrachten, ob bei ihnen auch Druck- und Zugkräfte auftreten. Um Kinder mit der abstrakten physikalischen Größe der Kraft nicht zu überfordern, sollte eine didaktische Reduktion durch die Verwendung der Begriffe "Druck" und "Zug" erfolgen.

ABSICHTEN DER UNTERRICHTSSEQUENZ

Die SchülerInnen lernen in dieser Unterrichtssequenz, dass in einem biegebeanspruchten Balken Druck- und Zug(kräfte) wirken. Mittels eines Versuchs gewinnen sie, bezogen auf den Querschnitt des Balkens, Kenntnis über die Lage der Kräfte. Darüber hinaus erfahren sie, dass die Querschnittsfläche eines Balkens Einfluss auf dessen Tragfähigkeit hat.

HINWEISE ZUR DURCHFÜHRUNG DES HOLZSTAB - VERSUCHS

Es empfiehlt sich als Einstieg ein Belastungsversuch, der mit einem Alltagsgegenstand durchgeführt wird, der den Kindern vertraut ist. Die SchülerInnen bekommen jeder einen halben Holzstab, mit dem sie selbsttätig in Einzelarbeit folgenden Versuch durchführen sollen: Sie legen den Holzstab zwischen ihre Hände auf ihre beiden Daumen. Nun drücken sie von oben auf die Mitte des Holzstabes mit den beiden Zeigefingern. Die SchülerInnen können beobachten, dass sich der Stab zu Beginn des Belastungsversuchs nach unten durchbiegt. Das Durchbrechen des Stabes kündigt sich an der Unterseite an, indem die unteren Holzfasern durchbrechen. Bei zunehmendem Druck der Zeigefinger brechen auch die mittleren und weiter oben gelegenen Holzfasern durch.



Wie in der Sachanalyse beschrieben, kommt es bei der Belastung des Stabes zu seinem so genannten Versagen, welches damit zu begründen ist, dass aufgrund der Dimensionierung des Stabes, die auftretende Spannung größer ist als die Spannung, die das Material, in diesem Fall Holz, ertragen kann.

ERGEBNISSICHERUNG - Unterrichtsgespräch

Die Beobachtungen während der Versuche werden in einem gemeinsamen Unterrichtsgespräch zusammengetragen. Außerdem werden die SchülerInnen aufgefordert Vermutungen darüber anzustellen warum der Holzstab durchgebrochen ist.

Dieser Versuch kann ergänzend zu dem Versuch mit den Armen im Kapitel 4.2 verwendet werden. Da die Begriffe "Druck", "Zug" und "Spannweite" bereits angesprochen wurden, kann in dem Unterrichtsgespräch darauf Bezug genommen werden. Statisch gesehen wird bei dem Versuch mit den Holzstäben, ebenso wie bei den Armen, das Durchbiegen eines Balkens nachgeahmt. Aber im Gegensatz zum "Armbalken", bei dem das Durchbrechen durch ein Auseinandergehen der Arme simuliert wird,

können die Kinder bei dem "Holstabbalken" beobachten wie sich ein Material verhält, wenn es tatsächlich durchbricht bzw. versagt.



HINWEISE ZUR DURCHFÜHRUNG DES SCHAUMSTOFFBALKEN - VERSUCHS

Im Anschluss an die Hypothesenbildung werden die Beobachtungen der Kinder und ihre Vermutungen, mittels eines Versuchs mit einem Schaumstoffbalken, der als Modell für ein Tragwerk einer Balkenbrücke steht, überprüft. Der Versuch sollte für alle Kinder sichtbar aufgebaut werden. Hierzu wird ein Schaumstoffbalken mit hochkant stehender Querschnittsfläche, der wie in der Sachanalyse beschrieben mit Filzstiftstrichen versehen ist, zwischen zwei Tische oder Kisten gelegt. Ein Kind kann den Balken mit Büchern, oder wie auf den Fotos mit einer Flasche, belasten.



Während des Versuchs bekommen einige SchülerInnen die Aufgabe die Lage der Filzstiftstriche im oberen Bereich des Balkens zu beobachten, wenn der Balken in der Mitte belastet wird. Ein anderer Teil der SchülerInnen konzentriert sich auf die Filzstiftstriche im mittleren Bereich und der Rest der Kinder auf den unteren Bereich des Balkens. Anschließend sollen die SchülerInnen beschreiben was sie beobachtet haben. Im oberen Bereich müssten sich die Abstände der Linien verkleinert haben, der Schaumstoff wurde zusammengedrückt. In der Mitte sollten die Abstände der Linien nahezu gleich geblieben sein und im unteren Bereich müsste die Abstände der Linien größer geworden sein, was bedeutet, dass das Material auseinander gezogen wurde. Die Kinder sollen die Erkenntnis gewinnen, dass bei einem biegebeanspruchten Balken, der von oben senkrecht zu seiner Längsachse belastet wird, im oberen Bereich Druck und im unteren Bereich Zug auftritt, während in der Mitte eine Zone entsteht, in der sich die Kräfte aufheben.

ERGEBNISSICHERUNG - Unterrichtsgespräch

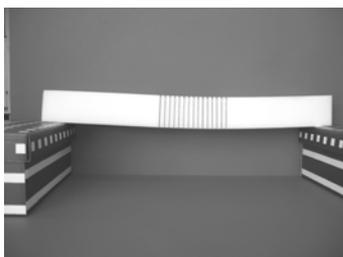
Die Lokalisation von Druck im oberen Bereich und Zug im unteren Bereich des Schaumstoffbalkens wird zum Anlass genommen diese Wirkungen zu den Vermutungen über das Auseinanderbrechen des Holstabes in Beziehung zu setzen und die vorher aufgestellten Hypothesen dadurch zu verifizieren oder zu falsifizieren. Dies geschieht in einem Gespräch, bei dem das gemeinsame Denken in Form von Begründungen finden, Beziehungen herstellen und sich auszutauschen im Vordergrund steht und die SchülerInnen in ihrem Lernprozess unterstützt.

ERGEBNISSICHERUNG - Zeichnungen

Die SchülerInnen sollten je eine Seitenansicht eines unbelasteten und eines belasteten Schaumstoffbalkens anfertigen, auf denen sie sowohl schematisch die Filzstiftstriche darstellen, als auch die Auswirkungen der Belastung an den entsprechenden Stellen mit Druck und Zug beschriften. Das hilft ihnen dabei die gewonnenen Erkenntnisse durch eine Skizze auf das Wesentliche zu reduzieren, damit sie bei der Anwendung auf andere Themen als Memorierstütze zur Verfügung stehen.

VERSUCHSERWEITERUNG

Falls ein Schaumstoffbalken mit rechteckiger Querschnittsfläche zur Verfügung steht, kann der Versuch wiederholt werden, indem der Schaumstoffbalken jetzt mit liegender Querschnittsfläche belastet wird. Es kann beobachtet werden, dass dieser sich stärker durchbiegt als der Schaumstoffbalken mit hochkant stehender Querschnittsfläche. Die Kinder können, ähnlich wie bei dem Versuch mit den Armen, entdecken, dass die Dimensionierung eines Balkens deren Tragfähigkeit beeinflusst und ein hochkant stehender Querschnitt mehr Belastung erträgt als ein liegender Querschnitt. Dieser Zusammenhang sollte in einem Unterrichtsgespräch noch einmal thematisiert werden.



TRANSFER

Als Abschluss dieser Unterrichtssequenz sollte das untersuchte Tragwerk des Balkens auf die gesamte Balkenbrücke übertragen werden. Des Weiteren sollte den Schülern verdeutlicht werden, dass das Tragsystem eines Balkens von Statikern berechnet und entsprechend dimensioniert ist, damit dieses nicht "durchbricht" und es nicht zu einem Versagen kommt.

TIPPS UND TRICKS	<ul style="list-style-type: none"> • Die Schaschlik-Spieße können am besten mit einer Gartenschere halbiert werden. • Die Spitzen der Schaschlik-Spieße sollten, bevor die Kinder sie für die Versuche verwenden, ebenfalls mit einer Gartenschere abgeschnitten werden, damit sich die Kinder damit nicht verletzen.
MEDIEN	Modell eines Balkens <ul style="list-style-type: none"> • Schaumstoffquader, Länge: ca. 60 – 70 cm, Querschnitt: ca. 9 x 7 cm
LITERATUR	<p>ANREGUNGEN DURCH: Die Anregung die Druck- und Zugkräfte mit einem Modell eines Schaumstoffbalkens darzustellen sind aus dem "Was ist was?" Buch zum Thema Brücken von Rainer Köthe entnommen.</p> <p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Köthe, Rainer: Brücken. Nürnberg: Tessloff 1991. (= WAS IST WAS) Bd. 91). S. 5-10. • Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 7.,vollst. überarb. Aufl. Köln: Müller 1996. S. 80-85. • Nestle, Hans: Bautechnik. Fachkunde Bau. 3. Aufl. Wuppertal: Europa-Lehrmittel 1983. S. 129-132. • Schüler Duden. Die Physik. Hg. u. bearb. v. Meyers Lexikonredaktion in Zusammenarb. mit Klaus Bethge. 3., überarb. u. erg. Aufl. Mannheim / Leipzig / Wien / Zürich: Dudenverlag 1995. • Schulze, Walter / Lange, Joachim / Wanner, Artur: Kleine Baustatik. Einführung in die Grundlagen der Statik und die Berechnung der Bauteile für den Baupraktiker. 12., überarb. Aufl. Stuttgart / Leipzig / Wiesbaden: Teubner 2002. S. 41/42.

3.4 Standsicherheit durch Gleichgewicht

BASISVERSUCH FÜR	<ul style="list-style-type: none"> • 4.3.1 Kragsteinbogenbrücken • 5.2 Türme aus Holzbausteinen
SCHWIERIGKEITSGRAD	niedriger Anspruch
ZEIT	Auskragen: Einzelstunde Zweiseitiger Hebelarm: Einzelstunde
MATERIALIEN	<ul style="list-style-type: none"> • Das Grundmaterial sind genormte Holzbausteine (z.B. Fröbel – Bausteine mit dem Grundmaß 33 1/3 mm, Standardgröße: ca. H 16,7 * B 33,3 * L 66,7 mm (entspricht einem Maßverhältnis von 1:2:4))

SACHANALYSE

Bauwerke können außer der eigenen Gewichtskraft (Eigenlasten) verschiedenen anderen Kräften ausgesetzt sein. An einem ruhenden Körper, zu denen Bauwerke im Allgemeinen zählen, müssen alle Kräfte, die auf diesen Körper wirken, im Gleichgewicht stehen und sich gegenseitig aufheben. Die Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte, die an einem Körper wirken, nennt man Statik. Statik kommt von dem lateinischen Wort "stare", das "stehen, in Ruhe sein" bedeutet und besagt, dass jeder Kraft auf einen ruhenden Körper eine andere, gleich große Kraft entgegenwirken muss. Ist ein Körper in Ruhe, ist die Summe der an dem Körper angreifenden Kräfte null.¹ Von außen angreifende Kräfte werden als Aktionskräfte, reagierende Kräfte als Reaktionskräfte bezeichnet.²

In der Physik würde man das Kräfteverhältnis zweier Körper mit dem Wechselwirkungsgesetz erklären, das besagt: Übt ein Körper A auf einen Körper B eine (Aktions-)Kraft aus, so übt auch Körper B auf den Körper A eine gleich große entgegengesetzt gerichtete (Reaktions-)Kraft aus.³

Weiterhin unterscheidet man zwischen Vertikalkräften und Horizontalkräften. Bei Einwirkungen auf Gebäude werden die Bezeichnungen Vertikallasten und Horizontallasten benutzt. Ebenso zu berücksichtigen sind Drehmomente, die aus dem Produkt von angreifender Kraft und Hebelarm gebildet werden. Drehmomente werden in der Baukonstruktionslehre auch oft gleich bedeutend als Kippmomente bezeichnet. In diesem Kapitel wird ausschließlich der Begriff Drehmoment verwendet.

¹ vgl. Schulze, Walter / Lange, Joachim / Wanner, Artur: Kleine Baustatik. Einführung in die Grundlagen der Statik und die Berechnung der Bauteile für den Baupraktiker. 12., überarb. Aufl. Stuttgart / Leipzig / Wiesbaden: Teubner 2002. S. 10.

² vgl. Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 7., vollst. überarb. Aufl. Köln: Müller 1996. S. 38/39.

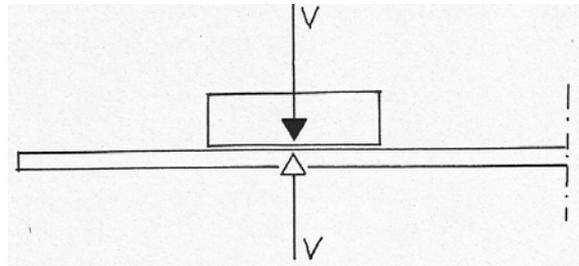
³ vgl. Schüler Duden. Die Physik. Hg. u. bearb. v. Meyers Lexikonredaktion in Zusammenarb. mit Klaus Bethge. 3., überarb. u. erg. Aufl. Mannheim / Leipzig / Wien / Zürich: Dudenverlag 1995. S. 299.

Symbolerklärung:

Aktionskräfte		Kräfte werden in den folgenden Skizzen als Pfeile dargestellt. Die Pfeillänge symbolisiert hierbei die Größe der Kraft, die Pfeilspitze zeigt die Wirkungsrichtung der Kraft an. Die Wirkungslinie einer Kraft ist nur eingezeichnet wenn die Kräfte nicht in der gleichen Wirkungslinie angreifen.
Reaktionskräfte		
Wirkungslinie		
Vertikalkräfte	V	
Horizontalkräfte	H	
Drehmomente	M	

Vertikalkräfte

Ein Holzbaustein, der auf einem Tisch liegt und eine Masse von 30 g hat, übt unter Erdbeschleunigung auf den Tisch eine vertikale Aktionskraft von 0,3 N aus (Kraft = Masse x Beschleunigung).⁴ Der Tisch muss eine ebenfalls vertikale

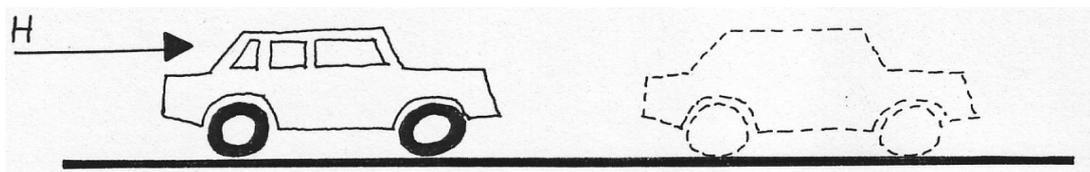


Reaktionskraft von 0,3 N auf den Baustein ausüben, die genau entgegengesetzt zu der Aktionskraft wirkt. Die Summe der vertikalen Aktions- und Reaktionskraft ist Null.⁵

Physikalisch betrachtet würde man sagen, dass beide Kräfte auf den Holzbaustein ausgeübt werden. Die Erde zieht mit der Gewichtskraft am Stein, das entspräche der Kraft auf den Stein. Der Stein drückt mit dieser Kraft auf den Tisch. Der Tisch übt eine entsprechend entgegengesetzt gerichtete Kraft auf den Stein aus, das entspräche wieder der Kraft auf den Stein. Diese Kraft hält der Gewichtskraft das Gleichgewicht.

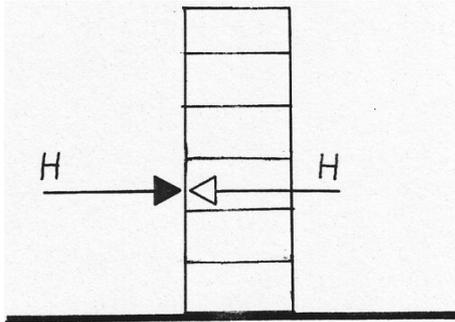
Horizontalkräfte

Pustet man gegen ein Spielzeugauto, so rollt dieses weg. Die horizontale Aktionskraft wird hierbei durch die gepustete Luft erzeugt, die eine Kraft auf das Auto ausübt. Das Auto wiederum übt dadurch eine Kraft in Bewegungsrichtung auf die Unterlage aus. Da ein Spielzeugauto sehr leicht und der Rollwiderstand gering ist, wird die horizontale Reaktionskraft (die Kraft von der Unterlage auf das Auto) zu klein, um das Auto an seinem Standort zu halten. Es bewegt sich.



⁴ vgl. ebd. S. 238.

⁵ vgl. Krauss, F. / Führer, W. / Neukäter, J.: Grundlagen der Tragwerklehre 1. S. 37/38.



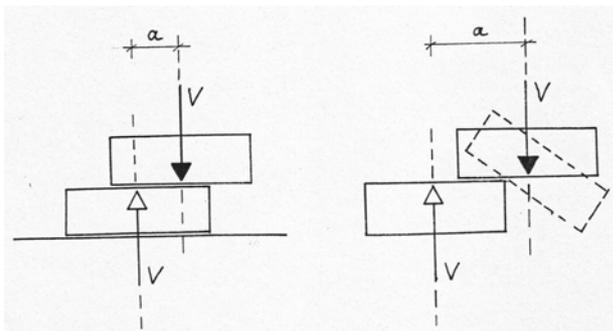
Pustet man im Vergleich dazu gegen eine Wand aus Holzbausteinen, die im Verband (mit versetzten Fugen) gemauert ist, bleibt diese stehen. Die Wand kann der horizontalen Aktionskraft (der Kraft von der gepusteten Luft auf die Wand) eine gleich große Reaktionskraft (der Kraft von der Wand auf die Luft) entgegensetzen, da

sie eine größere Masse als das Auto hat und fest auf dem Boden steht. Bei einem Bauwerk bewirken unter anderem die Fundamente, dass das Gebäude bei der Einwirkung von horizontalen Windkräften seine Lage nicht verändert. Die Bodenreibung der Fundamente setzt der angreifenden Windkraft eine genügend große Reaktionskraft entgegen.⁶

Welche Bedingungen Mauern aus Holzbausteinen erfüllen müssen, damit sie Horizontalkräften standhalten, ist im Kapitel "3.5 Standsicherheit im Mauerwerksbau" ausführlich behandelt und wird bei den didaktisch-methodischen Anregungen dieses Kapitels nicht weiter thematisiert.

Drehmomente

Ein Holzbaustein, der auf einem anderen liegt und an einer Seite übersteht, fällt ab einer bestimmten Stellung herunter.



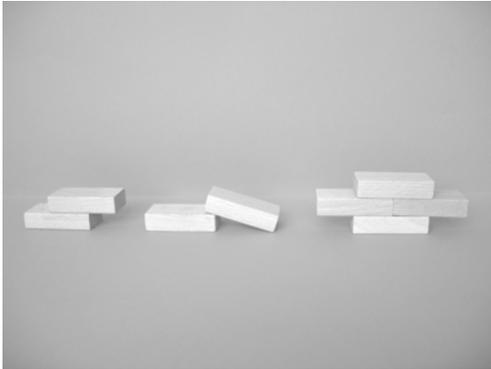
Der Baustein kippt in dem Augenblick hinunter, in dem sich der Schwerpunkt des Bausteins außerhalb der Auflagefläche, also vor der Kante des unteren Bausteins, befindet.

Die vertikalen Aktions- und Reaktionskraft greifen nicht in der gleichen Wirkungslinie an, sondern um einen Hebelarm versetzt. Hebelarm und Wirkungslinie stehen dabei immer rechtwinklig zueinander. Es entsteht ein Drehmoment \mathbf{M} , das das Produkt aus der angreifenden Kraft \mathbf{F} und dem Hebelarm \mathbf{a} ist: $\mathbf{M} = \mathbf{F} * \mathbf{a}$.⁷ Je größer der Abstand der Wirkungslinien, und damit des Hebelarms \mathbf{a} ist, umso größer ist das Drehmoment. Damit der Baustein nicht herunterfällt, muss dem rechtsdrehenden (Aktions-)Dreh-

⁶ vgl. ebd. S. 39.

⁷ vgl. Schüler Duden. S. 82.

moment ein gleich großes linksdrehendes Reaktions-(Drehmoment) entgegenwirken.⁸ Das kann erreicht werden, indem, wie auf dem linken unteren Foto, zwei Bausteine hinzugefügt werden, die durch ihr Gewicht und ihre Lage ein entgegengesetzt wirkendes Drehmoment erzeugen.



Verdeutlicht werden kann das Phänomen des Gleichgewichts auch durch das Hebelgesetz für den zweiarmigen Hebel, das besagt: Ein Gleichgewicht liegt vor, wenn $\mathbf{M}_1 = \mathbf{M}_2$. Das heißt, das Produkt aus Kraft und Hebelarm ist auf beiden Seiten gleich.⁹ Auf dem rechten Foto ist ein zweiarmiger Hebel zu sehen, der auf einem Drehpunkt aufliegt. Werden auf beiden Seiten gleich viele Holzbausteine in gleichem Abstand zur Drehachse aufgelegt, so herrscht ein Gleichgewicht.

Vorannahme: Das Drehmoment \mathbf{M} ist das Produkt aus der angreifenden Kraft \mathbf{F} und dem Hebelarm \mathbf{a} : $\mathbf{M} = \mathbf{F} * \mathbf{a}$.

Behauptung: Die beiden Drehmomente \mathbf{M}_1 und \mathbf{M}_2 sind gleich groß.

Beweis: An den Stellen, an denen die Holzbausteine aufliegen, wirkt auf beiden Seiten eine gleich große Kraft \mathbf{F}_1 und \mathbf{F}_2 . Der Abstand \mathbf{a}_1 und \mathbf{a}_2 der Wirkungslinie der Kraft zur Drehachse ist auf beiden Seiten gleich. Somit gilt für die beiden Drehmomente:

$$\mathbf{F}_1 * \mathbf{a}_1 = \mathbf{F}_2 * \mathbf{a}_2, \text{ daher } \mathbf{M}_1 = \mathbf{M}_2.$$

Damit bei einem zweiarmigen Hebel Gleichgewicht herrscht, müssen nicht notwendigerweise $\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_2$ und $\mathbf{a}_1 = \mathbf{a}_2$ sein, sondern entscheidend ist, dass die Produkte aus der angreifenden Kraft und dem Hebelarm, also die entstehenden Drehmomente, gleich groß sind.

⁸ vgl. ebd. S. 176.

⁹ dtv-Atlas Physik. Band 1. Mechanik, Akustik, Thermodynamik, Optik. Hg. v. Hans Breuer. 6., aktual. Aufl. München: dtv 2000. S.49.

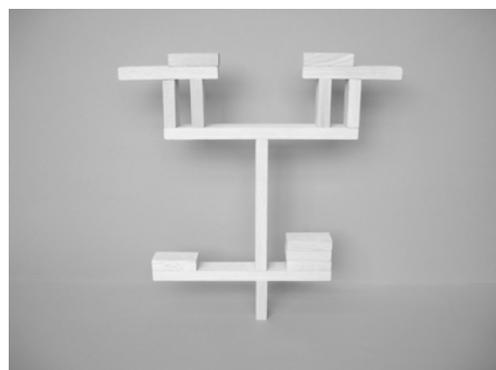
Das ist z. B. auch gegeben wenn, wie bei der Wippe auf dem linken Bild dargestellt, $F_1 * 3a_1 = 3F_2 * a_2$ ist. Nach Umformung ergibt sich daraus $3(F_1 * a_1) = 3(F_2 * a_2)$ und damit auch $M_1 = M_2$.¹⁰



Entsprechend kann daraus abgeleitet werden, dass bei einem zweiarmigen Hebel kein Gleichgewicht herrscht, wenn die beiden Drehmomente M_1 und M_2 unterschiedlich groß sind. Dieser Fall würde z. B. eintreten wenn, wie auf der Wippe auf dem rechten Foto abgebildet, $F_1 * 2a_1 > F_2 * a_2$ und daher $M_1 > M_2$ wäre.

SACHANALYSE - Holzbausteine

Genormte Holzbausteine eignen sich, um grundlegende Sachverhalte des Gleichgewichts von Kräften zu verdeutlichen, da sie aus einem massiven Material bestehen und durch ihre Masse eine genügend große Gewichtskraft aufweisen. Papier beispielsweise, würde sich aufgrund der geringen Gewichtskraft und der flächigen Form nicht eignen, um Gesetzmäßigkeiten des Gleichgewichts zu veranschaulichen. Bedingt durch den quaderförmigen und genormten Zuschnitt der Bausteine lassen sie sich gut stapeln, aneinander fügen und miteinander kombinieren. Wenn sowohl lange als auch kürzere Bausteine zur Verfügung stehen, können mit ihnen wippen- oder hebelähnliche



¹⁰ Die Gleichung ist idealisiert, denn der linke Hebelarm ist in diesem Beispiel nicht genau dreimal so lang wie der rechte Hebelarm. Das hängt damit zusammen, dass die Gewichtskraft des Hebelarms, in diesem Fall des langen Holzbausteines, auf beiden Seiten hinzukommt.

Bauwerke und Türme erstellt werden und Gleichgewichtsverhältnisse spielerisch erfahren werden. Zudem sprechen sie durch ihre haptischen Qualitäten den Tastsinn der Kinder an. Zu beachten ist, dass ein gelagerter Drehpunkt, der bei Wippen üblich ist, mit Holzbausteinen nicht realisiert werden kann.

LERNVORAUSSETZUNGEN

- Wünschenswert wäre es, wenn die Kinder bereits Erfahrungen im Spiel mit Holzbausteinen gesammelt haben. Dies ist jedoch nicht unbedingt erforderlich.

LERNZIELE – Auskragen

Die SchülerInnen sollen

- das statische Prinzip des Auskragens mittels selbsttätig durchgeführter Versuche kennen lernen und Erfahrungen mit Gleichgewicht und Gegengewicht machen:
 - sich dem Auskragen durch eine genaue Beobachtung eines einfachen Versuchs nähern.
 - ihren Wortschatz um den fachspezifischen Begriff "auskragen" erweitern.
 - für eine problemorientierte Aufgabenstellung eine Lösung durch Probedandeln finden und ihr Vorgehen erklären können.
 - in diesem Zusammenhang die Fachbegriffe "Gegengewicht" und "Gleichgewicht" kennen lernen.
- ihre Lösungsschritte zeichnerisch und schriftlich dokumentieren.
- das gelernte Wissen auf ein anderes Beispiel übertragen können.

LERNZIELE – Zweiseitiger Hebelarm

Die SchülerInnen sollen

- an einem zweiseitig gleicharmigen, als auch ungleicharmigen Hebelarm, eigenständig Versuche zum Gleichgewicht durchführen:
 - dabei beidhändiges Arbeiten sowie ihre Feinmotorik schulen.
 - die beiden Hebelarme ihrer Konstruktionen durch das Aufsetzen der Steine in einen Gleichgewichtszustand bringen.
 - auftretende Störungen des Gleichgewichts ausgleichen können.
 - ihr Vorgehen und ihre Ergebnisse beschreiben können.
 - den Begriff "Gleichgewicht" kennen lernen.
- die gefundenen Lösungen zeichnerisch dokumentieren.

DIDAKTISCH–METHODISCHE ANREGUNGEN

VORINFORMATIONEN

In dieser Unterrichtssequenz werden ausschließlich Versuche durchgeführt, die Vertikalkräfte thematisieren, die in unterschiedlichen Wirkungslinien angreifen und dadurch Drehmomente erzeugen. Am Beispiel des Auskragens und des zweiseitigen Hebelarms sollen die SchülerInnen mit Holzbausteinen Gleichgewichtsverhältnisse herstellen, die, wie in der Sachanalyse beschrieben, durch ein Aktionsdrehmoment und ein entgegengesetzt wirkendes gleich großes Reaktionsdrehmoment erreicht werden. Das Handlungswissen, das sich die Kinder im probierenden Spiel mit den Holzbausteinen aneignen, unterstützt sie statische Sachverhalte im Bereich des Auskragens und des zweiseitigen Hebelarms in ihrer Lebensumwelt zu erkennen und einzuordnen. Abhängig vom übergreifenden Thema mit der Bezeichnung "Standsicherheit durch Gleichgewicht" kann entweder das Auskragen oder die Wirkungsweise eines zweiseitigen Hebels im Unterricht verwendet werden. Möglich ist jedoch auch, dass beide Versuche eingesetzt werden.

Je nachdem in welcher Phase das Kapitel "Standsicherheit durch Gleichgewicht" in ein anderes Thema integriert wird und in wieweit die SchülerInnen Vorerfahrungen mit Holzbausteinen haben, sollten sie Gelegenheit haben sich zu Beginn der Unterrichtssequenz, gegebenenfalls in einer spielerischen Phase, mit den Holzbausteinen vertraut zu machen.

Auskragen

BEZUG ZUR LEBENSWELT DER KINDER

Die Kinder kennen aus eigener Erfahrung, dass ein Gegenstand, der auf dem Tisch liegt und zu weit übersteht, herunterfällt. Hierbei wird durch das Auskragen über die Tischkante hinaus, ab einer bestimmten Stellung ein Drehmoment erzeugt, dem kein ausreichend großes Drehmoment entgegenwirkt und das den Gegenstand zum Herunterfallen bringt.

Des Weiteren lassen sich in der Lebensumwelt der Kinder Auskragungen finden wie etwa bei Balkonen oder Fachwerkhäusern und Gebäuden aus Stahlbetonbau, bei denen die oberen Geschosse über die darunter liegenden auskragen.¹¹

¹¹ vgl. Schoeler, Udo: Bauen – Aspekte eines lernfeldübergreifenden Themas. In: Sachunterricht in der Grundschule. Hg. v. Richard Meier / Henning Unglaube / Gabriele Faust-Siehl. Frankfurt a. M.: Grundschulverband, Arbeitskreis Grundschule 1997. S. 258.

ABSICHTEN DER UNTERRICHTSSEQUENZ

Um die Erfahrungen der Kinder in ein Verständnis über das Prinzip des Auskragens zu verwandeln, sollen sie sich mit zielgerichteten Versuchen handelnd damit auseinandersetzen. Sie sollen dabei die Notwendigkeit eines Gegengewichts erkennen, damit ein Gleichgewichtszustand hergestellt werden kann.

HINWEISE ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERSUCHS

Es werden jedem Kind vier Holzbausteine zur Verfügung gestellt. Diese Versuche sollten in Einzelarbeit durchgeführt werden, damit alle SchülerInnen das Problem selbsttätig lösen können. Die Kinder bekommen zu Beginn die Aufgabe zwei Steine flach aufeinander zu legen und den oberen langsam mit dem Zeigefinger in Längsrichtung zu verschieben. Dabei sollen sie beobachten, ab welcher Stellung der obere Stein herunterkippt. Im Anschluss daran sollten die Beobachtungen der Kinder gesammelt werden und gemeinsam formuliert werden, dass der obere Stein dann herunterkippt, wenn die überstehende bzw. auskragende Seite länger ist als die aufliegende Seite. Erste Begriffserweiterungen können vorgenommen werden, indem der in der Alltagssprache verwendete Begriff des "Überstehens" durch den Fachbegriff des "Auskragens" spezifiziert wird.



Im Folgenden wird die Problemstellung formuliert, die darin besteht, den oberen Stein weiter als die Hälfte auskragen zu lassen, ohne dass er herunterkippt. Unter Zuhilfenahme der anderen Steine sollen die Kinder durch Probedandeln Lösungen erarbeiten bzw. finden. Die Lösungsansätze und Ergebnisse werden in einem Unterrichtsgespräch zusammengetragen. Dadurch, dass alle Kinder die gleiche Aufgabe bearbeitet haben, kann es zu "Nachbarschaftseffekten" kommen, indem Lösungen anderer Kinder übernommen bzw. nachgebaut wurden. Deshalb ist es wichtig die Wirkungsweise der Holzbausteine, die als Gegengewicht fungieren und durch die ein Gleichgewicht geschaffen wird, herauszuarbeiten und von den SchülerInnen mit Hilfe der Holzbausteine beschreiben zu lassen. Um eine gemeinsame Sprache für diesen

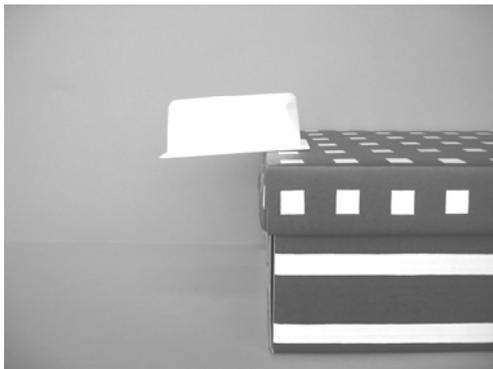
Sachverhalt zu entwickeln, könnten die Begriffe "Gegengewicht" und "Gleichgewicht" eingeführt und verwendet werden.

ERGEBNISSICHERUNG - Zeichnungen

Die SchülerInnen sollen die Ausgangslage der beiden Holzbausteine, das Herunterkippen des oberen Holzbausteins sowie ihre gefundene Problemlösung zeichnerisch und schriftlich dokumentieren. Das unterstützt die Kinder dabei den Versuchsaufbau und ihren Lösungsprozess nachzuvollziehen und festzuhalten.

ERGÄNZENDER VERSUCH

Ergänzend kann das Prinzip des weiten Auskragens, bei dem ein Gegengewicht nötig ist um ein Gleichgewicht herzustellen, durch ein weiteres Beispiel verdeutlicht werden. Das Gegengewicht wird hierbei durch ein schweres Material, das an einer Stelle konzentriert ist, erzeugt. Dieser Sachverhalt kann mit einer Schachtel aus Kunststoff veranschaulicht werden, in deren offene Seite beispielsweise zwei Schrauben eingeklebt werden, die als Gegengewicht fungieren und für die SchülerInnen nicht sichtbar sind. Wenn die Seite der Schachtel auf dem Tisch aufliegt, in der das Gegengewicht angebracht ist, kann die Schachtel sehr weit überstehen ohne herunterzufallen. Die SchülerInnen sollen (ohne die Schachtel umzudrehen) überlegen warum diese in ihrer Stellung verbleibt und nicht herunterfällt.¹²



Die Anordnung der Schachtel steht im Widerspruch zu den gerade gewonnenen Erfahrungen und Einsichten mit den Holzbausteinen und wird bei den Kindern voraussichtlich eine Irritation hervorrufen. Der bei den SchülerInnen entstandene kognitive Konflikt wird sie durch seine Überschaubarkeit aber vermutlich nicht verunsichern, sondern sie dazu anspornen nach einer logischen Erklärung zu suchen, warum die

¹² vgl. ebd. S. 258.

Schachtel nicht herunterfällt. Nachdem die Kinder Lösungen formuliert haben, die wahrscheinlich darin bestehen, dass sie Vermutungen äußern, dass sich unter der Schachtel etwas verbirgt, kann das Geheimnis gelüftet und die Schachtel umgedreht werden. Dieses Beispiel dient zur Festigung und Anwendung des zuvor erworbenen Wissens.

ERGEBNISSICHERUNG - Unterrichtsgespräch

In einem anschließenden Unterrichtsgespräch sollte thematisiert werden, dass es sich sowohl bei der Anordnung der Holzbausteine, als auch bei den Schrauben in der Schachtel um Gegengewichte handelt. Diese sind zwar unterschiedlich eingesetzt, bewirken aber immer die Wiederherstellung eines Gleichgewichts.

TRANSFER

Anschließend soll das in den Versuchen erworbene Wissen auf die Realität bezogen werden. Es kann an die eigenen Erfahrungen der Kinder mit heruntergefallenen Gegenständen angeknüpft werden, indem sie beispielsweise erklären sollen warum ihre Federmappe oder ein Buch ab einer bestimmten Stellung vom Tisch fällt. Ein gemeinsamer Unterrichtsgang im nahen Schulumfeld kann dazu dienen das Prinzip des Auskragens in der gebauten Umwelt zu erkennen und aufzuspüren.

Zweiseitiger Hebelarm

BEZUG ZUR LEBENSWELT DER KINDER

Das Spiel mit dem Gleichgewicht bzw. die Wirkungsweise eines zweiarmigen Hebels, ist den Kindern vom Wippen auf dem Spielplatz aus frühester Kindheit vertraut. Sie lernen mit der Zeit, dass das Wippen besser klappt, wenn das Kind auf der anderen Seite der Wippe ungefähr ähnlich schwer ist wie sie selbst. Auch wissen sie, dass man schneller nach unten kommt, indem man sich weit nach hinten lehnt. Außerdem kennen sie das Gefühl, wenn sich ein zweites Kind oder ein Erwachsener auf die andere Seite setzt und sie selbst in der Höhe "verhungern". Die Kinder ahnen bei ihrem Spiel nicht, dass bei diesen Effekten Kräfte, Hebelarme und Drehmomente eine Rolle spielen. Es soll auch nicht das Ziel dieser Unterrichtssequenz sein, den Kindern diese komplexen physikalischen Prinzipien zu vermitteln, aber ihre schon früh gemachten und verinnerlichten Erfahrungen können genutzt werden, um an sie anzuknüpfen und

Gleichgewichtsverhältnisse im Bereich des Bauens mit Holzbausteinen zu verdeutlichen.

ABSICHTEN DER UNTERRICHTSSEQUENZ

Die SchülerInnen sollen Erfahrungen mit dem Gleichgewicht an einem zweiseitig gleicharmigen sowie ungleicharmigen Hebelarm sammeln, indem sie diese auf beiden Seiten mit Holzbausteinen belasten. Es soll ihnen dabei deutlich werden, dass bei beiden Hebelarmen unterschiedliche Maßnahmen zum Zustandekommen eines Gleichgewichtszustands nötig sind.

HINWEISE ZUR DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHE

Das Erkunden des Gleichgewichts beim zweiseitigen Hebel sollte in zwei Phasen unterteilt werden. In der ersten Phase wird mit einem zweiseitigen Hebel, der gleicharmig ausgebildet ist, operiert. In der zweiten Phase arbeiten die Kinder mit einem zweiseitig ungleicharmigen Hebel.¹³

Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass die SchülerInnen, denen bei diesen Aufgaben eine hohe Konzentration und ein gewisses Feingefühl abverlangt wird, in der ersten Phase Erfahrungen mit dem Gleichgewicht sowie beidhändigem Arbeiten machen und ihre Feinmotorik schulen können, die ihnen in der zweiten, etwas anspruchsvolleren, Phase von Nutzen sind.¹⁴

Für beide Phasen werden jedem Kind je ein längerer Holzbaustein sowie einige kurze Holzbausteine zur Verfügung gestellt. Beide Aufgaben sollten in Einzelarbeit durchgeführt werden, damit jedes Kind die Erfahrung des Gleichgewichts eigenhändig erfahren kann. Zudem ist eine Ausführung in Partnerarbeit schlecht zu realisieren, da für das Halten des Gleichgewichts sekundenschnelle Reaktionen nötig sind, die mittels verbaler Verständigung nicht möglich wären.

1. Phase

Die erste Phase beginnt damit, dass die SchülerInnen einen langen Holzbaustein mittig auf einem hochkant stehenden, kurzen Stein auflegen und damit eine wippenähnliche Konstruktion erstellen. Weitere kurze Holzbausteine werden auf beiden Seiten

¹³ vgl. Eckel, Johann / Halamiczek, Herbert: Werkerziehung Grundstufe 1. Bauen - Wohnen, Technik, Produktgestaltung. Wien: Österreichischer Bundesverlag 1981. S. 32.

¹⁴ vgl. Ullrich, Heinz / Klante, Dieter: Technik im Unterricht der Grundschule. Didaktische Grundlegung, Unterrichtsmodelle, Unterrichtsmaterialien. 6., unveränd. Aufl. Villingen-Schwenningen: Neckar 1994. S. 103.

aufgelegt, wobei die Kinder die beiden Hebelarme so belasten sollen, dass ihre Konstruktion nicht umfällt.



Ihre Vorgehensweise und Erfahrungen beim Bauen sollten die Kinder in einem Unterrichtsgespräch beschreiben. Sie sollten erkennen, dass sie durch das ausbalancierende, gleichmäßige Aufsetzen der Steine auf beiden Seiten versucht haben, die Konstruktion in ein Gleichgewicht zu bringen. Der Begriff des "Gleichgewichts" sollte in diesem Zusammenhang genannt werden. Des Weiteren sollte thematisiert werden, wodurch eine Störung des Gleichgewichts hervorgerufen wurde und wie die SchülerInnen diese behoben haben. Bevor die Kinder ihre Bauwerke abbauen, sollten sie eine Zeichnung anfertigen.

2. Phase

In der zweiten Phase bekommen die SchülerInnen die Aufgabe eine ähnliche Wippe aus den Holzbausteinen zu bauen wie in der ersten Phase. Die Erweiterung bzw. Herausforderung besteht dieses Mal darin, dass der lange Holzbaustein nicht in seiner Mitte aufgelegt werden sollte, sondern möglichst weit davon entfernt. Die weitere Vorgehensweise erfolgt wie in der ersten Phase.



In dem anschließenden Unterrichtsgespräch sollten die SchülerInnen wiederum erkennen, dass sie sich durch ihre Vorgehensweise bemüht haben ein Gleichgewicht wiederherzustellen. Ein weiterer Fokus liegt dieses Mal darin, dass die Kinder

versuchen zu erklären, wie sie es im Unterschied zu dem zweiseitigen, gleicharmigen Hebelarm geschafft haben ihre Konstruktion ins Gleichgewicht zu bringen. Dabei sollten die beiden Einflussfaktoren, "Abstände des langen Holzbausteins vom Auflager" sowie die "Anzahl und Lage der Holzbausteine auf beiden Seiten", von den SchülerInnen erkannt und genannt werden. Zur Ergebnissicherung sollten die entstandenen Bauwerke durch eine Zeichnung festgehalten werden.

TRANSFER

Als Abschluss werden die SchülerInnen gefragt ob sie ähnliche Erfahrungen, die sie mit den Holzbausteinen und dem Gleichgewicht gemacht haben, aus anderen Situationen kennen. Vermutlich werden die Kinder an ihre Vorerfahrungen auf einem Spielplatz mit Wippen anknüpfen, worauf die erarbeiteten Sachverhalte übertragen werden können.

TIPPS UND TRICKS	<ul style="list-style-type: none"> • Beim Vorführen des Beispiels mit der präparierten Schachtel ist darauf zu achten, dass die SchülerInnen die eingeklebten Schrauben nicht vorher sehen sollten.
MEDIEN	<p>Schachtelmodell</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 Kunststoffschachtel • 2 bis 3 Schrauben • Klebestreifen
LITERATUR	<p>ANREGUNGEN DURCH: Die Idee das Prinzip des Ausragens mittels Holzbausteinen zu verdeutlichen, ist durch den Artikel von Udo Schoeler sowie dem Buch von Heinz Ullrich und Dieter Klante inspiriert worden. Die Anregungen für die Wippe sind dem Buch von Johann Eckel und Herbert Halamiczek entnommen.</p> <p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • dtv-Atlas Physik. Band 1. Mechanik, Akustik, Thermodynamik, Optik. Hg. v. Hans Breuer. 6., aktual. Aufl. München: dtv 2000. • Eckel, Johann / Halamiczek, Herbert: Werkerziehung Grundstufe 1. Bauen - Wohnen, Technik, Produktgestaltung. Wien: Österreichischer Bundesverlag 1981. S. 29-33. • Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 7.,vollst. überarb. Aufl. Köln: Müller 1996. S. 37-42. • Schoeler, Udo: Bauen – Aspekte eines lernfeldübergreifenden Themas. In: Sachunterricht in der Grundschule. Hg. v. Richard Meier / Henning Unglaube / Gabriele Faust-Siehl. Frankfurt a. M.: Grundschulverband, Arbeitskreis Grundschule 1997. S. 256-260. • Schüler Duden. Die Physik. Hg. u. bearb. v. Meyers Lexikonredaktion in Zusammenarb. mit Klaus Bethge. 3., überarb. u. erg. Aufl. Mannheim / Leipzig / Wien / Zürich: Dudenverlag 1995. • Schulze, Walter / Lange, Joachim / Wanner, Artur: Kleine Baustatik. Einführung in die Grundlagen der Statik und die Berechnung der Bauteile für den Baupraktiker. 12., überarb. Aufl. Stuttgart / Leipzig / Wiesbaden: Teubner 2002. S. 10-12. • Ullrich, Heinz / Klante, Dieter: Technik im Unterricht der Grundschule. Didaktische Grundlegung, Unterrichtsmodelle, Unterrichtsmaterialien. 6., unveränd. Aufl. Villingen-Schwenningen: Neckar 1994. S. 102/103.

3.5 Standsicherheit im Mauerwerksbau

BASISVERSUCH FÜR:	4.3.1 Kragsteinbogenbrücken 5.2 Türme aus Holzbausteinen 6.2 Häuser aus Mauerwerk
SCHWIERIGKEITSGRAD	geringer Anspruch
ZEIT	ca. 2 Stunden
MATERIALIEN	<p>Das Grundmaterial sind genormte Holzbausteine (z. B. Fröbel-Bausteine mit dem Grundmaß $33\frac{1}{3}$ mm, Standardgröße: ca. H 16,7 * B 33,3 * L 66,7 mm (entspricht einem Maßverhältnis von 1:2:4))</p> <p>Die folgenden Materialangaben sind pro Versuchsaufbau berechnet.</p> <p>Versuch 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ca. 70 Holzbausteine (Standardgröße) • dünne Wolle bzw. Baumwolle (für Lot) • Knöpfe (für Lot) <p>Versuch 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ca. 70 Holzbausteine (Standardgröße) • evtl. 1 Spielzeugauto <p>Versuch 3:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ca. 60 Holzbausteine (Standardgröße) • 1 Spielzeugauto <p>Versuch 4:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ca. 40 Holzbausteine (Standardgröße) • ca. 40 Streichholzschachteln • 1 Spielzeugauto

SACHANALYSE

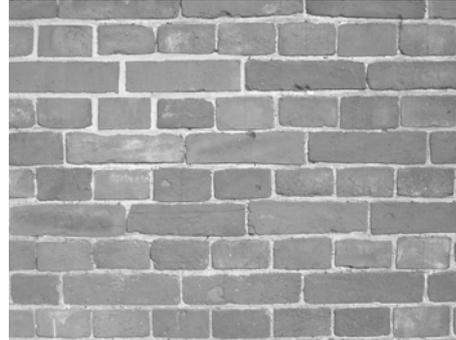
Mauerwerk zählt zum Massivbau, einer Bauweise, deren tragende Konstruktionselemente aus homogenen, schweren Materialien bestehen. Als Mauerwerk werden Bauteile bezeichnet, die aus natürlichen oder künstlichen Steinen hergestellt sind. Am häufigsten besteht Mauerwerk aus einem Gefüge aus Steinen und Mörtel, z. B. beim Hausbau. Mauermörtel hat die Aufgabe, Mauersteine miteinander zu verbinden und dabei Maßdifferenzen und Unebenheiten der Steine auszugleichen, so dass Druckkräfte gleichmäßig übertragen werden können.¹ Die so entstehenden horizontalen Mauerfugen werden als Lagerfugen und die vertikalen als Stoßfugen bezeichnet. Seltener findet man Mauerwerk ohne Mörtel, Trockenmauerwerk genannt. Diese Ausführung besteht meistens aus natürlichen Bruchsteinen, z. B. Kalk-, Sandstein oder Granit, und wird insbesondere für Stützmauern im Außenbereich verwendet. Mauerwerk aus natürlichen Steinen wird im folgenden Text nicht weiter thematisiert. Zu den künstlichen Steinen gehören z. B. Mauerziegel (Backstein), Klinker, Kalksandstein oder Mauersteine aus Beton. Sie werden in verschiedenen Formen und Abmessungen

¹ vgl. Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. Teil I. 31., neu bearb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. S. 150.

als klein-, mittel- und großformatige Mauersteine angeboten und unterliegen dabei einer bestimmten Maßordnung.² Die unterschiedlichen Längen, Breiten und Höhen der vielfältigen Steinformate unterliegen einer bestimmten Normierung, wodurch gewährleistet ist, dass unterschiedliche Steinformate miteinander kombiniert werden können oder gleiche Steinformate in verschiedenen Richtungen, beispielsweise als Läufer oder Binder³, vermauert werden können.



Trockenmauerwerk

Mauerverband aus Backsteinen
Läufer- und Binderschichten im Wechsel

Bevorzugte Bauteile aus Mauerwerk sind Wände, weshalb sich das Kapitel „Standsicherheit im Mauerwerksbau“ auch ausschließlich auf dieses Bauteil beschränkt. Als Wand bezeichnet man ein „i. d. R. senkrecht stehendes flächenhaftes Bauteil als Bestandteil von Gebäuden.“⁴ Ihre Abmessungen sind in zwei Richtungen (Länge und Höhe) groß und in eine Richtung (Breite bzw. Dicke) klein, wodurch sie die Form einer vertikal gestellten Scheibe hat. Doch nicht auf Grund ihrer Geometrie, sondern vor allem wegen ihrer statischen Funktion werden Wände auch als Wandscheiben bezeichnet.⁵ In statischer Hinsicht werden sie unterschieden in tragende Wände, aussteifende Wände und nichttragende Wände. Tragende Wände tragen neben ihrem Eigengewicht noch vertikale und horizontale Lasten aus darüber liegenden Bauteilen (z. B. Decken, Dach oder andere Wände) ab und werden vorwiegend auf Druck beansprucht. Aussteifende Wände dienen zur Aussteifung von Gebäuden oder zur Knickaussteifung⁶ von tragenden Wänden und gelten gleichzeitig auch als tragende Wände. Nichttragende Wände werden hauptsächlich durch ihre Eigenlast beansprucht und tragen nicht zur Sicherung der Standsicherheit eines

² vgl. ebd. S. 141.

³ Werden die Mauersteine mit ihrer langen Seite, der Mauerflucht folgend, vermauert, werden sie als Läufer bezeichnet. Liegen sie quer zur Mauerflucht, nennt man sie Binder.

⁴ Baulexikon. Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Hg. v. Rüdiger Wormuth / Klaus-Jürgen Schneider. Berlin: Bauwerk 2000. S. 295.

⁵ vgl. Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. S. 19.

⁶ Der Begriff Knicken bezieht sich eigentlich nur auf schlanke, stabförmige Bauteile (z. B. Stützen), bei Wänden spricht man hingegen von Beulen. Beide Begriffe meinen ein Ausweichen des Bauteils infolge von Druckkräften.

Bauwerks bei. Sie fungieren beispielsweise als Raumunterteilung oder Ausfachungen zwischen tragenden Elementen, z. B. im Skelettbau.⁷

Außer ihrer statischen Funktion haben Wände im Bauwesen natürlich noch andere Funktionen, z. B. Raumbegrenzung, Wärme-, Schall-, oder Brandschutz. In diesem Kapitel wird jedoch der Fokus ausschließlich auf die Standsicherheit von frei stehenden Wänden, d. h. unabhängig vom gesamten Bauefüge, gerichtet.

Aus diesem Grund kann man auch den Ausdruck „Mauer“ verwenden. Eine Mauer ist eine massive Wand, die dem ursprünglichen Wortsinn nach aus Mauerwerk besteht. Im allgemeinen Sprachgebrauch werden allerdings auch Wände aus anderen massiven Baustoffen (z. B. Stahlbeton (*Berliner Mauer* oder Staumauern)) als Mauer bezeichnet. Mauern aus Mauerwerk wurden in früheren Zeiten beispielsweise als Grenzmauern (z. B. Teile des *Limes*, *Chinesische Mauer*), Stadtmauern oder Stützmauern errichtet.⁸ Historische Mauern sind noch vielerorts sichtbar. Auch heutzutage werden vor allem in landwirtschaftlich genutzten Regionen Mauern, häufig als Trockenmauerwerk, zur Abstützung oder Abgrenzung genutzt. Mauern aus künstlichen Steinen im Mauerverband werden insbesondere zur Abgrenzung, z. B. von Grundstücken, gebaut.

Bevor mit dem Bauen begonnen werden kann, müssen Statiker die Standsicherheit sowohl für das gesamte Bauwerk als auch für die einzelnen Tragelemente, d. h. auch für tragende und aussteifende Wände, nachweisen.

Die Standsicherheit von tragenden Bauteilen oder Bauwerken ist gewährleistet, wenn diese sich im Gleichgewicht befinden. Umgekehrt ist bei Ungleichgewicht die Standsicherheit gefährdet (z. B. Umkippen einer Wand). Zur Gewährleistung der Standsicherheit gehört außerdem, dass die Tragfähigkeit des Bauwerks oder Bauteils nicht überschritten wird. D. h. Wände aus Mauerwerk müssen so errichtet und dimensioniert werden, dass sie ihr Eigengewicht, Lasten anderer Bauteile, Verkehrslasten, Windlasten und weitere Beanspruchungen sicher über die Fundamente in den Baugrund übertragen.⁹ Vor dem Bau einer Mauerwerkswand müssen daher Statiker diese möglichen statischen Beanspruchungen einkalkulieren und unter Einbeziehung der geplanten Bauart und des Baumaterials den sogenannten Standsicherheitsnachweis (statische Berechnung) erbringen.

⁷ vgl. Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. S. 125.

⁸ vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Mauer> (28.10.05).

⁹ vgl. Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. Teil I. S. 22.

Die Standsicherheit von Wänden aus Mauerwerk hängt jedoch nicht nur von verschiedenen Lasteinwirkungen, sondern auch von anderen Faktoren ab, z. B.:

- Mauerverband (Mauerwerksverband)
- Bauausführung
- Wandhöhe und -dicke
- Gewicht (Eigengewicht der tragenden Wand)
- Festigkeit und Qualität der Baustoffe (wird nur am Rande thematisiert)
- Aussteifung (vgl. 6.2)

Mauerverband (Mauerwerksverband)

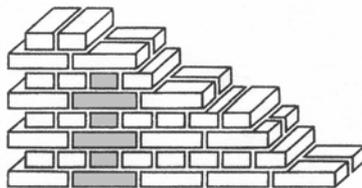
Unter Mauerverband versteht man eine regelmäßige, schichtweise Anordnung und Verzahnung von Mauersteinen, die mit Mauermörtel verbunden einen homogenen Mauerwerkskörper bilden.¹⁰ Aus konstruktiver Sicht unterliegen Verbände aus künstlichen Mauersteinen bestimmten Verbandregeln: Die Steinschichten und Lagerfugen müssen genau horizontal verlaufen, die Stoßfugen unmittelbar übereinander liegender Steinschichten müssen gegenseitig versetzt sein und dabei ein ausreichendes Überbindemaß einhalten. Das Überbindemaß gibt an, welchen Abstand der Versatz von Stoßfugen übereinander liegender Schichten einhalten muss. Es hängt von der Steinhöhe ab, muss jedoch mind. 4,5 cm betragen.¹¹ Dabei gilt: Je höher das Überbindemaß, also je größer die Verzahnung, desto mehr erhöht sich die Standsicherheit des Mauerwerks. Es gibt eine Vielzahl verschiedener Mauerwerksverbände, z. B. Läufer-, Binder-, Block- Kreuzverband.



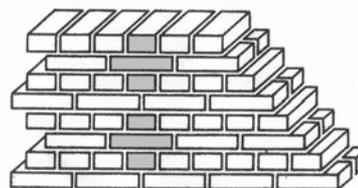
Mauerverband

die Stoßfugen der übereinander liegenden Läuferschichten halten ein ausreichendes Überbindemaß ein

Abb.1



Blockverband



Kreuzverband

¹⁰ vgl. Baulexikon, S. 165.

¹¹ vgl. ebd. S. 159.

Bauausführung

Neben dem Verband von Mauersteinen ist auch eine sorgfältige Bauausführung wichtig. Der Mauerwerksbau ist nach wie vor eine handwerkliche Tätigkeit, deren Qualität die Standsicherheit des Bauwerks wesentlich beeinflusst. Mauerwerkswände aus künstlichen Steinen müssen lot- und fluchtrecht gebaut werden¹² und ihre einzelnen Schichten müssen waagrecht verlaufen. Dafür werden auf der Baustelle verschiedene Hilfsmittel eingesetzt: Mit einem Lot wird die vertikale Ausrichtung und mit horizontal gespannten Schnüren die Flucht eingehalten. Mit sogenannten Hochmaßlatten wird der waagrechte Schichtverlauf überprüft.

Wandhöhe und -dicke

Für die Standsicherheit einer Mauerwerkswand ist außerdem das Verhältnis von Höhe und Dicke ausschlaggebend. Je höher und dünner eine Wand ist, desto instabiler ist sie, da ihre Tragfähigkeit geringer ist als beispielsweise bei einer niedrigen, dicken Wand. Aus statischer Sicht lässt sich dies folgendermaßen erklären: Wände aus Mauerwerk sind Tragelemente, die hauptsächlich Druck aufnehmen können. Die Druckkraft nimmt bei einer Wand von oben nach unten immer mehr zu, da auch ihr Eigengewicht gleichmäßig zunimmt. Innerhalb eines Baugefüges kommen zu ihrem Eigengewicht noch die Lasten der auf ihr liegenden Bauteile (z. B. Decke) hinzu. Wird die Druckbeanspruchung zu hoch, kann dies zum seitlichen Ausweichen der Wandfläche führen. Dieses seitliche Ausweichen einer Fläche wird in der Fachsprache auch als „Beulen“ bezeichnet.¹³ Um eine solche Gefährdung der Standsicherheit auszuschließen, müssen Wände ausreichend dimensioniert werden, d. h. beispielsweise dicker ausgeführt werden. Eine weitere Möglichkeit besteht in einer entsprechenden Aussteifung¹⁴.

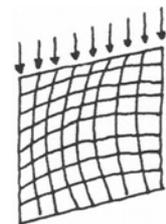


Abb. 2:
Beulen

Wände werden jedoch nicht nur durch vertikale Druckkräfte beansprucht, sondern müssen auch horizontalen Krafteinwirkungen (z. B. Winddruck) standhalten können. Auch hierbei spielen Wandhöhe und -dicke eine wichtige Rolle. Je höher eine Wand, desto größer ist ihre Fläche, auf der Windlasten angreifen können, wodurch auch die Belastung durch horizontale Kräfte steigt. Um dieser Kraft entgegenzuwirken, muss eine ausreichende Gegenkraft vorhanden sein, damit die Standsicherheit gewährleistet ist. (vgl. auch nächsten Abschnitt). Dies kann ebenfalls durch eine entsprechende Wanddicke oder durch Aussteifung geschehen.

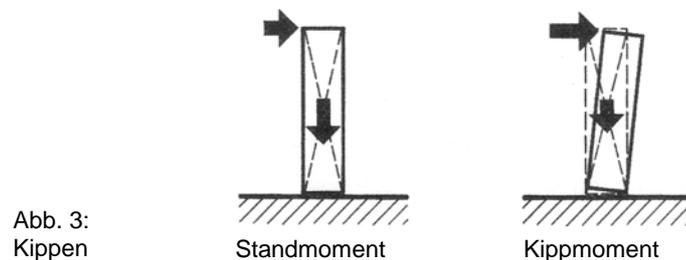
¹² Es sei denn, man möchte bewusst schiefe oder geschwungene Wände bauen.

¹³ vgl. Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Hans Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 9., überarb. Aufl. Köln: Müller 2002. S. 212.

¹⁴ Der Aspekt „Aussteifung“ wird im Kapitel „6.2 Häuser aus Mauerwerk“ erläutert.

Gewicht (Eigengewicht der tragenden Wand)

Wie zuvor erwähnt, werden Wände unter anderem durch horizontale Lasten (z. B. Winddruck) beansprucht. Wird bei einer frei stehenden Wand der horizontale Winddruck zu hoch, kann dies zum Umkippen der Wand führen. Statisch lässt sich das dadurch erklären, dass infolge der Krafteinwirkung durch Wind das resultierende Kippmoment größer ist als das Standmoment. Das Standmoment einer Wand ist abhängig von ihrer Dicke und ihrem Gewicht.¹⁵ „Aus Gründen der Sicherheit muß gewährleistet sein, daß nicht nur für jeden möglichen Lastfall das Gleichgewicht gewährleistet ist, sondern daß das stabilisierende *Standmoment* mindestens 1,5mal so groß ist wie das *Kippmoment* (Sicherheitsfaktor gegen Kippen: 1,5).“¹⁶ Man kann auch vereinfacht sagen, dass die Standsicherheit einer frei stehenden Wand unter einer definierten Belastung von deren Dicke und deren Eigengewicht abhängig ist.

**SACHANALYSE – Modell aus Holzbausteinen**

Holzbausteine können in der Schule als geeigneter Ersatz für künstliche Mauersteine verwendet werden. Auch sie sind ein massives und verhältnismäßig schweres Material. Für das Thema „Standsicherheit im Mauerwerksbau“ benötigt man eine Vielzahl gleich großer Holzbausteine, die wie genormte Mauersteine ein ideales Verhältnis von Höhe/Breite/Länge aufweisen sollten. Sinnvoll ist ein Maßverhältnis von 1:2:4. Nur solche Holzbausteine ermöglichen ein systematisches Bauen. Wie bereits erwähnt, besteht Mauerwerk aus künstlichen Steinen in der Regel aus einem Gefüge aus Mauersteinen und Mörtel. Der Mörtel hat die Aufgabe, die Mauersteine miteinander zu verbinden und dabei eventuelle Maßdifferenzen und Unebenheiten auszugleichen. Da diese Verbindung jedoch nicht sehr fest ist, kann man vielleicht eher von Haftung sprechen. Im Modell wird auf einen Mörtelersatz verzichtet, da die Holzbausteine zum einen gleichmäßige Abmessungen und Oberflächen aufweisen und entsprechend keiner Ausgleichsschicht bedürfen und sie zum anderen als wieder verwendbares Spielmaterial nicht miteinander verbunden werden sollten. Deswegen kann eine Wand aus Holzbausteinen aus statisch-konstruktiver Sicht nicht exakt mit einer Mauerwerkswand aus künstlichen Steinen und Mauermörtel verglichen werden.

¹⁵ vgl. Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. Teil I. S. 15.

¹⁶ Krauss, F. / Führer, W. / Neukäter, H. J.: Grundlagen der Tragwerklehre 1. S. 54.

Beispielsweise werden bei einer frei stehenden Wand aus losen Holzbausteinen bei horizontaler Belastung (z. B. durch Pusten) die oberen Elemente schneller verrutschen, als wenn diese mit einer Art Mörtel miteinander verbunden wären. Bei entsprechend hoher horizontaler Krafteinwirkung ist aber auch bei Wänden aus Mauerverband ein ähnliches Verhalten zu erwarten, da die Mauersteine nur bedingt am Mörtel haften.

SACHANALYSE – Modell aus Streichholzschachteln

Streichholzschachteln eignen sich weniger gut als Ersatz für „echte“ Mauersteine, da sie nicht massiv sind und aus sehr leichtem Material bestehen. Darüber hinaus haben sie kein ideales Maßverhältnis von 1:2:4.¹⁷ Außerdem sind Streichholzschachteln nicht unbedingt gleichmäßig verarbeitet, so dass beim Bauen leicht schiefe Wände entstehen können und eine Bauausführung hoher Qualität schwer möglich ist.

Allerdings kann die Leichtigkeit einer Streichholzschachtelwand sehr gut mit einer schweren Holzbausteinwand verglichen und dabei die wichtige Rolle des Gewichts, das wesentlich die Standsicherheit einer Wand beeinflusst, verdeutlicht werden.

LERNVORAUSSETZUNGEN

- Hilfreich sind sicherlich bereits gesammelte Erfahrungen im Spiel mit Holzbausteinen, sie sind jedoch keine notwendige Voraussetzung.

LERNZIELE

Die SchülerInnen sollen

- statisch-konstruktive Grundprinzipien im Mauerwerksbau kennen lernen.
- durch diverse Versuche erfahren, dass Horizontalkräfte die Standsicherheit von Mauerwerk gefährden können.
- auf experimentelle Weise selbsttätig handelnd wichtige Faktoren, die die Standsicherheit von Mauerwerk beeinflussen, kennen lernen:
 - Bauausführung
 - Mauerverband
 - Wanddicke
 - Gewicht (Eigengewicht der tragenden Wand)

¹⁷ Zumindest nach dem Kenntnisstand der Verfasserinnen.

- spezielle Fachbegriffe kennen lernen: Mauerverband (auch: Mauerwerksverband, od. kurz: Verband), Lot, Lagerfugen, Stoßfugen, Läufer, Binder.
- bestimmte Begriffe kennen lernen: horizontal, vertikal (bzw. waagrecht, senkrecht)
- lernen, die Methode des technischen Experiments als Möglichkeit für die Überprüfung von Hypothesen anzuwenden.
- Materialerfahrungen sammeln.

DIDAKTISCH-METHODISCHE ANREGUNGEN

BEZUG ZUR LEBENSWELT DER KINDER

Wie bereits in der Sachanalyse erläutert, ist Mauerwerksbau als eine traditionelle Bauweise auch heute noch sehr verbreitet. Daher bestimmen viele Bauteile und Bauwerke aus Mauerwerk die gebaute Lebensumwelt der Kinder. Heutzutage werden insbesondere kleinere Gebäude, wie Einfamilienhäuser oder Wohn- und Geschäftshäuser, in Massivbauweise aus Mauerwerk errichtet.

Eine Reihe von SchülerInnen haben sicherlich zu Hause oder im Kindergarten beim Spielen mit Holzbausteinen bereits Erfahrungen im Mauerwerksbau beim Bauen von Mauern oder anderen Bauwerken sammeln können, andere haben sich vielleicht bisher noch nie mit diesem Thema beschäftigt. Insofern ist vermutlich in vielen Klassen mit unterschiedlichen Vorerfahrungen der Kinder zu rechnen.

Holzbausteine eignen sich in hervorragender Weise als Baumaterial für dieses Thema, da sie auf Grund ihrer Massivität und Normierung modellhaft echte Mauersteine ersetzen können und außerdem in der kindlichen Lebenswelt bekannt sind.

Da Mauerwerk im Kapitel „Standsicherheit im Mauerwerksbau“ vorrangig aus statisch-konstruktiver Sicht betrachtet wird, sollten funktionale Aspekte¹⁸ von gemauerten Wänden eher im Hintergrund stehen. Aus diesem Grund empfiehlt sich eine Beschränkung auf das Bauen von frei stehenden Mauern, um das Augenmerk der Kinder auf bestimmte statisch-konstruktive Grundlagen im Mauerwerksbau zu lenken.

ABSICHTEN DER UNTERRICHTSEINHEIT

Die SchülerInnen sollen sich beim Bauen von frei stehenden Mauern mit der Standsicherheit von Mauerwerk beschäftigen. Ihr bisheriges Vorwissen und ihre

¹⁸ Da dieses Kapitel als ergänzender Basisversuch behandelt wird, können funktionale Aspekte in den entsprechenden Hauptthemen angesprochen werden.

spielerischen Erfahrungen sollen dabei durch eine bewusste Auseinandersetzung mit dem Thema strukturiert und erweitert werden. Diverse Versuche sollen den Kindern ermöglichen, unterschiedliche Faktoren selbsttätig zu entdecken, die für die Standsicherheit von gemauerten Wänden verantwortlich sind. Dabei stehen die Aspekte Bauausführung, Mauerverband, Wandhöhe/-dicke und Gewicht (Eigengewicht der tragenden Wand) im Vordergrund.

Da empfohlen wird, die Unterrichtssequenz „Standsicherheit im Mauerwerksbau“ als Basisversuch in andere Unterrichtseinheiten einzubetten, wird davon ausgegangen, dass sich die Klasse zuvor innerhalb dieser Themen in einer spielerischen Phase unter anderem mit der Schichtung von Holzbausteinen beschäftigt hat, also über gewisse Vorerfahrungen bezüglich der Standsicherheit von Mauerwerk verfügt.

UNTERRICHTSEINSTIEG

Als Einstieg in diese Unterrichtssequenz bietet es sich an, dass ein Kind eine von der Lehrperson zuvor aufgebaute Mauer aus Holzbausteinen durch Pusten zum Einsturz bringt. Diese sollte möglichst hoch, dünn und nicht im Mauerverband errichtet sein. Durch diesen Unterrichtseinstieg kann ein problemorientiertes Unterrichtsgespräch über mögliche Faktoren, die für die Standsicherheit von Mauerwerk verantwortlich sind, initiiert werden. Die SchülerInnen können ihre Vermutungen äußern und sollen versuchen, diese auch zu begründen. Da Grundschulkinder häufig Schwierigkeiten haben, kompliziertere Sachverhalte verbal zu erklären, bietet es sich an, auf einem Tisch Holzbausteine zur Verfügung zu stellen, mit denen die Kinder ihre Hypothesen zusätzlich veranschaulichen können. Da die Standsicherheit von Mauerwerk von vielen Faktoren abhängt, ist es in dieser Phase sehr wichtig, dass die Lehrperson die von der Klasse genannten Meinungen ordnet und die in einem gemeinsamen Problemgespräch erarbeiteten Hypothesen an der Tafel oder auf Plakaten¹⁹ schriftlich festhält. Werden bestimmte Aspekte nicht genannt, sollte die Lehrperson versuchen, die Kinder durch Impulse darauf aufmerksam zu machen.

VERSUCHSPHASE

Im Folgenden werden mögliche Versuche zur „Standsicherheit im Mauerwerksbau“ vorgestellt. Als Sozialform wird dabei Partnerarbeit vorgeschlagen. Um jeweils die Standsicherheit der aufgebauten Mauern aus Holzbausteinen bzw. Streichholz-

¹⁹ Plakate haben den Vorteil, dass sie dauerhafter im Klassenzimmer verbleiben können.

schachteln zu testen, können die Kinder entweder versuchen, diese durch Pusten zu belasten, was in der Realität einer horizontalen Windkraft entspräche, oder diese durch anfahrende Spielzeugautos zu gefährden, was in der Realität Horizontalstößen durch Kraftfahrzeuge (Anpralllast) gleichkäme. Wichtig ist dabei, die Kinder auf den jeweiligen Bezug zur Wirklichkeit aufmerksam zu machen.

Versuch 1 – Bauausführung

Dieser Aspekt zur Standsicherheit kann zunächst im Unterrichtsgespräch thematisiert werden. Die SchülerInnen sollen überlegen, mit welchen Hilfsmitteln eine exakte horizontale und vertikale Wand gemauert werden kann. Manche SchülerInnen verfügen vielleicht diesbezüglich über ein entsprechendes Vorwissen, weil sie beispielsweise schon Maurer bei ihrer Arbeit beobachtet oder auf andere Weise (z. B. durch Fotos, Fernsehen) Kenntnisse über diesen Bereich erworben haben. Von den drei in der Sachanalyse vorgestellten Hilfsmitteln müssen nicht alle im Unterricht ausprobiert werden. Der waagerechte Schichtverlauf ist bei Wänden aus Holzbausteinen auf Grund der Gleichmäßigkeit des Materials und des fehlenden Mörtels zu vernachlässigen und das fluchtrechte Bauen mit Hilfe von horizontal verspannten Schnüren ist zu aufwendig. Daher sollte sich der Fokus auf das lotrechte Bauen richten.

Die Kinder stellen für sich selbst Lote aus einem Faden mit einem daran befestigten schweren Knopf her. Dieses Hilfsmittel sollen sie bei allen folgenden Versuchen einsetzen, um die vertikale Ausrichtung ihrer Mauern überprüfen zu können.

Die Wichtigkeit des lotrechten Mauerns kann nachfolgend im Unterricht über einen Versuch nachvollzogen werden. Die Klasse erhält die

Aufgabe, jeweils eine senkrechte (mit Hilfe eines Lots) und eine schiefe Mauer zu bauen und deren Stabilität miteinander zu vergleichen.



Versuch 2 – Mauerverband (Mauerwerksverband)

Wie bereits in der Sachanalyse erläutert wurde, versteht man unter Mauerverband eine regelmäßige, schichtweise Anordnung und Verzahnung von Mauersteinen, die mit Mauermörtel verbunden einen homogenen Mauerwerkskörper bilden. Da jedoch Holzbausteine als wieder verwendbare Spielmaterialien nicht miteinander verbunden werden sollten, kann demnach nur teilweise ein Mauerverband realisiert werden.

Es werden zwei Mauern gleicher Höhe und Dicke, die sich nur durch einen fehlenden bzw. vorhandenen Mauerverband unterscheiden, miteinander verglichen, indem sie horizontalen Lasten (Pusten oder anstoßendes Spielzeugauto) ausgesetzt werden. Das Ergebnis dieses Versuches ist, dass die Mauer, die im Mauerverband errichtet wurde, stabiler ist als die andere, wodurch deutlich wird, dass Mauerverband maßgeblich zur Standsicherheit des Mauerwerks beiträgt.



Darüber hinaus kann die Lehrperson der Klasse einige Abbildungen von verschiedenen Mauerverbänden zeigen und den Kindern entsprechende Fachbegriffe erläutern (vgl. Lernziele). Außerdem sollten die Begriffe „horizontal“ und „vertikal“ eingeführt werden (sie können aber auch durch „waagrecht“ bzw. „senkrecht“ ersetzt werden).

Versuch 3 – Wanddicke

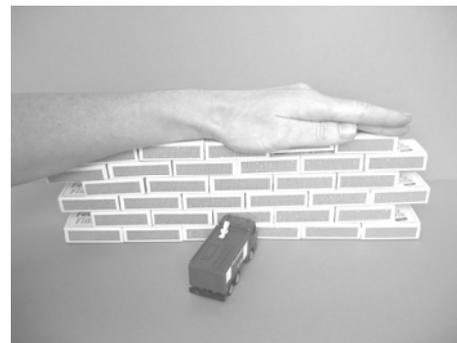
Die in der Sachanalyse beschriebene Gefährdung der Standsicherheit von Mauerwerkswänden durch eine zu hohe Druckbeanspruchung, die zum seitlichen Ausweichen (Beulen) einer Wand führen kann, lässt sich im Unterricht nicht mit Holzbausteinen veranschaulichen, da die entstehenden Drucklasten zu gering sind. Deswegen wird dieser Aspekt im Unterricht nicht thematisiert. Dagegen können durch folgenden Versuch sehr gut die Einwirkungen horizontaler Kräfte auf frei stehende Mauerwände unterschiedlicher Dicke untersucht werden.

Die SchülerInnen vergleichen durch Pusten oder mit Spielzeugautos die Standsicherheit von zwei gleich hohen, allerdings unterschiedlich dicken Mauern miteinander. Sie werden feststellen, dass dickere Wände wesentlich stabiler als dünnere sind.



Versuch 4 – Gewicht (Eigengewicht der tragenden Wand)

Um im Versuch festzustellen, inwieweit das Eigengewicht einer frei stehenden Mauer für deren Standsicherheit verantwortlich ist, empfiehlt sich ein Vergleich zwischen einer leichten Wand aus Streichholzschachteln und einer schwereren Wand aus Holzbausteinen. Bei horizontaler Belastung werden die Kinder feststellen, dass eine Mauer mit geringem Gewicht wesentlich labiler ist als eine schwerere. Wenn die leichte Streichholzschachtelwand durch zusätzliches Gewicht beschwert wird, z. B. durch vorsichtiges Auflegen der Hand bzw. des Unterarmes, gewinnt diese an Stabilität. Allerdings nur bis zu einem gewissen Punkt, denn wenn das Gewicht zu hoch wird, ist wiederum die Standsicherheit auf Grund von Materialversagen gefährdet. Hier spielt der in der Sachanalyse aufgelistete Aspekt zur Standsicherheit „Festigkeit und Qualität der Baustoffe“ eine Rolle.



ERGEBNISSICHERUNG

Bei allen beschriebenen Versuchen ist jeweils in einer daran anschließenden Reflexionsphase eine Auswertung der Versuchsergebnisse wichtig, welche in einem gemeinsamen Unterrichtsgespräch geschehen kann. Die Ergebnisse werden mit den anfangs aufgestellten Hypothesen der SchülerInnen verglichen und diese entsprechend verifiziert oder falsifiziert. Die Einsichten werden auf der Tafel bzw. auf Plakaten festgehalten und sollen von den SchülerInnen abgeschrieben und mit

erläuternden Zeichnungen ergänzt werden. Dies dient der Festigung und Strukturierung des erworbenen Wissens.

AUFGABE DER LEHRPERSON

Während der Versuchsphase besteht die Aufgabe der Lehrperson darin, die Lernprozesse der Kinder zu beobachten und zu dokumentieren. Außerdem steht sie als Ratgeber zur Verfügung, falls SchülerInnen Schwierigkeiten mit den einzelnen Versuchen haben. Nach jedem Versuch sollte die Lehrperson ein Reflexionsgespräch initiieren, in dem die Kinder angeregt werden, über ihre Bauverfahren und Lernergebnisse nachzudenken, wodurch sich die gewonnenen Kenntnisse festigen können.

DIFFERENZIERUNG

Da die verschiedenen Versuche schrittweise und gleichzeitig durchgeführt werden, besteht weniger die Gefahr, dass manche Kinder wesentlich schneller mit ihrer Arbeit fertig sind als andere. Falls dies doch der Fall sein sollte, können dieser Kinder als „Helferkinder“ den leistungsschwächeren MitschülerInnen behilflich sein.

ALTERNATIVE

Alternativ könnte man diesen Basisversuch auch zu einem eigenständigen Unterrichtsthema „Mauer“ ausbauen, indem beispielsweise zusätzlich funktionale Aspekte²⁰ ausführlicher thematisiert werden.

TIPPS UND TRICKS	<ul style="list-style-type: none"> • Wenn die Wände aus Holzbausteinen bzw. Streichholzschachteln durch Pusten belastet werden, ist darauf zu achten, dass dies möglichst nicht in deren oberen Bereichen geschieht, da dort das Gewicht am geringsten ist und die „Steine“ einzeln runterfallen. (Hierbei wird der Nachteil deutlich, dass die Holzbausteine nicht miteinander verbunden sind und sich Mauern aus diesem Material bei horizontaler Krafteinwirkung etwas anders verhalten als homogene Mauerwerkskörper.) Besser ist es, kräftig auf die Mitte einer Wand zu pusten, so dass ein ganzer Wandteil umfallen kann. • Es ist wichtig möglichst kurz und dafür kräftig zu pusten. • Reicht die „Pustkraft“ bei einigen Kindern nicht aus, sollten sie stattdessen Spielzeugautos nehmen.
MEDIEN	<ul style="list-style-type: none"> • Plakate
LITERATUR	<p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baulexikon. Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Hg. v. Rüdiger Wormuth / Klaus-Jürgen Schneider. Berlin: Bauwerk 2000.

²⁰ vgl. Sachanalyse

	<ul style="list-style-type: none">• Eckel, Johann / Halamiczek, Herbert: Werkerziehung Grundstufe 1. Bauen – Wohnen, Technik, Produktgestaltung. Wien: Österreichischer Bundesverlag 1981. S. 34-37.• Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. Teil I. 31., neu bearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997.• Kälberer, Günter / Hüttenmeister, Hilleke: Bauen, Konstruieren, Montieren. Leipzig: Klett 2002. S. 8-10.• Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Hans Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 9., überarb. Aufl. Köln: Müller 2002.• http://de.wikipedia.org/wiki/Mauer (28.10.05).
ABBILDUNGEN	<ul style="list-style-type: none">• Abb. 1: Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. Teil I. 31., neu bearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. S. 158.• Abb. 2: Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Hans Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 9., überarb. Aufl. Köln: Müller 2002. S.212.• Abb. 3: Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. Teil I. 31., neu bearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. S. 15.

4. BRÜCKEN

4.1 Fachtheoretische Grundlagen

Eine Brücke ist ein Bauwerk, das einen Übergang über Wasser, Täler oder Verkehrswege ermöglicht. Meist befindet sich auf einer Brücke ein Weg, eine Straße oder eine Eisenbahnlinie. In seltenen Fällen werden Brücken zusätzlich zu Wohnzwecken genutzt oder Waren auf ihnen angeboten.¹



Abb. 1: Göltzschtalbrücke im Vogtland

Eine Brücke, die größere Täler überspannt, auf mehreren Pfeilern ruht oder aus aneinander gereihten Bögen mit kleinen Öffnungen besteht, wird Viadukt (via = Weg) genannt. Durch diese Bauweise wird die Aufschüttung hoher Dämme über tief eingeschnittenen Tälern vermieden.² Die Göltzschtalbrücke im Vogtland (1846-1851 erbaut) ist ein beeindruckendes Beispiel eines Viadukts und zählte

damals zu den höchsten Eisenbahnbrücken der Welt. Brücken, die in dieser Form gestaltet sind, und Kanäle oder Wasserleitungen tragen, werden als Aquädukte bezeichnet. Der *Pont du Gard* in Frankreich ist ein bis heute erhalten gebliebenes Aquädukt.

GESCHICHTLICHE ASPEKTE

Sprachgeschichtlich ist das Wort Brücke verwandt mit "Prügel" und stammt aus der Zeit, als die Germanen sumpfiges Gelände mit Holzknüppeldämmen begehbar machten. Die Römer nannten die Brücke "pons", welches dem griechischen "patos" (finden, gehen) ähnelt und mit dem deutschen Wort "Pfad" verwandt ist.³

"Unsere Vorfahren wurden vermutlich durch an Ufern gewachsene und über den Wasserlauf gestürzte Bäume zum Brückenbau inspiriert."⁴ Weitere Möglichkeiten

¹ Beispiele hierfür sind die Krämerbrücke in Erfurt, die Ponte Vecchio in Florenz, sowie die alte Galatabrücke in Istanbul.

² vgl. dtv-Brockhaus-Lexikon: in 20 Bänden. Band 19. Tus-Wek. München: dtv 1988. S.174.

³ vgl. Köthe, Rainer: Brücken. Nürnberg: Tessloff 1991. (= WAS IST WAS) Bd. 91). S. 6.

⁴ Brockhaus CD-ROM. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2003. Brücken: Die verschiedenen Konstruktionsformen.

bestanden früher vermutlich darin, ein Seil aus Naturfasern über ein enges Tal zu spannen oder einen Fluss mit Hilfe von Trittsteinen zu überqueren.



Abb. 2: schmale Furt in einem Teich aus Trittsteinen



Abb. 3: Behelfsbrücke aus Baumstämmen und Holzbrettern in Zaire

In der späteren Antike hatten es die Brückenbauer bereits zu einer erstaunlichen Kunstfertigkeit im Holzbrücken- und Steinbogenbrückenbau gebracht, die nach einer langen Phase der Stagnation im Mittelalter erst in der Neuzeit wieder erreicht und übertroffen wurde. Bis ins 17. Jahrhundert ging man beim Bau von Brücken empirisch vor. Erst nach der Entwicklung baustatischer Methoden konnten die Bauwerke berechnet werden. 1747 wurde in Frankreich die erste Ingenieurschule eröffnet und Brücken fortan nicht mehr von Architekten, sondern von Bauingenieuren gebaut. Zur Bemessung einer Brücke ist die Kenntnis der zu erwartenden Lasten wichtig.⁵

Brücken wurden seit jeher an verkehrsgeografisch, wirtschaftlich und politisch interessanten Stellen errichtet. Ansiedlungen bildeten sich bevorzugt dort, wo wichtige Handelsrouten einen Fluss überquerten. Viele Städte weisen mit ihrem Namen heute noch auf eine Brücke oder eine "Furt", eine flache Stelle im Flussbett, hin. Im deutschsprachigen Raum sind Städte wie Osnabrück, Saarbrücken oder Innsbruck ebenso Beispiele dafür wie Frankfurt, Erfurt oder Ochsenfurt.⁶

Die Errichtung von Brücken über breite Flüsse oder Meeresarme ist schon immer mit erheblichem Aufwand und hohen Kosten verbunden gewesen. Früher musste für die Überquerung einer Brücke daher oftmals ein "Brückenzoll" oder der so genannte "Brückenpfennig" bezahlt werden. Brücken wurden entsprechend geschätzt und waren

⁵ vgl. ebd. Brücken: Die verschiedenen Konstruktionsformen.

⁶ vgl. Köthe, Rainer: Brücken. S. 7.

oft bedeutende Kulturleistungen. In Kriegszeiten hatten Brücken eine besondere Bedeutung. Um schnell einen Fluss zu überqueren, wurden Brücken in sehr kurzer Zeit hergestellt. Bei Bedrohung hingegen wurden wichtige Überwege über Flüsse gesprengt, um dem Feind den Weg abzuschneiden und ihn aufzuhalten.

Abb. 4:

Oberbaumbrücke in Berlin. 1742 mussten alle Fuhrwerke, Kutschen und Pferdegespanne, die die Brücke passierten, einen Brückenzoll bezahlen. Die Durchfahrt wurde nachts mit einem Holzstamm versperrt, worauf der Name "Oberbaum"brücke zurückzuführen ist.

Der mittlere Brückenteil der Oberbaumbrücke wurde Ende des 2. Weltkriegs im April 1945 gesprengt. 1995 wurde die Brücke mit einem modernen Stahlsprengwerk im mittleren Bereich, das von dem Architekten und Bauingenieur Santiago Calatrava konstruiert wurde, wieder für den Verkehr freigegeben.⁷



FORMALE ASPEKTE

Brücken können nach mehreren Kriterien voneinander unterschieden werden: nach festen und beweglichen Brücken, nach dem Material, nach dem Verwendungszweck, oder nach dem statischen System. In dieser Arbeit sind die Brücken nach ihrem statischen System und ihrer Konstruktionsform unterteilt. Balkenbrücken, als älteste Bauform, gefolgt von Hängebrücken und Bogenbrücken sind die am weitesten verbreiteten Typen von Brückenkonstruktionen. Es existieren weitere Varianten und Mischformen dieser Grundtypen. Bei Balkenbrücken sind die Hauptträger in statischem Sinn als einfache oder durchlaufende Balken ausgebildet. Das Haupttragwerk der Bogenbrücken sind Bögen, in denen vorwiegend Druckspannungen entstehen. Bei den Hängebrücken besteht der tragende Teil aus einem Tragseil zwischen hohen Pylonen, der die gesamte Last aufnimmt und nur auf Zug beansprucht wird.



Abb. 5: Balkenbrücke



Abb. 6: Hängebrücke – *Rheinbrücke bei Kleve*



Abb. 7: Bogenbrücke

⁷ vgl. Meschenmoser, Helmut: Leichte Einspanner kosten drei Pfennig. Mit der Oberbaumbrücke Geschichte entdecken. In: Unterricht – ARBEIT + TECHNIK 26 (2005). S. 20-22.

Die Wahl des Brückensystems wird im Wesentlichen bestimmt durch das vorhandene Geländeprofil, die Baugrundverhältnisse, die geforderte lichte Weite und Höhe, die überspannt werden soll, den Verwendungszweck und, gegebenenfalls, durch die Verfügbarkeit der Baumaterialien. Für die Gestaltung sind auch ästhetische Gesichtspunkte maßgebend, damit sich die Brücke harmonisch in die Landschaft einfügt.⁸

BAUSTOFFE

Die früheren Brücken wurden aus Holz, Stein oder später aus Gusseisen⁹ gebaut. Holz wird heute meistens nur noch für Fußgängerbrücken oder andere kleinere Brücken verwendet und Stein dient hauptsächlich als Verkleidungsmaterial von Brücken. Gusseiserne Brücken wurden nach kurzer Zeit von den haltbareren Stahlbrücken abgelöst, weil Stahl eine wesentlich höhere Duktilität¹⁰ aufweist als das sprödere Gusseisen.



Abb. 8: Fußgängerbrücke aus Holz: *Russeintobelbrücke* bei Somvitg



Abb. 9: Steinbogenbrücke: *Haderli Brücke*, Schöllenschlucht bei Göschenen

Heutzutage werden die meisten Brücken aus Stahl, Stahlbeton oder Spannbeton gebaut. Diese Werkstoffe haben sich für den Brückenbau etabliert, da sie neben den wirtschaftlichen Aspekten ausgezeichnete mechanische Eigenschaften aufweisen, die Verbindungsstellen einfach ausgeführt werden können und sie sich auf der Baustelle gut verarbeiten lassen.

⁸ vgl. Brockhaus CD-ROM. Brücken: Die verschiedenen Konstruktionsformen. Wahl des Brückensystems.

⁹ Die heute noch existierende Coalbrookdale-Brücke in England war die erste gusseiserne Brücke und wurde 1779 erbaut. vgl. Köthe, Rainer: Was ist was? S. 28.

¹⁰ Unter Duktilität wird das Vermögen eines Werkstoffs verstanden sich unter hoher Beanspruchung zu verformen, ohne zu versagen.



Abb. 10: rote Stahlbrücke in Berlin

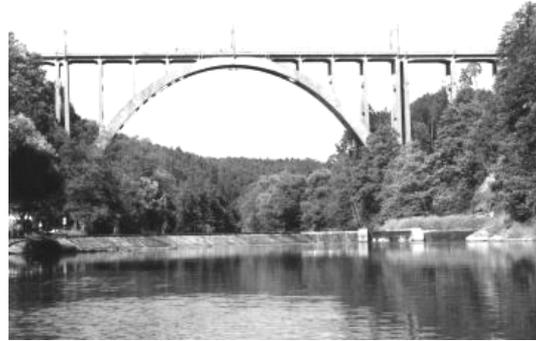


Abb. 11: Bechyner "Regenbogen" – Stahlbetonbrücke über die Luznice

Bei dem Verbundwerkstoff Stahlbeton verfügt der Beton über eine hohe Druckfestigkeit, jedoch über eine sehr geringe Zugfestigkeit. Zugbeanspruchte Querschnittsbereiche werden daher mit Stahl verstärkt. Brücken, die nur aus Stahl gefertigt sind, verfügen über eine hohe Druck- und auch Zugfestigkeit. Stahl muss in regelmäßigen Abständen durch Anstriche vor Korrosion (Rosten) geschützt werden und verhält sich im Brandfall nachteiliger als Stahlbeton.

KONSTRUKTIVE ASPEKTE

Die meisten Brücken bestehen aus einem Über- und einem Unterbau. Der Überbau umfasst die Fahrbahn und die darunter befindlichen Hauptträger.¹¹ "Gestützt wird der Überbau [durch den] Unterbau, der die Lasten über Lager, Widerlager, Pfeiler und Fundamente auf den Baugrund abträgt. Brückenpfeiler werden [vorwiegend] aus Mauerwerk, Stahl- oder Spannbeton oder aus Stahl hergestellt und [sind] oft mit Stein verkleidet. Eine besondere Herausforderung stellt die Errichtung von Brückenpfeilern dar, wenn sie in tiefem, strömungsreichem Wasser erfolgt und tragfähiger Baugrund erst in tieferen Bodenlagen vorhanden ist."¹² Zum Überbau einer Brücke gehören weiterhin das Geländer bzw. Schutz- und Leitplanken zur Absturzsicherung für Fußgänger und Fahrzeuge sowie Auffahrten, die bei Höhenunterschieden eine Verbindung zur weiterführenden Straße herstellen. Die zuletzt genannten Bestandteile einer

¹¹ vgl. Brockhaus CD-ROM. Brücken: Die verschiedenen Konstruktionsformen. Aufbau von Brücken.

¹² ebd. Brücken: Die verschiedenen Konstruktionsformen. Aufbau von Brücken.

Brücke werden in der vorliegenden Arbeit vernachlässigt, da sie nicht zu den konstruktiv relevanten Bauteilen zählen.

Die statischen Gesetzmäßigkeiten der jeweiligen Brückentypen unterscheiden sich voneinander und sind daher in den Kapiteln 4.2 bis 4.4 erläutert.

LITERATUR	<p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • dtv-Brockhaus-Lexikon: in 20 Bänden. Band 19. Tus–Wek. München: dtv 1988. • Köthe, Rainer: Brücken. Nürnberg: Tessloff 1991. (= WAS IST WAS) Bd. 91). S. 5-10. • Meschenmoser, Helmut: Leichte Einspanner kosten drei Pfennig. Mit der Oberbaumbrücke Geschichte entdecken. In: Unterricht – ARBEIT + TECHNIK 26 (2005). S. 20-22. • Brockhaus CD-ROM. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2003. Brücken: Die verschiedenen Konstruktionsformen. <p>LITERATUREMPFEHLUNGEN FÜR DEN UNTERRICHT:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Graf, Bernhard: Brücken, die die Welt verbinden. München / Berlin / London / New York: Prestel 2002. • http://de.wikipedia.org/wiki/Br%C3%BCcke_%28Bauwerk%29 (8.11.05).
ABBILDUNGEN	<ul style="list-style-type: none"> • Abb. 1: http://www.urlaubssachse.de/kreise/vogtland/bilder/goeltzschtalbruecke.jpg (9.11.05). • Abb. 2: http://www.stoeldt.de/stoffel/pics/Wassergarten/furt.jpg (9.11.05). • Abb. 3: http://www.karl-gotsch.de/Bilder/Zaire2.JPG (9.11.05). • Abb. 4: http://www.verkehrswerkstatt.de/bautech/oberbaum/index1v.htm • Abb. 5: http://www.learn-line.nrw.de/angebote/gssachunterricht/IMAGES/-Balkenbruecke_alt.jpg (9.11.05). • Abb. 6: http://www.learn-line.nrw.de/angebote/gssachunterricht/IMAGES/haengebrueckekleve.jpg (9.11.05). • Abb. 7: http://www.learn-line.nrw.de/angebote/gssachunterricht/IMAGES/Bogenbruecke.jpg (9.11.05). • Abb. 8: http://www.karl-gotsch.de/Bilder/Russein_Holz.JPG (9.11.05). • Abb. 9: http://www.karl-gotsch.de/Bilder/Haderli.JPG (9.11.05). • Abb. 10: http://www.muc.de/~hartmann/images/Berlin/100-0072_IMG_rote_Bruecke.JPG (9.11.05). • Abb. 11: http://www.mestobechyne.cz/user_data/web/pameti/most1.jpg (9.11.05).

4.2 Balkenbrücken

BASISVERSUCHE	<ul style="list-style-type: none"> • 3.1 Profile / Materialumformung • 3.3 Druck- und Zugkräfte
SCHWIERIGKEITSGRAD	niedriger Anspruch
ZEIT	<ul style="list-style-type: none"> • 4 Stunden - mit je einer Variante • 6 bis 8 Stunden - mit beiden Varianten • 1 Stunde - Differenzierung
MATERIAL	<ul style="list-style-type: none"> • genormte Holzbausteine (z.B. Fröbel – Bausteine mit dem Grundmaß 33 1/3 mm, Standardgröße: ca. H 16,7 * B 33,3 * L 66,7 mm (entspricht einem Maßverhältnis von 1:2:4)) • 10 bis 12 blaue Papier- oder Kartonstreifen • Schere • Spielzeugautos (große + kleine)

SACHANALYSE

Als natürliche Vorbilder für Balkenbrücken dienten vermutlich über Flüsse gefallene Baumstämme. Später wurden behauenes Holz als Träger und gemauerte Stützen verwendet. Mit Holz als Baumaterial lassen sich Stützweiten von ungefähr 50 Metern erreichen. Bei dem Versuch das Balkenbauprinzip auf Stein als dauerhafteren Baustoff zu übertragen, mussten die Stützweiten auf etwa ein Zwanzigstel verringert werden. Die Pfeiler standen so dicht nebeneinander, dass die Flussströmung stark behindert wurde und bei Hochwasser, besonders wenn die Fundamente unterspült waren, leicht umstürzten.¹



Abb. 1: Balkenbrücke in *Quala-Panji*

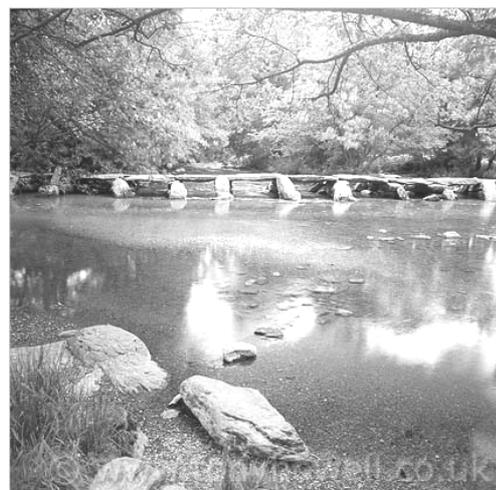


Abb. 2: *tarr steps* im englischen Exmoor-Nationalpark

¹ vgl. Brockhaus CD-ROM. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2003. Brücken: Die verschiedenen Konstruktionsformen. Balkenbrücken.

Um größere Spannweiten zu erreichen, haben sich der Aufbau, die Formgebung und die Materialien der Träger von Balkenbrücken im Laufe der Zeit immer weiter entwickelt. Schon seit dem Mittelalter wurden Fachwerkträger aus Holz verwendet, die stabiler und wesentlich leichter und billiger waren als massive Träger, die aus einem Vollquerschnitt hergestellt waren. In heutigen Fachwerkbalkenbrücken ist das Holz meist durch Stahl ersetzt. Eine Erhöhung der Stabilität konnte auch durch den Bau von Kastenträgern erreicht werden, also durch ein Tragwerk, das aus einer oder mehreren Röhren von rechteckigem Querschnitt besteht. Heutige Kastenträgerbrücken können Stützweiten von 200 Meter (Stahl- und Spannbeton) oder sogar 500 Meter (Stahl) erreichen.²



Abb. 3: *Ponte degli Alpini* - Holzbalkenbrücke in den italienischen Alpen



Abb. 4: *Kochertalbrücke* – Hohlkastenspannbetonbrücke in Deutschland

Da ein einzelner Balken zu schmal ist, um eine nutzbare Breite für eine Brücke zu erreichen, werden mehrere Balken nebeneinander gelegt. Dabei wirken die Kräfte jeweils nur auf die Balken, die belastet werden. Würde man den Träger aus einem Stück herstellen, so spricht man von einer Platte, bei der sich die Belastung auf die gesamte Platte verteilt und die dünner gefertigt werden kann als ein Balken. Es gibt auch so genannte Plattenbalkenbrücken (eine Kombination von Platten und Balken), die für große Distanzen eingesetzt werden. Im Folgenden wird der Einfachheit halber ausschließlich die Bezeichnung Balken bzw. Balkenbrücke verwendet, auch wenn die Breite und Länge der verwendeten Träger in den Modellen von den Abmessungen her eine Plattenbrücke oder Plattenbalkenbrücke erforderlich machen würden.



Abb. 5: Plattenbalkenbrücke

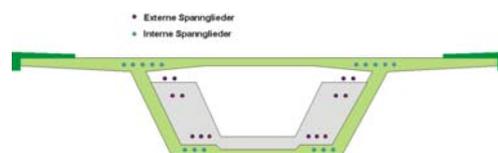


Abb. 6: Spannbetonhohlkastenbrücke

² vgl. ebd. Brücken: Die verschiedenen Konstruktionsformen. Balkenbrücken.

Zwei waagrecht mit einem Abstand übereinander angeordnete Platten, die miteinander verbunden sind, bilden als Querschnitt einen Hohlkasten. Für mittlere und große Spannweiten und bei gekrümmter Brückenführung, werden Hohlkastenquerschnitte eingesetzt. Sie zeichnen sich durch eine große Biege- und Torsionsfestigkeit aus, wodurch sie schlank ausgeführt werden können und rationelle Bauverfahren wie das Taktschiebeverfahren ermöglichen. Wegen des reduzierten Materialverbrauchs, des geringeren Eigengewichtes und der leichten Zugänglichkeit für Wartungsarbeiten wird der Hohlkastenträger sehr oft im Brückenbau eingesetzt.³

Kleinere Balkenbrücken werden heute meistens aus Stahlbetonfertigteilen gebaut. Bei dem Verbundwerkstoff Stahlbeton verfügt der Beton über eine hohe Druckfestigkeit, jedoch über eine sehr geringe Zugfestigkeit. Bei Stahlbeton macht man sich die gewonnene Kenntnis über die Spannungsverteilung im Querschnitt zu Nutze, indem die Bereiche eines Querschnitts, die stark auf Zug beansprucht werden, mit Stahl verstärkt werden. Der Bau von Balkenbrücken mit längeren Spannweiten, in Form einer Mehrfeldbrücke, erfolgt feldweise nacheinander. Dabei können die Stahlbetonbauteile direkt auf der Brücke im freien Vorbau gegossen werden oder am Boden vorgefertigt sein und mit dem Taktschiebeverfahren in der Höhe an ihre Position gebracht werden.

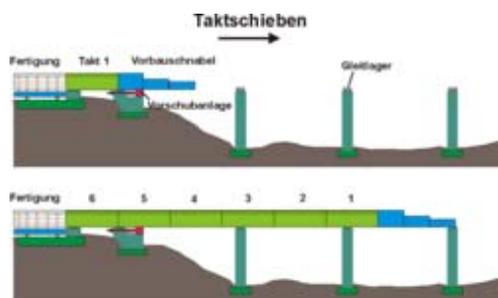


Abb. 7: Taktschiebeverfahren

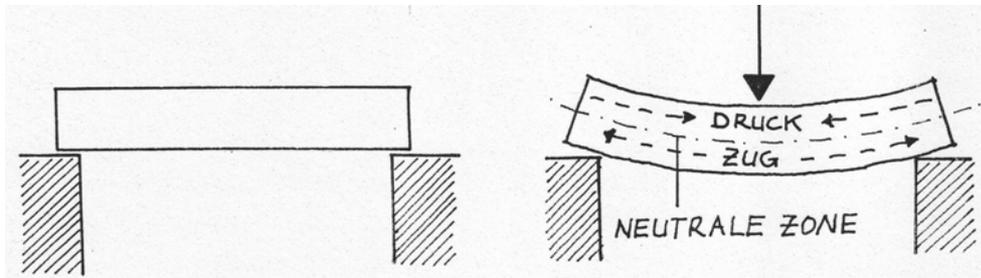


Abb. 8: Vorbauabschnitt der Itztalbrücke bei Coburg

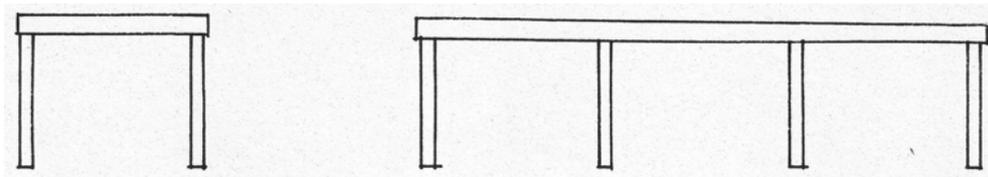
Ein Balken, auch als Träger bezeichnet, ist ein Bauteil, dessen Querschnittsabmessungen deutlich geringer sind als seine Länge. Greifen Kräfte an einem Balken vertikal zu seiner Längsachse an, so wird der Balken auf Biegung beansprucht, das heißt er biegt sich durch. Dabei treten bei einem horizontal verlegten und senkrecht von oben belasteten Balken auf der Oberseite Druck- und auf der Unterseite Zugspannungen auf. In der Mitte des Balkens sind Druck- und Zugspannungen gleich Null.

³ vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Br%C3%BCcke_%28Bauwerk%29 (8.11.05).

Diesen Bereich bezeichnet man daher als neutrale Zone oder Nulldurchgang (vgl. 3.3). Ein Balken liegt oft auf zwei oder mehreren Stützen auf und leitet die auftretenden Kräfte zu den Stützen weiter. Stützen sind meist senkrecht stehende Bauteile, die in ihrer Längsrichtung Druckkräfte aufnehmen können.⁴

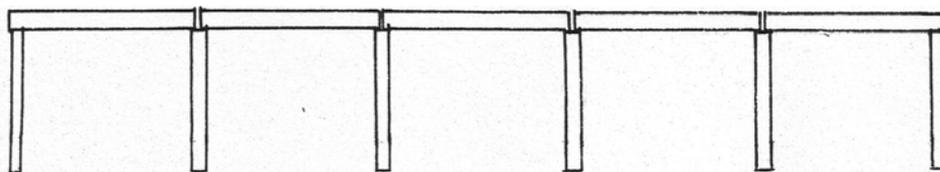


Ein Balken kann statisch bestimmt (Einfeldträger) oder statisch unbestimmt (Mehrfeldträger) gelagert sein.⁵ Statisch bestimmte Balken besitzen ein festes und ein bewegliches Auflager. Statisch unbestimmte Balken besitzen ein festes und beliebig viele bewegliche Auflager. Ein Einfeldträger liegt auf zwei Stützen. Den Raum zwischen den Stützen bezeichnet man als Feld. Ein Mehrfeldträger oder Durchlaufträger lagert auf mehr als zwei Stützen und überspannt dabei die dazwischen liegenden Felder. Ein Dreifeldträger beispielsweise überbrückt drei Felder und wird von vier Stützen getragen. Die Bedingung für einen Durchlaufträger ist, dass er nicht unterbrochen wird, eine Reihung mehrerer Einfeldträger wird daher nicht als Durchlaufträger bezeichnet.⁶



Einfeldträger

Mehrfeldträger



Reihung mehrerer Einfeldträger

⁴ vgl. Nestle, Hans: Bautechnik. Fachkunde Bau. 3. Aufl. Wuppertal: Europa-Lehrmittel 1983. S. 131.

⁵ vgl. VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. Hg. v. Hans-Gustav Olshausen. Düsseldorf: VDI 1991. S. 44.

⁶ vgl. Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Willems, Claus-Christian: Grundlagen der Tragwerkelehre 2. 4., vollst. überarb. Aufl. Köln: Müller 1997. S.229-230.

Die auf mehreren hohen Pfeilern stehenden Talbrücken, die weite Spannweiten überbrücken, sind Beispiele für einen Mehrfeldträger als Tragwerk.

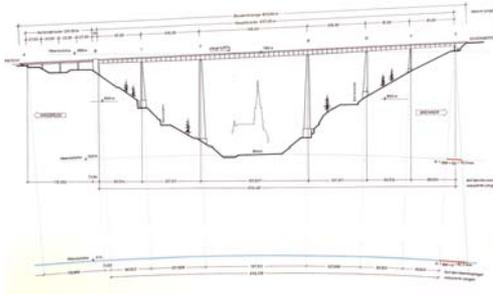


Abb. 9: Zeichnung Europabrücke

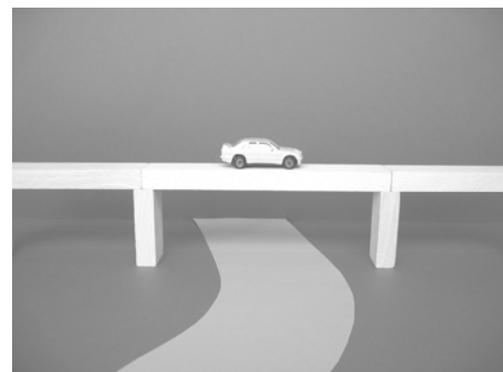
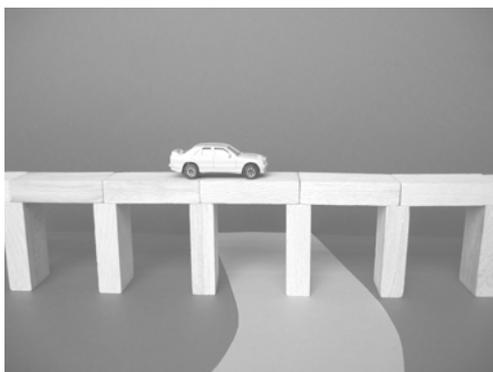


Abb. 10: Europabrücke

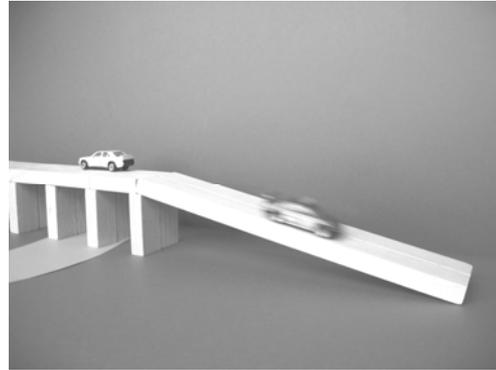
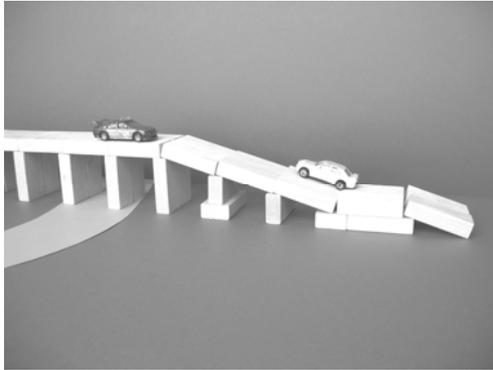
SACHANALYSE – Modelle aus Holzbausteinen

Die ersten Balkenbrücken wurden aus Baustoffen wie Holz gefertigt. Mit der nachfolgenden Entwicklung von Materialien, die größere Spannungen ertragen konnten, wurden sie aus Stahl, Stahlbeton und Spannbeton hergestellt.

Bei Balkenbrücken kann das System von Stütze und Träger am besten mit genormten Holzbausteinen modellhaft umgesetzt werden. Dabei können die Holzbausteine sowohl für die Stützen als auch für die Träger verwendet werden. Damit die Holzbausteine die Funktion einer Stütze übernehmen, werden sie in regelmäßigen Abständen hochkant stehend angeordnet. Die Bausteine, die als Träger dienen, liegen waagrecht auf den stützenden Bausteinen auf. Der Abstand zwischen den senkrecht stehenden Bausteinen richtet sich nach der Länge der auf ihnen liegenden Bausteine. Mit kürzeren Bausteinen gleicher Größe, kann der Bau von Einfeldträgerbrücken realisiert werden. Ist mehr als ein Baustein für die Überbrückung notwendig, bestehen solche Brücken aus mehreren Einfeldträgern, die aneinandergereiht sind. Größere Spannweiten können im Modell durch den Einsatz längerer Holzsteine simuliert werden.



Damit eine Brücke aus Holzbausteinen nach ihrer Fertigstellung mit Spielzeugautos befahrbar wird, kann eine Auffahrt angebaut werden. Stehen nur kurze Bausteine zur Verfügung, muss die Auffahrt mit treppenartigen Abstützungen konstruiert werden. Sind auch lange Holzbausteine vorhanden, kann ein genügend langer Stein⁷ als Auffahrt benutzt werden, der auf der äußersten Stütze aufliegt.



LERNVORAUSSETZUNGEN

- Die SchülerInnen haben im Unterricht bereits in unterschiedlichen Sozialformen zusammen gearbeitet und haben sowohl Erfahrungen mit Einzel- und Partnerarbeit als auch mit Gruppenarbeit.
- Wünschenswert wäre es, wenn die Kinder bereits Erfahrungen im Spiel mit Holzbausteinen haben, dies ist jedoch nicht unbedingt erforderlich.

LERNZIELE

Die SchülerInnen sollen

- statisch-konstruktive Grundsachverhalte von Balkenbrücken kennen lernen:
 - einen Bach oder einen Graben mit einer Balkenbrückenkonstruktion überbrücken und mit Belastungsversuchen Erfahrungen hinsichtlich der Stabilität sammeln.
 - im spielerischen Bauen mit Holzbausteinen das System von Träger und Stütze kennen lernen und eigene Konstruktionen realisieren.
 - den statisch-konstruktiven Aufbau ihrer Brückenbauwerke in einer Zeichnung umsetzen und erworbene Fachbegriffe einfließen lassen.
- statisch-konstruktive Prinzipien des Trägers, dem Haupttragwerk von Balkenbrücken, kennen lernen:

⁷ Der Stein sollte so lang sein, dass die Schräge nicht zu steil wird.

- durch einen selbsttätig durchgeführten Versuch Erfahrungen mit Druck- und Zugkräften in einem Balken sammeln und entdecken, dass die Tragfähigkeit eines Balkens von seiner Spannweite und Dimensionierung abhängt.
- durch die Basisversuche zu Druck- und Zugkräften ihr bereits erworbenes Wissen über die inneren Kräfte in einem Balken erweitern (vgl. 3.3).
- die erworbenen Kenntnisse aus den Basisversuchen zu dem "Armbalken" Versuch in Beziehung setzen.
- evtl. neben massiven Trägern auch Hohlkastenprofile kennen lernen und diese durch den Basisversuch Profile / Materialumformung im Modell umsetzen (vgl. 3.1).

DIDAKTISCH–METHODISCHE ANREGUNGEN

BEZUG ZUR LEBENSWELT DER KINDER

Der Brückenbau gehört im Bereich des Bauens für Kinder neben der Errichtung von Häusern und Türmen sicherlich zu den beliebtesten und interessantesten konstruktiven Spielen. Mit dem Phänomen der Brücke sind sie schon früh im vorschulischen Spiel und in ihrer Lebensumwelt konfrontiert worden. Von den drei Grundtypen der Brückentragwerke Balken, Bogen und Hängetragwerk stellt der Balken vermutlich die tragende Konstruktion dar, der Grundschulkinder am häufigsten in ihrem Alltag begegnen. Kinder, die in ländlichen Gegenden aufgewachsen sind, haben sich wahrscheinlich selbst schon das statische System der Balkenbrücke zu Nutze gemacht, indem sie mit dicken Ästen oder Brettern einen Bach überbrückt haben. Die genannten Vorerfahrungen können in der Unterrichtseinheit "Balkenbrücken" aufgefrischt bzw. an sie angeknüpft werden, indem das Konstruktionsmerkmal, zwischen zwei festen Punkten eine freitragende Verbindung zu erstellen, unter statischen Gesichtspunkten betrachtet wird.

ABSICHTEN DER UNTERRICHTSEINHEIT

Bevor das Augenmerk der SchülerInnen auf den Balken gelenkt wird, der das Haupttragwerk einer Balkenbrücke darstellt, soll in dieser Unterrichtseinheit zu Beginn das gesamte statisch-konstruktive System einer Balkenbrücke betrachtet werden, zu dem neben dem Balken bzw. Träger auch Stützen oder Auflager gehören, die die Aufgabe übernehmen, Kräfte in den Baugrund abzuleiten (vgl. 4.1). Innere Kräfte in einem biegebeanspruchten Balken und das Phänomen der Stabilität durch Umformung werden durch verschiedene Versuche veranschaulicht.

UNTERRICHTSEINSTIEG

Ein Balken, auch als Träger bezeichnet, liegt je nach topographischer Lage der Balkenbrücke auf Stützen oder Auflagern. Das statische System Träger auf zwei oder mehreren Stützen wird oft zur Überwindung von Tälern verwendet, indem die Stützen im Tal stehen und die Funktion haben, den Balken, der auf ihnen lagert und das Tal überbrückt, abzustützen. Hierbei kommt meistens ein Mehrfeldträger zum Einsatz, der in der Sachanalyse beschrieben ist. Ein Balken, der die Ufer schmaler Gewässer verbindet und damit eine geringere Spannweite hat, liegt an jeder Uferseite auf einem Auflager und benötigt keine Stützen.

Beide Systeme eignen sich gleichermaßen für den Einstieg in die Unterrichtseinheit "Balkenbrücken". Durch die Wahl der Aufgabenstellung und des zur Verfügung gestellten Materials wird entweder die eine oder die andere Variante impliziert. Bei einer intensiven Behandlung des Themas und genügend großem Zeitkontingent können auch beide Varianten nacheinander im Unterricht durchgeführt werden.

HINWEISE ZUR DURCHFÜHRUNG DER 1. VARIANTE

Für die erste Variante, die Darstellung eines Balkens, der auf zwei Auflagern liegt, kann je nach örtlichen Gegebenheiten, ein nahe gelegener Bach oder ein künstlich hergestellter Graben in sandigem Gelände als Realbegegnung genutzt werden. Die SchülerInnen sollen das Gewässer mit Materialien aus der Natur überbrücken und im Anschluss deren Belastungsfähigkeit testen.⁸ Das kann abhängig vom Material und der Dimensionierung der Brücke durch die Kinder selbst oder mit großen Spielzeugautos erfolgen.⁹



Abb. 11:
Kind beim Überqueren eines Rinnsals
auf zwei Baumstämmen

⁸ vgl. Kälberer, Günther / Hüttenmeister, Hilleke: Bauen Konstruieren Montieren. Leipzig: Klett 2002. S. 16.

⁹ Dieser Unterrichtseinstieg ist witterungsabhängig und sollte daher nur bei schönem Wetter durchgeführt werden.

ERGBNISSICHERUNG – Unterrichtsgespräch

Die Erfahrungen der Kinder beim Bau der Balkenbrücken und die Ergebnisse der Belastungsversuche werden in einem Unterrichtsgespräch besprochen und ausgewertet. Begriffe wie "Balken" bzw. "Träger", "Auflager", "Balkenbrücke" und "Durchbiegen" sollten gemeinsam erarbeitet und benannt werden und auf einem Plakat durch Fotos von Balkenbrücken veranschaulicht werden.

An dieser Stelle bietet sich die Thematisierung der geschichtlichen Entwicklung von Balkenbrücken an, da die Lösungsfindung bzw. Herangehensweise der Kinder vermutlich Ähnlichkeiten zum Bau früherer Balkenbrücken aufweist.

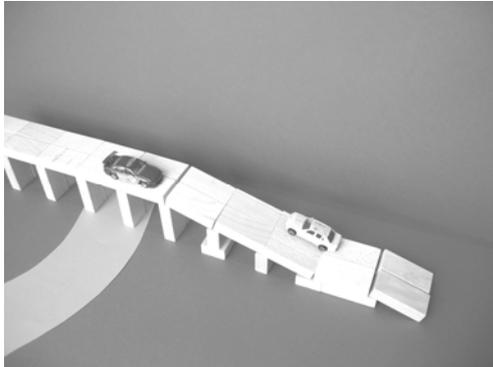
Die Realbegegnung ermöglicht den Kindern einen alternativen Zugang zum statischen System der Balkenbrücke und bewirkt die Integration außerschulischer und schulischer Sacherfahrungen. Die Kinder bauen eine Überbrückung, erfahren mit ihrem Körper die Tragfähigkeit einer Brücke und setzen sich damit anschließend reflektierend im Gespräch auseinander. Dadurch wird ein ganzheitliches Lernen möglich, dass neben dem kognitiven Lernen auch die Wahrnehmung über den Körper mit einbezieht.¹⁰

HINWEISE ZUR DURCHFÜHRUNG DER 2. VARIANTE

Für die Durchführung der zweiten Variante, dem System von Träger und Stütze, bekommen die SchülerInnen Holzbausteine zur Verfügung gestellt. Zu Beginn empfiehlt sich eine Phase des freien spielerischen Bauens, die ohne unmittelbare Anleitung und Beeinflussung der Lehrkraft erfolgt und in der sich die Kinder mit den Holzbausteinen vertraut machen können. Die SchülerInnen übernehmen dabei die selbständige Organisation des Lernprozesses. Das schließt sowohl die Wahl dessen, was sie bauen ein, als auch zu welcher Sozialform, alleine, in Partner- oder Gruppenarbeit, sie sich entscheiden. Eine Zeitvorgabe für diese Phase richtet sich nach den Vorerfahrungen der Kinder mit dem Material und wird je nach Lerngruppe unterschiedlich lang ausfallen. Freies spielerisches Bauen fördert durch das Einbringen eigener Ideen die Kreativität der Kinder und kommt ihrem natürlichen Bewegungsdrang entgegen. Das Handlungswissen, das die SchülerInnen in dieser Phase erwerben, indem sie durch spielerisch-intuitives Erproben grundlegende Erfahrungen mit den statischen Gesetzmäßigkeiten der Standfestigkeit und dem Gleichgewicht machen, kann in der darauf folgenden zweiten Bauphase angewendet werden. Als Abschluss dieser Phase werden die Erfahrungen der Kinder beim Bauen gesammelt und an den fertigen

¹⁰ vgl. Lexikon Sachunterricht. Hg. v. Astrid Kaiser. 3., unveränd. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 64/168.

Bauwerken das System von Stütze und Träger herausgearbeitet, das sicherlich bei unterschiedlichen Konstruktionen zu finden ist, und das mittels einer schematischen Zeichnung an der Tafel dokumentiert wird.



In der nun folgenden zielgerichteten spielerischen Bauphase wird die Aufgabenstellung aus einer Problemstellung abgeleitet, die beispielsweise darin bestehen könnte, einen Fluss, der durch einen Papierstreifen symbolisiert wird, mit Holzbausteinen zu überbrücken, so dass Autos in zwei Richtungen auf ihr fahren können. Ergänzungen des Arbeitsauftrages

könnten darin bestehen, eine Brücke zu bauen, die eine bestimmte Höhe haben sollte. Es empfiehlt sich die Brücken in Partnerarbeit zu bauen. Hier kann je ein Kind auf einer Seite des Ufers bauen, ohne dass sie sich gegenseitig behindern.

ERGENISSICHERUNG - Zeichnungen

Nach einer kurzen Reflexion der Bauphase hinsichtlich der unterschiedlichen konstruktiven Ausführungen der Überbrückung nach dem statischen System von Träger und Stütze, der Benennung zusätzlich angebrachter Bauteile, wie z. B. Geländer oder Auf-fahrt und einer Bezugnahme der erarbeiteten Sachverhalte zu Brücken in der Realität, sollen die SchülerInnen in Einzelarbeit die gebaute Brücke zeichnen und einzelne Teile mit den neu gelernten Begriffen wie "Stütze", "Träger" usw. beschriften. Die Zeichnung dient einerseits zum Abstrahieren der Handlung als auch zur Dokumentation und zum Festhalten der Bauergebnisse.

HINWEISE ZUR DURCHFÜHRUNG DER BELASTUNGSVERSUCHE

Nachdem die gesamte Brücke betrachtet wurde, wird der Balken als Haupttragwerk zum Gegenstand des Unterrichts gemacht. Die SchülerInnen sollen das Durchbiegen eines Balkens mittels eines Belastungsversuchs in Partnerarbeit erfahren. Dazu kniet sich ein Kind hin oder setzt sich auf einen Stuhl, der zwischen zwei Tischen steht, legt, wie auf dem linken Foto, die Ellenbogen auf die Tischkanten auf und bildet mit den Armen eine Art Balkenbrücke, wobei nur die beiden Hände übereinander liegen. Das andere Kind belastet langsam mit zunehmendem Druck von oben mittig die Arme (Konstruktion) des sitzenden oder knieenden Kindes, die durch den Druck nach unten

ausweichen. Die SchülerInnen erleben in diesem Versuch durch Erfahrung am eigenen Körper, dass ihre Arme im oberen Bereich gedrückt und unten durch den Druck auseinander gezogen wurden.



Im Anschluss sollen von den Kindern Verbesserungsvorschläge eingebracht werden, um die Stabilität des Balkens zu erhöhen. Eine Möglichkeit könnte darin bestehen, die Spannweite zu verkürzen und den "Armbalken" dicker zu machen, indem die Ellenbogen wieder auf zwei Tischen mit geringerem Abstand aufliegen, die Arme sich aber diesmal auf der gesamten Länge überlappen und dadurch bei Belastung mehr Gegen- druck aufgebaut werden kann.

ERGEBNISSICHERUNG - Unterrichtsgespräch

Um die körperlich-sinnlichen Erfahrungen zu einem ganzheitlichen Lernen zu komplementieren, das auch kognitives Lernen einschließt, werden die Erfahrungen in einem Gespräch ausgetauscht und Begriffe wie "Druck", "Zug" und "Spannweite" daraus abgeleitet.¹¹

Der Versuch simuliert die Belastung und das Durchbiegen eines Balkens und die SchülerInnen erleben, dass in einem Balken sowohl Druck- als auch Zugkräfte wirken. Das Versagen oder Auseinanderbrechen eines echten Balkens entspricht dem Auseinandergehen der Arme beim "Armbalken". Die Kinder können entdecken, dass neben der Stärke der Belastung auch die Veränderung der Spannweite und der Dimensionierung die Tragfähigkeit eines Balkens beeinflussen.

BASISVERSUCH 3.3 - DRUCK- UND ZUGKRÄFTE

Um die auftretenden Kräfte in einem biegebeanspruchten Balken aus Schaumstoff genauer zu "lokalisieren" und "sichtbar" zu machen, sollten aufbauend darauf die Basisversuche zu Druck- und Zugkräften, die in Kapitel 3.3 erläutert sind, eingesetzt werden.

¹¹ Da die physikalische Größe der Kraft für Kinder schwer zu verstehen ist, sollte sich auf die Begriffe Druck und Zug beschränkt werden.

Die erarbeiteten Sachverhalte aus den Basisversuchen werden zu dem Versuch mit dem "Armbalken" in Beziehung gesetzt. Der Holzstab-Versuch knüpft an die Erfahrung an, dass sich ein zu dünn dimensionierter Balken bei Belastung durchbiegt und zeigt außerdem wie sich das Material Holz im Versagensfall verhält. Durch den Schaumstoffbalken-Versuch gewinnen die SchülerInnen Aufschluss über die Lage der Kräfte in einem Balken. Das erleichtert ihnen die Wirkungen der bisher durchgeführten Belastungsversuche besser zu verstehen.

DIFFERENZIERUNG

Des Weiteren könnte in dieser Unterrichtseinheit darauf eingegangen werden, dass es neben den bisher behandelten massiven Balkenbrücken, die aus den Werkstoffen Holz oder Stahlbeton gefertigt sind, auch Träger gibt, die als Hohlkastenprofil ausgebildet und oftmals aus gewalzten Stahlblechen hergestellt sind. Dieser Aspekt könnte, wenn er bei den Kindern auf Interesse stößt, von der gesamten Klasse behandelt werden oder von einem kleinen besonders interessierten Forscherteam in Freiarbeit untersucht und die Ergebnisse später der Klasse präsentiert werden. Die Profilbildung der Stahlbleche kann durch Umformung von Papier im Modell nachempfunden werden. Um das Phänomen der Stabilität durch Umformung deutlich zu machen, kann der Basisversuch "Profile / Materialumformung", dessen Anregungen in Kapitel 3.1 zu finden sind, verwendet werden.

TRANSFER

Um die Unterrichtseinheit abzurunden und einen Bezug zum Beginn herzustellen, sollte das in den letzten Phasen behandelte Tragwerk einer Balkenbrücke wieder in einen größeren Zusammenhang gestellt werden und auf das gesamte statisch-konstruktive System einer Balkenbrücke bezogen werden. Dabei sollte in einem Unterrichtsgespräch und mit Unterstützung von Bildmaterial sowie der angefertigten Zeichnungen noch einmal das Augenmerk auf die unterschiedlichen Typen (das System Träger / Balken und Stütze sowie die Kombination Balken auf zwei Auflagern) einer Balkenbrücke gerichtet werden. Es sollte den Kindern deutlich werden, dass die erarbeiteten statisch-konstruktiven Sachverhalte des Tragwerks eines Balkens bei beiden Systemen gleichermaßen wirken.

TIPPS UND TRICKS	<ul style="list-style-type: none"> • Bei den Überbrückungsversuchen an einem Bach sollten die Kinder Gummistiefel tragen.
MEDIEN	<ul style="list-style-type: none"> • Plakate mit Fotos von unterschiedlichen Balkenbrücken
LITERATUR	<p>ANREGUNGEN DURCH:</p> <p>Die Grundidee für den Versuch mit den Armen ist dem Artikel von Beate Straub und Hanna Bickel entnommen und von den Verfasserinnen modifiziert und weiterentwickelt worden.</p> <p>Die Idee das System von Stütze und Träger mit Holzbausteinen in spielerischer Form umzusetzen, sind hauptsächlich von Johann Eckel und Herbert Halamiczek Klaus Lindemann, Carl Schietzel, Udo Schoeler sowie Heinz Ullrich und Dieter Klante angeregt worden.</p> <p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eckel, Johann / Halamiczek, Herbert: Werkerziehung Grundstufe 1. Bauen - Wohnen, Technik, Produktgestaltung. Wien: Österreichischer Bundesverlag 1981. S. 40–46. • Kälberer, Günther / Hüttenmeister, Hilleke: Bauen Konstruieren Montieren. Leipzig: Klett 2002. S. 15-17. • Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Willems, Claus-Christian: Grundlagen der Tragwerklehre 2. 4., vollst. überarb. Aufl. Köln: Müller 1997. S.229-231. • Lexikon Sachunterricht. Hg. v. Astrid Kaiser. 3., unveränd. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. • Lindemann, Klaus: Bauklötze im Technikunterricht der ersten Schuljahre. In: Lernbereich Technik. Hg. v. Carl Schietzel. Braunschweig: Westermann 1976. S. 46-48. • Nestle, Hans: Bautechnik. Fachkunde Bau. 3. Aufl. Wuppertal: Europa-Lehrmittel 1983. S. 129-132. • Schietzel, Carl / Raabe, Hermann / Vollmers, Christian: Erste Schritte in die Welt der Technik. Werk- und Lernbeispiele für Vier- bis Siebenjährige. Ravensburg: Maier 1976. S. 30/31. • Schoeler, Udo: Bauen – Aspekte eines lernfeldübergreifenden Themas. In: Sachunterricht in der Grundschule. Hg. v. Richard Meier / Henning Unglaube / Gabriele Faust-Siehl. Frankfurt a. M.: Grundschulverband, Arbeitskreis Grundschule 1997. S. 254-256. • Straub, Beate / Bickel, Hanna: Die Kunst des Brückenbaus. Eine technikgeschichtliche Perspektive. In: Grundschule 7-8 (2004). S. 61-64. • Ullrich, Heinz / Klante, Dieter: Technik im Unterricht der Grundschule. Didaktische Grundlegung, Unterrichtsmodelle, Unterrichtsmaterialien. 6., unveränd. Aufl. Villingen-Schwenningen: Neckar 1994. S. 104/105. • VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. Hg. v. Hans-Gustav Olshausen. Düsseldorf: VDI 1991. • Brockhaus CD-ROM. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2003. Brücken: Die verschiedenen Konstruktionsformen. • http://de.wikipedia.org/wiki/Br%C3%BCcke_%28Bauwerk%29 (8.11.05).
ABBILDUNGEN	<ul style="list-style-type: none"> • Abb. 1: http://www.biw.fh-deggenendorf.de/alumni/2001/schmid/baulexikon/meilensteine/bilder/balkenbrueckeqala-panji.jpg (9.11.05). • Abb. 2: http://www.tonyhowell.co.uk/tarrstepsEX4.jpg (9.11.05). • Abb. 3: http://www.globalgeografia.com/album/italia/veneto/bassano1.jpg (9.11.05). • Abb. 4: http://www.brueckenweb.de/Datenbank/bruecken/einzelfoto.php?bild=http://www.brueckenweb.de/Datenbank/Bilder/BAS278_B30087.jpg&bas=278 (9.11.05). • Abb. 5: http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Plattenbalken.png (9.11.05). • Abb. 6: http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Hohlkasten.png (9.11.05). • Abb. 7: http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Taktschieben.png (9.11.05). • Abb. 8: http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Itztalbruecke_2005-07-24.jpg (9.11.05). • Abb. 9: http://members.a1.net/wabweb/images/eub_plan.gif (9.11.05). • Abb. 10: http://members.yline.com/~puch.haflinger/pics/Dcp02623.jpg (9.11.05). • Abb. 11: http://www.stoeldt.de/stoffel/index.html (9.11.05).

4.2.1 Fachwerkbalkenbrücken

BASISVERSUCH	3.2 Stabilität durch Aussteifung
SCHWIERIGKEITSGRAD	mittlerer Anspruch
ZEIT	6 bis 8 Stunden
MATERIALIEN UND WERKZEUGE	<p>pro Modell</p> <ul style="list-style-type: none"> • DIN-A4-Papier (80 g/m²), Menge: ca. 15-20 Bögen • Holzrundstäbe, Durchmesser: 10 mm, 8 mm; Länge: 35 - 40 cm • Fester Papier- oder Kartonstreifen, Breite: ca. 10-15 cm, Länge ca. 50 cm • Klebestift • Geodreieck • Schere • Spielzeugautos <p>für die gesamte Klasse</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 Heißklebepistolen und Ersatzpatronen

SACHANALYSE

Die Fachwerkbalkenbrücke basiert auf dem statischen System einer Balkenbrücke und ist als Fachwerk ausgeführt. Früher wurden Fachwerkträger häufig aus Holz gefertigt. Besonders verbreitet war diese Bauweise in den USA des frühen 19. Jahrhunderts als das Eisenbahnnetz Richtung Westen in den waldreichen Regionen ausgebaut wurde.



Abb.1: Fachwerkbrücke im südamerikan. Urwald

Heutige Fachwerkbrücken sind meist aus Stahl gefertigt, da dieser Baustoff mehr Belastungen ertragen kann als Holz. Fachwerkträger haben gegenüber massiven Trägern, die aus einem Vollquerschnitt hergestellt sind, den Vorteil, dass sie bei gleicher Stabilität mit wesentlich weniger Material hergestellt werden können. Dadurch werden das Gewicht und die Materialkosten reduziert.¹



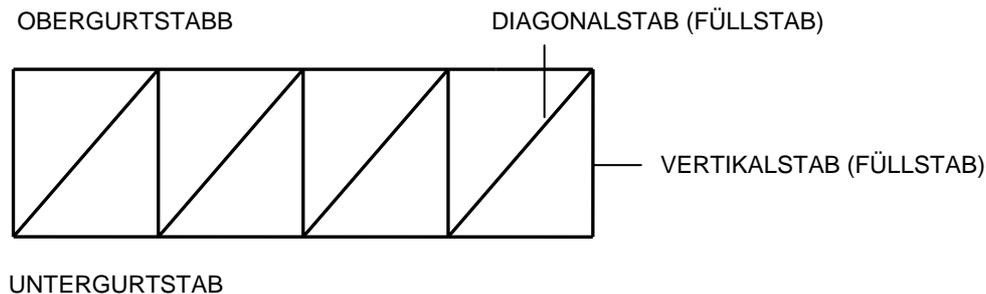
Abb. 2: Chemnitztalbahn im Schweizertal



Abb.3: Fachwerkwerbalkenbrücke für Fußgänger

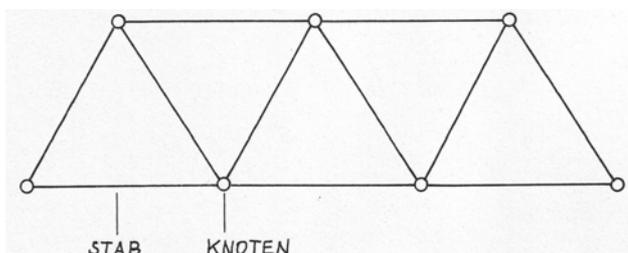
¹ vgl. Brockhaus CD-ROM. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2003. Brücken: Die verschiedenen Konstruktionsformen. Balkenbrücken.

Unter einem Fachwerk versteht man ein aufgelöstes Tragwerk, das aus Stäben zusammengesetzt ist. Ein Fachwerkträger besteht aus einem Ober- und einem Untergurt sowie den Füllstäben. Die horizontalen oberen und unteren Stäbe werden als Ober- bzw. Untergurtstäbe bezeichnet. Die Stäbe dazwischen heißen Füllstäbe und werden in Vertikalstäbe und Diagonalstäbe unterteilt. Sie haben die Funktion mit den Ober- und Untergurtstäben ein System von Dreiecken zu bilden, durch das erst ein wirksames Fachwerk entsteht.



Das einfachste Fachwerk besteht aus nur einem Dreieck (vgl. 3.2) und beruht auf dem Grundsatz, dass sich ein Dreieck nicht verwindet oder verformt. Ein Fachwerkträger ist aus mehreren Dreiecken zusammengesetzt, wobei immer zwei Dreiecke eine gemeinsame Seite haben. Die Verbindungsstellen der Stäbe nennt man Knoten, in denen die Stäbe wie in einem Gelenk verbunden sind.²

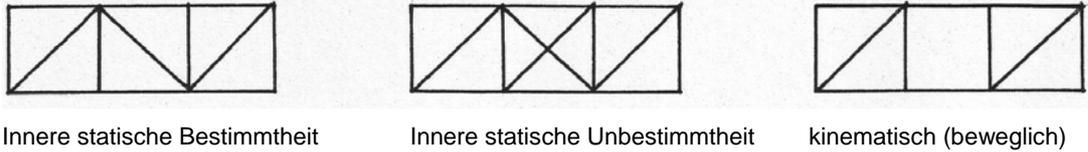
Gelenkig ausgebildete Knoten können unterschiedlich ausgeführt werden: Die Verbindungen der Stäbe können in den Knoten verschweißt sein und gelten trotzdem als Gelenk, obwohl sie streng genommen nicht gelenkig sind. Wenn die Verbindungsstellen der Stäbe mit Bolzen verbunden sind, spricht man von einem idealen Fachwerk, da die Knoten tatsächlich gelenkig ausgeführt sind.



Man spricht von einer inneren statischen Bestimmtheit (Stabilität) eines Systems, wenn alle Stäbe eine statische Funktion übernehmen und kein Stab entfernt werden darf. Die Anzahl der Stäbe (s) stehen dann in einem bestimmten Verhältnis zu der Anzahl der Knoten (k): $s = 2 * k - 3$. Wenn mehr Stäbe vorhanden sind, als statisch erforderlich

² vgl. Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 7., vollst. überarb. Aufl. Köln: Müller 1996. S. 241-242.

wäre, so liegt eine innere statische Unbestimmtheit des Systems vor. Ist andererseits die Zahl der Stäbe kleiner als die obige Formel vorgibt, so wird das Fachwerk als kinematisch (beweglich) bezeichnet, und ist daher nicht stabil, weil an einer Stelle kein Dreieck vorhanden ist.³



Die Stäbe eines Fachwerks können Druck und Zugkräfte aufnehmen. Beim Fachwerkträger werden die Stäbe entsprechend den auftretenden Kräften angeordnet und der Werkstoff damit optimal genutzt. Ein massiver Träger, der über seine ganze Höhe und Breite einen vollen Querschnitt aufweist, wird für eine lange Spannweite eine große Höhe benötigen, aber nur in seinen oberen, unteren und seitlichen Randbereichen voll auf Druck und Zug ausgenutzt.⁴

Um die gedrückten Obergurte zu stabilisieren und gegen seitliches Ausweichen zu sichern, müssen die Fachwerkträger auf beiden Längsseiten einer Brücke zusätzlich gegen seitliches Ausweichen gesichert werden. Das wird erreicht, indem jeweils die Ober- und Untergurtstäbe durch horizontale Stäbe miteinander verbunden sind. Fachwerkträger können in unterschiedlichen Konstruktionsformen ausgeführt sein, wie etwa als Parallelträger, als Trapezträger oder als Parabelträger.⁵

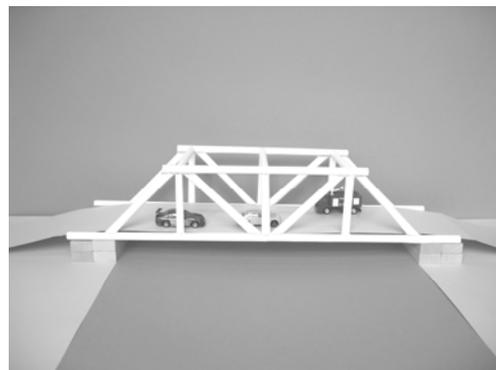
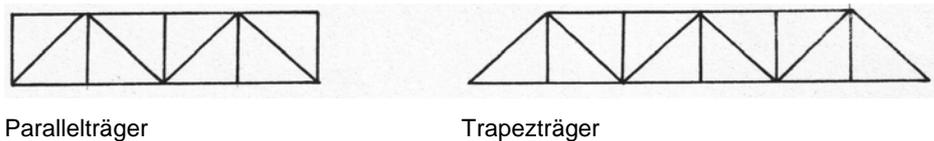


Abb. 4: Überbausanierung zweier Eisenbahnbrücken in Baden-Württemberg aus Parabelträgern

Modell einer Fachwerkbalkenbrücke aus Trapezträgern (Stäbe aus Papierröhren)

³ vgl. ebd. S. 242-243.

⁴ vgl. ebd. S. 239.

⁵ vgl. Krätzig, W.B. / Wittek, U.: Tragwerke 1.Theorie und Berechnungsmethoden statisch bestimmter Stabtragwerke. 3. Aufl. Berlin u.a.: Springer 1995. S. 161.

SACHANALYSE – Modell aus Papierröhren

Eine Fachwerkbalkenbrücke ist als Fachwerk ausgeführt und wird statisch gesehen den Balkenbrücken zugeordnet. Das Fachwerk besteht aus einzelnen Stäben, die gelenkig miteinander verbunden sind. Früher wurden die Stäbe aus Holz gefertigt, später hauptsächlich aus Stahl.

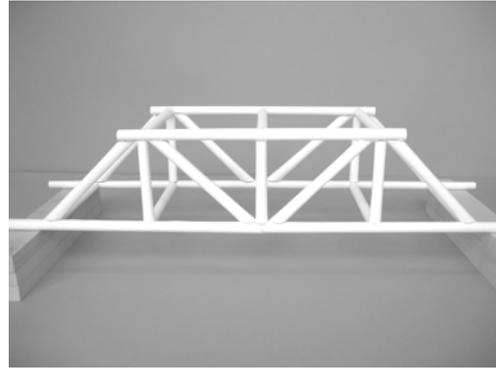
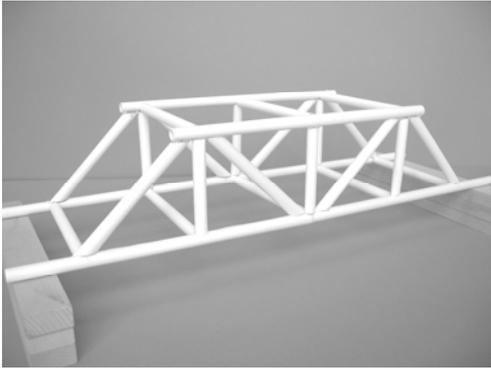
Die Stäbe können aus unterschiedlichen Profilen wie I-, L-, U- und T-Profile sowie als Rohre mit kreisförmigen, quadratischen und rechteckigen Querschnitten gefertigt sein.⁶ Nicht alle Profile können auf einfache Weise mit Papier modellhaft nachempfunden werden. Am ehesten eignen sich L- oder U-Profile sowie Rohre mit kreisförmigen, quadratischen und rechteckigen Querschnitten. Für die Stahlrohre einer Fachwerkbalkenbrücke kann beispielsweise DIN-A4-Papier (80 g/m^2) verwendet werden, das in Längsrichtung zu Röhren gerollt wird.

Um eine gleichmäßige Stärke der Röhren zu erreichen und um den Herstellungsprozess zu erleichtern, wird das Papier eng um einen Holzrundstab gerollt. Die letzte Windung des Blattes wird mit einem Klebestift festgeklebt, eine Zeit lang angedrückt und dann der Holzstab entfernt. Als Durchmesser eignen sich 10 mm Holzstäbe, die Stäbe sollten mindestens 35 cm, besser 40 cm lang sein, damit sich ein DIN-A4-Papier problemlos in Längsrichtung rollen lässt und man den Stab gut aus der Papierröhre herausziehen kann. Die so entstandenen Papierröhren können durch Abschneiden mit der Schere auf ihre gewünschte Länge gebracht werden.

Die Verbindungsstellen der Papierröhren werden mit der Heißklebepistole ausgeführt. Man hat es dadurch zwar nicht mit einem idealen Fachwerk zu tun, aber es wird trotzdem der Anspruch der gelenkig verbundenen Stäbe erfüllt (s.o.). Zwei Papierröhren können in Längsrichtung verbunden werden, indem ein DIN-A4-Papier in Querrichtung um den 8 mm Holzstab gewickelt wird und als Verbindungsstück für zwei aneinander stoßende Papierröhren dient. Die dünne Papierröhre wird je zur Hälfte in die beiden Papierröhren gesteckt und festgeklebt. Senkrecht angeordnete Papierröhren, die die Funktion von Vertikalstäben übernehmen, können mit den waagerechten Ober- und Untergurtstäben auf Stoß verbunden werden, ebenso die waagerechten Stäbe, die die beiden Ober- und Untergurtstäbe miteinander verbinden.

Die schrägen Diagonalstäbe werden an den Enden im 45° -Winkel abgeschnitten, der mit Hilfe eines Geodreiecks angezeichnet werden kann.

⁶ vgl. Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre Teil 1. 31., neubearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. S. 274.



Der Einfachheit halber fertigt man die waagerechten Ober- und Untergurtstäbe aus einem durchgehenden Papierrohr, obgleich sie, um den statischen Anforderungen eines Fachwerks zu genügen, aus einzelnen Stäben bestehen müssten.

Der Bau einer Fachwerkbalkenbrücke aus Papierröhren lässt sich am besten nach vorher entworfenen Skizzen realisieren. Als Einstieg in das Thema eignet sich der Basisversuch 3.2 "Stabilität durch Aussteifung".

Alternativen:

Um das Prinzip einer Fachwerkbalkenbrücke zu verdeutlichen, können als Stäbe alternativ zu Papierröhren, Papierwinkelschienen verwendet werden, die die Form von L-Profilen haben und in den Knotenpunkten geklebt sind. Näheres zu der Erstellung der Profile und den Verbindungen finden sich im Kapitel "5.4 Murmeltürme aus Papier". Geeignet sind auch verschieden lange Flachstäbe aus Metall⁷, die in den Gelenken geschraubt werden können und damit den Anforderungen eines idealen Fachwerks entsprechen würden. Eine weitere etwas aufwändigere Variante wäre der Bau einer Fachwerkbalkenbrücke aus Holzvierkantstäben, die auf die gewünschte Länge gesägt und an den Verbindungsstellen geleimt werden können. Hinweise zu den Querschnittsabmessungen der Holzvierkantleisten und den Verbindungen sind dem Kapitel "6.3 Fachwerkhäuser" zu entnehmen.

LERNVORAUSSETZUNGEN

- Die SchülerInnen verfügen über inhaltsbezogene mathematische Kompetenzen wie das Erkennen, Benennen und Darstellen von geometrischen Figuren wie Dreieck und Viereck, sowie zeichnerische Erfahrungen mit Parallelität, dem 45-Winkel und können Längen messen.
- Für den Modellbau ist es hilfreich, wenn die SchülerInnen über eine gute motorische und handwerkliche Geschicklichkeit verfügen würden.

⁷ Diese sind in Märklin oder construction C02 Baukästen zu finden.

LERNZIELE

Die SchülerInnen sollen

- die Unterschiede einer Fachwerkbalkenbrücke gegenüber einer Balkenbrücke erarbeiten:
 - die Begriffe "Balkenbrücke" und "Fachwerkbalkenbrücke" kennen lernen.
 - beschreiben, dass ein Balken massiv ist, viel Material benötigt und schwerer als ein Fachwerkträger ist.
 - beschreiben, dass ein Fachwerkträger aus einzelnen Teilen zusammengesetzt ist, weniger Material verbraucht und leichter als ein Balken ist.
- den konstruktiven Aufbau und die statischen Prinzipien einer Fachwerkbalkenbrücke kennen lernen und erklären können:
 - Fachbegriffe wie "Träger", "Balken", "Fachwerkträger", "Tragwerk", "Stäbe" und "Knoten" anhand von Modellen kennen lernen.
 - aufgrund ihres erworbenen Verständnisses über Fachwerkträger, einen Fachwerkverband skizzieren, um damit später einen Konstruktionsaufbau zu realisieren.
 - Basisversuche zur Stabilität durch Aussteifung durchführen (vgl. 3.2).
 - die gewonnenen Kenntnisse über die statischen Grundprinzipien "stabil" und "beweglich" aus den Basisversuchen auf ihre gezeichneten Fachwerkträger übertragen.
- ein Modell einer Fachwerkbalkenbrücke auf der Grundlage der überarbeiteten Zeichnungen aus Papierröhren bauen:
 - Papierröhren aus DIN-A4-Papier herstellen und die Stabilität einer Papierröhre gegenüber einem ungerollten Papier erfahren.

DIDAKTISCH-METHODISCHE ANREGUNGEN

BEZUG ZUR LEBENSWELT DER KINDER

Fachwerkbalkenbrücken sind als Variante der wesentlich älteren Balkenbrücken zu betrachten. Die ersten Fachwerkbalkenbrücken waren aus Holz gefertigt. Da von diesem Typus nicht mehr viele vorzufinden sind, sind sie für Kinder heutzutage nicht so häufig zugänglich. Fachwerkbalkenbrücken, deren Tragwerk aus Stahl hergestellt ist, kennen SchülerInnen aus eigener Erfahrung z. B. in Form kleinerer Fußgänger- oder Fahrradbrücken, die sie selber schon benutzt haben. Große Fachwerkbalkenbrücken des gleichen Werkstoffs, die häufig für den Schienenverkehr genutzt werden, sind ihnen dagegen vermutlich eher aus der Distanz bekannt, vom Auto aus oder durch Fotos und Bilder aus Printmedien oder dem Fernsehen.

Aufgrund der Tatsache, dass die Fahrbahn meist im unteren Bereich der Träger der Fachwerkbalkenbrücke angebracht ist und nicht wie bei der Balkenbrücke auf dem Träger aufliegt, erschließt sich die tragende Aufgabe des Fachwerkträgers nicht auf den ersten Blick. Interessant für SchülerInnen könnte bei der Behandlung des Themas Fachwerkbalkenbrücken aus diesem Grund die Entdeckung sein, dass das Fachwerk nicht ein "überdimensioniertes" Geländer darstellt, sondern durch seinen konstruktiven Aufbau eine statische Funktion als Träger übernimmt.

ABSICHTEN DER UNTERRICHTSEINHEIT

Die SchülerInnen gewinnen Einblicke in den konstruktiven Aufbau und die statischen Prinzipien einer Fachwerkbalkenbrücke, indem sie sich praktisch handelnd damit auseinandersetzen. Der Bau einer Fachwerkbalkenbrücke wird mittels der fachspezifischen Methode einer Konstruktionsaufgabe (vgl. 2.1) realisiert, bei der in dieser Unterrichtseinheit nicht der übliche Einstieg durch eine technische Problemstellung⁸ gewählt wird, sondern zwei verschiedene Konstruktionsformen gegenübergestellt werden und deren Unterschiede herausgearbeitet werden. Bevor die SchülerInnen ihren zeichnerischen Entwurf eines Fachwerkträgers in einer Bauphase umsetzen, unterstützen sie Basisversuche zur "Stabilität durch Aussteifung" dabei, die statischen Gesetzmäßigkeiten eines Fachwerkverbands zu verstehen.

UNTERRICHTSEINSTIEG

Die Fachwerkbalkenbrücke stellt eine Variante der Balkenbrücke dar und basiert auf deren statischen System. Aus diesem Grund ist es als Einstieg in das Thema "Fachwerkbalkenbrücken" sinnvoll, Balkenbrücken und Fachwerkbalkenbrücken gegenüberzustellen, um die Unterschiede und einige Vorteile der Fachwerkbalkenbrücke deutlich zu machen. Zu Beginn einer Unterrichtseinheit könnten als Impuls zwei Bilder gezeigt werden, auf denen eine Balkenbrücke und eine Fachwerkbalkenbrücke zu sehen sind. Die Bilder sind auf je einem Plakat aufgeklebt und werden im Laufe der Einheit durch neue Sachverhalte ergänzt und im Klassenraum aufgehängt. Die Plakate dienen dazu, die erarbeiteten Inhalte während der gesamten Einheit für die SchülerInnen in gebündelter Form zugänglich zu machen, damit sie sich diese in Erinnerung rufen und einprägen können.

⁸ vgl. Schmayl, Winfried/Wilkening, Fritz: Technikunterricht. 2. überarb. und erw. Aufl. Bad Heilbronn: Klinkhardt 1995. S. 150/151.

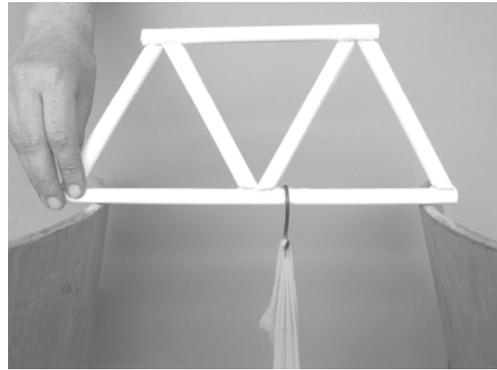
Die SchülerInnen beschreiben in einem Unterrichtsgespräch, was sie auf den Bildern sehen und können ihr Vorwissen bezüglich Brücken äußern, indem sie von Brücken erzählen, die sie kennen. Die Begriffe "Fachwerkbalkenbrücke" und "Balkenbrücke" werden von der Lehrperson aufgegriffen bzw. von ihr eingeführt und von den Kindern auf die Plakate als Überschrift geschrieben. Wenn die SchülerInnen Materialien zu Brücken wie Bücher, Fotos, Internetseiten von zu Hause mitbringen, können diese in das Thema integriert werden, indem die Materialien in Fachwerkbalkenbrücken und Balkenbrücken klassifiziert werden und den Plakaten zugeordnet werden. Andere Brückentypen, wie Bogenbrücke und Hängebrücke, würden in diesem Zusammenhang benannt, aber nicht näher behandelt werden.

VERGLEICH BALKEN - FACHWERKTRÄGER

Im Anschluss daran können an Modellen eines Fachwerkträgers aus Papierröhren und eines Balkens aus Styropor als Repräsentanten von echten Trägern deren tragende Funktion erprobt werden. Die Papierröhren repräsentieren Rohre mit kreisförmigem Querschnitt eines Fachwerkträgers und Styropor symbolisiert Holz oder Stahlbeton. Der Zusammenhang zwischen den echten und den Modell-Werkstoffen muss zu diesem Zeitpunkt nicht angesprochen werden, da es primär um den Aufbau und die Form der Träger geht. Die eingesetzten Medien in Form der beiden Modelle reduzieren die Balkenbrücke und die Fachwerkbalkenbrücke auf das Strukturmerkmal des Tragwerks und dienen dazu, den Vergleich der tragenden Teile, des massiven Trägers und des aufgelösten Tragwerks (Fachwerkträger), zu erleichtern.⁹

Beide Trägermodelle werden belastet, wobei es nicht darum geht die Modelle hinsichtlich ihrer Belastungsgrenze zu vergleichen, sondern zu zeigen, dass beide Balken unterschiedliche Tragwerke einer Balkenbrücke sind. Bei den Versuchen sollten die Modellbalken nicht zerstört werden. Die Versuche werden nacheinander durchgeführt: Dazu können die Modelle in der Mitte eines Sitzkreises für alle SchülerInnen sichtbar den Abstand zwischen zwei Stühlen überbrücken. Ein Kind kann den Styroporbalken vorsichtig von oben mit Taschenbüchern belasten. Beim Fachwerkträger bietet es sich an, ihn durch Anhängen von Gewichten zu belasten. Dazu kann ein S-Haken verwendet werden, an den z. B. ein Kniestrumpf gehängt wird, der mit Bauklötzen oder anderen kleineren Gegenständen gefüllt wird. Zu Beginn des Versuchs sollte der Fachwerkträger von zwei Kindern an beiden Seiten gehalten werden, damit er nicht umkippt, bei Belastung stabilisiert er sich durch die Kräfte, die in den Stäben wirken.

⁹ vgl. Lexikon Sachunterricht. Hg. v. Astrid Kaiser. 3., unveränd. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 138.



Nachdem für die Kinder zu beobachten war, dass beide Träger Belastung ertragen können, sollen sie sich eine geeignete Bezeichnung für die Modelle überlegen, bei der die Lehrkraft ihnen bei Bedarf Hilfestellungen geben sollte.

Wenn die Begriffe "Träger" bzw. "Balken", "Fachwerkträger" oder als übergeordnete Bezeichnung "Tragwerk" gefunden worden sind, werden die beiden Modelle im Sitzkreis herumgegeben und die Kinder bekommen die Aufgabe, die Unterschiede der beiden Träger zu beschreiben.

FACHWERKTRÄGER

Danach wird der Fokus auf den Fachwerkträger gelenkt und die Bezeichnungen "Stäbe" für die einzelnen Teile des Trägers und "Knoten" für die Verbindungsstellen eingeführt. Eine didaktische Reduktion der in der Sachanalyse beschriebenen Bezeichnungen Obergurtstäbe, Untergurtstäbe und Füllstäbe auf den Oberbegriff Stäbe, scheint an dieser Stelle sinnvoll, um die Kinder nicht mit zu vielen Fachbegriffen zu überfrachten. Als Abschluss des Unterrichtsgesprächs werden die Unterschiede der beiden Träger und die neu gelernten Begriffe wiederholt und auf den Plakaten festgehalten sowie die erarbeiteten Sachverhalten auf Balken- und Fachwerkbalkenbrücken in der Realität übertragen.

ZEICHENPHASE - VORENTWURF

Es könnte eine Phase in Einzelarbeit¹⁰ folgen, in der die SchülerInnen einen Fachwerkträger zeichnen. Das Modell sollte den Kindern dabei nicht zur Verfügung stehen.

¹⁰ Da aus den Skizzen später die Konstruktionszeichnungen entwickelt werden, die als Grundlage für die zu bauenden Modelle dienen, ist die Einzelarbeit eine geeignete Form, damit am Ende der Unterrichtseinheit jedes Kind ein eigenes Modell mit nach Hause nehmen kann.

Es geht bei diesem skizzenhaften Vorentwurf darum, das bisher Erfahrene mittels einer Zeichnung zu strukturieren und damit eine Diskussionsgrundlage für die statischen Gesetzmäßigkeiten zur Verfügung zu haben, die in den anschließenden Basisversuchen gewonnen werden. Des Weiteren werden die Zeichnungen später zu einer maßstäblichen Konstruktionszeichnung weiterentwickelt. Nach Fertigstellung der Vorentwürfe werden diese mit einer Überschrift (Fachwerkträger) versehen und die einzelnen Teile und Verbindungsstellen mit den zuvor kennen gelernten Begriffen "Stäbe" und "Knoten" beschriftet.

Die unterschiedlichen Zeichnungen geben der Lehrkraft Aufschluss darüber, inwieweit die SchülerInnen in der Lage sind, die durch ein Modell und Sprache vermittelten Kenntnisse zeichnerisch umzusetzen. In einem Austausch über die Zeichnungen sollte der Fokus auf den geometrischen Formen liegen, die durch die Anordnung der Stäbe entstanden sind, um eine Hinführung zu deren statischer Bedeutung anzubahnen. Hierfür ist es wichtig, dass die SchülerInnen über inhaltsbezogene mathematische Kompetenzen, wie das Erkennen und Benennen von geometrischen Figuren, verfügen. Die SchülerInnen stellen beim Vergleich der Zeichnungen vermutlich fest, dass einige ihrer MitschülerInnen einen Träger gezeichnet haben, der nur aus Dreiecken zusammengesetzt ist, bei anderen tauchen weitere geometrische Formen auf.

BASISVERSUCH 3.2 - STABILITÄT DURCH AUSSTEIFUNG

Um die Bedeutung von Dreiecksanordnungen für den Fachwerkträger zu begreifen, sollte auf der Grundlage der ausgewerteten Zeichnungen zum Nach- und Weiterdenken angeregt werden. Hierzu können die Basisversuche zum Phänomen der Stabilisierung durch Dreiecke behandelt werden, die in Kapitel 3.2 erläutert sind. Der genaue Verlauf der Druck- und Zugkräfte in einem Fachwerkträger ist sehr komplex und für Grundschulkinder schwierig nachzuvollziehen. Um die SchülerInnen nicht zu überfordern, beschränkt man sich daher darauf, mit ihnen das statische Prinzip des aussteifenden Dreiecks zu behandeln, das nach Ansicht der Verfasserinnen verständliche Aufschlüsse über die Anordnung der Stäbe in einem Fachwerkträger gibt.

ANWENDUNG DES BASISVERSUCHS 3.2

Die SchülerInnen haben das statische System der Stabilität durch Aussteifung mit Hilfe von Versuchen handelnd erfahren. Diese neu gewonnen Kenntnisse sollen auf den Fachwerkträger angewendet werden, indem die Zeichnungen der SchülerInnen nach

den Kriterien "stabil" und "beweglich" in zwei Gruppen geordnet werden. Während der Einordnung sollen die Kinder erklären und begründen, warum die Träger stabil oder beweglich sind. Aus jeder Gruppe wird ein Fachwerkträger ausgewählt und an die Tafel gezeichnet. Im gemeinsamen Gespräch wird überlegt an welchen Stellen der bewegliche Fachwerkträger durch Stäbe zu ergänzen ist, damit er stabil wird. Durch die Anwendung der statischen Erkenntnisse aus den Basisversuchen auf den Fachwerkträger, kann das Gelernte vertieft werden. Wenn die Lehrperson bemerkt, dass viele Kinder Schwierigkeiten haben den Transfer auf den Fachwerkträger nachzuvollziehen, sollte ein weiteres Beispiel an der Tafel zur Verdeutlichung herangezogen werden.

Für den Fall, dass alle Kinder Fachwerkträger gezeichnet haben, die aus Dreiecken bestehen, müsste von der Lehrperson ein entsprechender beweglicher Fachwerkträger eingebracht und gemeinsam verändert werden, um den Unterschied zwischen stabil und beweglich zu verdeutlichen. Eine Kopie von je einem Beispiel für einen stabilen und einen beweglichen Fachwerkträger kann auf dem Plakat der Fachwerkbalkenbrücke angebracht werden.

Im Anschluss daran überarbeiten die SchülerInnen, falls notwendig, ihre gezeichneten Skizzen. Diese Kinder könnten, um die Kooperation in der Klasse zu fördern, von SchülerInnen, die keine Änderungen einarbeiten müssen, unterstützt werden.

DIFFERENZIERUNG

Eine Möglichkeit der Differenzierung für einen besonders interessierten Teil von SchülerInnen wäre die Ergänzung der stabilen (statisch bestimmten) und beweglichen (kinematischen) Fachwerkträger um einen Träger, der zu viele Stäbe hat und dadurch zu stabil (statisch unbestimmt) ist. Dazu könnten die gezeichneten Fachwerkträger, die stabil sind, dahingehend überprüft werden, ob bei einem Träger überflüssige Stäbe vorhanden sind, auf die verzichtet werden kann.

ZEICHENPHASE - KONSTRUKTIONSZEICHNUNG

Im nächsten Arbeitsschritt sollen aus den in der Zeichenphase erstellten Zeichnungen Konstruktionszeichnungen entwickelt werden, die als Planungsgrundlage für die Modelle dienen. Falls einige Zeichnungen zu komplex sind, sollten diese reduziert werden, bevor sie für die Konstruktionszeichnungen verwendet werden. Hierbei sollte die Lehrkraft die SchülerInnen unterstützen.

Die Zeichnungen werden auf einem DIN-A4-Papier in Längsformat erstellt, wobei die Zeichenfläche maximal ausgenutzt werden sollte. Damit beim späteren Modellbau die Längen der Stäbe direkt aus den Zeichnungen abgemessen und auf die Papierröhren übertragen werden können, sollte die Zeichnung im Maßstab 1:1 gezeichnet werden. Der Durchmesser der gebauten Stäbe von 1 cm wird auf der Zeichnung durch zwei parallel gezeichnete Linien im Abstand von 1 cm dargestellt.

BEZUG ZUR GESAMTEN FACHWERKBALKENBRÜCKE

Aufbauend auf der erarbeiteten Unterscheidung zwischen einer Balkenbrücke und einer Fachwerkbalkenbrücke, den Versuchen zur Stabilität durch Aussteifung und dem Transfer dieses statischen Prinzips auf die Fachwerkträger, sollen die Kinder eine Fachwerkbalkenbrücke aus Papierröhren bauen. Als Grundlage verwenden sie ihre maßstäblichen Konstruktionszeichnungen der Fachwerkträger.



Fachwerkbalkenbrücke zur Verbindung zweier Gebäudeteile in Kassel (AVZ)

Bevor die SchülerInnen mit dem Bau beginnen, wird wieder der Bezug zur echten Fachwerkbalkenbrücke hergestellt und in einer kurzen Lehrerdemonstration z. B. mittels des Fotos auf dem Plakat darauf hingewiesen, dass eine Fachwerkbalkenbrücke aus zwei gleichen Fachwerkträgern auf jeder Längsseite der Brücke besteht, die im oberen und unteren Bereich miteinander durch Stäbe verbunden sind.

PROFILE

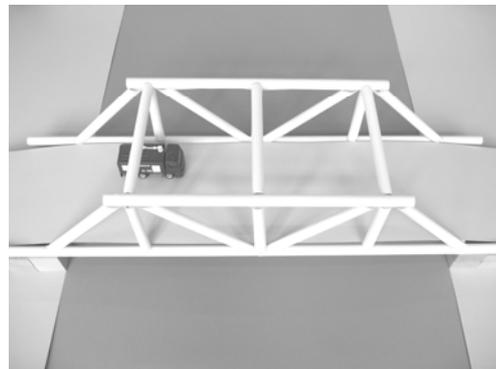
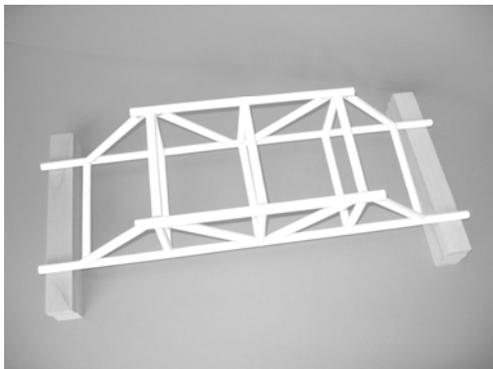
Des Weiteren wird die Aufmerksamkeit der SchülerInnen auf die Materialien gelenkt. Rohre mit kreisförmigem Querschnitt aus Stahl werden im Modell durch Papierröhren dargestellt. Bei Stahl spricht man von Profilen, bei Papier von Umformung. Die Papierröhren und die Stahlprofile tragen auch zur Aussteifung des Fachwerkträgers bei, wobei, wie in der Sachanalyse beschrieben, der größte Teil der Stabilität durch die Anordnung der Stäbe erreicht wird.

Das Herstellen einer Papierröhre wird beispielhaft an einem DIN-A4-Papier vorgeführt und von den SchülerInnen in Einzelarbeit selbst ausprobiert. Die gute Stabilität der Papierröhre gegenüber einem ungerollten DIN-A4-Papier kann durch einen einfachen

Belastungstest erfahren werden, indem beide hochkant auf den Tisch gestellt und von oben mit der Hand Druck ausgeübt wird. Im Anschluss an geäußerte Beobachtungen hierzu, kann ein Transfer zu anderen runden Hohlprofilen wie Fahrradrahmen, Verkehrsschild, Geländer, Stange im Kleiderschrank, Trinkhalm¹¹ oder Pflanzenhalm angeregt und durch die Ideen der SchülerInnen erweitert werden.

BAUPHASE

Der Bau der Fachwerkbalkenbrücke kann unterschiedlich organisiert werden: 1. Die SchülerInnen stellen zuerst alle Papierröhren für die Fachwerkträger her. Dabei müssen sie darauf achten, dass sie von jedem gezeichneten Stab zwei Papierröhren anfertigen, da sie zwei Träger benötigen. 2. Die SchülerInnen stellen zuerst nur die Papierröhren für einen Fachwerkträger her, kleben diesen zusammen und stellen danach die Papierröhren für den zweiten Träger her. Um ein ungestörtes Arbeiten an der Heißklebepistole zu ermöglichen, wäre es für den Ablauf sinnvoll, wenn eine Hälfte der Klasse die eine Variante durchführen würde und die andere Hälfte die andere. Aus Sicherheitsgründen sollte vereinbart werden, dass die SchülerInnen nur in Gegenwart der Lehrperson die Heißklebepistolen benutzen. Beim Zusammenkleben der Stäbe kann die jeweilige Zeichnung als Klebevorlage verwendet werden, auf der die Stäbe vor dem Zusammenkleben angeordnet werden.



Sind beide Träger fertig, müssen mehrere gleich lange Stäbe in der entsprechenden Länge für die Verbindung der beiden Träger erstellt werden. Die Breite der Brücke und damit der Verbindungsstäbe sollte so konzipiert sein, dass zwei Spielzeugautos nebeneinander fahren können. Um die Brücke befahren zu können, muss über die unteren Verbindungsstäbe der Brücke ein fester Papier- oder Kartonstreifen gelegt werden, der länger als die Brücke sein sollte.

¹¹ Bei diesem Beispiel ist allerdings zu beachten und darauf hinzuweisen, dass der Trinkhalm nicht aus Stabilitätsgründen, sondern aus funktionalen Gründen einen Hohlquerschnitt aufweist.

AUFGABEN DER LEHRPERSON - REFLEXION

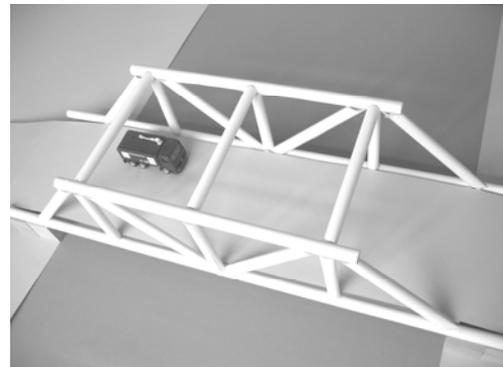
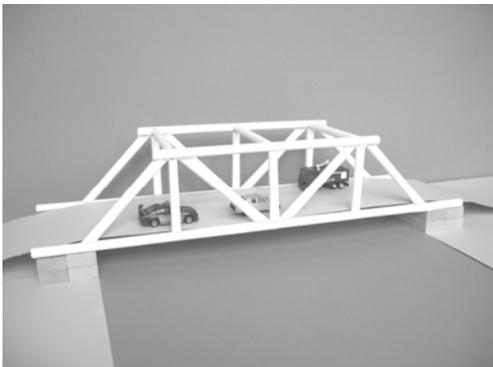
Die Bauphase kann die Lehrerin neben der Unterstützung der Kinder dazu nutzen, Beobachtungen über die SchülerInnen in schriftlicher Form festzuhalten, um diese in spätere Leistungsbeurteilungen einfließen lassen zu können.

Im Anschluss an die Bauphase sollten sich die SchülerInnen in einer gemeinsamen Reflexion über aufgetretene Probleme und deren Lösungsfindung während des Bauens austauschen. Diese Arbeitsrückschau unterstützt sie dabei ihr Handeln aus der Distanz zu betrachten und von den Erfahrungen der anderen Kinder zu partizipieren.¹²

Die wichtigsten statisch-konstruktiven Sachverhalte sollten noch einmal anhand der gebauten Modelle veranschaulicht und wiederholt werden. Des Weiteren kann ein Transfer zu Fachwerkbalkenbrücken in der Realität hergestellt werden.

SPIELPHASE

Am Ende dieser Unterrichtseinheit sollte eine Spielphase stehen, in der auf der Ebene der Stühle und der Tische der gesamte Klassenraum mit Hilfe der Fachwerkbalkenbrücken befahren werden kann, indem diese den Abstand zwischen auseinander stehenden Stühlen oder Tischen überbrücken.



TIPPS UND TRICKS	<ul style="list-style-type: none"> • Beim Herstellen der Papierröhren sollte das Papier mit der Hand einige Male in Längsrichtung vorgerollt werden und zu Beginn sehr eng um den Stab gewickelt werden. • Ein Pritt-Stift eignet sich am besten zum Kleben der Papierröhren. • Das Einfügen der oberen und unteren Verbindungsstäbe sollte in Partnerarbeit ausgeführt werden, damit ein Kind die beiden Träger halten kann und das andere die Stäbe einkleben kann.
MEDIEN	<ul style="list-style-type: none"> • Fotos einer Balken- und Fachwerkbalkenbrücke • 2 Plakate mit Fotos • Modell eines Trägers aus Styropor <ul style="list-style-type: none"> • Styroporquader, Länge: 30 cm, Höhe: 12 cm, Breite: 5 cm • Fachwerkträger aus Papierröhren (Länge: 30 cm; Höhe: 12 cm; Breite: 1 cm)

¹² vgl. Lexikon Sachunterricht. Hg. v. Astrid Kaiser. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 169/170.

	<ul style="list-style-type: none"> • DIN-A4-Papier (80 g/m²), Menge: ca. 7 – 9 Bögen • Heißklebepistole <p>⇒ Beim Bau des Fachwerkträgers kann sich beim Erstellen der Papierröhren und deren Verbindungen an der "Sachanalyse - Modell aus Papierröhren" orientiert werden.</p>
LITERATUR	<p>ANREGUNGEN DURCH:</p> <p>Die Anregung, die Stäbe einer Fachwerkbalkenbrücke aus Papierröhren herzustellen, ist aus den beiden Artikeln von Holger Probst entnommen, ebenso die Idee, die Verbindungen der Papierröhren mit Heißkleber auszuführen. Nach Überprüfung der in diesen Artikeln vorgeschlagenen Versuchen zu Druck- und Zugkräften sind die Verfasserinnen der Meinung, dass diese sich auf Grund statischer Ungenauigkeiten nicht eignen.</p> <p>Alternative Materialien wie Metallflachstäbe sowie Winkelschienen für die Stäbe zu verwenden, sind durch die Bücher von Charlotte Chudoba sowie Johann Eckel und Herbert Halamiczek angeregt worden.</p> <p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Chudoba, Charlotte / Kleszak, Brigitte / Meier, Bernd / Mette, Dieter / Zeißler, Fritz-Peter: Wir bauen Modelle. Berlin: Volk und Wissen 1993. • Eckel, Johann / Halamiczek, Herbert: Werkerziehung Grundstufe 2. Wien: Österreichischer Bundesverlag 1983. S. 10–22. • Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre Teil 1. 31., neubearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. S. 274-276. • Krätzig, W. B. / Wittek, U.: Tragwerke 1.Theorie und Berechnungsmethoden statisch bestimmter Stabtragwerke. 3. Aufl. Berlin u.a.: Springer 1995. • Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 7.,vollst. überarb. Aufl. Köln: Müller 1996. S. 239-243. • Lexikon Sachunterricht. Hg. v. Astrid Kaiser. 3., unveränd. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. • Probst, Holger: Konstruieren und Gestalten mit Papier aus Röhren. Ein Unterrichtsbeispiel zur Verbindung von Ästhetik und Funktionalität. In: Schulmagazin 5 bis 10 1 (2002). S. 45-48. • Probst, Holger: Was hält meine Brücke aus? Konstruieren und Problemlösen mit Papierbrücken. In: Unterricht – ARBEIT + TECHNIK 26 (2005). S. 5–8. • Schmayl, Winfried / Wilkening, Fritz: Technikunterricht. 2. überarb. und erw. Aufl. Bad Heilbronn: Klinkhardt 1995. S. 145-166. • Brockhaus CD-ROM. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2003. Brücken: Die verschiedenen Konstruktionsformen.
ABBILDUNGEN	<ul style="list-style-type: none"> • Abb 1: http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/balken/bilder/balken_b1.JPG (9.11.05). • Abb. 2: http://www.chemnitztalbahn.de/strecke/imgsolotrackm/kastbr.jpg (9.11.05). • Abb. 3: http://www.sz-aue.de/srs/comenius/projekt2003/zu207%20Projekt%20Bruecken%20verbinden-Dateien/bruecken8.jpg (9.11.05). • Abb. 4: http://www.skp-ing.de/umbsan/015050.htm (9.11.05).

4.3 Bogenbrücken

Der Bogen ist eine Tragkonstruktion, die beispielsweise zur Überspannung von Öffnungen geeignet ist – Bogenbrücken eignen sich dementsprechend zur Überbrückung von natürlichen und künstlichen Hindernissen, z. B. von Tälern oder Gewässern und von Verkehrswegen.

Im Gegensatz zu Balkenbrücken¹ gibt es bei Bogenbrücken verhältnismäßig wenige Vorbilder in der Natur. Nur in manchen felsigen Gebieten lassen sich natürliche Bogenformen finden.

Es ist nicht auszuschließen, dass Menschen sich von diesen natürlichen Formen inspirieren ließen und die Bogenform für ihre Bauwerke übernahmen. Allerdings ist es wahrscheinlicher, dass der Bau von Bogenbrücken erst dann begann, als die Menschen über ein gewisses statisches Grundverständnis verfügten.²

„Die ersten gewölbten B. [Brücken] aus Stein wurden im Bereich der oriental. Hochkulturen errichtet [...]“³. Diese waren Kragsteinbogenbrücken⁴ und gelten als die älteste steinerne Brückenform⁵ und als Vorläufer der Keilsteinbogenbrücken⁶, die vermutlich von den Römern entwickelt wurden. „Die Römer erreichten in der Kunst des Baus halbkreisförmig gewölbter B. [Brücken] einen hohen Leistungsstand. Im 6. Jh. v. Chr. entstand als erste röm. Stein-B. [Brücke] der *Pons Salaris* über den Anio in Teverone.“⁷



Abb. 1:
Landscape Arch im *Arches National Park*, Utah USA

Er ist die größte Naturbrücke der Welt. Seine Spannweite beträgt ca. 90 m und seine lichte Höhe ca. 75 m.

Der Vorteil von Bogenbrücken besteht darin, dass sich damit größere Spannweiten überbrücken lassen als mit einfachen Balkenbrücken. Denn bei bestimmten geographischen Gegebenheiten, wie z. B. tiefen Schluchten oder breiteren Gewässern, kann der Bau von Brückenpfeilern technisch äußerst schwierig und entsprechend kostspielig sein.

¹ vgl. 4.2 Balkenbrücken

² vgl. http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/bogen/bogen.html (28.10.05).

³ Brockhaus – Die Enzyklopädie: in 24 Bänden. Band 4. Bron-Crn. 20., überarb. u. aktualisierte Aufl. Leipzig / Mannheim: Brockhaus 1996. S. 30.

⁴ vgl. 4.3.1 Kragsteinbogenbrücken

⁵ vgl. dtv-Brockhaus-Lexikon: in 20 Bänden. Band 3. Bor-Cub. München: dtv 1988. S. 80.

⁶ vgl. 4.3.2 Keilsteinbogenbrücken

⁷ Brockhaus – Die Enzyklopädie. S. 30.

Bevor der Bogen als tragendes Element bei Brücken eingesetzt wurde, verwendete man ihn als Überbrückung von Fenster- und Türöffnungen.⁸

In den anschließenden Kapiteln werden zwei Typen von steinernen Bogenbrücken näher erläutert: „4.3.1 Kragsteinbogenbrücken“ und „4.3.2 Keilsteinbogenbrücken“. Beiden Brückenformen ist gemeinsam, dass sie Mauerwerkskonstruktionen in Massivbauweise sind, allerdings unterscheiden sie sich in formaler, statischer und konstruktiver Hinsicht.

LITERATUR	<ul style="list-style-type: none">• Brockhaus - Die Enzyklopädie: in 24 Bänden. Band 4. Bron-Crn. 20., überarb. u. aktualisierte Aufl. Leipzig / Mannheim: Brockhaus 1996.• dtv-Brockhaus-Lexikon: in 20 Bänden. Band 3. Bor-Cub. München: dtv 1988.• http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/bogen/bogen.html (28.10.05).
ABBILDUNGEN	<ul style="list-style-type: none">▪ Abb. 1: http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/bogen/bilder/bogen1.JPG (07.11.05).

⁸ vgl. http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/bogen/bogen.html (28.10.05).

4.3.1 Kragsteinbogenbrücken

BASISVERSUCH	3.4 Standsicherheit durch Gleichgewicht
SCHWIERIGKEITSGRAD	geringer bis mittlerer Anspruch
ZEIT	ca. 2 – 3 Stunden (ohne freie spielerische Bauphase)
MATERIALIEN	<p>Das Grundmaterial sind genormte Holzbausteine (z. B. Fröbel-Bausteine mit dem Grundmaß $33\frac{1}{3}$ mm, Standardgröße: ca. H 16,7 * B 33,3 * L 66,7 mm (entspricht einem Maßverhältnis von 1:2:4))</p> <p>Materialangabe für Einzelarbeitsphase (pro 1 Kind):</p> <ul style="list-style-type: none"> • ca. 25 Holzbausteine (Standardgröße) • blauer Papier- oder Kartonstreifen; Maß: B * L: 10,5 * 29,7 cm (= $\frac{1}{2}$ DIN-A4-Format) <p>Materialangabe für Partnerarbeitsphase (pro 2 Kinder):</p> <ul style="list-style-type: none"> • ca. 100 Holzbausteine (Standardgröße) • evtl. blaues Papier oder blauer Karton; Maß: B * L: 21 * 29,7 cm (= DIN-A4-Format) • evtl. ca. 4 Holzbausteine, Maße: ca. H 16,7 * B 33,3 * L 33,3 mm • 2 Spielzeugautos

SACHANALYSE

Brücken, bei denen gemauerte Kragbögen das tragende Element bilden, werden Kragsteinbogenbrücken genannt. Diese Bauart gilt als die älteste steinerne Brückenform.¹ Da die Kragbogenkonstruktion eine sehr alte Bauweise ist, die in späteren Zeiten durch den Keilsteinbogen abgelöst wurde, gibt es historische Beispiele heutzutage in nur wenigen Regionen der Welt zu besichtigen. Nach dem Kenntnisstand der Verfasserinnen beschränken sich diese Beispiele ausschließlich auf Maueröffnungen und Kraggewölbe, Kragsteinbogenbrücken sind nicht mehr erhalten. „Kragbogen finden sich als Strukturelement in prähistorischen Steinbauten, zum Beispiel in der minoischen Kultur in Kreta oder bei den Nuragern in Sardinien ca. 1500 v. Chr. [...]“²



Abb. 1:
Beispiel eines Kragbogens in
einer historischen Steinburg
der Nurager auf Sardinien



Abb. 2:
Kragbogen in einer
einsturzbedrohten Ruine

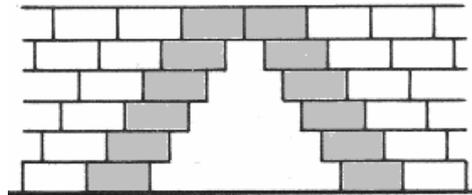
Da es in unseren Breiten schwierig ist, Kragbogenkonstruktionen zu finden, ist man für Anschauungszwecke in der Regel auf Abbildungen angewiesen.

¹ vgl. dtv-Brockhaus-Lexikon: in 20 Bänden. Band 3. Bor-Cub. München: dtv 1988. S. 80.

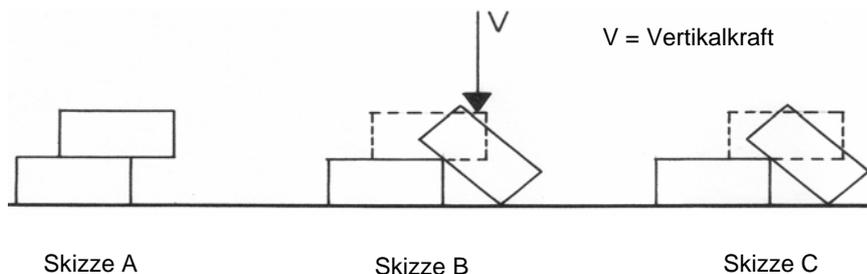
² http://de.wikipedia.org/wiki/Bogen_%28Architektur%29 (28.10.05).

Das Konstruktionsprinzip des Kragbogens entwickelte sich aus der Notwendigkeit, größere Abstände zu überbrücken, bei denen die Konstruktion von Balkenbrücken ungeeignet war.³

Der Kragbogen wird auch als „falscher Bogen“ bezeichnet und gilt als Vorform des „echten Bogens“.⁴ Deutliches Indiz für Kragbogenkonstruktionen ist der waagerechte Verlauf der Stein- und Mörtelschichten. Eine Kragbogenform wird dadurch erreicht, dass von zwei Seiten Mauersteinschichten aufeinander zulaufen, die jeweils über die unter ihr liegenden auskragen, bis sie mit zunehmender Höhe aufeinander treffen und somit eine Bogenform bilden. Man kann sich den Kragbogen auch als zwei Treppen vorstellen, die in der Mitte zusammentreffen.



Dabei kann eine Auskragung ohne stabilisierendes Gegengewicht nur soweit erfolgen, solange die Länge der Auskragung kleiner ist als die Länge der Auflagefläche der auskragenden Steine, d. h. solange der Schwerpunkt der auskragenden Steine noch im Bereich ihrer Auflagefläche liegt (s. Skizze A). Wird jedoch der auskragende Teil durch zusätzliche Lasten so beansprucht, dass sich dadurch der Schwerpunkt auf den Bereich der Auskragung verlagert, ist die Standsicherheit der Auskragung nicht mehr gewährleistet und die auskragenden Steine kippen herunter (s. Skizze B). Aber auch wenn die Länge der Auskragung größer als die Auflagefläche ist, kippen die auskragenden Steine, da sich der Schwerpunkt der Auskragung außerhalb der Auflagefläche befindet (s. Skizze C).



Auf den Skizzen werden die im Text zuvor erläuterten Prinzipien mit jeweils nur einem aufliegenden Stein dargestellt, sie gelten jedoch ebenso auch für mehrere aufliegende Steine.

Das bedeutet, dass aus statisch-konstruktiver Sicht eine Auskragung ohne Gegengewichte für Brückenkonstruktionen nicht geeignet ist, da Brücken einerseits größere Spannweiten überbrücken sollen und andererseits zusätzlich durch unterschiedliche Verkehrslasten beansprucht werden.

³ vgl. 4.3 Bogenbrücken

⁴ vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Bogen_%28Architektur%29 (28.10.05).

Wie zuvor verdeutlicht wurde, sind Kragbögen von sich aus instabile Konstruktionen. Die auskragenden Steine können erst durch senkrechten Druck darüberliegender Mauersteine gegen Umkippen stabilisiert werden, d. h. ihre Tragfähigkeit wird erst durch das Gewicht der sie umgebenden Steine erreicht. Je weiter die Auskragung ist, desto stärker muss der vertikale Druck von oben sein. Aus diesem Grund sind die meisten Kragbögen eher steil als flach.⁵

Man bezeichnet den Kragbogen auch als „falschen Bogen“, da er eigentlich nur eine Erweiterung des Balkenprinzips ist. Balken aus Stein können nur kleine Öffnungen überbrücken, da die Zugbelastung dieses Baustoffs sehr gering ist. Die übereinander liegenden auskragenden Mauersteine haben jeweils die statische Funktion eines einseitig eingespannten Balkens, d. h. eines waagerechten Trägers mit nur einem Auflager – Kragbalken bzw. Kragträger genannt. „Statt auf *einem* Balken verteilen sich die Zugkräfte auf mehrere übereinander geschichtete Steine. Ausgekragt verkleinern sie die Öffnung soweit, bis sie von einem Balken kleiner Spannweite geschlossen werden kann.“⁶ Der Kragbogen kann insofern aus statischer Perspektive als Bindeglied zwischen Balken und Bogen betrachtet werden.⁷

Ein Vorteil dieser Bauweise gegenüber dem Keilsteinbogen besteht darin, dass beim Bau eines Kragbogens kein Lehrgerüst notwendig ist, da er in jeder Bauphase stabil ist (allerdings nur bei ausreichend vielen Mauersteinen als Gegengewichte).

Das Prinzip des Auskragens wurde in früheren Zeiten nicht nur für Maueröffnungen in Form von Kragbögen und bei Kragsteinbogenbrücken genutzt, sondern auch für Kraggewölbe (Kragsteingewölbe, „falsches Gewölbe“) bzw. Kragkuppeln, d. h. für die Überdachung von Räumen. Ein frühes Beispiele dafür findet man beispielsweise beim *Schatzhaus des Atreus*, welches im 14. Jahrhundert v. Chr. in Mykene errichtet wurde. Als weiteres Beispiel des „falschen Gewölbes“ gilt das Maya-Gewölbe, welches ein typisches Stilelement der Maya-Kultur ist.⁸



Abb. 3:
Eingang zum *Schatzhaus des Atreus*



Abb. 4:
Innenraum des *Schatzhauses des Atreus*

⁵ vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Kraggew%C3%B6lbe> (28.10.05).

⁶ http://de.wikipedia.org/wiki/Bogen_%28Architektur%29 (28.10.05).

⁷ vgl. http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/ausleger/ausleger.html (28.10.05).

⁸ vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Kraggew%C3%B6lbe> (28.10.05).

SACHANALYSE – Modell aus Holzbausteinen

In der Schule können für das Thema „Kragsteinbogenbrücken“ Holzbausteine als adäquater Ersatz für echte Steine benutzt werden, da sie ebenfalls ein verhältnismäßig schweres und massives Material sind. Es sollten genügend gleich große (genormte), möglichst kurze Holzbausteine zur Verfügung stehen. Mit Hilfe der Kragbogenbauweise kann auch mit kurzen Bausteinen ein größerer Abstand überbrückt werden.

LERNVORAUSSETZUNGEN

- Das Bauen einer Kragsteinbogenbrücke erfordert von den SchülerInnen ein gewisses Maß an motorischer Geschicklichkeit und Geduld.
- Beim Zeichnen der aus Holzbausteinen gebauten Kragsteinbogenbrücken müssen die Kinder über inhaltsbezogene mathematische Kompetenzen im Bereich der Geometrie verfügen, wenn sie reale, dreidimensionale Holzbausteine in ihren Zeichnungen als ebene Figuren darstellen.

LERNZIELE

Die SchülerInnen sollen

- statisch-konstruktive Grundprinzipien der Kragsteinbogenbrücke kennen lernen.
- sich in Einzelarbeit auf spielerische, problemorientierte Weise mit der Überbrückung einer Distanz auseinandersetzen, die größer ist als die Länge der zur Verfügung stehenden Holzbausteine.
- dabei auf experimentelle Weise im handelnden Tun Strategien zur Problemlösung entwickeln und dadurch selbsttätig das Prinzip der Auskragung⁹ erfahren.
- die im Basisversuch „3.4 Standsicherheit durch Gleichgewicht“ gewonnenen Erkenntnisse auf den Bau einer Kragsteinbogenbrücke übertragen können:
 - erfahren, dass ein auskragender Holzbaustein, dessen Schwerpunkt außerhalb der Auflagefläche liegt, durch Gegengewicht stabilisiert werden muss.
- in Partnerarbeit bzw. Kleingruppen eine Kragsteinbogenbrücke aus Holzbausteinen über eine noch größere Distanz bauen und dabei entdecken, dass die Auskragungstechnik bei größeren Spannweiten mit notwendigen Gegengewichten ergänzt werden muss.

⁹ In vielen didaktischen Veröffentlichungen wird oftmals anstatt „Auskragung“ der Begriff „Überkragung“ verwendet, den es laut der DUDEN-Rechtschreibung gar nicht gibt.

- beim Bauen die Wirkungsweise von Stabilität durch Gewicht und Gegengewicht selbsttätig erfahren.
- beim Bau einer Kragsteinbogenbrücke das Prinzip des Mauerverbands kennen lernen.
- spezielle Begriffe kennen lernen: Kragsteinbogen bzw. Kragbogen, Auskragung, Gleichgewicht, Gegengewicht, Mauerverband.
- das Prinzip einer Kragsteinbogenbrücke zeichnerisch dokumentieren und ergänzend schriftlich beschreiben, um dadurch das Gelernte zu vertiefen.
- einen Kragsteinbogen („falscher Bogen“) von einem Keilsteinbogen („echter Bogen“) unterscheiden lernen.

DIDAKTISCH-METHODISCHE ANREGUNGEN

BEZUG ZUR LEBENSWELT DER KINDER

Wie bereits in der Sachanalyse erwähnt, ist die Kragbogenkonstruktion eine ältere Bauweise, die heutzutage kaum in unserer gebauten Umwelt zu entdecken ist, weshalb Grundschul Kinder keinen direkten Bezug zu dieser Bauweise haben werden. Insofern kann man diesbezüglich bei allen SchülerInnen kaum mit vorhandenen Vorerfahrungen rechnen. Um der Klasse die Kragbogenkonstruktion zu veranschaulichen, ist man auf entsprechendes Bildmaterial angewiesen.¹⁰

Auch wenn Bogenformen schon lange Zeit nicht mehr mittels der Auskragungstechnik realisiert werden, spielt bis in unsere heutige Zeit das Prinzip der Auskragung im Bauwesen weiterhin eine Rolle. Beispielsweise werden an vielen Altbauten Balkone und Erker von Kragsteinen getragen, in vielen neueren Gebäuden bilden Kragplatten die Balkongrundflächen, im Fachwerkbau und in vielen moderneren Gebäuden kragen häufig Geschosse über den darunter liegenden aus. Das heißt, dass Kinder in ihrer Lebenswelt häufig mit dem Prinzip der Auskragung konfrontiert werden.

Wie in der Sachanalyse erwähnt, wurde die Auskragungstechnik in früheren Zeiten nicht nur für Bögen und Brücken genutzt, sondern insbesondere auch für Kraggewölbe bzw. Kragkuppeln, d. h. für die Überdachung von Räumen. Diese Bauweise wurde auch von Eskimos beim Bau von Iglus angewendet, die sicherlich den meisten Kindern bekannt sind.

¹⁰ Das Bildmaterial sollte allerdings nicht vor der Bauphase gezeigt werden, damit die SchülerInnen von sich aus auf die Auskragungstechnik kommen.

FREIE SPIELERISCHE BAUPHASE¹¹

Da man damit rechnen muss, dass es manche Kinder gibt, die sich noch nie mit Holzbausteinen beschäftigt haben, und insofern die SchülerInnen einer Klasse über unterschiedliche Vorerfahrungen verfügen, sollte zunächst eine freie Spielphase ohne konkrete Aufgabenstellung vorgesehen werden, in der die SchülerInnen entsprechend ihrer individuellen Vorerfahrungen mit dem Spielmaterial vertraut werden und selbsttätig handelnd unterschiedliche Bauerfahrungen sammeln können. Durch einen fehlenden Arbeitsauftrag wird die Phantasie und Kreativität der Kinder angeregt und sie erhalten die Gelegenheit, ihre individuellen Bauideen zu verwirklichen, wodurch sich zunächst zielloses Spielen in zielgerichtetes Tun verwandeln kann. In dieser Spielphase können die SchülerInnen nicht nur gestalterisch tätig sein, sondern auch technische Verhaltensweisen entwickeln, wie das Probieren, Experimentieren und Konstruieren.¹² In dieser freien spielerischen Bauphase können die Kinder selbst entscheiden, in welcher Sozialform sie arbeiten möchten, ob in Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit. Die Lehrperson sollte diese Zeit nutzen, um sich über die unterschiedlichen Vorerfahrungen der Kinder zu informieren und insbesondere darauf zu achten, ob manche von ihnen Brücken bauen oder sich von selbst mit dem Prinzip der Auskrägung beschäftigen. Diese Beobachtungen können entsprechend in die weitere Unterrichtsplanung einbezogen werden, beispielsweise indem in einem anschließenden Unterrichtsgespräch „Brücken“ thematisiert werden und damit eine Überleitung in das eigentliche Unterrichtsthema erfolgen kann.

ZIELGERICHTETE SPIELERISCHE BAUPHASE¹³

Nach der Phase des freien Spielens sollte eine zielgerichtete spielerische Bau- und Versuchsphase folgen, in der die Klasse den Auftrag erhält, mit den zur Verfügung stehenden Holzbausteinen einen kleinen „Fluss“ aus Papier zu überbrücken, mit der Einschränkung, dass keine Stützen im „Fluss“ stehen dürfen. Für diese Aufgabe empfiehlt sich Einzelarbeit, da zum einen dafür keine große Anzahl von Holzbausteinen zur Verfügung stehen muss und zum anderen sich zunächst jedes Kind für sich mit der Problemstellung auseinandersetzen kann.

Da der „Fluss“ breiter ist als die Länge der Bausteine, werden die SchülerInnen rasch mit dem Problem der Aufgabenstellung konfrontiert. Sie sollen versuchen, durch handelndes Ausprobieren selbsttätig und entdeckend eigene Lösungsvorschläge zu

¹¹ vgl. Wagner, Reinhold: Formen spielerischen Lernens im Sachunterricht der Grundschule. Ansbach: Prögel 1983. S. 14.

¹² vgl. Ullrich, Heinz: Zum technischen Handeln des Kindes. Spielendes und problemlösendes Lernen. In: Grundschule 9 (1994). S. 12.

¹³ vgl. Wagner, Reinhold: Formen spielerischen Lernens im Sachunterricht der Grundschule. S. 14.

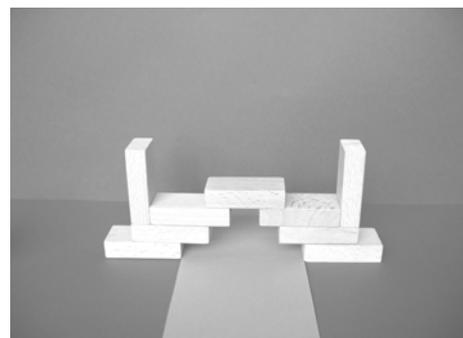
finden. Viele Kinder, die keine entsprechenden Vorerfahrungen aufweisen, werden dabei vermutlich nach dem Prinzip von Versuch und Irrtum vorgehen. Dabei werden sie ihre Misserfolge analysieren, d. h. untersuchen, warum beispielsweise ihre Brückenkonstruktion einstürzt, und versuchen, andere Strategien zu entwickeln, um eine Problemlösung zu finden. Durch das Wechselspiel zwischen Denken und Handeln können sie auf diese Weise erfolgreich zum Ziel gelangen. In dieser Phase des handelnden Lernens steuert sich der Lernprozess der Kinder selbst.¹⁴

Es ist jedoch auch damit zu rechnen, dass einige SchülerInnen recht schnell auf die Lösung des Problems kommen. Falls diese Kinder sich langweilen sollten, könnten sie von der Lehrperson aufgefordert werden, einen größeren Abstand zu überbrücken oder eine Überbrückung mit einer höheren Durchfahrtshöhe für Schiffe zu bauen.

In dieser Phase kommt es zunächst nur darauf an, dass die SchülerInnen möglichst selbstständig das Prinzip der Auskrägung herausfinden. Im probierenden Tun können sie den Wirkungszusammenhang von Auskrägung und Stabilität der Überbrückung selbsttätig entdecken. Je nachdem, wie weit die Holzbausteine auskragen, werden ihre Bauwerke entweder einstürzen oder standsicher sein und dabei unterschiedliche Höhen aufweisen. Eventuell machen manche Kinder bereits die Erfahrung, dass zunächst standsichere Überbrückungen durch zusätzliche Belastung zum Einsturz gebracht werden können. Vermutlich werden auch schon einige Kinder die Auskrägungstechnik mit zusätzlichen Gegengewichten kombinieren, was im weiteren Unterrichtsverlauf noch thematisiert werden soll.



Auskrägungstechnik



Auskrägungstechnik kombiniert mit zusätzlichen Gegengewichten

Die Aufgabe der Lehrperson besteht in dieser Unterrichtsphase darin, die Problemlösungsprozesse der SchülerInnen zu beobachten und sich diese für spätere Leistungsbeurteilungen zu notieren. Falls einige Kinder keine Lösung des Problems finden, kann sie ihnen notwendige Hilfestellung anbieten.

¹⁴ vgl. Rahmenplan Grundschule. Hg. v. Hessisches Kultusministerium. Wiesbaden: Diesterweg 1995. S. 28.

In einem daran anschließenden gemeinsamen Unterrichtsgespräch können die Kinder ihre Brückenbauten vorstellen und gleichzeitig erläutern, wie sie das Problem der Überbrückung gelöst haben und mit welchen Schwierigkeiten sie dabei konfrontiert waren.

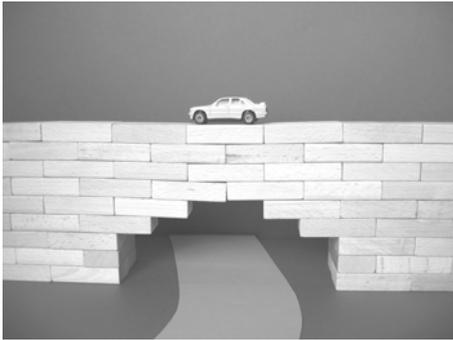
Um das Prinzip der Auskragung zu festigen und die statische Funktion von Gegengewichten zu erläutern, empfiehlt es sich nachfolgend, den **Basisversuch „3.4 Standsicherheit durch Gleichgewicht“** im Unterricht zu integrieren. Dadurch werden noch einmal detailliert die Kipp- und Hebelbewegungen verdeutlicht, die bei der Auskragung eine wichtige Rolle spielen, und aufgezeigt, dass entsprechende Gegengewichte ein Herunterkippen auskragender Holzbausteine verhindern und somit für eine ausreichende Standsicherheit des Bauwerks sorgen.

Eine andere Variante zur Herstellung eines Kragbogens könnte nachfolgend im Unterricht vorgestellt werden. Je nachdem, wie viele Holzbausteine zur Verfügung stehen, bietet sich bei dieser Aufgabe Einzel- oder Partnerarbeit an. Anstatt die Holzbausteine Stein auf Stein übereinander zu schichten, bauen die SchülerInnen eine Holzbausteinwand im Mauerverband¹⁵ und entfernen danach gleichmäßig von unten beginnend aus der Mitte einzelne Bausteine, wodurch ebenfalls ein Kragbogen entstehen kann. Die Standsicherheit der Mauer mit einer Kragsteinbogenöffnung ist gewährleistet, solange die Holzbausteine durch das Gegengewicht oberer Steine genügend Druck erhalten. Sind diese vertikalen Drucklasten zu gering, ist das Kräftegleichgewicht gestört und die Mauer stürzt im Bereich der Bogenöffnung ein. Dabei sollen die Kinder insbesondere die Kipp- und Hebelbewegungen der Holzbausteine beobachten.



Im Anschluss daran kann die erste Aufgabenstellung erweitert und erschwert werden, indem die SchülerInnen eine mit Spielzeugautos befahrbare Brücke bauen sollen, die eine noch weitere Distanz überbrücken muss. Je nachdem, wie viele Holzbausteine in der Schule vorhanden sind, empfiehlt sich bei dieser Aufgabe Partner- bzw. Kleingruppenarbeit, da den Kindern genügend Holzbausteine zur Verfügung stehen müssen. Diese Sozialformen haben darüber hinaus den Vorteil, dass sich die Kinder bei der Problemlösung gegenseitig anregen und unterstützen können.

¹⁵ vgl. 3.5 Standsicherheit im Mauerwerksbau



Alternativ zu einem „Fluss“ aus Papier könnten die Kinder auch einen bestimmten Abstand (ca. 25 cm) zwischen zwei Tischen überbrücken, was „... der Aufgabenstellung großen Anreiz [verleiht], da sie das Wesen von Brückenbauten (Überwindung von Hindernissen) anschaulich demonstriert.“¹⁶ Für die Überbrückung einer größeren Distanz muss die Auskragungstechnik mit Gegengewichten kombiniert werden.

Je nachdem, wie weit die SchülerInnen ihre Steine auskragen lassen, werden unterschiedliche Kragbogenformen (eher flach bzw. steil) entstehen. Wenn dies der Fall ist, bietet es sich an, diesen Aspekt in einem anschließenden Unterrichtsgespräch zu thematisieren. Wie bereits in der Sachanalyse erläutert: Je weiter die Auskragung der Holzbausteine ist, desto flacher wird der Kragbogen und desto stärker muss der vertikale Druck von oben sein. Und umgekehrt: Je geringer die Auskragung, desto steiler die Kragbogenform und desto weniger wird vertikaler Druck von oben benötigt. Die Lehrperson kann darauf hinweisen, dass aus diesem Grund die meisten Kragbögen eher steil als flach sind und dies anhand einer Abbildung veranschaulichen.

ERGEBNISSICHERUNG

Nachfolgend sollen die SchülerInnen ihre Brücken aufzeichnen, um das zuvor handelnd Erfahrene auf bildlicher Ebene zu festigen. Dabei machen sie elementare Erfahrungen im Bereich der darstellenden Geometrie. Ergänzend dazu sollen sie in wenigen Sätzen den statisch-konstruktiven Aufbau einer Kragsteinbogenbrücke beschreiben. In der abschließenden Reflexionsphase sollen die SchülerInnen von ihren Lernergebnissen berichten.

¹⁶ Eckel, Johann / Halamiczek, Herbert: Werkerziehung Grundstufe 1. Bauen – Wohnen, Technik, Produktgestaltung. Wien: Österreichischer Bundesverlag 1981. S. 49.

TRANSFER

Des Weiteren sollte im Unterricht ein Transfer von der Kragsteinbogenbrücke auf andere Auskragsformen in unserer gebauten Umwelt erfolgen, z. B. auskragende Stockwerke oder Balkone, so dass die SchülerInnen erkennen, dass das Prinzip der Auskragsung in ihrer Lebenswelt von Bedeutung ist.

Abschließend könnte man mit Hilfe entsprechenden Bildmaterials die Kinder auffordern, den formalen Unterschied zwischen einem „falschen Bogen“ (Kragbogen) und einem „echten Bogen“ (z. B. Keilsteinbogen) herauszuarbeiten.¹⁷

TIPPS UND TRICKS	<ul style="list-style-type: none"> • Möchte man die Lärmbelästigung durch zusammenstürzende Brücken etwas abmildern, können ebene, Geräusch dämmende Materialien, z. B. Filzbodenteile, als Bauunterlage verwendet werden.
LITERATUR	<p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • dtv-Brockhaus-Lexikon: in 20 Bänden. Band 3. Bor-Cub. München: dtv 1988. • Eckel, Johann / Halamiczek, Herbert: Werkerziehung Grundstufe 1. Bauen – Wohnen, Technik, Produktgestaltung. Wien: Österreichischer Bundesverlag 1981. S. 47-49. • Rahmenplan Grundschule. Hg. v. Hessisches Kultusministerium. Wiesbaden: Diesterweg 1995. • Ullrich, Heinz: Zum technischen Handeln des Kindes. Spielendes und problemlösendes Lernen. In: Grundschule 9 (1994). S. 12/13. • Ullrich, Heinz / Klante, Dieter: Technik im Unterricht der Grundschule. Didaktische Grundlegung, Unterrichtsmodelle, Unterrichtsmaterialien. 6., unveränd. Aufl. Villingen-Schwenningen: Neckar 1994. S. 106-108. • Wagner, Reinhold: Formen spielerischen Lernens im Sachunterricht der Grundschule. Ansbach: Prögel 1983. • http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/ausleger/ausleger.html (28.10.05) • http://de.wikipedia.org/wiki/Bogen_%28Architektur%29 (28.10.05). • http://de.wikipedia.org/wiki/Kraggew%C3%B6lbe (28.10.05).
ABBILDUNGEN	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abb. 1: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/thumb/d/dc/Kragbogenuragherp.jpg/180px-Kragbogenuragherp.jpg (07.11.05). ▪ Abb. 2: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/thumb/4/40/Kragbogentuerp.jpg/180px-Kragbogentuerp.jpg (07.11.05). ▪ Abb. 3: http://employees.oneonta.edu/farberas/arth/Images/ARTH209images/Mycenaean/treas_atreus_entr.jpg (07.11.05). ▪ Abb. 4: http://employees.oneonta.edu/farberas/arth/Images/ARTH209images/Mycenaean/treas_atreus_int.jpg (07.11.05).

¹⁷ vgl. Sachanalyse

4.3.2 Keilsteinbogenbrücken

SCHWIERIGKEITSGRAD	mittlerer Anspruch
ZEIT	ca. 4 Doppelstunden bzw. 8 Einzelstunden
MATERIALIEN UND WERKZEUGE	<p>pro Vorversuch</p> <ul style="list-style-type: none"> • 16-18 Holzbausteine • 4 Streifen aus 300 g/m²-Papier; Maß: 7,425 cm * 42 cm (= 1/4 Din-A3-Format) <p>pro Halbkreisbogenmodell</p> <ul style="list-style-type: none"> • 8–10 Bögen DIN-A4-Papier, 160g/m² • Holzbausteine als mittlere Abstandhalter, Länge: 10,5 cm; Höhe: 1,5 cm • Holzbausteine als seitliche Widerlager • Schere • Klebstift <p>pro Flachbogenmodell</p> <ul style="list-style-type: none"> • 8–10 Bögen DIN-A4-Papier, 160g/m² • Holzbausteine als mittlere Abstandhalter, Länge: 21 cm; Höhe: 1,5 cm • Holzbausteine als seitliche Widerlager • Schere • Klebstift

SACHANALYSE

Brücken, bei denen die Hauptträger aus gemauerten Bögen bestehen, gelten als klassische Bogenbrücken. Bei der in dieser Arbeit vorgestellten Keilsteinbogenbrücke besteht die Bogenkonstruktion aus keil- bzw. trapezförmigen Mauersteinen mit gleichmäßig dicken Mörtelfugen, es gibt jedoch auch die Variante mit quaderförmigen Steinen und keilförmigen Mörtelfugen, die eher für flache Bögen geeignet ist.



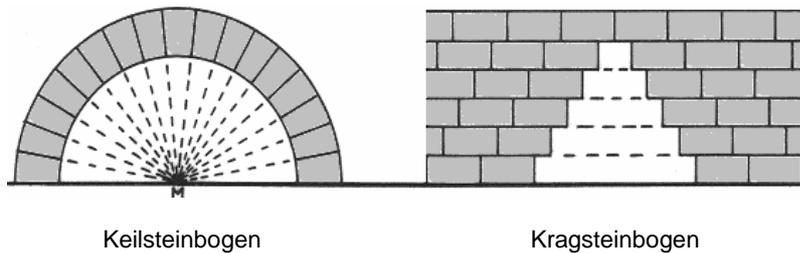
Steinbogen
aus keilsteinförmigen Mauersteinen mit
gleichmäßig dicken Mörtelfugen



Steinbogen
aus quaderförmigen Mauersteinen mit
keilförmigen Mörtelfugen

Der Keilsteinbogen wird als „echter Bogen“ bezeichnet. Die Fugen zwischen den keilförmigen Steinen sind zum Kreismittelpunkt gerichtet, im Gegensatz zum waage-

rechten Schichtverlauf beim Kragsteinbogen¹, der wiederum auch als „falscher Bogen“ bezeichnet wird.



Historisch betrachtet ist die Konstruktionsart des „echten Bogens“ die Weiterentwicklung des Kragbogens. In der Antike waren insbesondere die Römer wahre Brückenbaumeister. Sie entwickelten den halbkreisförmigen Rundbogen, der als Tragwerk bei Maueröffnungen, Gewölben und Brücken für die gesamte römische Baukunst ein charakteristisches Stilelement geworden ist. Zu den berühmtesten und beeindruckendsten Brückenbauwerken dieser Epoche zählt sicherlich der 13 v. Chr. fertiggestellte Aquädukt *Pont du Gard* bei Nîmes in Südfrankreich.²



Abb. 1:
Pont du Gard

Der „echte Bogen“ war lange Zeit die vorherrschende Konstruktionsform des Massivbrückenbaus. Mit dem Baustoff Stein war einerseits ein sehr langlebiges und robustes Material gegeben, andererseits konnten größere Spannweiten als mit Balkenkonstruktionen überbrückt werden.

Der druckfeste Bogen ist belastbarer als ein Balken gleicher Stärke und gleichen Materials. Balken werden bei Belastung im unteren Bereich stark auf Zug beansprucht.³ Der Baustoff Stein kann jedoch kaum Zugspannungen aufnehmen, weshalb Steinbalken nur sehr kleine Abstände überbrücken können.⁴ Hingegen können Steine enorme Druckkräfte aushalten. Ein „echter Bogen“ nutzt die Materialeigenschaften von Mauersteinen in perfekter Weise, denn er vermeidet Zugspannungen und überträgt alle auftretenden Lasten über Druckkräfte auf die seitlichen Widerlager⁵, welche die Kräfte weiterleiten.⁶ Im Gegensatz zu einem Balken werden senkrechte Lasten bei einem

¹ vgl. 4.3.1 Kragsteinbogenbrücken

² vgl. Leonhardt, Fritz: *Brücken. Ästhetik und Gestaltung*. 4. Aufl. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt 1994. S. 70.

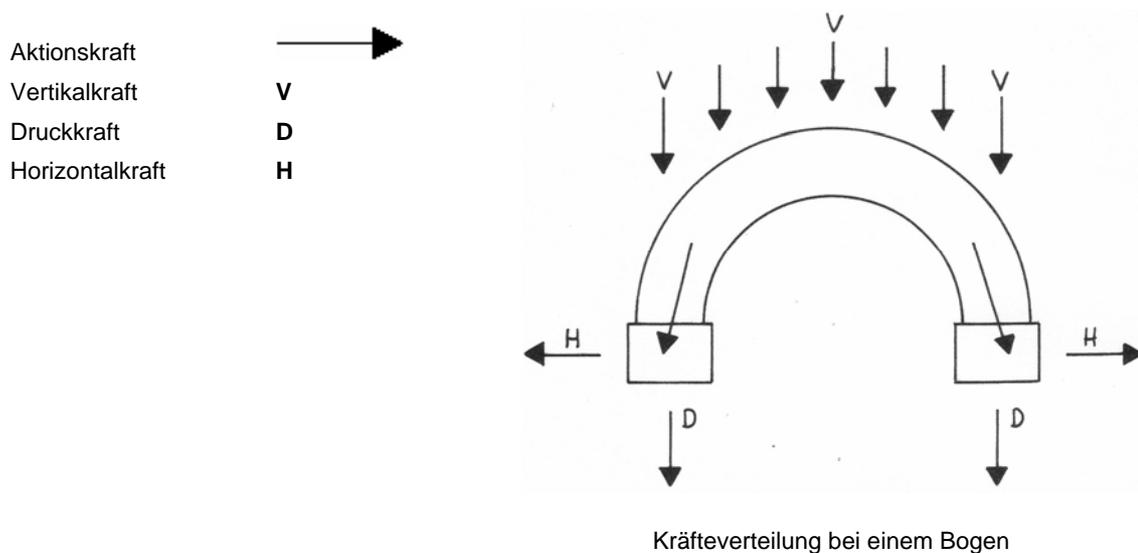
³ vgl. 4.2 Balkenbrücken

⁴ Bei größeren Überbrückungen würde ein Steinbalken auf Grund zu hoher Zugspannungen brechen.

⁵ Der Begriff „Widerlager“ wird im weiteren Text näher erläutert.

⁶ vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Bogen_%28Architektur%29 (28.10.05).

Bogen nicht nur nach unten, sondern schräg nach außen abgeleitet⁷, d. h. die Widerlager müssen sowohl Druck- als auch Horizontalkräfte aufnehmen. Dabei ist zu beachten, dass die auf die Widerlager wirkenden Horizontalkräfte umso größer sind, je flacher ein Bogen ist. Das hat zur Folge: Je flacher ein Bogen ist, desto stärker müssen die seitlichen Widerlager ausgebildet sein, um für eine entsprechende Gegenkraft (Reaktionskraft) zu sorgen, so dass die Standsicherheit des Bogens gewährleistet ist. Die durch senkrechte Lasten entstehenden Horizontalkräfte sind ein wesentliches Merkmal einer Bogenkonstruktion.



Ausgehend vom römischen Rundbogen entwickelten sich weitere Bogenformen, gebildet aus Kreis, Ellipse oder Parabel. Man unterscheidet einfache Bögen, die Teil eines einzigen Kreises sind, (z. B. Rund- und Segmentbogen) und zusammengesetzte Bögen, die aus mehreren Kreisbögen mit teilweise unterschiedlichen Radien gebildet sind, (z. B. Spitz-, Korb- und Kleeblattbogen). Der Fokus liegt in dieser Arbeit ausschließlich auf Rund- und Segmentbögen.

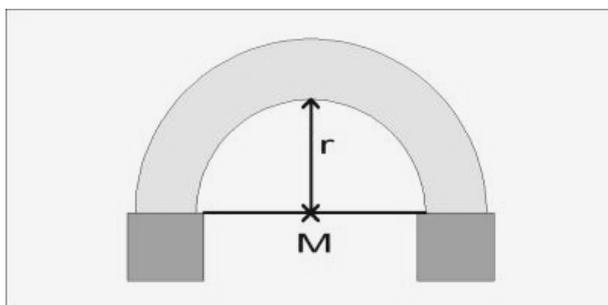


Abb. 2:
Rund- bzw. Halbkreisbogen

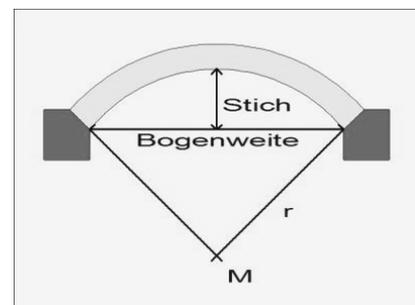


Abb. 3:
Segment- bzw. Flachbogen

⁷ vgl. Schrader, Mila / Voigt, Julia: Bauhistorisches Lexikon. Baustoffe, Bauweisen, Architekturdetails. Suderburg-Hösseringen: Anderweit. 2003. S. 48.

Die Rundung gemauerter Bögen beginnt an den sogenannten Kämpferpunkten, das „sind die Punkte, in denen der Bogen am Widerlager beginnt.“⁸ Die seitlichen „Widerlager (Widerlagermauern) sind die Mauerstücke, zwischen die sich der Bogen spannt.“⁹ Als Widerlager wird ein Bauteil bezeichnet, „das horizontalen Auflagerkräften, z. B. aus Gewölben [oder Bögen], Widerstand entgegensetzt, d. h. sie direkt oder indirekt in den Baugrund ableitet.“¹⁰ Bei Rundbögen befinden sich die Widerlager meist waagrecht in Kämpferhöhe, Segmentbögen hingegen haben schräge Widerlager.¹¹ Das unterhalb des Steinbogens liegende Widerlager wird auch als Kämpferstein bezeichnet, es stellt den Übergang zum übrigen Mauerwerk her.¹²

Oben in der Mitte eines Keilsteinbogens, d. h. im Scheitelpunkt, sitzt der sogenannte Scheitel- bzw. Schlussstein. Dieser hat eine ganz zentrale Funktion im „echten Bogen“, da der Bogen erst mit dem Einfügen des Schlusssteins selbsttragend wird. Seine besondere Funktion tritt häufig auch gestalterisch in Erscheinung, indem er größer und dekorativer als die übrigen Keilsteine gearbeitet ist.

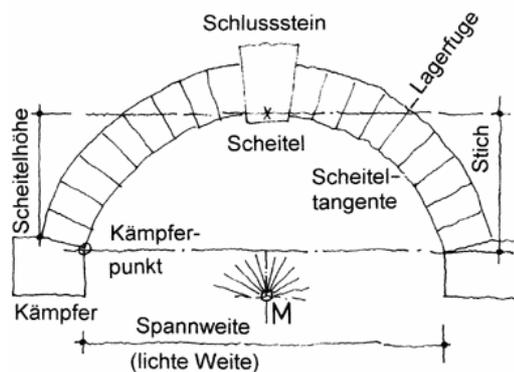


Abb. 4:
Bogen-Begriffe

Im Gegensatz zum Kragbogen ist beim Keilsteinbogen während der Bauphase ein Lehrgerüst erforderlich, da er erst nach dem Setzen des Schlusssteins Stabilität besitzt, die dadurch erreicht wird, dass jeder Stein von seinen beiden Nachbarsteinen gehalten wird und somit an seiner Position verharrt. Das Gewicht jedes Steins wird jeweils von dem schräg unter ihm liegenden getragen.

Aus statischer Perspektive wird der Bogen als die Umkehrung des Seils¹³ betrachtet und entsprechend ist die sogenannte Stützlinie des Bogens die Umkehrung der Seillinie¹⁴ unter der gleichen Last. Dieser Sachverhalt kann sehr anschaulich verdeutlicht

⁸ Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. Teil I. 31., neu bearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. S. 174.

⁹ ebd.

¹⁰ Baulexikon. Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Hg. v. Rüdiger Wormuth / Klaus-Jürgen Schneider. Berlin: Bauwerk 2000. S. 308.

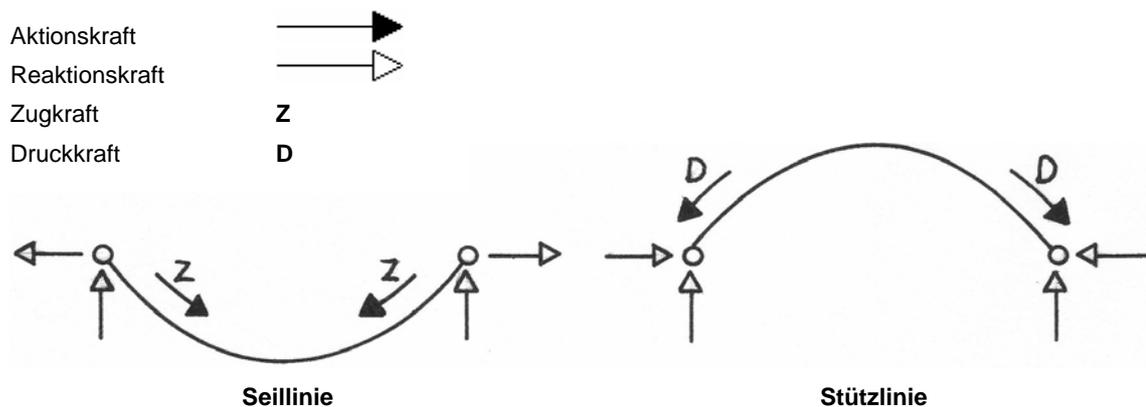
¹¹ vgl. Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. S. 175.

¹² vgl. Baulexikon. S. 133.

¹³ vgl. 4.4 Hängebrücken; das Trageil einer Hängebrücke

¹⁴ vgl. 4.4 Hängebrücken und Glossar

werden: „Ein Seil, das unter einer bestimmten Last eine bestimmte Form angenommen hat, wird „eingefroren“ und umgedreht, d. h. um die Horizontale gespiegelt. Es hat damit die für diese Last richtige Bogenform. Die umgedrehte Seillinie heißt *Stützlinie*.“¹⁵ Während im Seil die Lasten durch Zugkräfte abgetragen werden und die horizontalen Auflagerkräfte nach innen ziehen, wirken im Bogen Druckkräfte und drücken die horizontalen Auflagerkräfte nach außen. Die Auflager müssen diesen Kräften entgegenwirken.¹⁶ Beim Bogen ist das Auflager identisch mit dem Widerlager. Dort müssen entsprechende Reaktionskräfte den auf das Widerlager einwirkenden Kräften des Bogens entgegenwirken, um die Standsicherheit des Bogens zu gewährleisten.



Die Stützlinie entspricht der idealen Form eines Bogens, sie ist abhängig von den senkrecht auf den Bogen wirkenden Lasten. Wirken auf einen Bogen gleichmäßig verteilte Lasten, z. B. nur durch sein Eigengewicht, entsteht eine parabelförmige Stützlinie (wie bei einem gleichmäßig belasteten Seil). Wenn der Bogen nicht der Form seiner Stützlinie folgt, treten zusätzlich zu den Druckkräften noch Biegemomente auf¹⁷. Biegemomente gefährden die Standsicherheit eines Steinbogens, da Steine keine biegesteifen Materialien sind.¹⁸

Ein Brückenbogen wird nicht nur durch die Eigenlasten der Brücke, sondern auch durch wechselnde Verkehrslasten beansprucht, wodurch unterschiedliche Lastfälle entstehen, die wiederum unterschiedliche Stützlinien bewirken. Um zu verhindern, dass Stützlinien bestimmter Lastfälle außerhalb des Bogens verlaufen, wodurch er einstürzen würde, muss ein Steinbogen ausreichend dick dimensioniert sein, so dass alle denkbaren Lastfälle innerhalb des Bogens verlaufen (s. Abb. 5). Neben der Bogendicke gibt es jedoch noch eine weitere Möglichkeit einen Steinbogen zu stabilisieren: Wenn beispielsweise eine Bogenform von ihrer Stützlinie abweicht, kann

¹⁵ Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Willems, Claus-Christian: Grundlagen der Tragwerklehre 2. 6., überarb. Aufl. 2004. S. 99.

¹⁶ vgl. ebd. S. 105.

¹⁷ vgl. ebd. S. 106.

¹⁸ vgl. ebd. S. 100.

sie durch eine entsprechende Aufmauerung stabilisiert werden, die ein Ausknicken des Bogens verhindert¹⁹ (s. Abb. 6). Diese Form der Stabilisierung sorgt beispielsweise auch bei Brücken mit Rund- oder Segmentbögen für deren Standsicherheit.



Abb. 5:
Die Stützlinien verschiedener Lastfälle verlaufen innerhalb des Bogens.

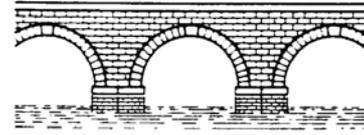


Abb. 6:
Stabilisierung des Bogens durch Aufmauerung

Die detaillierte Ausführung bezüglich der Stützlinie ist für interessierte LeserInnen gedacht, die auf eine ausführliche Sachanalyse Wert legen. Für SchülerInnen ist dieser Sachverhalt allerdings zu abstrakt, da er nicht anschaulich vermittelt werden kann, denn die Stützlinien sind nicht sichtbar wie beim Seil die Seillinien. Der Aspekt der Stützlinien spielt aber bezüglich der Standsicherheit von Bogenkonstruktionen eine wichtige Rolle, und für die Kinder kann er didaktisch darauf reduziert werden, dass die Form eines Bogens maßgeblich zu seiner Standsicherheit beiträgt.

Steinbogenbrücken waren über 2000 Jahre die vorherrschende Brückenbauweise, sie gelten als klassische Form der Bogenbrücke. Aufgrund der Langlebigkeit des Baustoffs Stein und der äußerst stabilen „echten“ Bogenkonstruktion sind bis heute noch viele solcher Bogenbrücken erhalten geblieben. Doch es gibt nicht nur gemauerte Bogenformen.

Exkurs zu anderen Formen von Bogenbrücken

Der hohe Arbeitsaufwand macht die Bauweise des gemauerten „echten Bogens“ zu einer kostspieligen Baukonstruktion. Als im 19. Jh. im Zeitalter der Industrialisierung der Baustoff Stahl hohe Bedeutung gewann, wurden daher viele Bogenbrücken als Eisen- und Stahlkonstruktionen gebaut. Diese Bauweise war kostengünstiger und beanspruchte weniger Zeit, was dem damaligen hohen Bedarf an zahlreichen neuen Brücken infolge des aufkommenden Bahnverkehrs entgegen kam. Eisen und Stahl sind Materialien, die nicht nur Druck-, sondern auch Zugkräfte aufnehmen können, so dass dadurch neue Bauformen möglich wurden, z. B. konnte die Fahrbahn nun auch innerhalb oder unterhalb des Stahlbogens aufgehängt werden.²⁰ Seit etwa Anfang des 20. Jh. ermöglicht der Baustoff Stahlbeton neue Konstruktionsformen im Massiv-

¹⁹ vgl. ebd. S. 102.

²⁰ vgl. http://bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/bogen/bogen.html (28.10.05).

brückenbau, da er sowohl Druck- als auch Zugkräfte aufnehmen kann. Massive Bogenbrücken konnten nun leichter und eleganter gestaltet werden und größere Spannweiten überbrücken.²¹



Abb. 7:
Müngstener Talbrücke, Deutschland



Abb. 8:
Glemstalbrücke, Deutschland

Bogenbrücken lassen sich nicht nur nach den Baustoffen unterscheiden, sondern auch nach der Lage ihrer Fahrbahn: Bei Steinbogenbrücken befindet sich die Fahrbahn immer oberhalb des Bogens. Bei Stahl- und Stahlbetonkonstruktionen kann sie ebenfalls oben liegend sein, aber auch innerhalb oder unterhalb des Bogens liegen, wobei sie dann an Stahlseilen am Bogen aufgehängt ist.



Abb. 9:
Fahrbahn oberhalb des Bogens
Navajo Bridge, Grand Canyon
USA



Abb. 10:
Fahrbahn unterhalb des Bogens
Fehmarnsundbrücke, Deutsch-
land



Abb. 11:
Fahrbahn innerhalb des Bogens
Bayonne Bridge, New York USA

SACHANALYSE – Modelle aus Papierstreifen (Vorversuch)

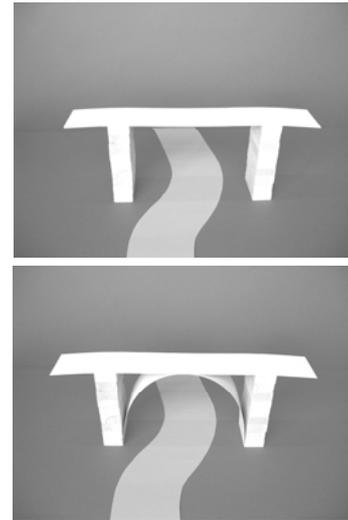
Der Vorversuch dient zunächst nur der Veranschaulichung, dass ein Bogen belastbarer ist als ein Balken gleichen Materials und gleicher Materialmenge. Dafür werden pro Versuchsaufbau zwei 300 g/m² starke Papierstreifen mit den Maßen 7,425 * 42 cm²² benötigt. Versuchsbedingung ist, dass die Papierstreifen nicht gefaltet werden dürfen. Daneben dienen einige Holzbausteine als Brückenaufleger.

In einem ersten Versuch wird durch zwei übereinander liegende Papierstreifen eine Balkenbrücke dargestellt, die bei Belastung durch ein Spielzeugauto rasch versagt. In einem zweiten Versuch wird aus zwei Papierstreifen eine einfache Bogenbrücke

²¹ vgl. VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. Hg. v. Hans-Gustav Olshausen und VDI-Gesellschaft Bautechnik. 2., überarb. und erw. Aufl. Berlin / Heidelberg: Springer 1999. S. 153.

²² Die Maße ergeben sich, wenn ein DIN-A3-Papier in Längsrichtung in vier gleich breite Streifen zerteilt wird.

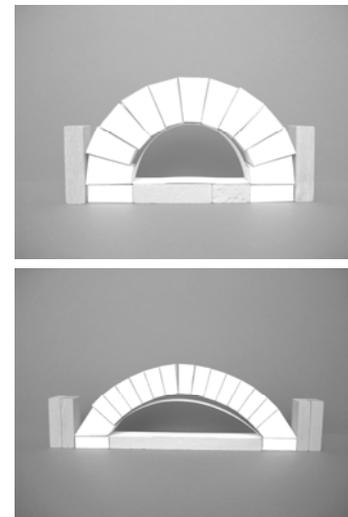
errichtet, wobei einer der beiden Streifen als Fahrbahn und der andere als Bogen verwendet wird. Die Holzbausteine dienen dabei für den (Fahrbahn-)Streifen als Auflager und gleichzeitig für den (Bogen-)Streifen als seitliches Widerlager. Die Bogenbrücke hält der Belastung durch dasselbe Spielzeugauto ohne weiteres Stand, sie verformt sich nur leicht. Die Standsicherheit dieser Brücke ist auch dann noch gewährleistet, wenn sie durch ein zweites Spielzeugauto belastet wird. Es ist darauf hinzuweisen, dass der Bogen aus Papierstreifen dabei nicht der Massivbauweise von gemauerten Keilsteinbogen entspricht, sondern der Konstruktionsweise von Bogenbrücken aus Stahl- oder Stahlbeton.



Allerdings spielt dieser Aspekt bei diesem Versuch keine Rolle, da er, wie bereits einleitend erwähnt, nur der Veranschaulichung dient, dass die Konstruktion einer Bogenbrücke belastbarer ist als die einer Balkenbrücke.

SACHANALYSE – Modelle aus gefalteten Papierschachteln

Mit keilförmigen Papierschachteln²³, die auf Widerlagern aus Papier²⁴ ruhen, kann das Konstruktionsprinzip und die statische Wirkungsweise von Keilsteinbogen veranschaulicht werden. Sowohl die Keilsteine als auch die Widerlager werden aus 160 g/m² starkem DIN-A4-Papier hergestellt. Zwei unterschiedliche Keilsteinformate ermöglichen den Bau sowohl eines Rundbogens (= Halbkreisbogen) als auch eines Segmentbogens (= Flachbogen). Für den Rundbogen werden 11 gleich große Keilsteine sowie zwei quaderförmige Widerlager (Kämpfersteine) benötigt. Der Segmentbogen besteht aus 13 gleich großen Keilsteinen, 2 Widerlagern (Kämpfersteine) sowie 2 quaderförmigen Papierschachteln, die wiederum als Auflager für die Widerlager dienen. Die Höhenmaße der beiden Bögen sind praktisch gleich.²⁵



Die Länge der Überbrückung hingegen ist beim Segmentbogen mit 21 cm genau doppelt so lang wie beim Rundbogen mit 10,5 cm. Aus statischer Perspektive kann

²³ Entsprechende Kopiervorlagen für Ausschneidebögen sind im Anhang dieses Kapitels zu finden.

²⁴ ebd.

²⁵ Die lichte Höhe beträgt beim Rundbogen 5,25 cm und beim Segmentbogen 5,3 cm und die maximale Höhe ist beim Rundbogen 9,25 und beim Segmentbogen 9,3 cm.

durch diese beiden Bogenformen verdeutlicht werden, dass die auf die Widerlager wirkenden Horizontalkräfte umso größer sind, je flacher ein Bogen ist.

Da aus Papier gefaltete keilförmige Schachteln weder schwer noch massiv sind, entsprechen sie nicht annähernd dem Material von Mauersteinen, die in der Realität zum Bau von Keilsteinbogen verwendet werden. Die leichten Schachteln haben daneben auch den Nachteil, dass sie den Bau eines Bogens erschweren, insbesondere wenn sie ungenau gefaltet und dadurch ungleichmäßig sind. Andererseits gibt es kaum geeignete Materialalternativen, die ebenso einfach und schnell herzustellen und dabei kostengünstig sind. Insofern werden die angesprochenen Nachteile in Kauf genommen.

Beim Bau eines „echten“ Keilsteinbogens aus Mauerwerk werden die Steine mit Mauermörtel miteinander verbunden. Da diese Verbindung nicht sehr fest ist, sollte man eher von Haftung sprechen. Im Modell werden in den letzten Arbeitsschritten der Versuchsreihen einige Papierkeilsteine mit Klebstift miteinander verklebt, was allerdings eher einer festen Verbindung als einer Haftung entspricht. Doch dieser Aspekt kann im Versuch vernachlässigt werden, da der Vorteil überwiegt, dass durch die Verbindung einiger Keilsteine die Arbeit für die Kinder erleichtert wird. Denn auf Grund des geringen Gewichts erschweren lose Keilsteine die Durchführung der Versuche.

Da beim Bau eines Keilsteinbogens aus Papierschachteln und zur Verdeutlichung seiner statischen Wirkungsweise verschiedene Arbeitsschritte notwendig sind, werden die keilförmigen Papierschachteln aus ökonomischen Gründen in den ersten Arbeitsschritten jedoch noch nicht miteinander verklebt, um sie in späteren Versuchsphasen wieder verwenden zu können. Erst in den letzten Arbeitsschritten werden sie, außer dem Schlussstein und den beiden Widerlagern, zusammengeklebt. Die Widerlager und der Schlussstein werden nicht verklebt, einerseits um ihre besonderen Aufgaben im Bogen zu betonen, andererseits, um die unterschiedliche Standsicherheit der beiden Bogenformen bei Wegnahme der seitlichen Widerlager (Holzbausteine) aufzuzeigen, denn wenn alles miteinander verklebt würde, könnte der Papierbogen auf Grund der durch den Klebstoff erfolgenden festen Verbindung (die bei Keilsteinbogen in der Realität nicht vorhanden ist) nicht einstürzen.

Um einen „echten“ Bogen zu bauen, braucht man, wie schon erwähnt, ein Lehrgerüst²⁶. Dieses wird ebenfalls aus 160 g/m²-Papier hergestellt.

Als seitliche Widerlager dienen Holzbausteine.

²⁶ Entsprechende Kopiervorlagen für Ausschneidebögen sind im Anhang dieses Kapitels zu finden.

LERNVORAUSSETZUNGEN

- Die SchülerInnen sollten über eine gewisse Handgeschicklichkeit verfügen, beispielsweise Figuren genau ausschneiden und sorgfältig zusammenkleben können.
- Für die Partnerarbeit ist es hilfreich, wenn die SchülerInnen Erfahrungen haben in einer kleinen Gruppe zusammenzuarbeiten.

LERNZIELE

Die SchülerInnen sollen

- die Begriffe Balken- und Bogenbrücke kennen lernen.
- eine Bogenbrücke und eine Balkenbrücke aus Papierstreifen selbsttätig herstellen und mittels eines Vorversuchs vergleichen. Sie sollen dabei erkennen, dass eine Bogenbrücke belastbarer ist als eine Balkenbrücke.
- die Versuchsaubauten durch eine schematische Zeichnung darstellen.
- mittels weiterer selbsttätig durchgeführter Versuche am eigenen Körper das Tragsystem einer Bogen- und Balkenbrücke vergleichen und entdecken, dass sich ein Balken bei Belastung durchbiegt und ein Bogen zur Seite hin ausweicht.
- die Notwendigkeit von seitlichen Widerlagern bei einem Bogen erspüren, die dem seitlichen Ausweichen der Arme entgegenwirken.
- die Fachbegriffe "seitliche Widerlager" und "Horizontalschub" kennen lernen.
- die statisch-konstruktiven Prinzipien eines Bogens, mittels eines Halbkreisbogens und eines Flachbogens, näher betrachten:
 - die Bestandteile eines Halbkreisbogens mittels Ausschneidebögen herstellen und den Halbkreisbogen in sechs angeleiteten Schritten bauen.
 - die zuvor erarbeiteten Sachverhalte des Horizontalschubs und der seitlichen Widerlager auf den Halbkreisbogen übertragen.
 - spezielle Fachbegriffe wie "Kämpfer", "Schlussstein" und "Lehr- bzw. Hilfsgerüst" kennen lernen.
 - die gebauten Halbkreisbögen zeichnerisch dokumentieren.
 - die Bestandteile eines Flachbogens mittels Ausschneidebögen herstellen und den Flachbogen in drei angeleiteten Schritten bauen.
 - den Flachbogen mit dem Halbkreisbogen vergleichen und erkennen, dass je flacher ein Bogen ist, desto größer ist der entstehende Horizontalschub.

DIDAKTISCH-METHODISCHE ANREGUNGEN

BEZUG ZUR LEBENSWELT DER KINDER

Große Keilsteinbogenbrücken sind in unseren Breitengraden selten zu finden, am ehesten in Form von Viadukten, die aus aneinander gereihten Bögen mit kleinen Öffnungen bestehen und zur Nutzung für den Schienenverkehr meistens größere Täler überspannen. Kinder kennen diese Brücken daher vermutlich mehr von Bildern und Fotos aus Printmedien oder aus dem Urlaub in südlichen Gegenden, wo dieser Typus häufiger zu finden ist. Kleine Keilsteinbogenbrücken, die nur aus einem Bogen bestehen und schmale Bäche überspannen, sind dagegen häufiger anzutreffen, und die SchülerInnen sind ihnen in ihrem direkten Umfeld wahrscheinlich schon öfter begegnet. Ebenso ist Kindern vermutlich die bogenförmige Anordnung der Steine über Fenster- und Türöffnungen von älteren Backsteinhäusern her bekannt.

ABSICHTEN DER UNTERRICHTSEINHEIT

Die Kinder vergleichen in dieser Unterrichtseinheit eine Balkenbrücke und eine Bogenbrücke sowie deren Tragsysteme. Im Anschluss daran erkunden sie die Wirkungsweise eines Brückenbogens, indem sie einen Halbkreisbogen und einen Flachbogen vergleichen, die beide aus Papier gefalteten Keilsteinen zusammengesetzt sind. Interessant könnte hierbei für Kinder sein, selbsttätig zu entdecken, dass sich ein Halbkreisbogen selbst trägt, im Gegensatz zum Flachbogen, der hierzu seitliche Widerlager benötigt.

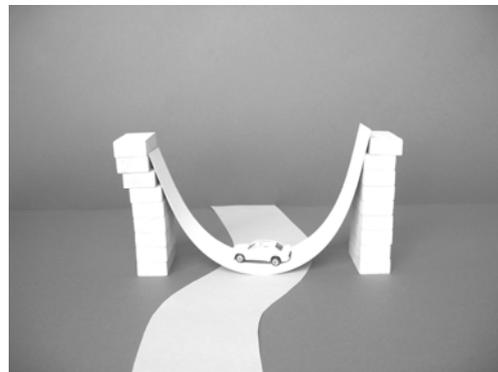
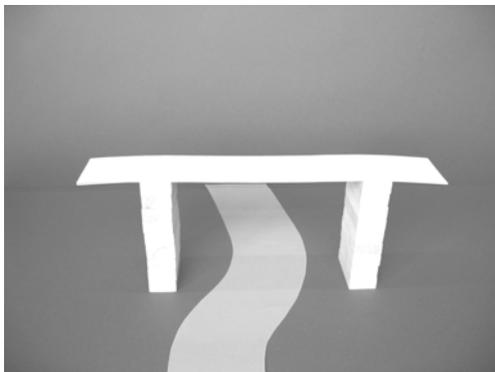
UNTERRICHTSEINSTIEG - VORVERSUCHE

Als Einstieg in diese Unterrichtseinheit kann eine Fragestellung dienen, deren Beantwortung sich die Kinder über zwei kurze Vorversuche nähern. Bevor die Versuche durchgeführt werden, sollten die SchülerInnen durch Fotos einer Balken- und einer Bogenbrücke die beiden Brückentypen und deren Bezeichnung kennen lernen. Die Abbildungen der beiden Brückenformen können auf je einem Plakat aufgeklebt werden und sollten während der Unterrichtseinheit durch weitere Sachverhalte ergänzt werden. Die Plakate werden im Klassenraum aufgehängt und unterstützen die Kinder dabei, auf die bereits erarbeiteten Sachverhalte zurückzugreifen und sich diese zu memorieren bzw. einzuprägen.

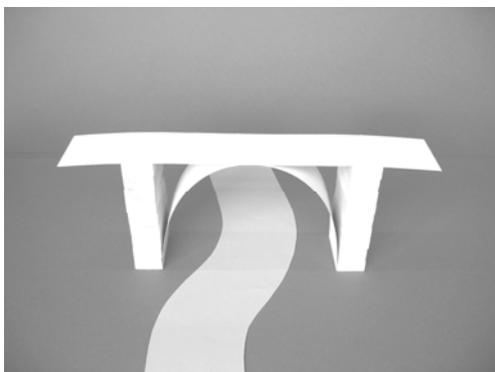
In den Vorversuchen werden die SchülerInnen eine Balkenbrücke sowie eine Bogenbrücke mit Papier modellhaft umsetzen. Vorher sollten sie Vermutungen anstellen, welche der beiden Brücken ihrer Meinung nach mehr tragen kann. Mit der Durch-

führung der Versuche werden die Hypothesen der SchülerInnen überprüft. Die Aufgaben können in Partner- oder Einzelarbeit durchgeführt werden, wozu je Brückenmodell ca. 16-18 Holzbausteine für die seitlichen Brückenaufleger sowie je zwei Kartonstreifen für die beiden Papierbrückenkonstruktionen benötigt werden. Die Kartonstreifen können von der Lehrperson an der Papierschneidemaschine auf effektive Weise hergestellt werden.

Im ersten Versuch soll mit den Papierstreifen eine Balkenbrücke nachgebildet werden, indem zwei Streifen übereinander auf die Holzbausteine aufgelegt werden und die Brücke mit einem Spielzeugauto belastet wird. Die Papierbalkenbrücke hält dem Spielzeugauto nicht stand und die Streifen rutschen zwischen die Holzbausteine.



Im zweiten Versuch wird eine Bogenbrücke nachgeahmt, indem ein Streifen als Bogen zwischen die Holzbausteine, die die Funktion seitlicher Widerlager übernehmen, gespannt wird und der andere Streifen als Fahrbahn darüber gelegt wird. Diese Brückenkonstruktion wird ebenfalls mit einem Spielzeugauto belastet. Der obere Streifen biegt sich etwas durch und der untere Streifen, der als Bogen fungiert, wird eingedrückt, hält aber der Belastung stand.



Auch eine doppelte Belastung mit zwei Spielzeugautos kann die Bogenbrücke noch tragen. Der obere und der untere Papierstreifen biegen sich allerdings etwas mehr

durch, und der obere Streifen weicht an den Auflagern nach oben aus, da er nicht fixiert ist.



ERGEBNISSICHERUNG - Unterrichtsgespräch und Zeichnungen

In einem gemeinsamen Unterrichtsgespräch können die SchülerInnen ihre aufgestellten Vermutungen überprüfen. Es sollte herausgearbeitet werden, dass bei gleicher Spannweite und gleichem Material eine Bogenbrücke mehr Belastungen erträgt als eine Balkenbrücke. Jedes Kind sollte eine schematische Zeichnung einer Balken- und einer Bogenbrücke (ohne Belastung durch ein Spielzeugauto) anfertigen.

Nun kann in zwei weiteren Versuchen das Augenmerk der SchülerInnen auf das Haupttragwerk einer Bogenbrücke und einer Balkenbrücke gelenkt werden. Das Durchbiegen eines Balkens sowie das seitliche Ausweichen eines Bogens kann mittels Belastungsversuchen in Partnerarbeit erfahren werden. Die Kinder sollten beim Durchführen der Versuche am eigenen Körper spüren wie sich das jeweilige Tragsystem bei Belastung verhält.

HINWEISE ZUR DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHE

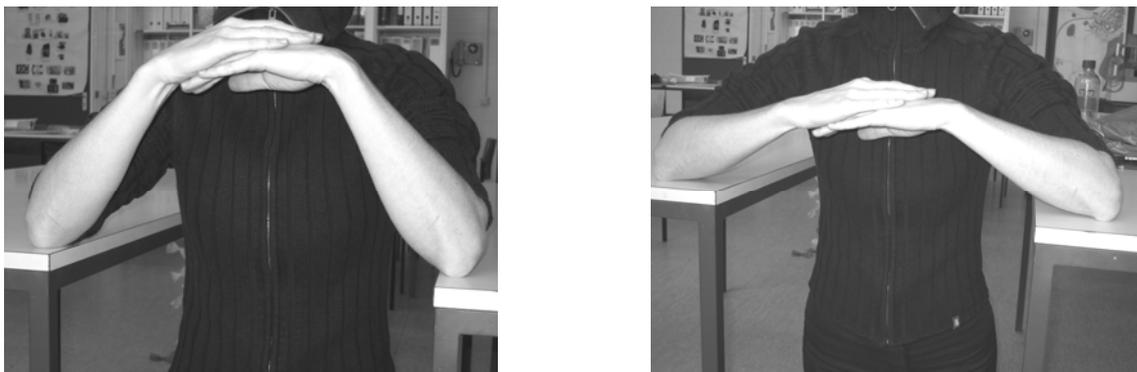
Bei beiden Versuchen kniet sich ein Kind hin oder setzt sich auf einen Stuhl, der zwischen zwei Tischen steht, und das andere Kind belastet das aus den beiden Armen gebildete Tragsystem.

Um das Durchbiegen eines Balkens zu simulieren, legt das sitzende Kind, wie auf dem linken Foto, die Ellenbogen auf die Tischkanten auf und bildet mit den Armen einen Balken, wobei sich die beiden Hände überlappen. Das andere Kind belastet von oben mittig die Arme (Konstruktion), wobei der Druck langsam zunehmen sollte. Die Arme weichen durch den Druck nach unten aus und die SchülerInnen erleben in diesem Versuch durch Erfahrung am eigenen Körper, dass ihre Arme im oberen Bereich

gedrückt und unten durch den Druck auseinander gezogen wurden. Das heißt der "Armbalken" biegt sich aufgrund der Belastung durch.



Beim seitlichen Ausweichen eines Bogens legt das kniende oder sitzende Kind wie auf dem linken unteren Foto, die Ellenbogen auf die Tischkanten auf und bildet mit den Armen eine Art Bogen, bei der die beiden Hände übereinander liegen und den höchsten Punkt, den Scheitel, des Bogens bilden. Das andere Kind belastet im Scheitelpunkt die Arme (Konstruktion) des sitzenden Kindes, wobei es den Druck langsam steigert.



In diesem Versuch können die SchülerInnen die Erfahrung machen, dass ihre Arme, wenn sie im oberen Bereich gedrückt werden, im unteren Bereich nach außen geschoben werden. Der Versuch macht für die Kinder sichtbar und erfahrbar wie sich ein Bogen, bei dem keine seitlichen Widerlager vorhanden sind, im Belastungsfall verhält. Das Auseinanderschieben der Arme entspricht dem seitlichen Ausweichen eines Bogens aufgrund von Horizontalschub¹.

TRAGSYSTEM DES BOGENS

Die Ergebnisse der beiden Versuche können in einem kurzen Unterrichtsgespräch ausgetauscht werden. Im Anschluss an den Vergleich der beiden Tragsysteme Balken und Bogen, sollte der Fokus auf das Tragsystem des Bogens gelenkt werden. Dazu

¹ Der Horizontalschub entspricht den in der Sachanalyse beschriebenen Horizontalkräften und wird in der Literatur synonym verwendet. Horizontalschub schien den Verfasserinnen für Kinder verständlicher, da es an ihre Erfahrung des Auseinanderschiebens beim "Armbalken" anknüpft.

können die Kinder aufgefordert werden auszuprobieren wie die Stabilität des Bogens verbessert werden könnte. Hierzu sollten sich die Zweiergruppen zu Vierergruppen zusammenschließen. Eine Möglichkeit könnte darin bestehen, dass wiederum ein Kind von oben auf den höchsten Punkt des "Armbogens" Druck ausübt und die beiden anderen Kinder jeweils von beiden Seiten unten gegen die Ellenbogen drücken, um ein seitliches Ausweichen zu verhindern.

ERGEBNISSICHERUNG - Unterrichtsgespräch

Die Erfahrungen und Vorschläge der Kinder werden in einem Unterrichtsgespräch ausgetauscht und reflektiert. Die Kinder können entdecken, dass sie das Auseinandergehen des "Armbogens" verhindern können, indem sie im unteren Bereich von außen dagegen drücken und damit die Funktion der seitlichen Widerlager übernehmen, die bei einem Bogen in der Realität dem seitlichen Mauerwerk und bei den Vorversuchen im Unterrichtseinstieg den Holzbausteinen entsprechen. Die Begriffe "seitliches Widerlager" und "Horizontalschub" sollten von der Lehrperson eingeführt werden. Sie werden in der darauf folgenden Versuchsreihe benötigt. Zur Verdeutlichung und zum Erinnern sollte eine entsprechende Skizze auf dem Plakat angebracht werden.

HINWEISE ZUR DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHSREIHEN

In der darauf folgenden Phase sollen die SchülerInnen einen Halbkreisbogen sowie einen Flachbogen in zwei Versuchsreihen aus Papier selbst bauen und deren Tragverhalten erkunden. Wie in der Sachanalyse bereits dargestellt, werden in der Fachliteratur die Begriffe Rundbogen und Segmentbogen verwendet, die dem Halbkreisbogen und dem Flachbogen entsprechen. Diese Bezeichnungen scheinen den Verfasserinnen für Kinder verständlicher, da sie aus ihnen bekannten Begriffen abgeleitet werden können.

Die beiden Bogenformen sollen miteinander verglichen werden, sowie erarbeitete Sachverhalte des Halbkreisbogens auf den Flachbogen übertragen werden. Für beide Bogenformen werden den Kindern Ausschneidebögen (in 160 g/m²-Papier) für die jeweiligen Kämpfersteine, Keilsteine und das Lehrgerüst zur Verfügung gestellt. Die genauen Mengenangaben für die zu erstellenden Kämpfer- und Keilsteine finden sich in der Sachanalyse. Auf den Ausschneidebögen (Kopiervorlagen) sind Schnittlinien als dicke Linien, Faltlinien als gestrichelte Linien und Flächen, die mit Klebstoff versehen werden gepunktet dargestellt.

Beide Bögen sollten in Partnerarbeit gebaut werden. Das hat zwei Vorteile: Einerseits können die Papierschachteln schneller und arbeitsteiliger hergestellt werden, andererseits kann der Bogen so von beiden Seiten gleichmäßig von unten aufgebaut werden. Da für das Bauen der Papierschachteln eine hohe Geschicklichkeit und viel Geduld erforderlich ist, sollte bei der Gruppenbildung darauf geachtet werden, dass die Kinder sich mit ihren Fähigkeiten gegenseitig ergänzen können.

1. VERSUCHSREIHE - HALBKREISBOGEN

Bevor mit der Konstruktion des Halbkreisbogens begonnen werden kann, werden die 11 gleich großen Keilsteine sowie die beiden quaderförmigen Kämpfersteine aus Papier von den Zweiergruppen hergestellt. Während des Baus sollten den Kindern einige fertige Anschauungsmodelle der Keilsteine und der Kämpfersteine in einem andersfarbigen Karton zur Verfügung stehen.

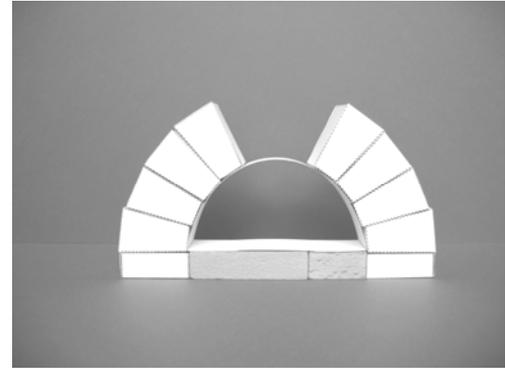
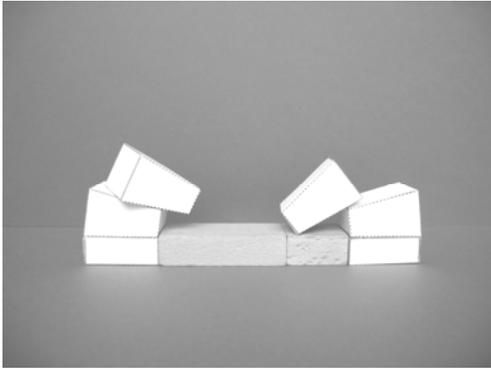
Die Konstruktion des Halbkreisbogens ist in sechs Schritte unterteilt und wird den Kindern durch eine Anschrift auf dem Plakat oder eine Tafelanschrift vorgegeben. Diese Anleitung ist notwendig, da die SchülerInnen so Schritt für Schritt die Merkmale und Wirkungsweise der tragenden Struktur eines Bogens erkennen und erarbeiten können. Es sollte sich nach jedem Schritt ein kurzes Unterrichtsgespräch anschließen, in dem das Wichtigste zusammengefasst wird und neue Begriffe wie "Schlussstein", "Kämpferstein", "Hilfs- oder Lehrgerüst" eingeführt werden und auf dem Plakat festgehalten werden.

Aufgrund der Komplexität der Begriffe, sollte eine didaktische Reduzierung erfolgen, indem das untere Widerlager als Kämpferstein bezeichnet wird, damit die Kinder diesen Stein nicht mit dem seitlichen Widerlager verwechseln. Beim Halbkreisbogen sollte der unterste quaderförmige Stein als Kämpferstein bezeichnet werden, beim Flachbogen der trapezförmige Stein. Das ist bautechnisch gesehen nicht ganz korrekt, erleichtert aber für die Kinder das Verständnis, dass dieser Stein gegen das Gewicht des Bogens zu "kämpfen" hat.

1. Schritt:

Die SchülerInnen sollen mit ihren fertigen Papierkeilsteinen einen Bogen erstellen. Dazu bekommen sie pro Gruppe Holzbausteine oder ähnliche Abstandhalter der Länge 10,5 cm und der Höhe 1,5 cm, neben die sie die beiden quaderförmigen Kämpfersteine legen. Der Bau des Bogens sollte gleichmäßig von beiden Seiten aus erfolgen. Die

Kinder werden feststellen, dass die Papierkeilsteine ab einer bestimmten Lage in die Mitte rutschen (linkes Foto). Daraufhin sollten die SchülerInnen Ideen zur Problemlösung äußern und von der Lehrperson auf die Notwendigkeit eines Hilfsgerüsts bzw. Lehrgerüsts hingewiesen werden, falls sie nicht eine ähnliche Möglichkeit selbst nennen.



2. Schritt:

Jede Gruppe bekommt den Bogen mit dem Lehrgerüst von der Lehrperson zur Verfügung gestellt, welches die SchülerInnen ausschneiden und zusammenkleben. Mit Hilfe des Lehrgerüsts soll erneut ein Bogen gebaut werden, dessen Errichtung besser gelingt als im ersten Schritt, da die Papierkeilsteine auf dem Lehrgerüst aufliegen können und somit gestützt werden (rechtes oberes Foto).

3. Schritt:



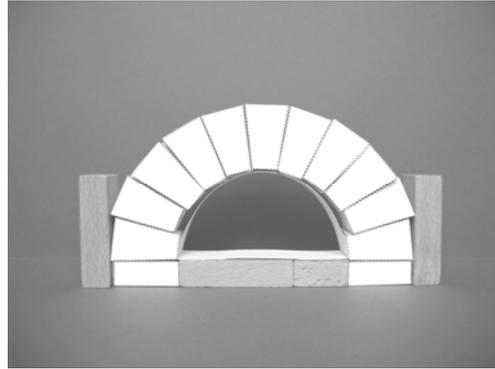
Bevor der Bogen fertig gestellt und der oberste Papierkeilstein (Schlussstein) eingesetzt wird, sollen die SchülerInnen beobachten was mit den unteren Papierkeilsteinen in dem Augenblick passiert, in dem der oberste Papierkeilstein eingefügt wird. Wenn die Kinder die Beobachtung äußern, dass diese nach außen rutschen, kann an den Versuch mit dem

"Armbogen" angeknüpft werden, bei dem die Kinder das seitliche Ausweichen des Bogens selbst erfahren haben. Daraufhin sollten die SchülerInnen Vorschläge formulieren, was dem Rutschen der unteren Papierkeilsteine entgegengesetzt werden kann.²

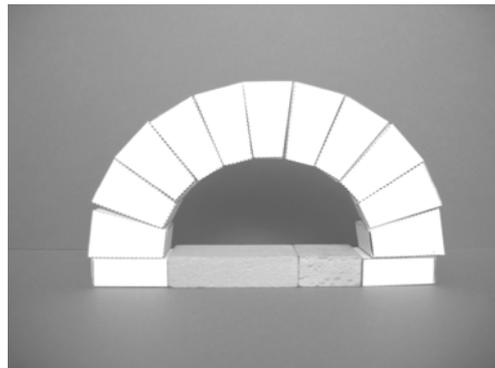
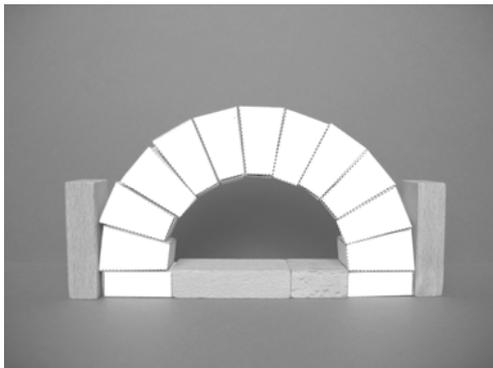
² Da es nur um das seitliche Ausweichen geht, sollte nicht thematisiert werden, dass der "Armbogen" aufgrund der Belastung von oben und der Bogen aus Papierkeilsteinen aufgrund des Einsetzen des Schlusssteins auseinander geht.

4. Schritt:

Die SchülerInnen werden vermutlich, ähnlich wie bei dem Armbogen, die Idee äußern, etwas von außen dagegen zu schieben, das als seitliches Widerlager fungiert. Es können wie auf dem nebenstehenden Foto zwei hochkant stehende Holzbausteine oder etwas vergleichbar Schweres verwendet werden.

**5. Schritt:**

Nachdem der Bogen fertig gestellt und durch seitliche Widerlager stabilisiert ist, sollen die Kinder das Papierlehrgerüst entfernen, indem sie es im unteren zusammengeklebten Bereich herausziehen. Das sollte vorsichtig erfolgen, damit die Papierkeilsteine nicht zu sehr verrutschen. Das Resultat ist, dass der Bogen sich selbst trägt und nun kein Lehrgerüst mehr benötigt wird (linkes Foto).

**6. Schritt:**

Im letzten Schritt werden die seitlichen Widerlager entfernt. Das sollte ebenfalls langsam geschehen und dabei genau beobachtet werden, ob sich der Bogen verändert. Die untersten Papierkeilsteine schieben sich etwa nach außen und der Bogen trägt sich selbst (rechtes Foto).



Wenn die seitlichen Widerlager sehr schnell und unvorsichtig entfernt werden, und die Keilsteine des Halbkreisbogens nicht genau aufeinander lagern, kann der Bogen, wie auf dem nebenstehenden Foto, in sich zusammenfallen.

Wie in der Sachanalyse bereits erwähnt, wird in der Realität Mörtel zwischen den Steinen als Haftung verwendet. Im Modell sollen alle Papierkeilsteine, außer dem Schlussstein und den untersten beiden Papierkeilsteinen, miteinander verklebt werden. Der Bogen wird mit den verklebten Steinen erneut aufgebaut und die seitlichen Widerlager entfernt, wobei zu beobachten ist, dass sich die untersten Papierkeilsteine nur noch geringfügig nach außen verschieben und der Bogen stehen bleibt.

ERGEBNISSICHERUNG – Unterrichtsgespräch und Zeichnungen

In einem Unterrichtsgespräch werden die Ergebnisse der Versuchsreihe noch einmal wiederholt und zusammengefasst. Es sollte den Kindern die Funktion des Schlusssteins, der Kämpfersteine sowie der seitlichen Widerlager deutlich geworden sein. Der gebaute Halbkreisbogen sollte von jedem Kind abgezeichnet werden und mit den neu gelernten Begriffen, "Schlussstein" und "Kämpferstein", beschriftet werden.

2. VERSUCHSREIHE - FLACHBOGEN

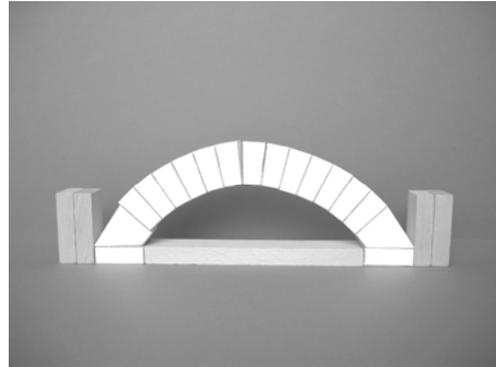
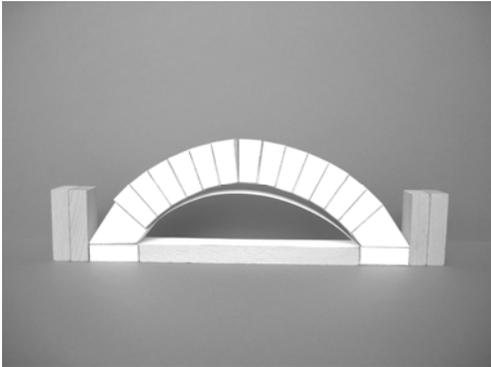
Beim Bau des Flachbogens kann auf die Erfahrungen des Halbkreisbogens aufgebaut werden. Dieser wird daher lediglich in drei Schritten realisiert und den Kindern ebenfalls mit einer Tafelanschrift oder ähnlichem vorgegeben. Auch beim Flachbogen schließt sich nach jedem Schritt ein kurzes Unterrichtsgespräch an, um das Wichtigste zu thematisieren. Der Bau des Flachbogens sollte in den gleichen Gruppen erfolgen, so dass jedes Kind am Ende der Versuchsreihe die Bestandteile eines Bogens mit nach Hause nehmen kann.

Bevor mit der Konstruktion des Flachbogens begonnen werden kann, werden die 13 gleich großen Keilsteine, die zwei trapezförmigen Kämpfersteine sowie die beiden quaderförmigen Auflager aus Papier von den Zweiergruppen hergestellt. Während des Baus sollten einige zusammengeklebte Anschauungsmodelle der Keilsteine, der Kämpfersteine und der Auflager in einem andersfarbigen Karton zur Verfügung stehen.

1. Schritt:

Die SchülerInnen sollen mit ihren fertigen Papierkeilsteinen und dem Lehrgerüst einen Bogen erstellen. Dazu bekommen sie pro Gruppe Holzbausteine oder ähnliche Abstandhalter der Länge 21 cm und der Höhe 1,5 cm, neben die sie die beiden quaderförmigen unteren Auflager legen. Als seitliche Widerlager können zwei hochkant stehende Holzbausteine oder etwas ähnlich Schweres verwendet werden. Der Bau des Bogens

sollte gleichmäßig von beiden Seiten aus erfolgen. Alle keilförmigen Papiersteine mit Ausnahme des Schlusssteins werden miteinander verklebt (linkes Foto).



2. Schritt:

Nachdem der Bogen fertig gestellt ist kann das Papierlehrgerüst von den Kindern entfernt werden, indem sie es im unteren zusammengeklebten Bereich herausziehen. Das sollte vorsichtig erfolgen, damit die Papierkeilsteine nicht zu sehr ihre Lage verändern. Das Resultat ist, wie beim Halbkreisbogen, dass der Flachbogen sich selbst trägt und nun kein Lehrgerüst mehr benötigt wird (rechtes Foto).

3. Schritt:



Bevor die seitlichen Widerlager entfernt werden, sollten die Kinder Vermutungen darüber äußern, was passiert, wenn sie diese wegnehmen. Dieser Moment ist für die Kinder vermutlich sehr spannend. Der Überraschungseffekt der entsteht, wenn beim Wegnehmen der Widerlager der Flachbogen auseinander fällt, kann zum Anlass genommen werden, um den Unterschied zwischen einem Halbkreisbogen und einem Flachbogen aus statischer Perspektive zu betrachten. Es sollte klar werden, dass je flacher ein Bogen ist, desto stärker weichen die unteren Steine zur Seite hin aus, das heißt desto stärker ist der entstehende Horizontalschub.

zum Anlass genommen werden, um den Unterschied zwischen einem Halbkreisbogen und einem Flachbogen aus statischer Perspektive zu betrachten. Es sollte klar werden, dass je flacher ein Bogen ist, desto stärker weichen die unteren Steine zur Seite hin aus, das heißt desto stärker ist der entstehende Horizontalschub.

ERGEBNISSICHERUNG UND TRANSFER

In einem abschließenden Unterrichtsgespräch werden die Ergebnisse der Versuchsreihe zum Flachbogen zusammengefasst und Bezüge zum Halbkreisbogen hergestellt. Dazu sollten die Gemeinsamkeiten der beiden Bogenformen (beide Bögen bestehen aus Kämpfersteinen, Keilsteinen und einem Schlussstein), als auch die Unterschiede (ein Halbkreisbogen trägt sich selbst und ein Flachbogen benötigt seitliche Widerlager)

an je einem Modell eines Halbkreisbogens und eines Flachbogens im Sitzkreis gemeinsam nachvollzogen werden.

Die SchülerInnen sollten zudem einen Transfer zu Bögen herstellen, die sie kennen. Wichtig wäre zudem, dass das Tragsystem des Bogens wieder in einen größeren Zusammenhang gestellt wird und auf die Ebene der Bogenbrücken, mit denen die Unterrichtseinheit begonnen hat, gebracht wird.

TIPPS UND TRICKS	<ul style="list-style-type: none"> • Zum Kleben der Papierschachteln und des Lehrgerüsts eignet sich am besten ein Pritt-Stift. • Als mittlerer Abstandhalter können die SchülerInnen, falls keine Holzbausteine zur Verfügung stehen, zwei zusammengeklebte leere Streichholzschachteln üblicher Größe verwenden. • Als seitliche Widerlager können die Kinder, falls keine Holzbausteine vorhanden sind, ihre Etais verwenden.
MEDIEN	<ul style="list-style-type: none"> • Plakate mit Fotos oder Zeichnungen einer Balken- und einer Bogenbrücke • Kopiervorlagen für den Halbkreisbogen und Flachbogen <p>10 quaderförmige Steine – Halbkreisbogen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5 Bögen farbiges DIN-A4-Papier, 160g/m² <p>10 Keilsteine - Halbkreisbogen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5 Bögen farbiges DIN-A4-Papier, 160g/m² <p>10 quaderförmige Steine – Flachbogen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5 Bögen farbiges DIN-A4-Papier, 160g/m² <p>10 trapezförmige Steine – Flachbogen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5 Bögen farbiges DIN-A4-Papier, 160g/m² <p>10 Keilsteine - Flachbogen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5 Bögen farbiges DIN-A4-Papier, 160g/m²
LITERATUR	<p>ANREGUNGEN DURCH: Die Idee einen Halbkreisbogen mittels Papierkeilsteinen herzustellen ist aus dem Artikel von Aloys Wesseling entnommen, ebenso die Maße für die Keilsteine und das Lehrgerüst des Halbkreisbogens.</p> <p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baulexikon. Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Hg. v. Rüdiger Wormuth / Klaus-Jürgen Schneider. Berlin: Bauwerk 2000. • Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. Teil I. 31., neu bearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. • Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Willems, Claus-Christian: Grundlagen der Tragwerklehre 2. 6., überarb. Aufl. 2004. S. 99-115. • Leonhardt, Fritz: Brücken. Ästhetik und Gestaltung. 4. Aufl. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt 1994. • Schrader, Mila / Voigt, Julia: Bauhistorisches Lexikon. Baustoffe, Bauweisen, Architekturdetails. Suderburg-Hösseringen: Anderweit. 2003. • VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. Hg. v. Hans-Gustav Olshausen und VDI-Gesellschaft Bautechnik. 2., überarb. und erw. Aufl. Berlin / Heidelberg: Springer 1997. • Wesseling, Aloys: Die alte Brücke von Mostar. Tore und Brückenbogen konstruieren und untersuchen. In: Sache Wort Zahl 33 (2005). S. 29-42. • http://bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/bogen/bogen.html (28.10.05). • http://de.wikipedia.org/wiki/Bogen_%28Architektur%29 (28.10.05).
ABBILDUNGEN	<ul style="list-style-type: none"> • Abb. 1: http://www.karl-gotsch.de/Bilder/Gard.JPG (07.11.05). • Abb. 2: http://www.karl-gotsch.de/Lexbild/Bogen_Kreis.JPG (07.11.05). • Abb. 3: http://www.karl-gotsch.de/Lexbild/Segment_Kreis.JPG (07.11.05). • Abb. 4: http://www.bauwerk-verlag.de/baulexikon/images/BOGEN.gif

(07.11.05).

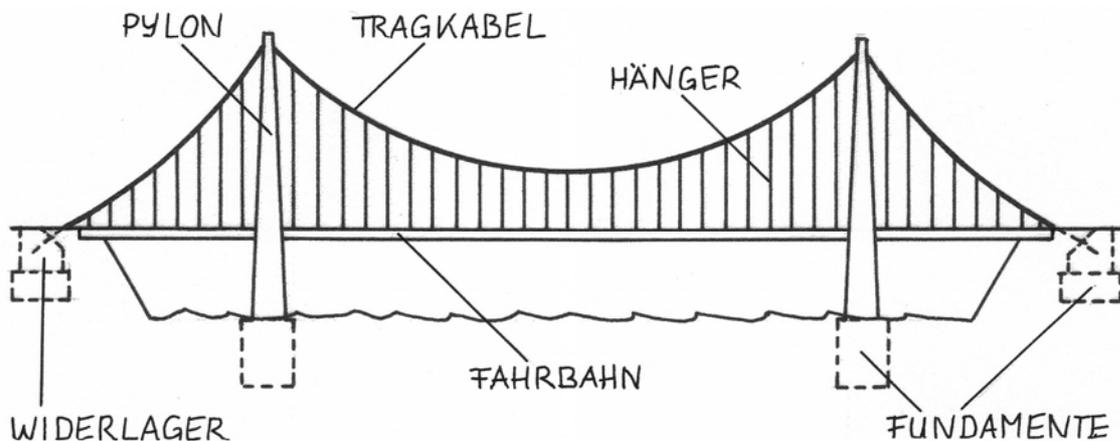
- **Abb. 5:** Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Willems, Claus-Christian: Grundlagen der Tragwerklehre 2. 6., überarb. Aufl. Köln: Müller 2004. S. 100.
- **Abb. 6:** Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Willems, Claus-Christian: Grundlagen der Tragwerklehre 2. 6., überarb. Aufl. Köln: Müller 2004. S. 102.
- **Abb. 7:** http://www.bernd-nebel.de/bruecken/3_bedeutend/muengsten/bilder/muengsten.jpg (07.11.05).
- **Abb. 8:** <http://www.deutsche-bruecken.de/fotos/s12jpg> (07.11.05).
- **Abb. 9:** http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/bogen/bilder/bogen2.JPG (07.11.05).
- **Abb. 10:** http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/bogen/bilder/bogen3.JPG (07.11.05).
- **Abb. 11:** http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/bogen/bilder/bogen4.JPG (07.11.05).

4.4 Hängebrücken

SCHWIERIGKEITSGRAD	hoher Anspruch
ZEIT	ca. 8 - 10 Stunden; ideal für Projektwoche
MATERIALIEN UND WERKZEUGE	<p>Vorversuch A</p> <ul style="list-style-type: none"> • Streifen aus 160 g/m²-Papier; Maß: 14,85 * 42 cm (= 1/2 DIN-A3-Format) ⇒ Die Streifen werden zuvor an ihren beiden Längsseiten von der Lehrperson mit gleichmäßig verteilten Löchern versehen (mit einem Locher). • Streichholzschachteln (od. andere Schachteln bzw. Bauklötze) • Spielzeugautos <p>Versuch B</p> <ul style="list-style-type: none"> • Holzspieße • Knete • Wolle (fusselarm) od. Baumwolle • Wäscheklammern <p>Versuch C</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seilstücke (z. B. dickere Paketschnur), Länge ca. 70 cm <p>Versuch D</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pommegabeln (vorzugsweise aus Holz) • Knete • Wolle (fusselarm) od. Baumwolle • wasserfeste Stifte, falls die Pommegabeln aus Plastik sind <p>Versuch E</p> <ul style="list-style-type: none"> • Holzspieße • Knete • Wolle (fusselarm) od. Baumwolle • Wäscheklammern <p>pro Modell</p> <ul style="list-style-type: none"> • stabiler Karton; Maß: ca. 25 * 85 cm • 1 Streifen aus 160 g/m²-Papier; Maß: 14,85 * 42 cm (= 1/2 DIN-A3-Format) ⇒ Die Streifen werden zuvor an ihren beiden Längsseiten von der Lehrperson mit gleichmäßig verteilten Löchern versehen (mit einem Locher). • 5-6 Holzspieße (z. B. Schaschlik-Spieße) • Wolle bzw. Baumwolle (möglichst fusselarm) • 4 Styroporkugeln Ø 4 cm ⇒ Diese müssen von der Lehrperson in Vorarbeit jeweils in zwei Hälften zerteilt werden (am besten mit einem Cutter). • 4 Papierkugeln Ø 1,5 cm ⇒ Diese haben an einer Stelle ein Loch, in das ein Holzspieß hinein geklebt werden kann. Da sie im Modell als Umlenkung für das Tragseil dienen, muss von der Lehrperson auf der gegenüberliegenden Lochseite jeweils eine feine Rille eingearbeitet werden (am besten mit einem Cutter). • evtl. blauer Fotokarton od. blaues Papier ⇒ Dieses kann auch dadurch ersetzt werden, dass die Kinder mit einem blauen Stift einen Fluss auf den Karton malen. • 12 Streichholzschachteln ⇒ Diese können auch durch andere Schachteln, Styroporklötze oder anderes ersetzt werden. • Spielzeugautos • Schere • Lineal • transparentes Klebeband • Klebstoff (flüssig (für Styropor geeignet) und als Klebstift) • Cutter (nur für Lehrperson) • Locher (nur für Lehrperson)

SACHANALYSE

Hängebrücken bestehen aus verschiedenen Bestandteilen. Die auffällige äußere Form einer Hängebrücke wird hauptsächlich von den Drahtkabeln des Hängetragwerks und den Pylonen¹ bestimmt. Die meisten Hängebrücken haben zwei Pylone², die als hohe Stützkonstruktionen das Hängetragwerk der Brücke aufnehmen. Sie dienen gleichzeitig als Auflager für die Tragkabel des Hängetragwerks und als deren Umlenkung. Das Hängetragwerk besteht aus den beiden Tragkabeln (z. T. auch als Trageisil bzw. Hängegurt bezeichnet) an denen senkrechte Hänger (Stangen bzw. Kabel) montiert sind. Über diese Hänger wird das Fahrbahntragwerk an den Tragkabeln aufgehängt. Die Befestigung der Tragkabelenden erfolgt auf zwei verschiedene Weisen: Bei der „echten“, erdverankerten Hängebrücke werden sie zu den Widerlagern außerhalb der Brücke geführt und dort im natürlichen Fels bzw. in künstlichen Ankerblöcken im Baugrund verankert. Bei der Variante der „unechten“, in sich selbst verankerten Hängebrücke erfolgt die Verankerung der Tragkabel an den Enden eines biegesteifen Fahrbahnträgers.³ Auf die zweitgenannte Variante wird in der vorliegenden Arbeit nicht weiter eingegangen.



Die Hängebrücke wird häufig als die „Königin unter den Brücken“ beschrieben⁴, da durch ihre Konstruktionsweise die größten Spannweiten überbrückt werden können. Darüber hinaus besticht sie häufig durch ihre Ästhetik. Eine der wohl bekanntesten Hängebrücken ist die 1937 fertiggestellte *Golden Gate Bridge* in San Francisco, die eine Spannweite⁵ von 1280 m hat.⁶

¹ Pylone sind hohe Stützkonstruktionen, sie werden im Verlauf des Textes noch näher erläutert.

² Es gibt auch Hängebrücken mit mehr als zwei Pylonen.

³ vgl. <http://www.karl-gotsch.de/Lexikon/Haengebr.htm> (28.10.05).

⁴ vgl. http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/haenge/haenge.html (28.10.05).

⁵ Die Spannweite bezieht sich auf den Abstand zwischen den Pylonen und ist daher nicht zu verwechseln mit der Gesamtlänge einer Brücke.

⁶ vgl. Brockhaus – Die Enzyklopädie: in 24 Bänden. Band 4 (Bron-Crn). 20., überarb. u. aktualisierte Aufl. Leipzig / Mannheim: Brockhaus 1996. S. 29.



Abb. 1:
Golden Gate Bridge

Die Hängebrücke ist nach der Balkenbrücke vermutlich die zweitälteste Brückenform.



Abb. 2:
Indios auf einer einfachen
Hängebrücke aus Lianen

Auch diese Konstruktionsart ist wahrscheinlich durch natürliche Vorbilder, beispielsweise Lianen, die über einem Fluss hängen, inspiriert worden. Die ersten einfachen Hängebrücken bestanden nur aus wenigen Seilen, die aus Naturfasern geflochten waren und über einer Schlucht oder einem Fluss befestigt wurden. Später wurde diese Bauweise verbessert, indem zusätzliche Seile und ein Steg aus Brettern oder Bambus eingefügt wurden. In China ersetzte man bereits vor über 2000 Jahren die Seile aus Naturfasern durch schmiedeeiserne Ketten. Bei diesem Urtyp der Hängebrücke folgt der Steg der Form des hängenden Seils.⁷ Solche einfachen Konstruktionen findet man auch heute noch, beispielsweise im tropischen Regenwald, in manchen Gebirgsregionen oder bei uns auf zahlreichen Spielplätzen.

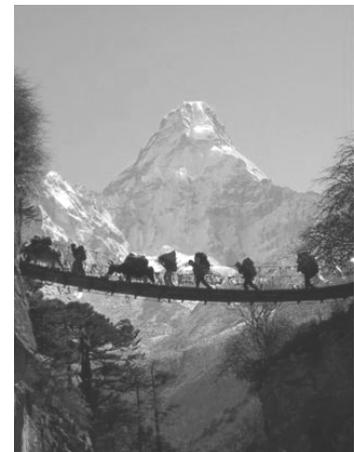


Abb. 3:
Einfache Hängebrücke im Gebirge

Der moderne Hängebrückenbau, wie wir ihn heute kennen, begann etwa Anfang des 19. Jh. Die wesentlichen Neuerungen bestanden darin, dass die Fahrbahn horizontal verlief und dass das Tragwerk an Pylonen aufgehängt wurde, wodurch deutlich längere Spannweiten möglich waren.⁸ Dieses Prinzip gilt auch heute noch.

⁷ vgl. http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/haenge/haenge.html (28.10.05).

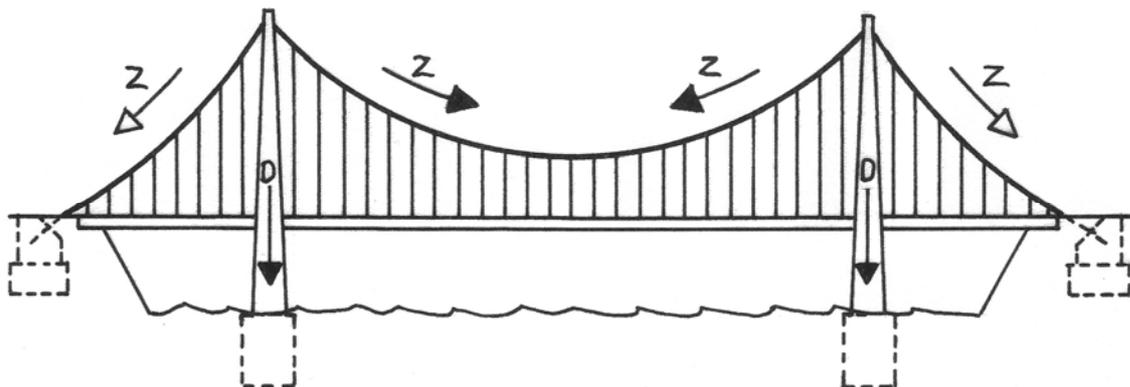
⁸ vgl. ebd.

Anfangs wurden fast ausschließlich Ketten als tragende Bauteile der Hängekonstruktion verwendet. Doch nachdem die industrielle Produktion von festen Stahldrähten möglich war, wurden die Ketten durch Drahtkabel, die aus einer Vielzahl von gebündelten Stahldrähten bestehen, ersetzt.⁹

Die Pylone sind sehr hohe Stützkonstruktionen, die weit über die Fahrbahn hinausragen. Früher wurden sie aus Holz oder Mauerwerk gebaut, heute meistens aus Stahl oder Stahlbeton. Pylone weisen häufig sehr markante Formen auf.

In Hängebrückenkonstruktionen herrschen sowohl Zug- als auch Druckkräfte.

Das Fahrbantragwerk wird, wie bereits erwähnt, über Hänger an die Tragkabel aufgehängt. Dadurch entstehen in allen Drahtkabeln des Hängetragwerks (Tragkabel und Hänger) ausschließlich Zugkräfte, welche die Eigen-, Verkehrs- und Windlasten aufnehmen müssen. Zwischen den Pylonen verlaufen in den Tragkabeln die Zugkräfte zur Brückenmitte hin, welche durch Gegenkräfte aufgenommen werden müssen, um die Standsicherheit des Brückenbauwerks zu gewährleisten. Resultierende Zugkräfte, die in den Bereichen der Tragkabel herrschen, welche sich zwischen den Pylonen und den Endverankerungen (Widerlagern) befinden, bewirken diese erforderliche Gegenkraft.¹⁰



Kräfteverlauf bei einer Hängebrücke

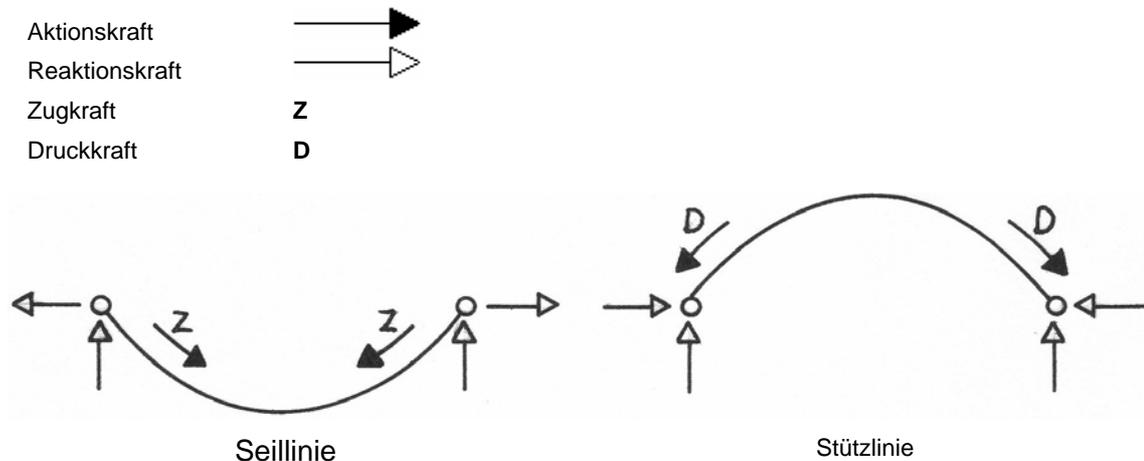
Aus statischer Perspektive betrachtet, kann die Hängebrücke als Gegenmodell der Bogenbrücke beschrieben werden, da die Stützlinie des Bogens¹¹ die Umkehrung der

⁹ vgl. ebd.

¹⁰ vgl. ebd.

¹¹ vgl. 4.3.2 Keilsteinbogenbrücken

Seillinie unter gleicher Lasteinwirkung ist. Im stützlinienförmigen Bogen wirken Druckkräfte, im Seil hingegen Zugkräfte. Auch die horizontalen Auflagerkräfte wirken in umgekehrter Richtung.¹²



Der sich zwischen den beiden Pylonen einer Hängebrücke befindliche Teil eines Tragkabels wird aus statischer Sicht als ein Seil betrachtet. Seile können im statischen Modell nur Zugkräfte, also weder Druck- oder Schubkräfte noch Momente aufnehmen. Wird ein Seil belastet, nimmt es die zum Abtragen dieser Last günstigste Form, die sogenannte Seillinie, an. Unterschiedliche Lasten führen dabei zu unterschiedlichen Seillinien.¹³ Bei Hängebrücken kommen dazu noch durch Wind verursachte Schwingungen. Da das Hängetragwerk lediglich aufgehängt wird, reagieren Hängebrücken sehr empfindlich auf horizontale Windkräfte, wodurch gefährliche Schwingungen auftreten können. Beim Bau der ersten modernen Hängebrücken konnten die Ingenieure dieses Schwingungsverhalten noch nicht richtig einschätzen, was zum Teil zum Einsturz solcher Brückenkonstruktionen führte.¹⁴ Um die Formänderung von Brückentragseilen möglichst gering zu halten, muss deren Seilform stabilisiert werden. Dies kann z. B. durch große, ständige Last oder durch biegesteife Fahrbantragwerke (Versteifungsträger) erfolgen.¹⁵

Das Fahrbantragwerk einer Hängebrücke wirkt im Prinzip als Durchlaufträger wie bei einer Balkenbrücke¹⁶, allerdings mit dem entscheidenden Unterschied, dass bei Balkenbrücken mehrere Stützen Druckkräfte und bei Hängebrücken viele Hänger Zugkräfte aufnehmen müssen.

¹² vgl. Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Willems, Claus-Christian: Grundlagen der Tragwerklehre 2. 6., überarb. Aufl. Köln: Müller 2004. S.115.

¹³ vgl. ebd. S. 114.

¹⁴ vgl. http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/haenge/haenge.html (28.10.05). Ein bekanntes Beispiel dafür ist die 1940 kurz nach ihrer Fertigstellung eingestürzte *Tacoma Narrows Bridge* im US-Bundesstaat Washington.

¹⁵ vgl. Krauss, F. u. a.: Grundlagen der Tragwerklehre 2. S. 114.

¹⁶ vgl. 4.2 Balkenbrücken

Die Pylone nehmen, wie zuvor beschrieben, vertikale Lasten, resultierend aus der Umlenkung der Tragkabel, auf. Sie werden auf Druck beansprucht, den sie über ihre Fundamente an den Baugrund weiterleiten.

Die Endverankerungen der Tragkabel müssen bei der „echten“ Hängebrücke Vertikal- und Horizontalzug aufnehmen.¹⁷

Kurz zusammengefasst kann festgehalten werden, dass in Hängebrückenkonstruktionen in allen Drahtkabeln des Hängetragwerks Zugkräfte und in den Pylonen Druckkräfte herrschen.

Die Hängebrücken sind von den Schrägseilbrücken zu unterscheiden. Die Schrägseilbrücke wird häufig als eine Weiterentwicklung oder auch als Untergruppe der Hängebrücke beschrieben. Bei Schrägseilbrücken wird die Fahrbahnkonstruktion mit vielen schrägen Kabeln, die meist fächer- oder harfenartig angeordnet sind, direkt an den Pylonen aufgehängt. Die Kabel sind sehr straff gespannt, so dass sie fast gerade verlaufen. Die Zugkräfte in den Kabeln werden von den Pylonen aufgenommen. Schrägseilbrücken werden auch als „unechte“ Hängebrücken bezeichnet, da die Tragkabel nicht wie bei „echten“ Hängebrücken in außerhalb liegenden Ankerblöcken, sondern direkt im Fahrbahntragwerk verankert sind.¹⁸

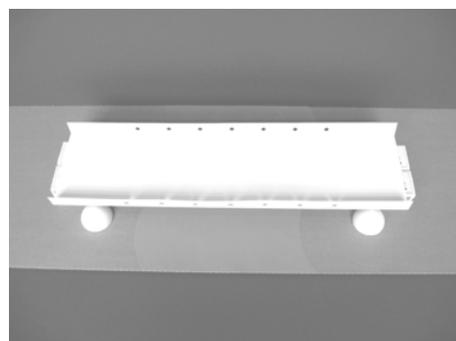


Abb. 4
Schrägseilbrücke
Tatara Brücke in Japan

SACHANALYSE – Vorversuch A

Der Vorversuch dient zur Verdeutlichung, dass eine einfache Balkenbrücke auf zwei Stützen weniger tragfähig ist, als eine vergleichbare, die durch ein zusätzliches Hängetragwerk zu einer Hängebrücke erweitert wird.

Dafür braucht man einen 14,85 * 42 cm langen Streifen aus 160 g/m²-Papier (1/2 DIN-A3-Format), dessen beide Längsseiten jeweils um 2 cm gefaltet werden, so dass eine u-förmige Schiene entsteht, die als Fahrbahntragwerk fungiert. Die Seitenflächen stellen dabei im Modell zwei Hauptträger des Fahrbahntragwerks dar, die



¹⁷ vgl. Mämpel, Uwe: Bautechnik und Architektur in Unterrichtsbeispielen. Weinheim u. Basel: Beltz 1975 (= Lehrerhandbuch für den Technischen Werkunterricht. Band 2). S. 14.

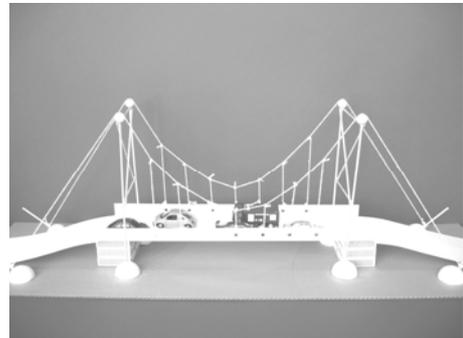
¹⁸ vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Schr%C3%A4gseilbr%C3%BCcke> (28.10.05).

gleichzeitig als Geländer dienen und im unteren Bereich über eine biegesteife Konstruktion miteinander verbunden sind, auf der wiederum die Fahrbahn liegt. Um die Tragfähigkeit dieser Balkenbrücke später mit der Tragfähigkeit der Hängebrücke vergleichen zu können, sollten gleiche Versuchsbedingungen geschaffen werden, das bedeutet, die Fahrbahntragwerke beider Brücken sollten identisch sein. Nur aus diesem Grund werden mit dem Locher in regelmäßigem Abstand Löcher¹⁹ in die gefalteten Seitenflächen gestanzt. Um die Tragfähigkeit dieses Balkenbrückenmodells zu testen, wird sie auf Stützen (z. B. aus Streichholzschachteln) gelegt und mit Spielzeugautos belastet.

SACHANALYSE – Modell

Das Modell stellt eine „echte“ Hängebrücke dar, bei der die Verankerung der Tragkabel in Widerlagern erfolgt, die außerhalb der Brücke liegen.

Für den Bau eines Hängebrückenmodells werden verschiedene Materialien benötigt. Als Grundfläche kann ein stabiler Karton verwendet werden (Maße ca. 25 * 85 cm). Mehrere übereinander geklebte Streichholzschachteln dienen als Unterbau für das Fahrbahntragwerk, das identisch mit dem zuvor beschriebenen Balkenbrückenmodell ist. Die beiden Pylone bestehen aus dünnen Holzspießen. Die vertikalen Hauptstützen der beiden Pylone werden in Styroporkugelhälften (\varnothing 4 cm) gesteckt, die auf der Grundfläche aufgeklebt sind. Auf die Spitzen der senkrechten Pylonstützen werden kleinere Papierkugeln (\varnothing 1,5 cm) geklebt, die zuvor oben etwas eingeritzt werden, so dass die als Tragkabel dienenden Fäden dort durchlaufen können. Die Papierkugeln dienen gleichzeitig als Auflager und als Umlenkung des Tragkabels. Etwas dickere Fäden (z. B. fusselfreie Wolle) erhalten im Modell die Funktion der Tragkabel und der Hänger. Die Abspannung der Tragkabel erfolgt an kurzen Holzspießen, die ebenfalls in Styroporkugelhälften befestigt werden. Diese Befestigung entspricht einer Verankerung in künstlichen Ankerblöcken (Widerlager) in der Realität. Die senkrechten Hänger verbinden über die Löcher der Papierschiene das Fahrbahntragwerk mit den Tragkabeln. Da im Modell das Fahrbahntragwerk nur zwischen den Pylonen liegt, werde



¹⁹ Bei der Hängebrücke wird über diese Löcher das Fahrbahntragwerk mit dem Hängetragwerk verbunden.

nur in diesem Bereich Hänger benötigt.²⁰

Die Brückenauffahrten werden im Modell durch etwa 10,8 cm breite und 21 cm lange Papierstreifen (160 g/m²) dargestellt, die mit transparentem Klebeband mit der Brückenfahrbahn verbunden werden.

LERNVORAUSSETZUNGEN

- Die SchülerInnen müssen über eine gewisse Handgeschicklichkeit verfügen, da das Bauen des Hängetragwerks ein höheres Maß an Fingerspitzengefühl erfordert.
- Sie sollten im selbstständigen Arbeiten geübt sein.

LERNZIELE

Die SchülerInnen sollen

- statisch-konstruktive Grundprinzipien von Hängebrücken kennen lernen:
 - durch diverse Versuche erkennen, dass bei Belastung unterschiedliche Kräfte (Druck und Zug) entstehen.
 - durch verschiedene Versuche den Verlauf von Druck- und Zugkräften dieses Brückentyps nachvollziehen können.
 - im Modellbau den konstruktiven Aufbau einer Hängebrücke kennen lernen.
- spezielle Fachbegriffe kennen lernen: Pylon, Drahtkabel, Tragkabel, Hänger, Widerlager, Verankerung, Tragwerk, Hängetragwerk, Fahrbahntragwerk.
- lernen, einen gedanklichen Entwurf zu zeichnen und dabei ihr bereits erworbenes Wissen bezüglich statisch-konstruktiver Grundlagen einzubringen und zu verinnerlichen.
- Materialerfahrungen sammeln.
- ihre handwerklichen Fähigkeiten erweitern.

DIDAKTISCH-METHODISCHE ANREGUNGEN

²⁰ In der Realität sind insbesondere bei größeren Überbrückungen die Fahrbahntragwerke häufig wesentlich länger als die Spannweite, was zur Folge hat, dass sie auch zwischen den Pylonen und den Enden des Fahrbahntragwerks mit Hängern an den Tragkabeln aufgehängt werden müssen. Ein Beispiel dafür ist die *Golden Gate Bridge*.

BEZUG ZUR LEBENSWELT DER KINDER

Hängebrücken üben auf viele Kinder und auch Erwachsene eine gewisse Faszination aus. Dies liegt sicherlich zum einen daran, dass sie auf Grund ihrer Konstruktionsweise als „Königin unter den Brücken“ die größten Spannweiten überbrücken können, aber zum anderen auch an ihrer hohen ästhetischen Wirkung.

In Deutschland werden auf Grund geografischer Gegebenheiten nicht so große und beeindruckende Hängebrücken wie in anderen Regionen der Welt gebaut. Aber in etwas bescheideneren Dimensionen gibt es in unserem Land einige etwas größere Straßenbrücken²¹ und kleinere Fußgängerbrücken dieses Brückentyps.

Da Hängebrücken bei uns nicht sehr häufig anzutreffen sind, begegnen viele Kinder in ihrem alltäglichen Leben diesem Brückentyp eher nicht. Eventuell kennen manche von ihnen einfache Hängebrücken von Spielplätzen her, die meist dem Urtyp der Hängebrücke entsprechen, d. h. der Form des hängenden Seils folgen. Viele Grundschulkinder haben aber sicherlich schon einmal Hängebrücken auf Abbildungen in Büchern bzw. Zeitschriften, im Film und Fernsehen oder auf Reisen in andere Länder gesehen. Auch wenn Hängebrücken eine eher untergeordnete Rolle im Alltag von SchülerInnen spielen, sollte dies dennoch kein Grund dafür sein, diesen Brückentyp im Unterricht zu vernachlässigen, da das Hängetragwerk neben dem Balken und dem Bogen zu den Grundformen von Brückentragwerken zählt und unter bestimmten geografischen Bedingungen in vielen Regionen weltweit eine wichtige Konstruktionsform darstellt.

Wie in der Sachanalyse verdeutlicht wurde, unterscheidet man zwischen „echten“ und „unechten“ Hängebrücken. Um die SchülerInnen nicht zu überfordern bzw. zu verunsichern, wird die didaktische Reduktion auf „echte“, erdverankerte Hängebrücken vorgeschlagen.²²

KONSTRUKTIONSAUFGABE²³

Die SchülerInnen sollen im Unterricht einige Grundprinzipien statisch-konstruktiven Bauens am Beispiel der Hängebrücke kennen lernen und durch praktisches Handeln Einsicht in die Zusammenhänge von Form und Funktion dieser Brückenbauweise erlangen. Sie erfahren durch experimentelle Auseinandersetzung etwas über den Kräfteverlauf (Druck- und Zugkräfte) innerhalb der Brückenkonstruktion und erhalten

²¹ Ein Beispiel ist die *Rheinbrücke Köln-Rodenkirchen*.

²² Im Modell lässt sich eine „echte“ Hängebrücke gut mit einem Fahrbahnträger aus Papier realisieren, bei einer „unechten“ Hängebrücke bräuchte man ein festeres Material, da sie in der Realität aus einem biegesteifen Fahrbahnträger (Versteifungsträger) besteht.

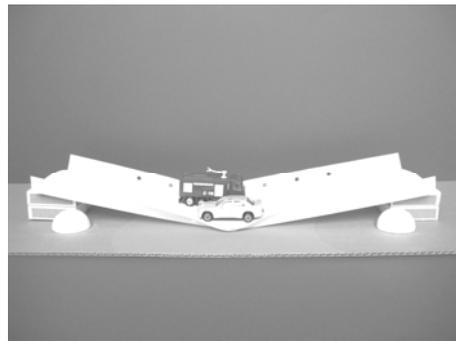
²³ vgl. 2.1 Ausgewählte Methoden für den technischen Bereich des Sachunterrichts

dadurch Einblick in bestimmte statische Grundsachverhalte. Zur Vermittlung des recht anspruchsvollen Unterrichtsthemas wird die fachspezifische Methode der Konstruktionsaufgabe vorgeschlagen, welche auf Grund der Komplexität des Sachgegenstandes durch einige technische Experimente²⁴ ergänzt werden sollte.

Wie bereits in der Sachanalyse erwähnt, besteht der Vorteil von Hängebrücken darin, dass mit ihnen deutlich längere Spannweiten möglich sind als mit Balken- oder Bogenbrücken. Diese Tatsache kann als Einstieg in das Unterrichtsthema genutzt werden.

Vorversuch A

Der in der Sachanalyse beschriebene Vorversuch A dient dabei als technische Problemstellung: Eine größere Spannweite wird mit einer einfachen Balkenbrücke überbrückt, doch bei Belastung durch wenige Spielzeugautos stürzt sie ein.



Der Vorversuch kann, beispielsweise mit Hilfe eines Kindes, der Klasse vorgeführt werden und als Anregung für ein problemorientiertes Unterrichtsgespräch dienen. Die SchülerInnen müssen überlegen, welche Möglichkeiten bestehen, die Stabilität der Brücke zu erhöhen, allerdings mit der Einschränkung, dass keine zusätzliche Stützen unter das Brückentragwerk gebaut werden können. Falls niemand der Klasse auf die Möglichkeit eines Hängetragwerks kommt, sollte die Lehrkraft versuchen, sie durch entsprechende Impulse auf das Thema „Hängebrücken“ hinzuführen.

Daran anschließend könnten die SchülerInnen ihre Vorstellungen bzw. ihr vorhandenes Wissen bezüglich der Konstruktion von Hängebrücken zeichnerisch dokumentieren, wodurch die Lehrperson einen Einblick in die individuellen Lernvoraussetzungen erhält. Während einer nachfolgenden Präsentation und Besprechung verschiedener Lösungsvorschläge erfahren die Kinder einerseits etwas von den Ideen ihrer MitschülerInnen, was wiederum Denkanstöße für eigene Lösungsideen gibt,

²⁴ vgl. ebd.

andererseits dient diese Phase als Hinführung zu entscheidenden Konstruktionsmerkmalen von Hängebrücken.

THEORETISCHE UNTERRICHTSINHALTE UND TRANSFER

Danach können die einzelnen Bauteile einer Hängebrücke anhand eines vorbereiteten Plakates mit einer schematischen Darstellung einer „echten“ Hängebrücke²⁵, ergänzt durch diverse Fotos, erläutert werden. Die SchülerInnen lernen die ausgewählten Fachbegriffe²⁶ kennen. Ein Arbeitsblatt²⁷ mit einer identischen Zeichnung wie auf dem Plakat kann im Anschluss daran von den Kindern entsprechend beschriftet werden, wodurch die Fachbegriffe gefestigt werden sollen. Das Plakat und die Fotos sollten während der gesamten Unterrichtseinheit an Wänden aufgehängt bleiben. Sie schaffen eine motivierende Lernumgebung und dienen außerdem als ständig präsente Informationsquellen.

Wie bereits in der Sachanalyse ausführlich erläutert, herrschen bei Hängebrücken im Hängetragwerk (Tragkabel und Hänger) Zugkräfte und die als Auflager dienenden Pylone werden auf Druck beansprucht. Der Verlauf dieser Druck- und Zugkräfte ist jedoch nicht ohne Weiteres sichtbar. Daher sollten die Kinder in der nächsten Unterrichtsphase durch einfache technische Experimente diese statischen Sachverhalte kennen lernen. Da die verschiedenen Experimente statisch-konstruktive Grundprinzipien von Hängebrücken unter bestimmten Teilaspekten untersuchen, können sie als Teilerperimente²⁸ bezeichnet werden. Sie sollten zusätzlich durch Skizzen und kurze Versuchsbeschreibungen erläutert werden und dienen dem Erfindungsprozess²⁹ der SchülerInnen.³⁰

Für die im Hängetragwerk einer Hängebrücke wirkenden Zugkräfte werden in der vorliegenden Arbeit zwei Varianten (Versuch B + C) vorgestellt.

Versuch B

In der ersten Variante erhält jedes Kind zwei Holzstäbe, Knete, ca. 10 Wäscheklammern und Wolle. Die oberen Enden der Holzspieße werden mit einem Wollfaden miteinander verbunden. In einem Abstand von ca. 30 cm werden zwei Knethäufchen fest auf den Tisch (bzw. auf eine Unterlage) gedrückt und die beiden Holzstäbe jeweils

²⁵ s. Kopiervorlage im Anhang

²⁶ vgl. Lernziele

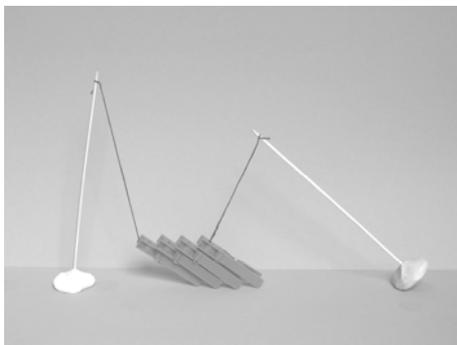
²⁷ Eine entsprechende Kopiervorlage befindet sich im Anhang.

²⁸ Der Begriff „Teilerperiment“ ist entnommen aus: Schmayl, Winfried / Wilkening, Fritz: Technikunterricht. 2. überarb. u. erw. Aufl. Bad Heilbrunn: Klinkhardt 1995. S. 151.

²⁹ Der Begriff „Erfindungsprozess“ ist entnommen aus: ebd.

³⁰ vgl. ebd.

senkrecht darin „fundamentiert“, wobei der Wollfaden etwas durchhängen sollte. Anschließend belastet das Kind die Mitte des Fadens mit Wäscheklammern. Bereits geringe Lasten verursachen im Faden Zugkräfte, wodurch sich die Holzspieße zur Mitte hin neigen. Bei etwas stärkerer Belastung durch mehr Wäscheklammern fallen die Holzspieße um. Die SchülerInnen beschreiben, was bei dem Versuch passiert, und werden aufgefordert, konstruktive Lösungsvorschläge zur Stabilisierung der Konstruktion zu machen. Das gewünschte Resultat besteht darin, dass die beiden Holzspieße durch zusätzliche Abspannungen (Fäden), die als resultierende Zugkräfte wirken, stabilisiert werden können. Bei einer nachfolgenden Belastungsprobe werden die SchülerInnen feststellen, dass die zusätzliche Abspannung, jeweils in entgegengesetzter Richtung, wesentlich zur Stabilität der Konstruktion beiträgt und diese dadurch weitaus mehr Lasten tragen kann.



Versuch C

Die zweite Variante kann sowohl eigenständig als auch zur Ergänzung der ersten Variante im Unterricht eingesetzt werden. Sie wird von den Verfasserinnen bevorzugt, da sie nicht nur das kognitive, sondern auch das körperlich-sinnliche Lernen berücksichtigt, indem die SchülerInnen Zugkräfte über ihren eigenen Körper wahrnehmen können. Die Kinder setzen sich durch Bewegung aktiv mit dem statischen Phänomen auseinander, wodurch ein zusätzlicher Informationszugang geschaffen wird. Diese Form des handlungsorientierten Lernens ermöglicht ein ganzheitliches Handeln durch die Verschmelzung von Wahrnehmen, Denken und Handeln.

Die SchülerInnen bilden 5er-Gruppen und erhalten pro Gruppe ein kurzes Seilstück (z. B. dickere Paketschnur, Länge ca. 70 cm). Zwei SchülerInnen halten jeweils stehend ein Seilende des Seilstücks fest in ihren Händen, ihre Arme und das Seil entsprechen dabei einem Tragkabel eines Hängetragswerks und ihr restlicher Körper einem Pylon. Ein drittes Kind belastet langsam die Mitte des Seils, wodurch die beiden „Haltenden“ seitlich zur Mitte gezogen werden und über ihren Körper die Zugkräfte spüren. Wie in der ersten Variante sollen sie durch experimentelle, praktische Auseinandersetzung mit

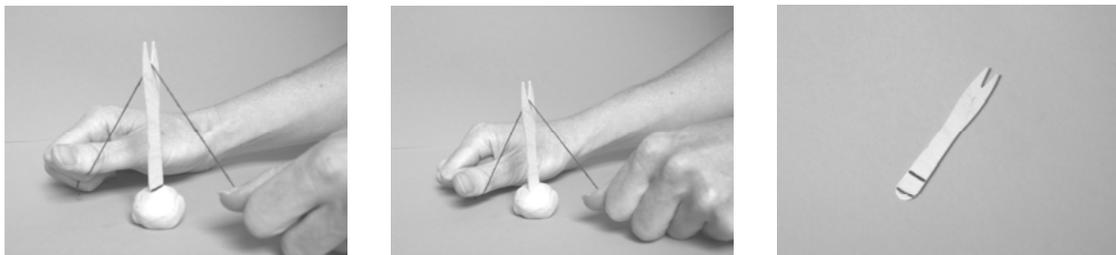
statischen Sachverhalten zu konstruktiven Lösungsvorschlägen angeregt werden. Das gewünschte Ergebnis wird erreicht, wenn die beiden übrigen Kinder die freien Hände der stehenden Kinder greifen und ihren Körper als Widerlager einsetzen, so dass die beiden „Pylone“ trotz Belastung ihre vertikale Position halten können.

Bei beiden Varianten ist darauf zu achten, dass Versuch und Realität miteinander in Beziehung gesetzt werden, d. h. dass die Kinder wissen, welche Elemente im Versuch den jeweiligen Bauteilen einer Hängebrücke entsprechen.

Über diese einfachen Versuche erfahren die SchülerInnen, dass in einem Tragkabel eines Hängetragwerks Zugkräfte herrschen. Sie entdecken, dass zwischen den Pylonen in den Tragkabeln die Zugkräfte zur Mitte hin verlaufen, welche durch Gegenkräfte (resultierende Zugkräfte) aufgenommen werden müssen, um die Standsicherheit des Brückenbauwerks zu gewährleisten.

Versuch D

Die in den Pylonen herrschenden Druckkräfte können in einem weiteren einfachen Versuch verdeutlicht werden. Jedes Kind erhält Knete, 1 Pommegabel und Wolle. Die Pommegabel entspricht dabei einem Pylon, die Knete einem Fundament und der Wollfaden einem Tragkabel. Die Pommegabel wird mit den Gabelspitzen nach oben leicht in einen kleinen Knethaufen gedrückt. Um später zu sehen, wie tief die Pommegabel zu Beginn des Versuches in der Knete steckt, wird sie an der Oberseite des Knethaufens mit einer waagerechten Linie markiert. Anschließend nimmt das Kind einen Wollfaden in beide Hände, führt diesen zwischen die Gabelzinken und belastet durch gleichmäßiges Herunterziehen des Fadens die Gabel auf Druck, wodurch diese tiefer in die Knetmasse gedrückt wird. Diese „Eindrücktiefe“ wird ebenfalls mit einer Markierung versehen, wodurch die SchülerInnen am Ende des Versuchs eindeutig die Veränderung durch Druckkraft erkennen können.



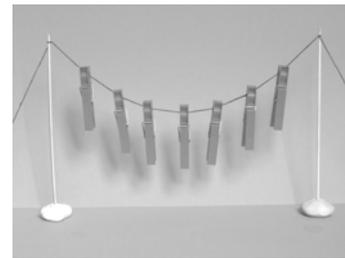
Die Kinder sollen anschließend ihre Versuchsergebnisse beschreiben und im Unterrichtsgespräch wird der Begriff Druckkraft eingeführt. Auch hierbei ist es wichtig, einen klaren Bezug zur Realität herzustellen. Vor diesem Hintergrund hat eine

Pommesgabel gegenüber einem Holzspieß den Vorteil, dass der Wollfaden zwischen den beiden Zinken durchlaufen kann, so dass dieser Bereich in Anlehnung an die Realität gut als Umlenkung genutzt werden kann.

Nach den Versuchen B - D wird der Verlauf von Druck- und Zugkräften in „echten“ Hängebrücken im Unterrichtsgespräch wiederholt und vertieft. Die Lehrperson ergänzt das Plakat mit der schematischen Zeichnung einer erdverankerten Hängebrücke um Symbole für Druck- und Zugkräfte. Die SchülerInnen vervollständigen entsprechend ihr Arbeitsblatt.

Versuch E

In einem weiteren Versuch kann die Veränderung einer Seillinie durch unterschiedliche Lastanordnungen und damit gleichzeitig die Funktion von Hängern im Hängetragwerk von Hängebrücken thematisiert werden. Der Versuch wird in Partnerarbeit beschrieben, er eignet sich aber ebenso gut für Einzelarbeit. Partnerarbeit hat den Vorteil, dass die Kinder sich gegenseitig helfen und ihre Erfahrungen austauschen können. Jeweils zwei Kinder erhalten zwei Holzspieße, Knete, Wollfaden (Länge ca. 70 cm), Wäscheklammern (ca. 7 Stück). Die Holzspieße (= Pylone) werden an ihren oberen Ende mit einem Wollfaden (= Tragkabel) verbunden, wobei dieser etwas durchhängen sollte, und in einem Abstand von ca. 30 cm senkrecht in zwei Knethaufen (= Fundament) befestigt. Die beiden Enden des Fadens werden in zwei weiteren Knethaufen (Widerlagern) verankert. Die durchhängende Form des unbelasteten Fadens entspricht der Seillinie. Die Kinder erhalten die Aufgabe, das Seil unterschiedlich zu belasten und ihre Ergebnisse zeichnerisch zu dokumentieren. Die Belastung erfolgt durch eine wechselnde Anzahl von Wäscheklammern, die an verschiedenen Stellen des Seils festgeklammert werden. Bei Belastung durch eine Einzellast entsteht im Seil ein winkelförmiger Knick, unter mehreren Einzellasten verändert sich die Seillinie zu einem Polygon und bei vielen gleichen und gleichmäßig verteilten Einzellasten nähert sich die Seillinie der Parabelform.



Übertragen auf das Hängetragwerk einer Hängebrücke bedeutet dies: Je mehr Hänger für eine gleichmäßige Lastverteilung sorgen, desto mehr nähert sich die Seillinie des Tragseils der Parabelform. Bei diesem Beispiel lässt sich deutlich die Wechselbeziehung zwischen Statik und Konstruktion erkennen. In einem abschließenden Unterrichtsgespräch werden die Ergebnisse der Kinder besprochen und wiederum auf das Tragwerk der Hängebrücke bezogen.

ERGEBNISSICHERUNG

Es empfiehlt sich, dass die SchülerInnen alle Versuche sowohl schriftlich als auch zeichnerisch dokumentieren, damit die Lernergebnisse festgehalten werden. Der Unterrichtsinhalt, der zuvor auf der Handlungsebene erfahren wurde, wird nun auf ikonischer und symbolischer Ebene vertieft, was für die Aneignung von Wissen vorteilhaft ist.³¹ In dieser Phase strukturieren die Kinder ihr erworbenes Wissen, und eventuell auftretende Unklarheiten können durch Nachfragen besprochen werden.

KONSTRUKTIONSAUFGABE – Entwurfs- und Konstruktionsphase³²

Nach dieser Auswahl geeigneter Vorversuche können die SchülerInnen ihr bereits erworbenes Wissen zunächst in einem zeichnerischen Entwurf und nachfolgend beim Bau eines vollständigen Hängebrückenmodells anwenden. Die Aufgabe besteht darin, eine gleiche Balkenbrücke wie im Vorversuch A durch ein zusätzliches Hängetragwerk belastungsfähiger zu machen. Um bei einem anschließenden Belastungsversuch gleiche Versuchsbedingungen wie im Vorversuch A zu haben, sollten die SchülerInnen die Vorgabe erhalten, dass die Enden des Fahrbahntragwerks („Papier-U-Schiene“) auf den Auflagern (Streichholzschachteln) liegen sollen.

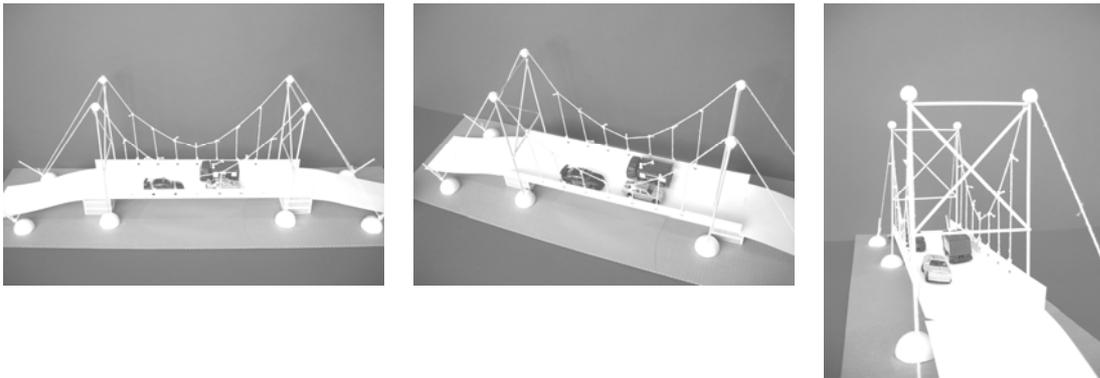
Die notwendigen Materialien sind unter „Materialien und Werkzeuge“ aufgelistet. Um Materialkosten einzusparen und den Kindern die Arbeit zu erleichtern, empfiehlt es sich, vorab gemeinsam mit der Klasse zu vereinbaren, welche Modellmaterialien sich für welche Bauteile in der Realität anbieten. Ein großes Plakat mit einer beschrifteten schematischen Darstellung einer „echten“ Hängebrücke kann dabei als Erinnerung dienen. Die Kinder können Vorschläge bezüglich möglicher Materialzuweisungen machen und sollen diese auch begründen. Die Lehrperson hält geeignete Anregungen auf einem anderen Plakat fest, z. B. „Holzspieße = Pylon“ oder „Styroporkugelhälften =

³¹ vgl. Bruner, Jerome S.: Über kognitive Entwicklung. In: Studien zur kognitiven Entwicklung. Eine kooperative Untersuchung am „Center for Cognitive Studies“ der Harvard-Universität. Hg. v. Jerome S. Bruner, Rose R. Olver u. Patricia M. Greenfield. Stuttgart: Klett 1971. S. 27.

³² vgl. Schmayl, W. / Wilkening, F.: Technikunterricht. S. 151.

Fundament und Widerlager“, so dass die Klasse sich immer wieder daran orientieren kann.

Die Entwurfs- und die Konstruktionsphase innerhalb der Konstruktionsaufgabe stellen sehr anspruchsvolle Herausforderungen für die SchülerInnen dar. Sie müssen selbstständig einen Entwurf anfertigen, ihren Arbeitsablauf planen und eine Hängebrücke herstellen.³³ Aus diesem Grund werden von den Verfasserinnen auch keine Bauanleitungen vorgegeben. Daher sind die Abbildungen einer Modell-Hängebrücke im vorliegenden Text vorrangig als Anregung zu verstehen.



THEORETISCHE UNTERRICHTSINHALTE

Bevor die SchülerInnen mit dem Bau beginnen, sollten folgende Punkte im Unterricht thematisiert worden sein:

- Aus welchen Baustoffen werden die Bauteile einer Hängebrücke in der Realität gefertigt?
- Pylone sind bei „echten“ Hängebrücken meist nicht einzelne Masten, sondern Stützkonstruktionen.
- Das Tragkabel eines Hängetragwerks wird über die Pylone umgelenkt.
- Die Verankerung des Tragkabels einer „echten“ Hängebrücke erfolgt außerhalb des Brückentragwerks.
- Die Befestigung des Fahrbahntragwerks erfolgt an dessen tragenden Bauteilen. Daher ist es unbedingt notwendig, die SchülerInnen darauf hinzuweisen, dass die „Geländer“ im Modell (Papierschiene) Hauptträgern von Fahrbahntragwerken in der Realität entsprechen. Denn es besteht leicht die Gefahr, dass die Kinder denken, dass Fahrbahntragwerke von Hängebrücken am Geländer befestigt werden. Dieser Nachteil wird jedoch bewusst in Kauf genommen, da die Vorteile der Papierschiene überwiegen: Zum einen muss ein identisches Fahrbahntragwerk wie im Vorversuch

³³ vgl. ebd.

A gegeben sein und zum anderen bieten die Löcher an den Längsseiten eine einfache Befestigungsmöglichkeit für die Fäden (= Hänger).

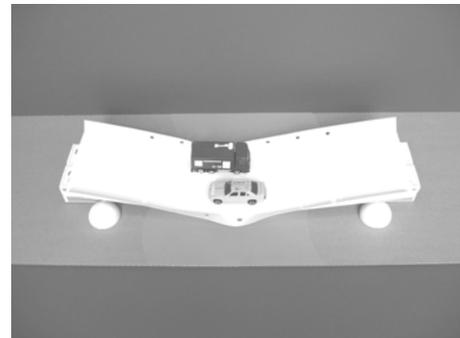
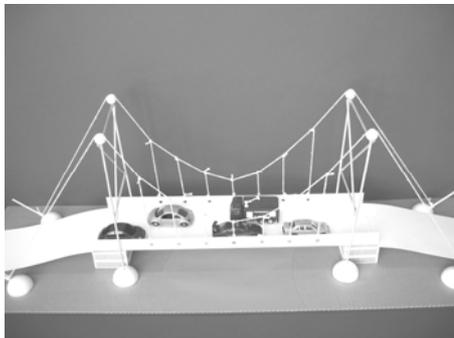
- Da bei den meisten Hängebrücken das Fahrbahntragwerk länger ist als die Spannweite der Brücke, erfolgt dessen Aufhängung sowohl zwischen den Pylonen als auch in den Bereichen zwischen den Pylonen und den Endverankerungen. (Beispiel: *Golden Gate Bridge*). Es gibt jedoch auch Hängebrücken, bei denen das Fahrbahntragwerk nur im Bereich zwischen den Pylonen liegt und dort über Hänger am Tragkabel aufgehängt ist³⁴ (Beispiel: *Drahtbrücke* in Kassel).



Drahtbrücke in Kassel

KONSTRUKTIONSAUFGABE – Erprobung, Beurteilung und Auswertung³⁵

Nach der konstruktiven Bauphase können die SchülerInnen ihre Hängebrücken mit Spielzeugautos in einer spielerischen Phase einem Belastungstest unterziehen und die Wirksamkeit ihres Hängetragwerks beurteilen. Sie können die Stabilität ihrer Hängebrücken mit der einfachen Balkenbrücke des Vorversuchs A vergleichen.



Eine abschließende Reflexionsphase dient der Auswertung der gesammelten Erfahrungen und Ergebnisse und einem wiederholten Transfer auf Hängebrücken in der Realität.

SOZIALFORM – DIFFERENZIERUNG – AUFGABEN DER LEHRPERSON

Da Grundschul Kinder meist sehr stolz auf ihre Produkte sind, empfiehlt es sich, dass jedes Kind in Einzelarbeit ein Hängebrückenmodell anfertigt. Es ist aber auch Partner-

³⁴ Die letztgenannte Variante diente als Anregung für das Modell einer Hängebrücke.

³⁵ vgl. Schmayl, W. / Wilkening, F.: Technikunterricht. S. 151.

oder Gruppenarbeit denkbar. Diese Entscheidung ist unter anderem vom handwerklichen Können der SchülerInnen abhängig.

Der Bau von Hängebrückenmodellen ermöglicht vorrangig Differenzierungsangebote quantitativer Art. Schnellere Kinder können ihre Modelle ausschmücken, indem sie beispielsweise Bäume, Schiffe etc. hinzufügen oder eine Landschaft auf die Grundplatte malen. Darüber hinaus sollten sie von der Lehrperson angeregt werden, ihren langsameren MitschülerInnen behilflich sein.

Während der Bauphase besteht die Aufgabe der Lehrperson darin, als Berater tätig zu sein und die Lernprozesse der SchülerInnen zu beobachten.

ERGÄNZUNGEN

Neben den bisherigen Vorschlägen kann beim Thema „Hängebrücken“ auch auf deren geschichtliche Entwicklung eingegangen werden.

Des Weiteren können über Bilder etc. die vielfältigen Formen von Hängebrücken veranschaulicht und darüber hinaus auch die Unterschiede zur Schrägseilbrücke thematisiert werden.

Außerdem sollten die Kinder über die Vorteile einer Hängebrückenkonstruktion informiert sein: große Spannweiten, wenig Materialbedarf, leichte Konstruktion.

TIPPS UND TRICKS	<p>WICHTIGER HINWEIS: Da der Bau einer Modell-Hängebrücke recht anspruchsvoll ist, sollte die Lehrperson zuvor selbst eine gebaut haben, um so im Unterricht auf wahrscheinlich auftretende Schwierigkeiten vorbereitet zu sein.</p> <p>Versuch B</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Wäscheklammern müssen in diesem Versuch nicht festgeklammert werden, sondern können locker befestigt werden (so dass sie auf dem Seil beweglich sind). <p>Versuch E</p> <ul style="list-style-type: none"> In diesem Versuch ist es notwendig, dass die Wäscheklammern fest an das Seil geklammert werden, da nur so die verschiedenen Seillinien ersichtlich sind. <p>Modell</p> <ul style="list-style-type: none"> Wichtig ist, dass im Modell das Fahrbahntragwerk (Papierschiene) nicht auf den Auflagern (Streichholzschachteln) festgeklebt wird, so dass bei einem späteren Belastungstest gleiche Bedingungen gegeben sind, wie beim Vorversuch. Das Tragseil sollte zwischen den Pylonen durchhängend, entsprechend der gewünschten Seillinie, befestigt werden. Es ist einfacher, die Hänger (ausreichend lange Fäden!) zuerst komplett am Fahrbahntragwerk und erst danach am Tragseil festzuknoten. Die Befestigung am Tragseil sollte schrittweise von der Mitte aus erfolgen, um ein gleichmäßigeres Ergebnis zu erhalten.
MEDIEN	<ul style="list-style-type: none"> Fotos und Abbildungen / Plakate mit Fotos und Abbildungen Plakat mit schematischer Darstellung einer Hängebrücke Arbeitsblatt mit schematischer Darstellung einer Hängebrücke

LITERATUR	<p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Brockhaus – Die Enzyklopädie: in 24 Bänden. Band 4 (Bron-Crn). 20., überarb. u. aktualisierte Aufl. Leipzig / Mannheim: Brockhaus 1996. • Bruner, Jerome S.: Über kognitive Entwicklung. In: Studien zur kognitiven Entwicklung. Eine kooperative Untersuchung am „Center for Cognitive Studies“ der Harvard-Universität. Hg. v. Jerome S. Bruner, Rose R. Olver u. Patricia M. Greenfield. Stuttgart: Klett 1971. S. 21-53. • Kälberer, Günter / Hüttenmeister, Hilleke: Bauen, Konstruieren, Montieren. Leipzig: Klett 2002. S. 21/22. • Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Willems, Claus-Christian: Grundlagen der Tragwerklehre 2. 6., überarb. Aufl. Köln: Müller 2004. S. 77-98, 114/115. • Mämpel, Uwe: Bautechnik und Architektur in Unterrichtsbeispielen. Weinheim / Basel: Beltz 1975 (= Lehrerhandbuch für den Technischen Werkunterricht. Band 2). • Schmayl, Winfried / Wilkening, Fritz: Technikunterricht. 2., überarb. u. erw. Aufl. Bad Heilbrunn: Klinkhardt 1995. • http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/haenge/haenge.html. (28.10.05). • http://www.karl-gotsch.de/Lexikon/Haengebr.htm. (28.10.05). • http://de.wikipedia.org/wiki/Schr%C3%A4gseilbr%C3%BCcke (28.10.05).
ABBILDUNGEN	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abb. 1: http://www.bernd-nebel.de/bruecken/3_bedeutend/goldengate/bilder/golden_gate.JPG (07.11.05). ▪ Abb. 2: http://www.bernd-nebel.de/bruecken/1_einfuehrung/start/bilder/indios.jpg (07.11.05). ▪ Abb. 3: http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/haenge/bilder/haenge1.JPG (07.11.05). ▪ Abb. 4: http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/schraeg/bilder/schraeg6.JPG (07.11.05).

5. TÜRME

5.1 Fachtheoretische Grundlagen

In der Bautechnik wird ein „hohes Bauwerk, dessen Grundfläche im Verhältnis zur Höhe gering ist und in dem es im Unterschied zum Hochhaus i. d. R. keine Wohn- oder Gewerberäume gibt“¹ als Turm bezeichnet. Allerdings „verwischen sich [heutzutage] die Grenzen zw. T.-Bau und Hochhausbau“², da auf Grund von modernen Baustoffen, insbesondere Stahlbeton, sehr hohe, turmähnliche Hochhäuser gebaut werden können, die häufig auch als Türme bezeichnet werden und hauptsächlich zum Wohnen und Arbeiten genutzt werden. In vielen Ländern der Welt enthalten die Namen einiger Hochhäuser das Wort „tower“, z. B. der 443 m hohe *Sears Tower* in Chicago³ oder die 452 m hohen *Petronas Towers* in Kuala Lumpur⁴. Im arabischen Raum haben Hochhäuser häufig das Wort „burj“ (arab. = Turm) in ihrem Namen, ein bekanntes Beispiel ist das 321 m hohe Luxushotel *Burj Al Arab* in Dubai⁵. Aber auch in Deutschland gibt es Beispiele dafür, wie z. B. der als Bürogebäude genutzte 256,5 m hohe *Messturm* in Frankfurt⁶.

GESCHICHTLICHE ASPEKTE

Türme waren in fast allen Kulturen der Menschheit verbreitet und werden bis heute gebaut. Schon immer gibt es verschiedene Motive für den Bau von Türmen: In früheren Zeiten dienten sie vor allem dem Schutz und der Verteidigung, sie gelten als Symbol für Größe und Macht, sie werden bis heute aus religiösen Gründen errichtet und erfüllen technische Funktionen.⁷

Der Bau von Türmen entsprach dem Bedürfnis des Menschen nach Sicherheit. Natürliche Türme aus Felsen dienten eventuell als Vorbild, da man sich bei Gefahr durch wilde Tiere auf sie zurückziehen konnte. Zu den ersten künstlichen Türmen zählen sicherlich Wehrtürme, die dem Schutz und der Verteidigung dienten. Als

¹ Brockhaus – Die Enzyklopädie: in 24 Bänden. 20., überarb. und aktualisierte Aufl. Leipzig / Mannheim: Brockhaus 1999 (= Band 22. THEM-VALK). S. 461.

² vgl. ebd. S. 462.

³ vgl. Abel, Chris: *Sky High. Vertical Architecture*. London: Thames & Hudson 2003. S. 30.

⁴ vgl. ebd. S. 49.

⁵ vgl. ebd. S. 75.

⁶ vgl. Klemp, Klaus / Seidel, Peter: *Oben*. Frankfurt am Main. Türme der Stadt. Tübingen: Wasmuth 1999. S. 105.

⁷ vgl. VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. Hg. v. Hans-Gustav Olshausen und VDI-Gesellschaft Bautechnik. 2., überarb. und erw. Aufl. Berlin / Heidelberg: Springer 1999. S. 673/674.

Beispiel hierfür gelten die sogenannte *Nuraghen* auf Sardinien, die zugleich als Wohn- und Wehrtürme konzipiert waren.⁸ Dies waren kegelförmige Türme aus Steinblöcken, deren Eingang hoch oben lag und nur über eine Leiter zu erreichen war, welche bei Gefahr eingeholt werden konnte.⁹ Auf Grund ihrer Höhe konnten die Menschen die herannahenden Feinde früh erspähen. Diese auch als Fluchtburgen bezeichneten Turmanlagen lagen meist in Sichtweite beieinander, so dass eine rasche Verbreitung von Nachrichten möglich war. Man kann daher diese Türme auch als Vorläufer unserer heutigen Aussichtstürme sowie Fernseh- und Fernmeldetürme betrachten.¹⁰

Aber auch Landesgrenzen, wie z. B. der *Limes*, Stadtmauern und Brücken wurden durch Wehrtürme bewacht und gesichert.



Abb. 1:
Nuraghe (auch: Nurage) auf Sardinien



Abb. 2:
Wehrturm *Alter Wall* in
Luegde, Deutschland

Fluchttürme können auch als Vorläufer der Burgen bezeichnet werden, da sie nach und nach zusätzlich durch Mauern und Wassergräben geschützt wurden. Im Mittelalter galt der Hauptturm als Zentrum einer Burganlage. Die Höhe dieses sogenannten Bergfrieds diente vor allem der Demonstration von Macht, Stärke und Reichtum.¹¹ Auch heutzutage wetteifern viele Städte und Länder um die höchsten und beeindruckendsten Türme.



Abb. 3



Abb. 4

Abb. 3 + 4:
Bergfried der *Wartburg*,
Eisenach

⁸ vgl. Heinle, Erwin / Leonhardt, Fritz: *Türme aller Zeiten – aller Kulturen*. 3. Aufl. Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt 1997. S. 22/24.

⁹ vgl. Köthe, Rainer: *Türme und Wolkenkratzer*. Nürnberg: Tessloff 2003 (= WAS IST WAS Bd. 87). S. 5.

¹⁰ vgl. ebd. S. 7.

¹¹ vgl. ebd. S. 7/10.

Auf Grund ihrer vertikalen, dem Himmel entgegenstrebenden Ausrichtung fungieren Türme in den meisten Religionen als Bindeglied zwischen Erde und Himmel und somit zwischen Mensch und Gott. Typische Turmbauten sind bei christlichen Sakralbauten die Kirchtürme oder freistehende Glockentürme (Campanile), wie der *Schiefe Turm von Pisa*, bei islamischen Moscheen die Minarette und bei ostasiatischen buddhistischen Tempelanlagen die Pagoden.



Abb. 5:
Schiefer Turm von Pisa



Abb. 6:
Minarett der *Reyhane-Moschee*, Türkei



Abb. 7:
Japanische Pagode

Zu den ersten Türmen mit technischer Funktion zählen sicherlich die Leuchttürme als wichtige Seezeichen für die Schifffahrt. In der Antike gab es den *Leuchtturm von Pharos*, der um 280 v. Chr. vollendet wurde und zu den sieben Weltwundern zählt. Er war mit 120 bis 140 m Gesamthöhe mehr als eineinhalb Jahrtausende lang der höchste Steinturm der Welt.¹² Im Zuge der Industrialisierung wurden Türme mit weiteren technische Aufgaben versehen, beispielsweise erhielten sie die Funktion von Wasser- oder Fördertürmen. Außerdem wurden seit dieser Zeit auch Türme als Aussichtstürme errichtet, ein weltweit bekanntes Beispiel ist der 1889 fertig gestellte *Eiffelturm* in Paris.¹³

Heutzutage erfüllen die meisten Türme technische Funktionen, sie dienen vor allem als Fernseh- und Fernmeldetürme zur Übertragung von Nachrichten. Oft werden sie in dieser Funktion kombiniert mit der touristischen Funktion als Aussichtsplattform.



Abb. 8:
Eiffelturm

FORMALE ASPEKTE

Turmbauten können verschiedene Grundformen haben, beispielsweise rund, quadratisch, polygonal oder ellipsenförmig. Solche unterschiedlichen Formen werden

¹² vgl. Heinle, E. / Leonhardt, F.: Türme aller Zeiten – aller Kulturen. S. 32.

¹³ vgl. Brockhaus-Enzyklopädie. S. 461.

auch oftmals miteinander kombiniert (z. B. *Messturm* in Frankfurt). In der Regel sind Türme senkrechte Konstruktionen. Schiefe Konstruktionen, wie der *Schiefe Turm von Pisa*, entstehen durch ungleichmäßige Bodenabsenkungen oder werden bewusst als Gestaltungsmerkmal eingesetzt. Der Entwurf von Türmen bietet ein kreatives Aufgabenfeld für Architekten und Bauingenieure, denn auf Grund ihrer Höhe sind sie prägnante Bauwerke, welche in hohem Maße ihre Umgebung beeinflussen. Daher wird häufig ein großer Wert auf ihre äußere Gestaltung gelegt.



Abb. 9:
Messturm, Frankfurt

STATISCHE ASPEKTE

Doch nicht nur ästhetische, sondern auch statische Gesichtspunkte spielen bei der Planung eines Turms eine wichtige Rolle. Die Standsicherheit von Türmen hängt von mehreren Faktoren ab.

Turmbauten sind wegen ihrer Höhe einer enormen Belastung (Biegebeanspruchung) durch horizontal wirkende Windkräfte ausgesetzt, welche leichte Horizontalbewegungen verursachen können. Die durch Wind erzeugten Biegemomente entfalten ihre größte Wirkung am Fußpunkt des Turms. Daher ist es wichtig, dass solche Kräfte bei der statischen Berechnung berücksichtigt werden und die tragenden Bauteile entsprechend dimensioniert werden, so dass die Durchbiegung in zulässigen Grenzen bleibt, die Bauteile nicht brechen oder durch zu große Formveränderung unbrauchbar werden.¹⁴ Um die durch horizontale Windkräfte erzeugte Biegebeanspruchung zu verringern, wählen Architekten und Bauingenieure häufig kreisförmige Querschnitte, da diese sich als besonders aerodynamisch günstig erwiesen haben.¹⁵

Horizontalkräfte können jedoch auch das Kippen¹⁶ eines Turmes bewirken. Dem kann durch einen tief liegenden Schwerpunkt entgegengewirkt werden, der beispielsweise dadurch erreicht wird, dass sich das größte Gewicht im unteren Bereich des Bauwerks befindet und die Standfläche möglichst groß ist.

Doch Turmbauten werden nicht nur durch horizontale, sondern auch durch vertikale Lasten beansprucht, die sich beispielsweise aus den Eigen- und Verkehrslasten ergeben. Je höher der Turm, desto größer ist das Gewicht und desto stärker müssen die Bauteile dimensioniert werden, um die Lasten sicher tragen zu können. Um die Eigenlasten zu reduzieren, verjüngen sich daher viele Türme zur Spitze hin.

¹⁴ vgl. Schulze, Walter / Lange, Joachim / Wanner, Artur: Kleine Baustatik. 12., überarb. Aufl. Stuttgart / Leipzig / Wiesbaden: Teubner 2002. S. 59.

¹⁵ vgl. VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. S. 674.

¹⁶ Dieser Aspekt wird detaillierter unter 5.2. erläutert.

Ebenfalls von hoher Bedeutung für die Standsicherheit eines Turmbaus ist eine ausreichend dimensionierte Fundamentierung, welche alle Lasten sicher auf den Baugrund übertragen muss. Je tiefer und stärker diese konzipiert wird, desto mehr kann die Größe der Standfläche verringert werden. Dies ist heutzutage insbesondere bei schlanken Hochhäusern zu sehen. Der Aspekt des Fundaments soll jedoch in dieser Arbeit nicht weiter vertieft werden.

KONSTRUKTIVE ASPEKTE UND BAUSTOFFE

Das Tragwerk ist der entscheidende Bestandteil eines Bauwerk, es bestimmt dessen Aussehen und damit dessen Architektur. Es gibt heutzutage eine Vielzahl unterschiedlicher Arten von Tragwerksystemen, welche ihren Ursprung in zwei Baumethoden haben, die wiederum von verschiedenen Materialien geprägt sind: der Massivbau und der Skelettbau.¹⁷ Aus konstruktiver Sicht lassen sich Massiv- und Skelettbau hinsichtlich ihres unterschiedlichen Bauefüges unterscheiden:

Massivbau

Das Wort „massiv“ leitet sich vom lateinischen Begriff „massa“ (= Teig, Klumpen) ab. Dementsprechend kann man sich die Konstruktionselemente des Massivbaus als Körper (z. B. Mauerwerkskörper) mit einer relativ große Masse vorstellen.¹⁸ Massivbau ist eine Bauweise, bei der Wände, Decken, Stützen oder Träger aus homogenen, schweren Baumaterialien wie Mauerstein, Beton, Stahlbeton oder Spannbeton bestehen¹⁹. Genauer formuliert bezieht sich der Begriff auf alle Baukonstruktionen, wie z. B. Brücken oder Gebäude, deren Tragwerk aus homogenen Bauteilen besteht, in denen Druckkräfte dominieren und gleichmäßig verteilt sind. Gebäude in Massivbauweise werden dem Wandbau zugeordnet, einem Tragwerksystem, in dem sich vertikale Wand- und horizontale Deckenscheiben gegenseitig aussteifen.²⁰ Im Gegensatz zur Skelettbauweise haben beim Massivbau die Wände sowohl eine tragende als auch eine raumabschließende Funktion. Darüber hinaus erfüllen sie noch andere technische Aufgaben, genannt sei hier beispielsweise ihre isolierende Funktion (Schall- und Wärmeschutz).



Abb. 10:
Leuchtturm in Massivbauweise

¹⁷ vgl. Seidlein, Peter C. v. / Schulz, Christina: Skelettbau 2001. S. 10.

¹⁸ vgl. Baulexikon. Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Hg. v. Rüdiger Wormuth / Klaus-Jürgen Schneider. Berlin: Bauwerk 2000. S. 164.

¹⁹ vgl. dtv-Brockhaus-Lexikon: in 20 Bänden. Band 11. Len-Mec. München: dtv 1988. S. 307.

²⁰ vgl. Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre Teil I. 31., neubearb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. S. 19.

Skelettbau

Die Skelettbauweise hat ihren Ursprung im traditionellen Holzfachwerkbau.

Im Bauwesen versteht man unter Skelettbau, auch Gerippebau genannt, eine Bauweise mit einer skelettartigen Tragkonstruktion, deren Konstruktionselemente Stäbe (Stützen und Träger) sind. Die Verbindung von Stützen und Träger heißen Knoten, die entweder gelenkig oder steif ausgebildet sein können. Bei gelenkigen Knotenpunkten sorgen Dreiecks- bzw. Diagonalverbände, scheibenartige Konstruktionen (Fachwerke) oder Scheiben für die räumliche Stabilität des Skelettbaus. Steife Knotenpunkte erhält man durch biegesteife Rahmenecken oder durch Einspannung von Stützen im Fundament.²¹ Skelettkonstruktionen mit steifen Knotenpunkten werden in dieser Arbeit nicht thematisiert.



Abb. 11:
Aussichtsturm in
Skelettbauweise

Bevorzugte Baumaterialien des Skelettbaus sind Holz, Stahl und Stahlbeton, d. h. Baustoffe, die sowohl Druck- als auch Zugkräfte aufnehmen können und somit größere Spannweiten ermöglichen.

Im Unterschied zum Massivbau übernimmt das Tragwerk ausschließlich tragende Funktionen und keine raumabschließende. D. h. alle Lasten des Bauwerks werden punktuell durch das Skelett abgetragen und die Wände fungieren als nichttragende Raumabschlüsse.²² Dabei können die Wände sehr unterschiedlich ausgeführt sein: z. B. massiv aus Mauerwerk errichtet werden, wobei sie dann gleichzeitig als aussteifende Wandscheiben dienen, oder aus vorgehängten leichteren Fassadenelementen (z. B. aus Glas) bestehen. Der wesentlichste Vorteil von Skelettbauten besteht darin, dass sehr flexible Grundrissgestaltungen und nachträgliche Grundrissänderungen möglich sind, da die Nutzung der Geschossflächen nur durch die statisch erforderlichen Stützen eingeschränkt ist.²³ Aus dieser Perspektive betrachtet, bezieht sich der Begriff „Skelettbau“ insbesondere auf Gebäude. In Abgrenzung dazu würden andere Tragwerke, die ebenfalls aus Stäben bestehen, aber eine offene Tragstruktur haben, wie z. B. Fachwerkbrücken oder Baukräne, als Fachwerk bezeichnet werden. Allerdings gibt es auch eine weiter gefasste Definition von „Skelettbau“: Wie bereits erwähnt, sind Stäbe die Konstruktionselemente des Skelettbaus. Aber auch Fachwerke als ebene oder räumliche Tragwerke werden aus Stäben zusammengesetzt, weshalb

²¹ vgl. Baulexikon. S. 241.

²² vgl. ebd.

²³ vgl. Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre Teil I. S. 261.

man auch sagen kann, dass generell Stabtragwerke Skelettbauten sind.²⁴ Geht man von dieser Annahme aus, dann können auch z. B. Baugerüste, Gittermasten von Hochspannungsleitungen, Fachwerkbrücken oder Klettergerüste als Skelettbauten bezeichnet werden. Die vorliegende Arbeit bezieht sich auf diese eher weit gefasste Sichtweise, da sie einen größeren thematischen Spielraum für den Unterricht und dadurch einen vielfältigeren Bezug zur Lebenswelt der Kinder ermöglicht. Außerdem wäre eine Differenzierung zwischen Skelettbau und Fachwerk für Grundschulkinder zu kompliziert.

Beim Bau von Türmen waren in der Vergangenheit sowohl die Massiv- als auch die Skelettbauweise vielfach verwendete Baumethoden und sie haben auch in der Gegenwart nach wie vor einen hohen Stellenwert.

In früheren Zeiten wurden Türme in Massivbauweise aus Mauerwerk (z. B. Natur- oder Backstein) errichtet, doch diese Bauweise spielt als Tragwerk heutiger Turmbaukonstruktionen keine Rolle mehr, da sich damit keine sehr hohen Bauwerke realisieren lassen.

Heute werden Türme in Massivbauweise aus Stahl- bzw. Spannbeton errichtet. Als richtungsweisendes Bauwerk gilt der von Bauingenieur *Fritz Leonhardt* konzipierte und 1956 fertiggestellte ca. 217 m hohe Fernsehturm in Stuttgart²⁵.

Dieser ist nicht nur wegen seiner Ausführung in Stahlbeton ein wichtiges Vorbild für unzählige andere Konstruktionen in aller Welt geworden, sondern auch durch seine elegante Form und vor allem durch die damals neuartige Kombination aus Fernsehturm und Aussichtsplattformen und -café für touristische Zwecke. Solche Konstruktionen aus Stahlbeton haben den Vorteil, dass sie eine große Biegesteifigkeit und geringere Schwingungen bei Windbelastungen aufweisen.²⁶



Abb. 12:
Fernsehturm, Stuttgart

Frühe Turmbauten in Skelettbauweise bestanden aus Holz. Heutzutage spielt dieser Baustoff im Prinzip keine Rolle mehr, insbesondere des Brandschutzes wegen. Im Zuge der industriellen Produktion von Eisen und nachfolgend Stahl seit dem 18. Jh. erwiesen sich diese beiden Materialien als ideale Baustoffe, die in Verbindung mit der Skelettbauweise immer größere und kühnere Turmbauten ermöglichten. Ein bekanntes Beispiel aus jener Zeit ist der ca. 300 m hohe *Eiffelturm*, der von dem französischen Ingenieur *Alexandre Gustave Eiffel* für die Weltausstellung 1889 in Paris aus Stahl

²⁴ vgl. Baulexikon. S. 241.

²⁵ vgl. VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. S. 674.

²⁶ vgl. ebd. S. 674.

konstruiert wurde.²⁷ Heutzutage werden bei Skelettbauten vorwiegend die Baumaterialien Stahl und Stahlbeton verwendet. Stahl wird beispielsweise für Aussichts- oder Funktürme verwendet, während Stahlbeton für Fernsehtürme und insbesondere im Hochhausbau bevorzugt wird, da dieses Material gegenüber Stahl den Vorteil hat, dass es auf Grund seiner Betonummantelung gegen Korrosion geschützt und vor allem wesentlich feuerbeständiger ist.

LITERATUR	<p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abel, Chris: Sky High. Vertical Architecture. London: Thames & Hudson 2003. • Baulexikon. Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Hg. v. Rüdiger Wormuth / Klaus-Jürgen Schneider. Berlin: Bauwerk 2000. • Brockhaus – Die Enzyklopädie: in 24 Bänden. Band 22. Them-Valk. 20., überarb. u. aktualisierte Aufl. Leipzig / Mannheim: Brockhaus 1999. • dtv-Brockhaus-Lexikon: in 20 Bänden. Band 11. Len-Mec. München: dtv 1988. • Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre Teil I. 31., neu bearb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. • Heinle, Erwin / Leonhardt, Fritz: Türme aller Zeiten – aller Kulturen. 3. Aufl. Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt 1997. • Klemp, Klaus / Seidel, Peter: Oben. Frankfurt am Main. Türme der Stadt. Tübingen: Wasmuth 1999. • Köthe, Rainer: Türme und Wolkenkratzer. Nürnberg: Tessloff 2003 (= WAS IST WAS Bd. 87). • Schulze, Walter / Lange, Joachim / Wanner, Artur: Kleine Baustatik. Einführung in die Grundlagen der Statik und die Berechnung der Bauteile für den Baupraktiker. 12., überarb. Aufl. Stuttgart / Leipzig / Wiesbaden: Teubner 2002. • Seidlein, Peter C. v. / Schulz, Christina: Skelettbau. Konzepte für eine strukturelle Architektur. Projekte 1981-1996. München: Callwey 2001. • VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. Hg. v. Hans-Gustav Olshausen und VDI-Gesellschaft Bautechnik. 2., überarb. und erw. Aufl. Berlin / Heidelberg: Springer 1999. <p>LITERATUREMPFEHLUNG FÜR DEN UNTERRICHT:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Köthe, Rainer: Türme und Wolkenkratzer. Nürnberg: Tessloff 2003 (= WAS IST WAS Bd. 87).
ABBILDUNGEN	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abb. 1: http://www.geo.tu-freiberg.de/palaeo/exkursionen/sardinien2002/bild17.jpg (08.11.05). ▪ Abb. 2: http://www.luegde.de/images/fotos_startseite/wehrturm_alter_wall.jpg (08.11.05). ▪ Abb. 3: http://www.dirk-oberschelp.de/images/die_Wartburg3.jpg (08.11.05). ▪ Abb. 4: http://www.dirk-oberschelp.de/images/der_Bergfried1.jpg (08.11.05). ▪ Abb. 5: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/thumb/9/98/Leaning-tower-of-pisa.jpg/180px-Leaning-tower-of-pisa.jpg (08.11.05). ▪ Abb. 6: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/67/View_from_Mardin_to_the_Mesopotamian_plains.jpg/180px-View_from_Mardin_to_the_Mesopotamian_plains.jpg (08.11.05). ▪ Abb. 7: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e9/TojiCrape-Myrtle0096.jpg/180px-TojiCrapeMyrtle0096.jpg (08.11.05). ▪ Abb. 8: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/thumb/6/68/Eiffelturm.jpg/250px-Eiffelturm.jpg (08.11.05). ▪ Abb. 9: http://www.tu-harburg.de/vt2/pe2000/Meetings/achema/achema3.jpg (08.11.05). ▪ Abb. 10: http://www.borkumer-seiten.de/fotos/neuer-leuchtturm.jpg (08.11.05). ▪ Abb. 11: http://www.fkf-online.de/photos/46/Turm_FF.jpg (08.11.05). ▪ Abb. 12: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/thumb/9/9c/Stuttgart_TVTower.jpg/200px-Stuttgart_TVTower.jpg (08.11.05).

²⁷ vgl. Heinle, E. / Leonhardt, F.: Türme aller Zeiten – aller Kulturen. S. 214.

5.2. Türme aus Holzbausteinen

BASISVERSUCH	<ul style="list-style-type: none"> • 3.4 Standsicherheit durch Gleichgewicht • 3.5 Standsicherheit im Mauerwerksbau
SCHWIERIGKEITSGRAD	geringer Anspruch
ZEIT	ca. 3-4 Stunden (ohne freie spielerische Bauphase)
MATERIALIEN UND WERKZEUGE	<p>Das Grundmaterial sind genormte Holzbausteine (z. B. Fröbel-Bausteine mit dem Grundmaß $33\frac{1}{3}$ mm, Standardgröße: ca. H 16,7 * B 33,3 * L 66,7 mm (entspricht einem Maßverhältnis von 1:2:4))</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bauaufgabe 1: Materialangabe pro Kind <ul style="list-style-type: none"> • ca. 15 Holzbausteine (Standardgröße) • Bauaufgabe 2: Materialangabe pro 2 Kinder <ul style="list-style-type: none"> • ca. 60 Holzbausteine (Standardgröße) • 1 Spielzeugauto • Bauaufgabe 3: Materialangabe pro 2 Kinder <ul style="list-style-type: none"> • ca. 50 Holzbausteine (Standardgröße) • alternative Ergänzung: diverse Holzbausteine anderer Längen • Bauaufgabe 4: Materialangabe pro 2 Kinder <ul style="list-style-type: none"> • ca. 24 Holzbausteine (Standardgröße) • ca. 22 Streichholzschachteln • Bauaufgabe 5: Materialangabe pro 2 Kinder <ul style="list-style-type: none"> • ca. 100 Holzbausteine (Standardgröße) • dünne Wolle bzw. Baumwolle (für Lot) • Knöpfe (für Lot) • Schere

SACHANALYSE

Wie bereits unter 5.1 erwähnt, werden heutzutage Türme in Massivbauweise in der Regel nicht wie in früheren Zeiten aus Mauerwerk errichtet, sondern aus Stahl- bzw. Spannbeton. Die moderne Massivbauweise wird jedoch in keinem Unterrichtsvorschlag praktiziert, da sich diese Bauweise schwer im Unterricht realisieren lässt. Das Augenmerk liegt deswegen auf der traditionellen Bauweise aus Mauersteinen.

Zunächst soll erklärt werden, warum heutzutage Türme nicht mehr in Massivbauweise aus Mauerwerk gebaut werden. Ursächlich dafür sind statische Gründe: Wie bereits unter 3.5 erläutert, nehmen tragende Wände hauptsächlich Druck auf. Die Druckkraft nimmt bei einer Wand von oben nach unten immer mehr zu, da auch ihr Eigengewicht gleichmäßig zunimmt. Innerhalb eines Baugesüges kommen zu ihrem Eigengewicht noch die Eigenlasten der auf ihr liegenden Bauteile (z. B. Decken, Dach) hinzu. Wird die Druckbeanspruchung zu hoch, kann dies zum seitlichen Ausweichen (Beulen) der Wandfläche führen¹, wodurch die Standsicherheit des Bauwerks gefährdet ist. Um dem

¹ vgl. Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Hans-Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 9., überarb. Aufl. Köln: Müller 2002. S. 212.

entgegenzuwirken müssen Wände ausreichend dimensioniert (z. B. dicker) ausgeführt werden. Dies hätte allerdings zur Folge: Je höher ein Turm in Mauerwerk gebaut würde, desto dicker müssten seine unteren Wände sein. Bei extremen Höhen wären die Lasten wahrscheinlich so hoch, dass die unteren Geschosse komplett massiv ausgeführt werden müssten. Daher ist aus statischer, funktionaler und ökonomischer Sicht die Massivbauweise aus Mauerwerk nicht für hohe Turmbauten geeignet und kann in diesem Baubereich keinesfalls mit Ausführungen in Stahlbeton bzw. mit Konstruktionen in Skelettbauweise konkurrieren, da diese u. a. wesentlich materialsparender in kürzeren Bauzeiten errichtet werden können.

Auch wenn aktuelle Turmbauten nicht mehr in Massivbauweise mit Mauerwerk ausgeführt werden, ist dies dennoch kein Grund, diese Bauweise zu vernachlässigen, da zum einen viele alte Turmbauten aus Mauerwerk heutzutage noch erhalten sind und zum anderen Mauerwerkskonstruktionen nach wie vor realisiert werden, z. B. bei niedrigeren Wohnbauten. Denn Mauerwerk hat auch Vorteile gegenüber Stahl oder Stahlbeton, beispielsweise hinsichtlich des Wärme- und Schallschutzes.

Wie ebenfalls unter 5.1 erläutert, werden Turmbauten nicht nur in Massivbauweise, sondern auch in Skelettbauweise errichtet. Diese Bauweise soll in diesem Kapitel nicht ausführlich thematisiert, sondern nur unter einem bestimmten Gesichtspunkt betrachtet werden: Auf Grund der skelettartigen Tragstruktur, bestehend aus den Hauptelementen Stütze und Träger, die auf das statisch notwendige Mindestmaß reduziert sind, ist diese Bauweise im Vergleich zu massiven Mauerwerksbauten recht materialsparend, und darüber hinaus können die Bauwerke in kürzerer Bauzeit fertig gestellt werden.

Unter 5.1 wurden bereits einige Aspekte erwähnt, die für die Standsicherheit von Türmen verantwortlich sind. In diesem Kapitel soll der Fokus auf folgenden Gesichtspunkten liegen:

- Größe der Standfläche
- Gewicht
- Position des Gebäudeschwerpunkts.

Darüber hinaus spielen noch andere Faktoren eine wesentliche Rolle, die in verschiedenen Basisversuchen thematisiert werden und daher in dieser Sachanalyse nicht näher erläutert werden:

- Gleichgewicht (vgl. Basisversuch „3.4 Standsicherheit durch Gleichgewicht“)
- Bei Türmen aus Mauerwerk: statisch-konstruktive Grundprinzipien im Mauerwerksbau (vgl. Basisversuch „3.5 Standsicherheit im Mauerwerksbau“)

Größe der Standfläche

Statik ist die Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte, die auf ein Bauteil bzw. Bauwerk einwirken.² Das heißt, wenn beispielsweise auf einen Turm Horizontalkräfte einwirken, z. B. Windlasten oder Anpralllasten durch ein anstoßendes Fahrzeug (Aktionskräfte), müssen gleich große Gegenkräfte (Reaktionskräfte) entgegenwirken, damit die Standsicherheit gewährleistet ist. Würde das Bauwerk auf Rollen stehen, so könnte es sein, dass diese Form der Gebäudelagerung nicht die erforderlichen Gegenkräfte entwickelt, wodurch kein Gleichgewicht bestünde und der Bau weggrollen würde. Da Gebäude jedoch nicht auf Rollen, sondern auf Fundamenten stehen, kann die Bodenreibung eine entsprechend große Gegenkraft entgegenstellen.³ Dies bedeutet, dass eine größere Standfläche eines Gebäudes gleichzeitig eine größere Bodenreibung bewirkt, die wiederum eine entsprechend große Gegenkraft gegen horizontale Kräfte entgegenstellt, was zur Standsicherheit des Bauwerks beiträgt.

Gewicht

Starke Horizontalkräfte können jedoch auch das Kippen eines Turmes bewirken. Aus statischer Sicht lässt sich das dadurch erklären, dass infolge der Krafteinwirkung durch beispielsweise horizontale Windlasten das resultierende Kippmoment größer ist als das Standmoment. Das Standmoment eines Bauteils bzw. Bauwerks hat eine stabilisierende Funktion und ist abhängig von dessen Breite und dessen Gewicht.⁴ „Aus Gründen der Sicherheit muß gewährleistet sein, daß nicht nur für jeden möglichen Lastfall das Gleichgewicht gewährleistet ist, sondern daß das stabilisierende *Standmoment* mindestens 1,5mal so groß ist wie das *Kippmoment* (Sicherheitsfaktor gegen Kippen: 1,5).“⁵

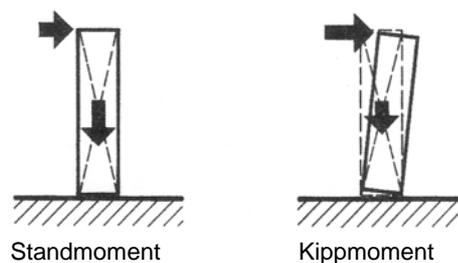


Abb. 1:
Kippen

Standmoment

Kippmoment

Position des Gebäudeschwerpunkts

Um bei horizontaler Krafteinwirkung dem Kippen eines Bauteils oder Bauwerks entgegenzuwirken, ist auch die Position des Bauteil- bzw. Gebäudeschwerpunkts von

² Schulze, Walter / Lange, Joachim / Wanner, Artur: Kleine Baustatik. Einführung in die Grundlagen der Statik und die Berechnung der Bauteile für den Baupraktiker. 12., überarb. Aufl. Stuttgart / Leipzig / Wiesbaden: Teubner 2002. S. 10.

³ Krauss, F. / Führer, W. / Neukäter, H.-J.: Grundlagen der Tragwerklehre 1. S. 39.

⁴ vgl. Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. Teil I. 31., neu bearb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. S. 15.

⁵ Krauss, F. / Führer, W. / Neukäter, H.-J.: Grundlagen der Tragwerklehre 1. S. 54.

Bedeutung. „Unterstützt man einen Körper in seinem Schwerpunkt, bleibt er in jeder Lage im Gleichgewicht. Eine derart genaue Unterstützung ist jedoch nur theoretisch möglich.“⁶ Sie kann bei einem Bauteil oder Bauwerk nicht genügen, da auf sie ständig andere Lasten einwirken und sich der Schwerpunkt dadurch verändern kann. Liegt der Schwerpunkt oben, kann bereits bei geringerer Einwirkung horizontaler Kräfte das Gebäude kippen. Liegt der Schwerpunkt unten, besteht eine Kippgefahr nur bei sehr großer Krafteinwirkung. Aus diesem statischen Grund verjüngen sich viele Türme zur Spitze hin, wodurch nach oben hin ihre Eigenlast reduziert wird. Wird ein Turm beispielsweise schief gebaut, verlagert sich sein Schwerpunkt nach außen hin, wodurch seine Standsicherheit gefährdet ist.

SACHANALYSE – Modell aus Holzbausteinen

Holzbausteine können in der Schule gut als Ersatz für Mauersteine verwendet werden, da sie ebenfalls ein verhältnismäßig schweres und massives Material sind. Mit Holzbausteinen können zum einen statische Grundprinzipien bezüglich der Standsicherheit von Türmen vermittelt werden, die unter anderem von der Größe ihrer Standfläche, ihrem Gewicht und einem tief liegenden Schwerpunkt abhängt. Zum anderen werden einfache, grundlegende Erfahrungen bezüglich der Differenzierung von Massiv- und Skelettbau ermöglicht, da man rechteckige Holzbausteine entweder massiv als Mauerwerk oder skelettartig in der Funktion von Stützen und Trägern einsetzen kann.

Es ist darauf hinzuweisen, dass Türme aus Holzbausteinen starken Modellcharakter haben und nicht wie „richtige“ Turmbauten aussehen müssen. Statische und konstruktive Grundkenntnisse können sehr gut bei freien, fantasievoll gebauten Türmen gewonnen werden.

SACHANALYSE – Modell aus Streichholzschachteln

Streichholzschachteln eignen sich weniger gut als Ersatz für „echte“ Mauersteine, da sie kein massives und ein sehr leichtes Material sind. Darüber hinaus gibt es sie nicht in deutlich unterschiedlichen Längen, so dass nur bestimmte Turmbaukonstruktionen möglich sind. Außerdem sind Streichholzschachteln nicht unbedingt gleichmäßig verarbeitet, so dass beim Bauen leicht schiefe Türme entstehen können, deren Standsicherheit dadurch gefährdet ist.

Allerdings kann die Leichtigkeit eines Streichholzturms sehr gut mit einem schwereren Holzbausteinturm verglichen werden und dabei die wichtige Rolle des Gewichts verdeutlicht werden, die wesentlich zur Standsicherheit eines Turmes beiträgt.

⁶ Schulze, W. / Lange, J. / Wanner, A.: Kleine Baustatik. S. 56.

LERNVORAUSSETZUNGEN

- Das Bauen von Türmen erfordert von den SchülerInnen ein gewisses Maß an motorischer Geschicklichkeit und Geduld.

LERNZIELE

Die SchülerInnen sollen

- auf spielerische Weise elementare statisch-konstruktive Grundprinzipien des Turmbaus kennen lernen.
- beim Bauen von Türmen auf elementare Weise die Unterschiede zwischen Massiv- und Skelettbauweise kennen lernen und Vorteile der Skelettbauweise erkennen können.
- in Partnerarbeit verschiedene Bauaufgaben bewältigen können und dabei selbsttätig handelnd verstehen lernen, dass die Größe der Standfläche, die Position des Gebäudeschwerpunkts und das Gewicht des Gebäudes für die Standsicherheit eines Turmbauwerks verantwortlich sind.
- die in den Basisversuchen „3.4 Standsicherheit durch Gleichgewicht“ und „3.5 Standsicherheit im Mauerwerksbau“ gewonnenen Erkenntnisse auf den Turmbau übertragen können.
- spezielle Begriffe kennen lernen: standsicher, Lot (lotrecht), Standfläche, Schwerpunkt, offene Bauart, geschlossene Bauart.
- ihre Lernergebnisse sowohl zeichnerisch als auch schriftlich dokumentieren können.

DIDAKTISCH-METHODISCHE ANREGUNGEN

BEZUG ZUR LEBENSWELT DER KINDER

Da das Stapeln von Gegenständen, beispielsweise von Bauklötzen, zu den frühen spontanen Tätigkeiten des Kindes gehört, werden sie schon früh mit dem Thema „Turmbau“ konfrontiert.

Das Kleinkind stapelt möglichst viele Holzwürfel aufeinander und erschrickt, wenn der entstehende Turm zu schwanken beginnt und das Bauwerk polternd zusammenstürzt. Mit zunehmendem Alter entsteht jedoch der Wunsch, einen festen und standsicheren Turm zu bauen. Auf spielerische

Weise sammelt das Kind dabei erste [statisch-] konstruktive Erfahrungen, die im Unterricht erweitert und bewusst gemacht werden sollten.⁷

Aber auch in der gebauten Umwelt werden Kinder mit verschiedensten Turmbauten konfrontiert, wie z. B. Kirchtürmen, Aussichtstürmen, Fernsehtürmen usw. Diese hohen Bauwerke sind sehr auffällig und haben meist starken Wiedererkennungscharakter, weshalb sie sowohl für viele Kinder als auch Erwachsene als Orientierungspunkte dienen.

FREIE SPIELERISCHE BAUPHASE⁸

Es ist damit zu rechnen, dass nicht alle Kinder vor Schuleintritt bereits mit Holzbausteinen gespielt haben und dass sie daher über unterschiedliche Vorerfahrungen verfügen. Insofern empfiehlt es sich, zunächst eine freie spielerische Bauphase ohne konkrete Aufgabenstellung vorzusehen, in der die SchülerInnen mit dem Spielmaterial vertraut werden können. Holzbausteine regen von sich aus zum Bauen an, so dass die Kinder entsprechend ihrer individuellen Vorerfahrungen und Interessen auf spielerische Weise selbsttätig handelnd vielfältige Erfahrungen im Bauen machen können. Durch eine fehlende Themenvorgabe wird die Phantasie der SchülerInnen angeregt und sie erhalten Raum für kreative Bauideen, wodurch sich zunächst zielloses Spielen in zielgerichtetes Tun verwandeln kann. In dieser Spielphase können die SchülerInnen nicht nur gestalterisch tätig sein, sondern auch technische Verhaltensweisen entwickeln, wie das Probieren, Experimentieren und Konstruieren.⁹ In dieser freien spielerischen Bauphase können die Kinder selbst entscheiden, in welcher Sozialform sie arbeiten möchten, ob in Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit. Um dem natürlichen Bewegungsdrang der Grundschul Kinder entgegenzukommen, kann überall, auch auf dem Fußboden, gebaut werden. Die Lehrperson sollte diese Zeit nutzen, um sich über die individuellen Vorerfahrungen der Kinder zu informieren und darauf zu achten, ob manche von ihnen Türme bauen und welche Schwierigkeiten sie dabei eventuell haben. Diese Beobachtungen können in die weitere Unterrichtsplanung einbezogen werden, beispielsweise indem in einem anschließenden Unterrichtsgespräch das Augenmerk auf das Thema „Türme“ gelenkt wird und damit eine Überleitung in das eigentliche Unterrichtsthema erfolgen kann.

⁷ Kälberer, G. / Hüttenmeister, H.: Bauen, Konstruieren, Montieren. S. 12.

⁸ vgl. Wagner, Reinhold: Formen spielerischen Lernens im Sachunterricht der Grundschule. Ansbach: Prögel 1983. S. 14.

⁹ vgl. Ullrich, Heinz: Zum technischen Handeln des Kindes. Spielendes und problemlösendes Lernen. In: Grundschule 9 (1994). S. 12.

THEMATISCHER EINSTIEG UND TRANSFER

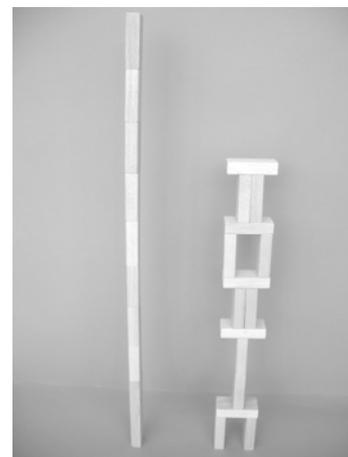
Ein Unterrichtsgespräch über Türme ist ein möglicher Einstieg in das Unterrichtsthema. Die SchülerInnen, die in der freien Spielphase Türme aus Holzbausteinen gebaut haben, können diese vorstellen und beispielsweise berichten, ob ihr Turm eine bestimmte Funktion hat oder ob es Schwierigkeiten bei der Bauausführung gab. Außerdem kann die gesamte Klasse überlegen, welche Arten von Türmen es gibt. Die Lehrperson hat eine Auswahl von Abbildungen verschiedener Türme¹⁰ vorbereitet, die nach Nennung durch die Kinder auf einem Plakat oder an einer Pinnwand befestigt werden, um während des gesamten Unterrichtsverlaufs den Kindern präsent zu sein und eventuell als Anregung zu dienen.

ZIELGERICHTETE SPIELERISCHE BAUPHASE¹¹

Anschließend folgt eine zielgerichtete Bau- und Versuchsphase, in der den SchülerInnen bestimmte Aufgaben gestellt werden.

Bauaufgabe 1 – „Massivbauweise – Skelettbauweise“

Die Klasse bekommt den Auftrag, in Einzelarbeit einen möglichst hohen Turm zu bauen, wobei jedes Kind nur eine begrenzte Stückzahl von Holzbausteinen erhält, z. B. 15 Stück (Standardgröße), diese jedoch komplett verbauen muss. Manche Kinder werden wahrscheinlich die Steine übereinander schichten und dabei eher massive Türme bauen, andere versuchen bestimmt, die Steine einzeln hochkant aufeinander zu stellen, was jedoch sehr instabil ist. Auf Grund der begrenzten Holzbausteinmenge kommen vielleicht einige Kinder auf die Lösung, die Steine als Stützen und Träger zu verwenden und somit sowohl eine hohe als auch eine stabile Konstruktion zu erhalten, die einer offenen, skelettartigen Bauweise ähnelt.



¹⁰ Z. B. Wehrtürme, Aussichtstürme (z. B. *Eiffelturm*), Türme von Burgen, Wassertürme, Fernsehtürme, Kirchtürme, Leuchttürme.

¹¹ vgl. Wagner, R.: Formen spielerischen Lernens im Sachunterricht der Grundschule. S. 14.

In einem anschließenden Reflexionsgespräch sollen die Kinder von ihren Erfahrungen berichten. Sie sollen verstehen, dass die Standsicherheit von Türmen von der Bauweise abhängt und dass es verschiedene Bauweisen gibt, die einen unterschiedlichen Materialbedarf haben. Mit einer Turmkonstruktion, die aus Stützen und Trägern besteht und annäherungsweise einer skelettartigen Tragstruktur entspricht, kann stabil und dabei materialsparender gebaut und in ungefähr der gleichen Bauzeit eine größere Höhe erreicht werden als mit horizontal übereinander geschichteten Holzbausteinen. Die Begriffe „Massivbau“ und „Skelettbau“ sollten dabei nach Ansicht der Verfasserinnen nicht verwendet werden, da es bei dieser Aufgabe zunächst nur um das grundlegende Prinzip unterschiedlicher Bauweisen geht und die Kinder nicht mit Fachbegriffen überfordert werden sollten. Außerdem entsprechen die Bauwerke der Kinder nicht unbedingt realen Turmbauten: Denn ein Turm aus übereinander geschichteten Holzbausteinen ist komplett massiv und daher aus funktionaler Sicht nicht nutzbar und ein Turm, bestehend aus nur 2 Stützen und 1 Träger pro „Stockwerk“, entspricht keineswegs einem realen Turm aus Skelettbauweise, sondern eher einer Rahmenkonstruktion. Es geht bei dieser Aufgabe ausschließlich darum, dass die SchülerInnen massiv- und skelettartiges Bauen unterscheiden lernen, die Vorteile der skelettartigen Bauweise erkennen und beide Bauweisen anwenden können.¹² Alternativ zu den Begriffen „Massivbau“ und „Skelettbau“ könnte man beispielsweise von einer geschlossenen bzw. offenen Bauart sprechen.

Um diesen Aspekt zu festigen, können die Kinder anschließend in Partnerarbeit je einen massiv- und einen skelettartigen Turm mit gleicher Grundfläche aus der gleichen Anzahl von Holzbausteinen (z. B. 15 Stück pro Turm) bauen, um den Unterschied direkt vergleichen zu können.

Anschließend bietet sich ein Transfer zur gebauten Umwelt an, indem die Kinder anhand der verschiedenen Turmabbildungen auf dem Plakat bzw. der Pinnwand überlegen sollen, welche Türme eine eher geschlossene und welche eine eher offene Tragstruktur haben.

Baufaufgabe 2 – Größe der Standfläche

Die Kinder bekommen die Aufgabe, in Partnerarbeit zwei gleich hohe, massive Türme aus Holzbausteinen zu bauen, die jedoch eine unterschiedlich große Standfläche haben. Beide Türme sollten anschließend mit anstoßenden Spielzeugautos (Horizontalkraft) belastet werden und auf ihre Standsicherheit hin untersucht werden. Die

¹² vgl. Eckel, Johann / Halamiczek, Herbert: Werkerziehung. Grundstufe 1. Bauen – Wohnen, Technik, Produktgestaltung. Wien: Österreichischer Bundesverlag 1981. S. 26.

SchülerInnen werden dabei feststellen, dass der Turm mit der kleineren Standfläche weniger stabil ist als der Turm mit der größeren Standfläche.



Bauaufgabe 3 – Position des Gebäudeschwerpunkts

Eine weitere Aufgabenstellung ermöglicht, dass sich die Klasse in einer zielgerichteten spielerischen Bauphase mit dem Aspekt „Position des Gebäudeschwerpunkts“ beschäftigt. Die Kinder erhalten den Auftrag, in Partnerarbeit einen möglichst hohen Turm aus Holzbausteinen zu bauen, der unten schmal ist und nach oben breiter wird, z. B. oben eine Aussichtsplattform hat. Die SchülerInnen werden bereits beim Bauen und spätestens nach einer Belastungsprobe mit einem anstoßenden Spielzeugauto erfahren, dass die Standsicherheit dieses Bauwerks recht labil ist. In einem nachfolgenden klärenden Unterrichtsgespräch sollen sie von ihren Bauerfahrungen berichten. Das Lernziel dieser Aufgabe besteht darin, dass die Kinder erkennen, dass bei dieser Bauform der Schwerpunkt des Gebäudes oben liegt und das Turmbauwerk dadurch zum Kippen neigt. Dieses Ergebnis kann nachfolgend überprüft werden, indem die SchülerInnen nun einen Turm in umgekehrter Weise bauen sollen, der unten breit ist und nach oben schmaler wird. Sie werden mittels einer Belastungsprobe entdecken, dass diese Bauform wesentlich stabiler ist.



Falls die Kinder beim ersten Teil dieser Aufgabe Schwierigkeiten bezüglich des Gleichgewichts oder des Auskragens haben, bietet es sich an, entsprechende Abschnitte des **Basisversuchs „3.4 Standsicherheit durch Gleichgewicht“** zu integrieren.

Baufaufgabe 4 – Gewicht

Die SchülerInnen erhalten die Aufgabe, in Partnerarbeit zwei Türme in gleicher Bauweise und ähnlicher Höhe zu bauen, allerdings mit unterschiedlichen Materialien: einen Turm aus Holzbausteinen und einen aus Streichholzschachteln. Anschließend sollen beide Türme durch Pusten (entspricht horizontalen Windlasten in der Realität) belastet werden. Die Kinder werden feststellen, dass der Turm aus Holzbausteinen wesentlich stabiler ist als der Turm aus Streichholzschachteln und dabei erkennen, dass das Gewicht eine wichtige Rolle bezüglich der Standsicherheit eines Bauwerks spielt.



Darüber hinaus fällt eventuell einigen Kindern schon während der Bauphase auf, dass sich Streichholzschachteln nicht so gut als Baumaterial eignen, da sie etwas ungenaue Formen haben und die Türme dadurch leicht schief werden. Diese Beobachtung kann im anschließenden Reflexionsgespräch aufgegriffen werden, so dass alle Kinder den Vorteil der exakten und gleichmäßigen Maße von Holzbausteinen erkennen können.

Baufaufgabe 5 – Turm aus Mauerwerk

Im gemeinsamen Unterrichtsgespräch zu Beginn des Unterrichtsthemas haben die SchülerInnen bereits verschiedene Türme kennen gelernt. Da das Spielmaterial Holzbausteine am ehesten mit dem realen Baumaterial „Bausteine“ zu vergleichen ist, bietet es sich an, dass sich die Kinder intensiver mit Türmen aus Mauerwerk beschäftigen. Zunächst sollen sie selbst überlegen, welches reale Baumaterial im Modell gut durch Holzbausteine ersetzt werden kann. Vermutlich werden die Kinder von sich aus auf „Mauersteine“ kommen, und falls nicht, kann die Lehrperson auf

entsprechende Abbildungen von Türmen aus Mauerwerk (z. B. Wehrturm oder Leuchtturm) auf dem Plakat bzw. der Pinnwand hinweisen. Anschließend legt die Lehrperson eine Abbildung eines Turms aus Mauerwerk auf den Overhead-Projektor und die SchülerInnen sollen sich das Mauerwerk des abgebildeten Turms näher anschauen und dabei feststellen, dass die Mauersteine versetzt angeordnet sind.

An dieser Stelle empfiehlt es sich, die Aspekte „Mauerverband“ und „Bauausführung“ des **Basisversuchs „3.5 Standsicherheit im Mauerwerksbau“** zu integrieren. Dabei lernen die SchülerInnen den Vorteil der versetzten Anordnung von Mauersteinen kennen und erfahren, dass das Lot als Arbeitshilfe für senkrechtes Bauen dient.

Anschließend erhalten die Kinder die Aufgabe, in Partnerarbeit aus Holzbausteinen einen Wehrturm „aus Mauerwerk“ zu bauen. Dabei sollen sie versuchen, die gewonnenen Kenntnisse aus dem Basisversuch 3.5 anzuwenden. Um die Stabilität des Mauerverbands zu verdeutlichen, können die SchülerInnen nachträglich einzelne Holzbausteine entfernen, um beispielsweise Fenster- oder Türöffnungen herzustellen.



ERGEBNISSICHERUNG

An jede Bauaufgabe sollte eine Reflexionsphase angeschlossen werden, in der die SchülerInnen angeregt werden, bewusst über ihre Bauverfahren und Lernergebnisse nachzudenken, was zu einer Festigung der gewonnenen Erkenntnisse beiträgt. Anschließend sollten die Ergebnisse von den Kindern zeichnerisch und schriftlich dokumentiert werden, um das auf der Handlungsebene erworbene Wissen zu vertiefen.¹³

¹³ vgl. Bruner, Jerome S.: Über kognitive Entwicklung. In: Studien zur kognitiven Entwicklung. Eine kooperative Untersuchung am „Center for Cognitive Studies“ der Harvard-Universität. Hg. v. Jerome S. Bruner, Rose R. Olver u. Patricia M. Greenfield. Stuttgart: Klett 1971. S.27.

AUFGABE DER LEHRPERSON

Die Aufgabe der Lehrperson besteht darin, die Lernprozesse der Kinder zu beobachten und zu dokumentieren. Des Weiteren steht sie Kindern, die Schwierigkeiten mit einzelnen Bauaufgaben haben, als Ratgeber zur Verfügung. Eine wichtige Aufgabe besteht darin, nach jeder Bauphase ein Reflexionsgespräch zu initiieren.

DIFFERENZIERUNG

Da die zielgerichtete spielerische Bau- und Versuchsphase aus vielen einzelnen Arbeitsphasen besteht, die schrittweise im gesamten Klassenverband erfolgen, besteht weniger die Gefahr, dass manche Kinder wesentlich schneller die Aufgaben bearbeiten als andere. In fast jeder Bauphase können leistungsstärkere SchülerInnen das Schwierigkeitsniveau ihren individuellen Fähigkeiten anpassen und somit selbst bestimmen, indem sie beispielsweise höhere oder konstruktiv anspruchsvollere Türme bauen.

TIPPS UND TRICKS	<ul style="list-style-type: none"> • Möchte man die Lärmbelästigung durch zusammenstürzende Türme etwas abmildern, können ebene, Geräusch dämmende Materialien, z. B. Filzbodenteile, als Bauunterlage verwendet werden.
MEDIEN	<ul style="list-style-type: none"> • Abbildungen von verschiedenen Turmbauten • Plakat bzw. Pinnwand • Overhead-Folie mit einer Abbildung eines Turms aus Mauerwerk • Overhead-Projektor
LITERATUR	<p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bruner, Jerome S.: Über kognitive Entwicklung. In: Studien zur kognitiven Entwicklung. Eine kooperative Untersuchung am „Center for Cognitive Studies“ der Harvard-Universität. Hg. v. Jerome S. Bruner, Rose R. Olver u. Patricia M. Greenfield. Stuttgart: Klett 1971. S. 21-53. • Eckel, Johann / Halamiczek, Herbert: Werkerziehung. Grundstufe 1. Bauen – Wohnen, Technik, Produktgestaltung. Wien: Österreichischer Bundesverlag 1981. • Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. Teil I. 31., neu bearb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. • Kälberer, Günther / Hüttenmeister, Hilleke: Bauen, Konstruieren, Montieren. Leipzig: Klett 2002. • Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Hans Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 9., überarb. Aufl. Köln: Müller 2002. • Schulze, Walter / Lange, Joachim / Wanner, Artur: Kleine Baustatik. Einführung in die Grundlagen der Statik und die Berechnung der Bauteile für den Baupraktiker. 12., überarb. Aufl. Stuttgart / Leipzig / Wiesbaden: Teubner 2002. • Ullrich, Heinz: Zum technischen Handeln des Kindes. Spielendes und problemlösendes Lernen. In: Grundschule 9 (1994). S. 12/13. • Wagner, Reinhold: Formen spielerischen Lernens im Sachunterricht der Grundschule. Ansbach: Prögel 1983.
ABBILDUNGEN	<ul style="list-style-type: none"> • Abb. 1: Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. Teil I. 31., neu bearb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. S. 15.

5.3 Türme aus Holzstäben

BASISVERSUCH	3.2 Stabilität durch Aussteifung
SCHWIERIGKEITSGRAD	geringer bis mittlerer Anspruch
ZEIT	ca. 3-4 Stunden
MATERIALIEN UND WERKZEUGE	<ul style="list-style-type: none"> • Holzstäbe (z. B. hölzerne Grillspieße) <ul style="list-style-type: none"> ⇒ Die Holzspieße werden von der Lehrperson vorbereitet. Jedes Kind braucht für einen dreistöckigen Turm (siehe Fotos) 28 kürzere (Länge z. B. 16,5 cm) und 12 längere Holzstäbe (Länge z. B. 23,3 cm). ⇒ Es wird jedoch empfohlen, den SchülerInnen mehr Material zur Verfügung zu stellen, so dass sie kreativen Spielraum haben und entsprechend ihrer individuellen Fähigkeiten auch höhere Türme, Türme mit Dach oder Türme mit Anbauten bauen können. • Gartenschere (nur für Lehrperson) • Knete

SACHANALYSE

Mit dem Bau von Türmen aus den Materialien Holzstäbe und Knete können auf einfache Weise statisch-konstruktive Grundprinzipien des Skelettbau erklärt werden.

Die moderne Skelettbauweise ist ein aus dem traditionellen Holzfachwerkbau abgeleitetes Konstruktionsprinzip für Bauausführungen in Holz, Stahl und Stahlbeton. Bei hohen Turmbauten (z. B. Fernmelde- oder Fernsehtürmen) werden die Baumaterialien Stahl und insbesondere Stahlbeton verwendet, niedrigere Turmkonstruktionen, z. B. Hochstände oder kleinere Aussichtstürme, werden hingegen noch häufig aus Holz gebaut.

Unabhängig von den oben erwähnten Baustoffen ist die Tragstruktur von Skelettbauten grundsätzlich gleich. Wie bereits unter 5.1 aufgeführt, kann man das Tragwerksystem von Skelettbauten auch als räumliches Fachwerk oder als Stabtragwerk bezeichnen, dessen Konstruktionselemente Stäbe sind, die die Lastabtragung übernehmen. Es besteht aus den Hauptelementen Stütze und Träger (Stäbe). Die Anschlusspunkte von Stützen und Trägern werden Knoten genannt, die entweder gelenkig oder steif ausgebildet sein können.¹ Bei den „Türmen aus Holzstäben“ besitzt das Tragwerk gelenkige Knoten.

Träger sind meist horizontal verlegte Bauteile, die die Aufgabe haben, aufliegende vertikale Lasten (Verkehrslast, Eigenlast von Decken) horizontal an die Stützen weiterzuleiten. Sie werden auf Biegung beansprucht und müssen daher aus druck- und zugfesten Materialien (z. B. Holz, Stahl, Stahlbeton) sein. Stützen sind meist vertikale

¹ vgl. Baulexikon. Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Hg. v. Rüdiger Wormuth / Klaus-Jürgen Schneider. Berlin: Bauwerk 2000. S. 241.

Bauteile, die druckfest sein müssen, da sie die von den Trägern übertragenen Lasten und deren Eigengewicht tragen. Die Druckkräfte werden geschossweise über die Träger und deren Knotenpunkte in die Fundamente und den Baugrund abgeleitet. Die Abmessungen der tragenden Bauteile sind dabei auf das statisch erforderliche Mindestmaß reduziert, wodurch die Skelettbauweise recht materialsparend ist.

Stützen und Träger können zwar als Hauptelemente des Skeletttragwerks vertikale Lasten aufnehmen, doch wenn horizontale Kräfte (z. B. Windkraft) einwirken, werden noch andere Konstruktionselemente für die räumliche Stabilität benötigt. Bei Skeletten mit gelenkigen Knotenpunkten kann dies auf verschiedene Weisen geschehen: durch Dreiecksverbände (Diagonalverbände), durch scheibenartige Konstruktionen (Fachwerk) oder durch Scheiben (z. B. massive Wände aus Mauerwerk).² In dem Kapitel „Türme aus Holzstäben“ wird nur die Aussteifung durch Dreiecksverbände thematisiert.

Dreiecks- bzw. Diagonalverbände bestehen aus sogenannten Streben, die diagonal in den von Stützen und Trägern „umrahmten“ Feldern angeordnet sind und zusammen mit diesen Bauteilen unverschiebbare Dreiecke bilden. Sie haben die Aufgabe, Horizontalkräfte abzutragen und somit für die räumliche Stabilität zu sorgen. Streben können ebenfalls aus den Materialien Holz, Stahl oder Stahlbeton bestehen.



Abb. 1:
Baustelle eines Skelettbaus

Im Unterschied zum Massivbau übernimmt das Tragwerk ausschließlich tragende Funktionen und keine raumabschließenden. D. h. alle Lasten des Bauwerks werden punktuell durch das Skelett abgetragen und die Wände fungieren als nichttragende Raumabschlüsse.³

SACHANALYSE – Türme aus Holzstäben

Das Tragwerkssystem der Skelettbauweise kann mit den Materialien Holzstäbe und Knete auf schnelle und einfache Weise modellhaft umgesetzt werden. Die Holzstäbe, die gleichzeitig als Träger und Stützen fungieren, haben der Einfachheit halber dieselbe Länge, z. B. 16,5 cm, die Holzstäbe, die als Strebe dienen, haben in diesem Beispiel eine Länge von ca. 23,3 cm. Die gelenkige Verbindung in den Anschlusspunkten, d. h. den Knoten, erfolgt mit dem Material Knete.

² vgl. ebd.

³ vgl. ebd.

LERNVORAUSSETZUNGEN

- Die SchülerInnen müssen über ein gewisses Maß an motorischer Geschicklichkeit und etwas Geduld verfügen.

LERNZIELE

Die SchülerInnen sollen

- Türme von anderen Bauwerken abgrenzen können.
- einen Überblick über die unterschiedlichen Funktionen von Turmbauten gewinnen.
- die Skelettbauweise von der Massivbauweise unterscheiden lernen.
- die Skelettbauweise in verschiedenen Bauwerken ihrer Umwelt wieder erkennen können.
- mit Holzstäben und Knete auf einfache Weise ein Turmbauwerk in Skelettbauweise bauen können.
- elementare statisch-konstruktive Grundprinzipien der Skelettbauweise kennen lernen.
- selbsttätig handelnd Einsicht in die Zusammenhänge von Form und Funktion dieser Bauweise erlangen.
- die im Basisversuch „3.2 Stabilität durch Aussteifung“ erworbenen Kenntnisse auf den Skelettbau übertragen können.
- die Bauelemente Stütze, Träger und Strebe unterscheiden lernen.
- bestimmte Fachbegriffe kennen lernen: Skelettbau, Stütze, Träger, Strebe, evtl. Massivbau.
- allgemeine Begriffe kennen lernen bzw. in ihrem Wortschatz festigen: stabil („Stabilität“ ist evtl. noch zu schwierig), senkrecht, waagrecht, evtl. diagonal (kann aber auch durch das Wort „schräg“ ersetzt werden).
- ihr auf der Handlungsebene erworbenes Wissen auf bildlicher Ebene über das Zeichnen eines Turmes und auf symbolischer Ebene⁴ durch eine entsprechende Beschriftung und evtl. Erläuterung ergänzen können.
- ihre motorischen Fähigkeiten verbessern.

⁴ Bruner geht davon aus, dass es verschiedene Darstellungsebenen der eigenen Erfahrung, des eigenen Wissens gibt: die Handlungsebene (man tut etwas), die bildliche Ebene (man stellt etwas bildhaft dar) und die symbolische Ebene (man versprachlicht etwas). Vgl. Bruner, Jerome S.: Über kognitive Entwicklung. In: Studien zur kognitiven Entwicklung. Eine kooperative Untersuchung am „Center for Cognitive Studies“ der Harvard-Universität. Hg. v. Jerome S. Bruner, Rose R. Olver u. Patricia M. Greenfield. Stuttgart: Klett 1971. S.27.

DIDAKTISCH-METHODISCHE ANREGUNGEN

BEZUG ZUR LEBENSWELT DER KINDER

In unserer gebauten Umwelt gibt es unzählige Beispiele für die Skelettbauweise, z. B. als Tragsystem von Gebäuden (z. B. Hochhäuser, Hallen), Baugerüste, Lehrgerüste, Gittermasten von Hochspannungsleitungen, Baukräne, Klettergerüste oder Fachwerkbrücken. Egal, welche Funktion die Vielzahl unterschiedlicher Beispiele haben, alle Stabtragwerke sind Skelettbauten.⁵ Insofern bestimmt diese Bauweise auch die Lebenswelt der Kinder.

Türme üben auf Grund ihrer Höhe auf die meisten Menschen eine gewisse Faszination aus. Auch im frühen kindlichen Spiel mit Bauklötzen zeigt sich bereits der Wunsch, möglichst hohe Bauwerke zu errichten. Insofern bietet sich als Unterrichtsthema der Bau von Türmen an, um daran den SchülerInnen die statisch-konstruktiven Grundprinzipien der Skelettbauweise zu verdeutlichen.



Abb. 2



Abb. 3



Abb. 4

UNTERRICHTSEINSTIEG

Als Unterrichtseinstieg kann ein gemeinsames Gespräch über Türme initiiert werden. Dazu kann die Lehrperson beispielsweise im Sitzkreis eine Abbildung von einem Turm als stummen Impuls in die Mitte legen. Die Kinder sollen erzählen, was einen Turm von einem anderen Bauwerk unterscheidet und welche Türme sie kennen. Die Lehrperson hat eine Vielzahl unterschiedlicher Türme⁶ auf größeren Abbildungen zur Verfügung, die, wenn sie von den Kindern genannt werden sollten, auf ein Plakat geklebt und beschriftet werden. Falls die SchülerInnen keine Vorschläge machen, sollte sie ihnen Anregungen geben. Die von der Klasse nicht genannten Beispiele werden von der Lehrperson ergänzt. Nachfolgend soll die Klasse herausfinden, inwiefern sich die Bauweise der abgebildeten Türme unterscheidet. Dafür kann je ein Turm in Skelett-

⁵ vgl. Baulexikon. S. 241.

⁶ Z. B. *Eiffelturm*, Wassertürme, Leuchttürme, Fernsehtürme, Aussichtstürme, alte Wehrtürme oder der *Schiefe Turm von Pisa*.

bzw. Massivbauweise exemplarisch herausgegriffen werden, die von den Kindern verglichen werden sollen. Das Lernziel dieser Phase besteht darin, dass die SchülerInnen das Prinzip erkennen, dass die Skelettbauweise aus einzelnen Elementen besteht und eine offene Tragstruktur hat und die Massivbauweise ein eher homogener Baukörper ist, der eine geschlossene Tragstruktur aufweist. Die Lehrperson führt anschließend den Begriff „Skelettbauweise“ ein und fragt die Kinder, warum man diese Bauweise so nennt. Dabei kann die Abbildung eines menschlichen Gerippes als Anregung dienen. Die Kinder sollen entdecken, dass auch beim Menschen das Skelett die tragende Funktion übernimmt und sich daher der Baubegriff davon ableitet.



Abb. 5:
Turm in
Massivbauweise



Abb. 6:
Turm in
Skelettbauweise

PROBLEMORIENTIERTES LERNEN IM SPIELERISCHEN BAUEN

Anschließend erhält die Klasse die Aufgabe, mit Holzstäben und Knete einen Turm in Skelettbauweise zu bauen. Als Sozialform wird Einzelarbeit empfohlen, so dass jedes Kind seine individuellen Vorstellungen verwirklichen kann und selbsttätig handelnd den statisch-konstruktiven Aufbau der Skelettbauweise erfahren kann.

Alle SchülerInnen erhalten zunächst nur die kürzeren Holzstäbe und Knete. Falls sie nicht von selbst darauf kommen sollten, wie sie aus diesen Materialien einen Turm bauen können, sollte die Lehrperson ihnen zeigen, dass Knetkügelchen (\varnothing ca. 1,5-2 cm) als Verbindungselemente für die Stäbe genutzt werden können.

Bereits nach einer kürzeren spielerischen Bauphase werden die Kinder merken, dass sich ihre Turmbauten bereits durch geringe seitliche bzw. obere Druckbelastung verschieben oder verdrehen. Um dieses Problem zu lösen, werden manche Kinder eventuell versuchen, mehrere



Stäbe zu bündeln oder ihr Bauwerk durch Anbauten (aus den gleichen Materialien) zu stabilisieren.⁷ Doch auch diese Eingriffe versprechen wenig Erfolg. Eventuell kommen manche SchülerInnen auf die Idee, andere Materialien (z. B. Bücher) zur seitlichen Abstützung zu verwenden. Die Lehrperson kann sich währenddessen einen Überblick über die individuellen Vorerfahrungen und Problemlösungsansätze der SchülerInnen verschaffen.

In einem daran anknüpfenden kurzen Unterrichtsgespräch sollen die Kinder von den entstandenen Schwierigkeiten und ihren Lösungsstrategien berichten. Dabei können die SchülerInnen erfahren, dass die ganze Klasse vermutlich mit dem Problem der Standsicherheit ihrer Türme konfrontiert ist und darüber hinaus von den unterschiedlichen Lösungsvorschlägen ihrer MitschülerInnen profitieren.

Es ist damit zu rechnen, dass die Kinder nicht von selbst auf die Lösung kommen werden, ihre Türme durch Diagonalverbände zu stabilisieren, da dieser Lösungsvorschlag schon ein recht ausgebildetes statisch-konstruktives Grundverständnis erfordert.

Aus diesem Grund empfiehlt es sich, an dieser Stelle den **Basisversuch „3.2 Stabilität durch Aussteifung“** im Unterrichtsverlauf zu integrieren. Dabei lernen die Kinder an zweidimensionalen Modellen die aussteifende Wirkungsweise von Diagonal- bzw. Dreiecksverbänden kennen.

Daran anschließend erhalten die SchülerInnen die längeren Holzstäbe, die sie als Streben zur Aussteifung verwenden können. Nun sollen sie in einer spielerischen Bauphase die im Basisversuch gewonnenen Erkenntnisse auf ihre Turmbauten übertragen. Vermutlich wird dabei für einige Kinder die Schwierigkeit darin bestehen, ihre an zweidimensionalen Modellen gesammelten Erfahrungen auf einen dreidimensionalen Turm zu projizieren und eventuell nur eine Ansicht des Turmes aussteifen. In diesem Fall muss die Lehrperson entsprechende Hilfestellung anbieten.

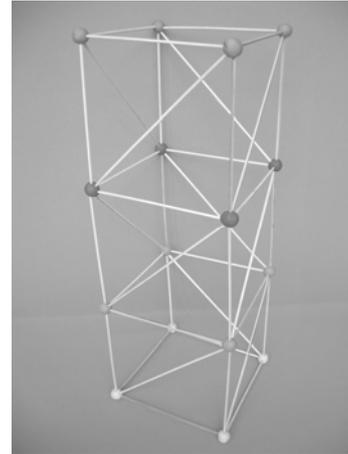


⁷ vgl. Schietzel, Carl / Raabe, Hermann / Vollmers, Christian: Erste Schritte in die Welt der Technik. Werk- und Lernbeispiele für Vier- bis Siebenjährige. Ravensburg: Maier 1976. S. 27.

Nach der Bauphase sollten die SchülerInnen in einem gemeinsamen Unterrichtsgespräch ihre Bauverfahren reflektieren und von ihren Lernergebnissen berichten.

DIFFERENZIERUNG

Differenzierungsmöglichkeiten ergeben sich dadurch, dass die SchülerInnen unterschiedlich hohe Türme, Türme mit Dach oder Türme mit Anbauten errichten können.



THEORETISCHE UNTERRICHTSINHALTE UND TRANSFER

Anschließend sollte ein Transfer der im Turmmodell gewonnenen Erkenntnisse auf die Realität erfolgen. Die Kinder vergleichen dabei ihre Modelle mit einer Abbildung eines realen Skelettbauwerks, wobei sie versuchen sollen, einzelne Bauteile (Stütze, Träger, Strebe) zu differenzieren und deren Funktion im Tragwerksystem zu beschreiben. Dabei kommen die SchülerInnen vielleicht schon von selbst auf die Begriffe „Stütze“ und „Träger“. Fehlende Bezeichnungen, in diesem Fall nur „Strebe“, müssen von der Lehrperson ergänzt werden. In dieser Phase ist es wichtig, dass der Klasse verdeutlicht wird, aus welchen wichtigen Bauteilen Skelettbauten bestehen, und den Kindern auf einfache Weise vermittelt wird, welche statisch-konstruktiven Funktionen diese Teile im gesamten Tragwerksystem übernehmen.

Stütze: meist senkrecht Bauteil, das Lasten trägt

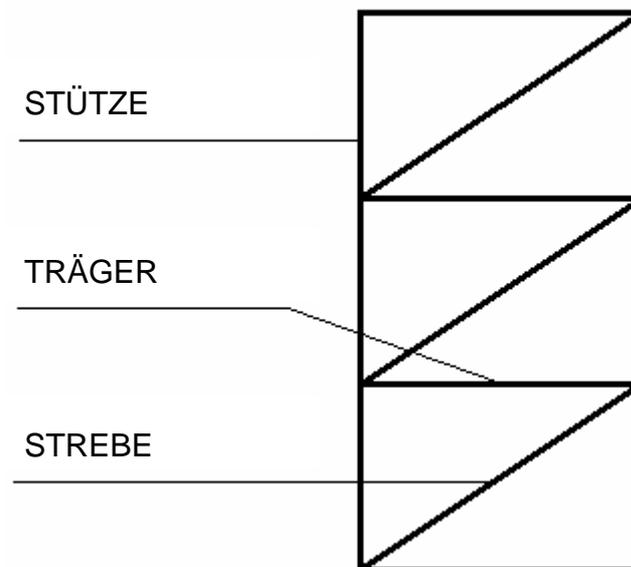
Träger: meist waagrecht Bauteil, das Lasten (z. B. das Gewicht einer Decke) trägt

Strebe: schräges (diagonales) Bauteil, das das Bauwerk stabil macht

Es empfiehlt sich nicht, den Fachbegriff „Knoten“ einzuführen, da dies kein Bauteil ist, sondern nur den Anschlusspunkt von Stütze und Träger bezeichnet. Da im Modell die Verbindung über verhältnismäßig große Knetkugeln erfolgt, könnten die SchülerInnen den Eindruck erhalten, dass Knoten einzelne, stärker dimensionierte Bauteile sind. Man sollte der Klasse daher vereinfacht erklären, dass Stützen und Träger miteinander verbunden werden müssen und dass dies im Modell durch Knete geschieht. Außerdem sollten die Kinder nicht mit Fachbezeichnungen überfrachtet werden.

Darüber hinaus sollen die Kinder überlegen, welche anderen Bauwerke sie kennen, die auch in Skelettbauweise ausgeführt sind, z. B. Klettergerüst, Achterbahn, Gittermasten von Stromleitungen, Baukran usw. Dadurch erfahren sie, dass diese Bauweise sehr verbreitet ist und in hohem Maße ihre Umwelt bestimmt.

Eine schematische zweidimensionale Zeichnung eines Turmbauwerks in Skelettbauweise (Plakat oder Tafelbild) sollte um die entsprechenden Begriffe ergänzt werden. Wichtig ist dabei, der Klasse zu verdeutlichen, dass die Zeichnung nur *eine* Ansicht eines Turmbauwerks darstellt.



Um dieses neue Wissen zu strukturieren und zu festigen, erhalten die Kinder anschließend den Arbeitsauftrag, ihren Turm zu zeichnen und mit den neu gelernten Fachbegriffen zu beschriften. Da das Zeichnen der dreidimensionalen Türme, insbesondere, da sie aus sehr vielen Einzelteilen bestehen, äußerst schwierig ist, sollte die Lehrperson den Kindern die Aufgabe erleichtern, indem sie nur *eine* Ansicht – wie auf dem Plakat – zeichnen sollen. Die SchülerInnen, die mit dieser Aufgabe überfordert sind, können die Zeichnung samt Beschriftung vom Plakat (bzw. vom Tafelbild) übernehmen.

Je nachdem, wie gut die SchülerInnen bereits die Schriftsprache beherrschen, können sie neben ihrer Zeichnung beschreiben, welche statisch-konstruktiven Funktionen die einzelnen Bauteile haben. Dabei ordnen und sichern die Kinder nochmals ihr erworbenes Wissen auf symbolischer Ebene.

In einer gemeinsamen Abschlussrunde können die Kinder ihre Zeichnungen vorstellen und dabei wiederholt die wichtigen Bauteile der Skelettbauweise mit ihrer jeweiligen Funktion benennen.

TIPPS UND TRICKS	<ul style="list-style-type: none"> • Die Holzstäbe lassen sich sehr gut mit einer kleinen Gartenschere zurechtschneiden. • Die Materialien Holzstäbe und Knete sind wieder verwendbar.
MEDIEN	<ul style="list-style-type: none"> • leeres Plakat • Fotos und Abbildungen von verschiedenen Türmen in Massiv- und Skelettbauweise (werden nachfolgend auf das leere Plakat geklebt) • Plakat mit schematischer Darstellung eines Turms in Skelettbauweise (oder entsprechendes Tafelbild)
LITERATUR	<p>Die Idee, einen Turm aus Holzstäben und Knete zu bauen, wurde dem Buch von SCHIETZEL u. a. entnommen.</p> <p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baulexikon. Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Hg. v. Rüdiger Wormuth / Klaus-Jürgen Schneider. Berlin: Bauwerk 2000. • Bruner, Jerome S.: Über kognitive Entwicklung. In: Studien zur kognitiven Entwicklung. Eine kooperative Untersuchung am „Center for Cognitive Studies“ der Harvard-Universität. Hg. v. Jerome S. Bruner, Rose R. Olver u. Patricia M. Greenfield. Stuttgart: Klett 1971. S. 21-53. • Schietzel, Carl / Raabe, Hermann / Vollmers, Christian: Erste Schritte in die Welt der Technik. Werk- und Lernbeispiele für Vier- bis Siebenjährige. Ravensburg: Maier 1976. S. 26-29.
ABBILDUNGEN	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abb. 1: http://www.uni-kl.de/AG-Massivbau/Bilder/Muenchen/Bilder/4_08a.jpg (09.11.05). ▪ Abb. 2: http://www.uni-leipzig.de/~konst/Exkursion/Schweiz/schweiz_101.jpg (09.11.05). ▪ Abb. 3: http://www.sv-eching.de/geruest1.jpg (09.11.05). ▪ Abb. 4: http://www.stadt-frankfurt.de/feuerwehr/BF/Einheiten/Hoerg/ausbildung/Kranuebung1.jpg (09.11.05). ▪ Abb. 5: http://www.preussen.de/Bilder/Heute/Burg_Hohenzollern/Rundgang/14_wehrturm_4.jpg (09.11.05). ▪ Abb. 6: http://www.tu-chemnitz.de/advent/1999/13/turm.jpg (09.11.05).

5.4 Murmeltürme aus Papier

BASISVERSUCHE	<ul style="list-style-type: none"> • 3.1 Profile / Materialumformung • 3.2 Stabilität durch Aussteifung
SCHWIERIGKEITSGRAD	hoher Anspruch
ZEIT	ca. 16 Stunden; ideal als Projekt
MATERIAL UND WERKZEUGE	<ul style="list-style-type: none"> • DIN-A4-Papier, 160g/m² <ul style="list-style-type: none"> ⇒ Für die Konstruktionsaufgabe: ca. 4 Blatt pro Kind. ⇒ Für die Fertigungsaufgabe – Einzelfertigung: ca. 4 Blatt pro Kind. ⇒ Für die Fertigungsaufgabe – Serienfertigung: ca. 4 Blatt pro Kind. • Wäscheklammern; ca. 8 Stück pro Kind • Karton als Grundplatte, Maß: ca. 45 * 45 cm <ul style="list-style-type: none"> ⇒ Für die Fertigungsaufgabe – Serienfertigung: 1 x pro Gruppe. • Murmeln; 1 x pro Kind, zusätzlich einige Murmeln als Ersatz • Schere • großes Lineal • Geodreieck • Klebstift • Bleistift • Radiergummi • Falzbein

SACHANALYSE

Mit dem Thema „Murmeltürme aus Papier“ können einerseits statisch-konstruktive Grundprinzipien der Skelettbauweise vermittelt und andererseits die Vorteile des Baustoffs Profilstahl thematisiert werden.

Auch wenn das Tragwerkssystem Skelettbau bereits unter 5.1 und 5.3 ausführlich erläutert worden ist, werden in diesem Abschnitt die wesentlichen Fakten wiederholt.

Die moderne Skelettbauweise ist ein aus dem traditionellen Holzfachwerkbau abgeleitetes Konstruktionsprinzip aus den Baustoffen Holz, Stahl oder Stahlbeton. Das skelettartige Tragwerk besteht aus den Hauptelementen Stütze und Träger (Stäbe). Da die Konstruktionselemente Stäbe sind, kann man Skeletttragwerke auch als Stabtragwerke¹ oder als räumliche Fachwerke bezeichnen. Die Anschlusspunkte von Stützen und Trägern werden Knoten genannt, die entweder gelenkig oder steif ausgebildet sein können. Bei den „Murmeltürmen aus Papier“ besitzt das Tragwerk gelenkige Knoten, weshalb nur die gelenkige Verbindungsweise thematisiert wird. Der Ausdruck „gelenkig“ ist eventuell etwas irreführend, da beispielsweise nicht nur verschraubte, sondern manchmal auch verschweißte Anschlusspunkte als gelenkig bezeichnet werden.²

¹ vgl. Baulexikon. Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Hg. v. Rüdiger Wormuth / Klaus-Jürgen Schneider. Berlin: Bauwerk 2000. S. 241.

² vgl. 3.2 Stabilität durch Aussteifung

Träger sind meist horizontal verlegte Bauteile, die die Aufgabe haben, aufliegende vertikale Lasten (z. B. Verkehrslast, Eigenlast von Decken) horizontal an die Stützen weiterzuleiten. Sie werden auf Biegung beansprucht und müssen daher aus druck- und zugfesten Materialien (z. B. Holz, Stahl, Stahlbeton) sein. Stützen sind meist vertikale Bauteile, die druckfest sein müssen, da sie die von den Trägern übertragenen Lasten und deren Eigengewicht tragen. Die Druckkräfte werden geschossweise über die Träger und deren Knotenpunkte in die Fundamente und den Baugrund abgeleitet.

Stützen und Träger können zwar als Hauptelemente des Skeletttragwerks vertikale Lasten aufnehmen, doch wenn horizontale Kräfte (z. B. Windkraft) einwirken, werden noch andere Konstruktionselemente für die räumliche Stabilität gebraucht. Bei Skeletten mit gelenkigen Knotenpunkten kann dies auf verschiedene Weisen geschehen: durch Dreiecksverbände (Diagonalverbände), durch scheibenartige Konstruktionen (Fachwerk) oder durch Scheiben (z. B. massive Wände aus Mauerwerk). In dem Kapitel „Murmeltürme aus Papier“ wird nur die Aussteifung durch Dreiecksverbände thematisiert. Dreiecks- bzw. Diagonalverbände bestehen aus sogenannten Streben, die diagonal in den von Stützen und Trägern „umrahmten“ Feldern angeordnet sind und zusammen mit diesen Bauteilen unverschiebbare Dreiecke bilden. Sie haben die Aufgabe, Horizontalkräfte abzutragen und somit für die räumliche Stabilität zu sorgen. Streben können ebenfalls aus den Materialien Holz, Stahl oder Stahlbeton bestehen.

Im Unterschied zum Massivbau übernimmt das Tragwerk beim Skelettbau ausschließlich tragende Funktionen und keine raumabschließende. D. h. alle Lasten des Bauwerks werden punktuell durch das Skelett abgetragen und die Wände fungieren als nichttragende Raumabschlüsse.

Der Skelettbau ist eine sehr materialsparende Bauweise, da die Abmessungen der tragenden Bauteile auf das statisch erforderliche Mindestmaß reduziert sind. Wie bereits erwähnt, kann das Tragwerkssystem von Skelettbauten in Holz, Stahl und Stahlbeton ausgeführt werden. In diesem Kapitel liegt der Fokus auf dem Baustoff Stahl. Für Stahlskelettbauten wird dieses Material hauptsächlich in Form von Stahlprofilen (Profilstahl) verwendet. Profilstahl ist geformter (z. B. gewalzter) Stahl, der in verschiedenen Querschnitten angeboten wird: Die am häufigsten verwendeten Profile für Stahlbauten



Abb. 1:
Stahlskelettbau

sind I-, L-, U- und T-Profilstähle³ sowie Stahlrohre mit kreisförmigem, quadratischem oder rechteckigem Querschnitt. Durch diese Profilgebung wird eine hohe Belastbarkeit der tragenden Bauteile erreicht, wodurch Material eingespart und das Gewicht des Tragwerks verringert wird. Im Kapitel „Murmeltürme“ aus Papier“ wird der Fokus auf Profilstahl gerichtet.

Bei Turmbauten werden Stahlskelettkonstruktionen z. B. für Aussichtstürme verwendet, deren sicherlich bekanntestes Beispiel der *Eiffelturm* in Paris ist.

Das Konstruktionsprinzip des räumlichen Fachwerks lässt sich beispielsweise auch bei Brückenbauten, Gittermasten, Kränen, Gerüsten, Tragwerken von Achterbahnen usw. finden.



Abb. 2:
Aussichtsturm



Abb. 3:
Gerüst



Abb. 4:
Hochspannungsleitung

SACHANALYSE – Modell aus Papierwinkelschienen

Der Murmelturm wird aus dem Werkstoff Papier (160 g/m^2) in Skelettbauweise hergestellt. Das Tragwerk des Murmelturms ist geschossweise aufgebaut und besteht aus mehreren würfelförmigen Elementen. Ein Würfelement misst $21 * 21 * 21 \text{ cm}$ und besteht aus 12 gefalteten und miteinander verklebten Winkelschienen (L-Profile), die sowohl als Stützen als auch als Träger fungieren. Die Verbindung durch Klebstoff entspricht einem gelenkigen Knoten. Die vertikalen Wandfelder der Würfelemente werden mit je einer Winkelschiene (L-Profil) ausgesteift. Hier wirken die Winkelschienen als Streben. Etwa 4 - 5 Würfelemente werden übereinander gestapelt, miteinander verklebt und bilden das Tragwerk des Murmelturms. Um das Tragwerk herum verlaufen die Rollschienen in Form von U-Profilen. Die Übergänge von einer Rollschiene zur nächsten erfolgen an den Außenkanten des Murmelturms.

³ Die Bezeichnungen ergeben sich aus der Form der Querschnitte.

Wie auch im Skelettbau üblich, werden die Bauteile auf ein Mindestmaß reduziert. Dieses Mindestmaß entspricht jedoch keineswegs statischen Berechnungen, sondern berücksichtigt vorrangig Aspekte der handwerklichen Verarbeitung. Daneben wird Wert darauf gelegt, möglichst ökonomisch mit dem Werkstoff Papier umzugehen. Alle Bauteile nutzen dabei die Maße des DIN-A4-Formates (21 * 29,7 cm) aus: Die Träger und Stützen haben eine Länge von 21 cm und die Streben und Rollschienen eine Länge von 29,7 cm. Die Breiten der Träger, Stützen und Streben der Tragkonstruktion betragen in ungefaltetem Zustand 3 cm. Sie werden mittig in Längsrichtung zu Winkelschienen (L-Profil) gefaltet, so dass sich eine Breite von 1,5 cm ergibt. Die Breite der Rollschienen in ungefaltetem Zustand beträgt 5 cm. Nach dem Falten ist die Lauffläche der Rollschiene 2 cm breit und die Seitenwände der Schiene jeweils 1,5 cm hoch. Von der Seite gesehen haben daher alle Profile die gleiche Breite. Somit wird neben dem funktionalen auch der ästhetische Aspekt berücksichtigt.

LERNVORAUSSETZUNGEN

- Die SchülerInnen sollten mit Gruppenarbeit vertraut sein.
- Das Bauen eines Murmelturms ist eine recht anspruchsvolle Aufgabe und verlangt von den Kindern Anstrengungsbereitschaft, Ausdauer und Genauigkeit.
- Darüber hinaus müssen sie eine gewisse Handgeschicklichkeit aufweisen, z. B. in der Lage sein, Papier möglichst exakt falten zu können.
- Die Klasse muss über geometrische Grundkenntnisse verfügen, wie geometrische Körper (z. B. Würfel) kennen, parallele Linien zeichnen und Winkel abmessen können, und Fachbegriffe wie Parallele oder Winkel kennen.

LERNZIELE

Die SchülerInnen sollen

- durch den Bau von Murmeltürmen aus Papier die statisch-konstruktiven Grundprinzipien der Skelettbauweise kennen lernen:
 - erfahren, dass Stütze, Träger und Strebe wichtige Bauteile des Tragwerks eines Bauwerks in Skelettbauweise sind.
 - die statische Funktion von Stütze, Träger und Strebe kennen lernen (Stützen und Träger sind tragende und Streben sind stabilisierende Bauelemente).
- selbsttätig handelnd Einsicht in die Zusammenhänge von Form und Funktion dieser Bauweise erlangen.

- die in den Basisversuchen 3.1 und 3.2 gewonnenen Kenntnisse auf den Skelettbau übertragen:
 - entdecken, dass Papier durch Materialumformung an Stabilität gewinnt (3.1).
 - die aussteifende Wirkung von Streben erfahren (3.2).
- zwei Profilformen (L-Profil, U-Profil) kennen lernen, die im Baubereich sehr häufig verwendet werden.
- ihren Wortschatz um geläufige bauliche Fachbegriffe erweitern: Stütze, Träger, Strebe, Tragwerk, Skelettbauweise, L-Profil, U-Profil.
- die Skelettbauweise und die beiden Profilformen in ihrer gebauten Umwelt wieder erkennen und einordnen können.
- Bauanleitungen mit technischen Zeichnungen in ein dreidimensionales Gebilde umsetzen.
- beim Murmelturm den Unterschied zwischen der statisch notwendigen Tragkonstruktion und der funktionalen Aufgabe der Rollschienen verstehen.
- ihre „... Konstruktion[en] auf Funktionstüchtigkeit überprüfen ...“⁴.
- selbsttätig handelnd die Materialeigenschaft von Papier, durch Umformung (Falten) an Stabilität zu gewinnen, entdecken.
- den sachgemäßen Gebrauch von Werkzeugen (z. B. Falzbein, Lineal, Geodreieck, Schere, Klebstoff) erlernen bzw. vertiefen.
- ihre motorischen Fähigkeiten verbessern.
- lernen, möglichst genau und präzise zu arbeiten.
- planerische Erfahrungen beim Strukturieren des Arbeitsablaufs sammeln.
- die Vorzüge eines arbeitsteiligen Produktionsablaufs entdecken.

DIDAKTISCH-METHODISCHE ANREGUNGEN

BEZUG ZUR LEBENSWELT DER KINDER

Kinder begegnen in ihrem alltäglichen Leben häufig Skelettkonstruktionen, z. B. als Tragsystem von Gebäuden (z. B. Hochhäuser, Hallen), Baugerüste, Gittermasten von Hochspannungsleitungen, Baukräne, Fachwerkbrücken oder Klettergerüste. Insofern bestimmt diese Bauweise einen großen Teil unserer gebauten Umwelt und somit auch der Lebenswelt des Kindes.

⁴ Ullrich, Heinz / Klante, Dieter: Technik im Unterricht der Grundschule. Didaktische Grundlegung, Unterrichtsmodelle, Unterrichtsmaterialien. 6., unveränd. Aufl. Villingen-Schwenningen. Neckar 1994. S. 118.

Kugelbahnen sind sicherlich den meisten Kindern vom Kindergarten oder von zu Hause her bekannt. Es sind Spielgeräte, die sowohl Jungen als auch Mädchen begeistern.

UNTERRICHTSEINSTIEG

Der Zugang zum statisch-konstruktiven Thema „Skelettbauweise“ wird in diesem Unterrichtsbeispiel über den Bau eines Murmelturms hergestellt.

Als Unterrichtseinstieg kann zur Einstimmung in das Thema „Murmeltürme aus Papier“ ein Unterrichtsgespräch angeregt werden, beispielsweise im Sitzkreis, in dem die Klasse berichten kann, ob und welche Arten von Kugelbahnen sie kennen und aus welchen Materialien diese bestehen. Dabei werden sicherlich die üblichen Materialien Kunststoff und Holz genannt werden, vielleicht haben aber auch schon manche Kinder selbst einmal eine Kugelbahn aus Sand gebaut. Wenn nachfolgend die Lehrperson der Klasse mitteilt, dass sie in den folgenden Stunden eine Kugelbahn aus Papier bauen soll, werden viele SchülerInnen vermutlich ungläubig sein und anmerken, dass sie sich nicht vorstellen können, dass Papier in der Lage sei eine schwere Murmel zu tragen. Dadurch kann ihre Neugier auf das Thema geweckt werden. Am Ende der Gesprächsphase erhält jedes Kind eine Murmel, mit der die anschließend entstehenden Kugelbahnen aus Papier getestet werden sollen.

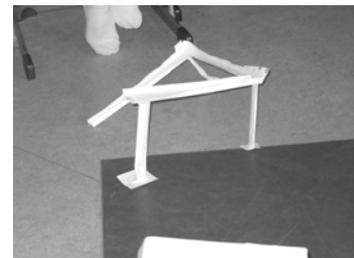
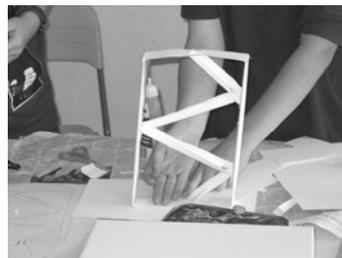
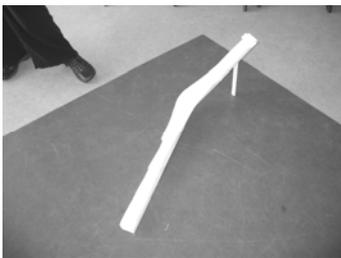
KONSTRUKTIONSAUFGABE⁵

Durch das einleitende Unterrichtsgespräch ist die Problemstellung für die nun folgende Konstruktionsaufgabe eingeleitet worden. Die Klasse erhält die Aufgabe, eine Kugelbahn zunächst zu zeichnen und diese anschließend aus Papier zu bauen. Durch diese eher offene Aufgabenstellung können die Kinder ihrer Phantasie und Kreativität freien Lauf lassen. Die Sozialform bleibt ihnen selbst überlassen, sie können sich je nach Neigung für Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit entscheiden. Das Zeichnen hat dabei vor allem die Funktion, dass die SchülerInnen ihre Vorstellungen veranschaulichen und dabei strukturieren und die Lehrperson einen Einblick in die individuellen Lernvoraussetzungen der SchülerInnen erhält. Je nachdem, welche Vorerfahrungen die Kinder bereits mit Kugelbahnen gemacht haben, werden sicherlich einige „kühne“ Entwürfe mit Kurven und Loopings entstehen. Dabei wird wahrscheinlich auffällig sein, dass sich die meisten Schülerinnen hauptsächlich mit der Rollbahn beschäftigen, da diese für sie das wichtigste und augenscheinlichste Element einer Kugelbahn ist, und

⁵ vgl. 2.1 Ausgewählte Methoden für den technischen Bereich des Sachunterrichts

ein dafür notwendiges Tragwerk eher vernachlässigen. Vielleicht lassen aber auch einige Kinder deshalb die Tragkonstruktion außer Acht, weil sie bemerken, dass sie diese bisher nur ungenau wahrgenommen haben und aus diesem Grund Schwierigkeiten haben, diese zu zeichnen. „Zeichnen kann also Kinder dazu anleiten, ihr Wissen und ihre Vorstellungen offen zu legen, aber auch die Lücken in der eigenen Wahrnehmung zu erkennen.“⁶ Vermutlich werden sich in der zeichnerischen Entwurfsphase nur wenige mit dem konstruktiven Zusammenhalt von Rollbahn und Tragwerk auseinander setzen.

Nach der Zeichenphase erhält jedes Kind etwa vier Bogen des 160 g/m² starken DIN-A4-Papiers, um damit ihre zweidimensionale Zeichnung in ein dreidimensionales Modell zu übersetzen. Wie bereits bei der Zeichnung, so werden vermutlich auch hier die meisten SchülerInnen ihr Augenmerk zunächst auf die Rollbahnen richten und entsprechend mit deren Bau beginnen. Schon dabei werden sicherlich viele Kinder mit der Schwierigkeit der Umsetzung ihrer Vorstellungen konfrontiert, insbesondere diejenigen, die Kugelbahnen mit Kurven und Loopings entworfen haben, da diese recht schwierig mit Papier zu bauen sind. Aber nicht nur der Bau der Rollbahnen wird die SchülerInnen vor einige Probleme stellen, sondern auch deren Befestigung. Spätestens jetzt werden sie die Notwendigkeit eines entsprechenden Tragwerks erkennen. Um das Problem zu lösen, werden sich einige von ihnen von ihrer Entwurfszeichnung distanzieren und im probierenden Handeln nach neuen, alternativen Lösungsmöglichkeiten suchen, beispielsweise indem sie versuchen, ihre Rollbahn mit Stützen aus Papier zu stabilisieren, Tische und Stühle als Tragwerk zu nutzen oder indem sie selbst eine tragende Funktion übernehmen und die Rollbahn halten. Auf diese Weise machen sie selbstständig statisch-konstruktive Erfahrungen.



Verschiedene Beispiele von Kindern einer 4. Klasse:

Die mittlere Kugelbahn hat sowohl ein stabiles Tragwerk als auch eine funktionstüchtige Rollbahn.

In einer anschließenden Präsentations- und Reflexionsphase können die Kinder die Zeichnungen und Modelle ihrer Kugelbahnen vorstellen, mit ihren Murmeln deren Funktionstüchtigkeit unter Beweis stellen und von ihren Erfahrungen und Problemen

⁶ Kaiser, Astrid: Zeichnen und Malen als produktive Zugänge zur Sache. In: Basiswissen Sachunterricht. Band 5. Unterrichtsplanung und Methoden. Hg. v. Astrid Kaiser und Detlef Pech. Hohengehren: Schneider 2004. S. 98.

berichten. Einige werden wahrscheinlich erwähnen, dass sie Schwierigkeiten bei der Befestigung ihrer Rollbahnen an einer standsicheren Tragkonstruktion hatten. Den Begriff „Tragwerk“ oder „Tragkonstruktion“ werden sie in der Regel sicherlich nicht verwenden, sondern vermutlich beschreiben, dass „ein Gerüst fehlt“, „die Rollbahn ein Gestell braucht“, „eine zusätzliche Abstützung notwendig ist“ oder „Stützen umgefallen sind“.

Durch die Erfahrungen, welche die Kinder selbsttätig bei der baulichen Umsetzung ihrer Entwurfszeichnungen gemacht haben, kommen sie selbst zur Einsicht, dass ein Tragwerk für den Bau einer Kugelbahn von entscheidender Bedeutung ist. Dadurch wird gleichzeitig der Weg für die später nachfolgende, recht mühevolle Herstellung von Murmeltürmen in Skelettbauweise geebnet, denn viele SchülerInnen sind nun motiviert, eine funktionstüchtige, sich selbst tragende Kugelbahn zu bauen.

THEORETISCHE UNTERRICHTSINHALTE UND TRANSFER

Doch zunächst sollte in der nachfolgenden Unterrichtsphase die Skelettbauweise in elementarer Weise auf theoretischer Ebene thematisiert werden und ein Transfer zur gebauten Umwelt erfolgen.

Um eine Überleitung von den freien Entwürfen der Kinder auf die Skelettbauweise zu schaffen, kann die Lehrperson der Klasse beispielsweise eine Overheadfolie mit der Abbildung eines fertigen Murmelturms zeigen. Die SchülerInnen sollen überlegen, was diesen Murmelturm von ihren Kugelbahnen unterscheidet. Sie werden wahrscheinlich feststellen, dass die Rollbahnen an einem „Gerüst⁷“ befestigt werden. Anschließend sollte das Augenmerk auf das Tragwerk gerichtet werden.

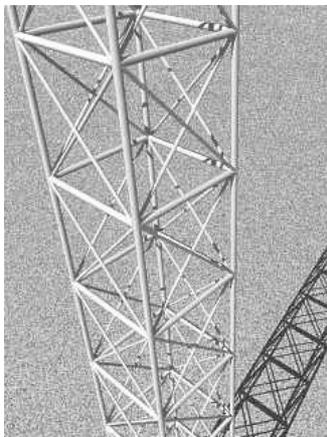
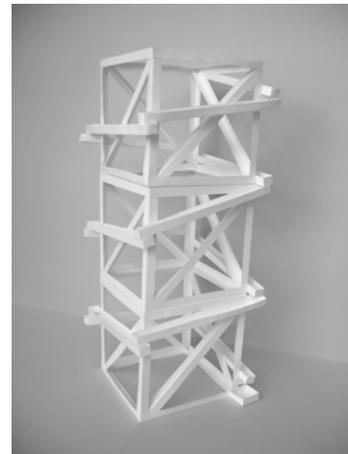


Abb. 5:
Gittermast

Da das Foto eines Murmelturms wegen der vielen Rollschienen recht unübersichtlich ist, wird empfohlen, eine andere Abbil-



dung auf den Overheadprojektor zu legen, auf der ausschließlich ein Tragwerksystem in Skelettbauweise dargestellt ist. Die Kinder sollen nun versuchen, die einzelnen Tragwerkelemente (Stütze, Träger, Strebe) zu differenzieren und zu beschreiben. Die Fachbegriffe, die nicht von den

⁷ In einigen didaktischen Veröffentlichungen wird häufig der Begriff „Gerüst“ oder auch „Gerüstbauweise“ verwendet. „Gerüst“ dient in der Baubranche jedoch als Bezeichnung für Hilfskonstruktionen mit vorwiegend temporärem Charakter und nicht als Fachbegriff für Tragwerke in Skelettbauweise.

SchülerInnen genannt werden, sollten an dieser Stelle von der Lehrperson eingeführt werden. Des Weiteren kann der Klasse erklärt werden, dass die Bauteile Stütze, Träger und Strebe zusammen das „Tragwerk“ eines Skelettbaus bilden. Anschließend sollen die SchülerInnen überlegen, welche Aufgaben die einzelnen Bauteile eines Tragwerks in Skelettbauweise übernehmen.

Im Anschluss daran werden die SchülerInnen befragt, wo sie diese Bauweise in ihrer Umwelt wieder finden können bzw. welche anderen Bauwerke aus den zuvor genannten Bauteilen bestehen. Die Kinder werden dabei vielleicht auf folgende Beispiele kommen: Klettergerüst, Fachwerkhaus, Baukran, Baugerüst, Gittermast von Stromleitungen, Achterbahn, Eiffelturm oder Fachwerkbrücken. Es empfiehlt sich, dass die Lehrperson eine entsprechende Auswahl möglicher Antworten, vielleicht auch aus der direkten Umgebung der Kinder, auf Overheadfolie vorbereitet hat und nach der jeweiligen Nennung auflegt, so dass alle SchülerInnen eine Übersicht über die vielen Einsatzmöglichkeiten dieser Bauweise erhalten. Danach sollte der Fachbegriff „Skelettbauweise“ eingeführt werden, wobei die Klasse ihre Vermutungen äußern sollte, warum diese Bauweise so genannt wird. Eine Folie mit einem menschlichen Skelett kann in diesem Moment als Anregung dienen. Die Kinder sollen entdecken, dass das Skelett auch beim Menschen eine tragende Funktion übernimmt und sich daher der Baubegriff davon ableitet. Die Abbildungen von den unterschiedlichen Skelettbauten sollten zusätzlich auf einem Plakat aufgeklebt in der Klasse aufgehängt werden, so dass sie während der gesamten Unterrichtseinheit präsent sind und sich dabei den SchülerInnen einprägen.



Abb. 6

Nachdem die SchülerInnen in der anfänglichen Experimentierphase selbsttätig handelnd die Erfahrung gemacht haben, dass ein Tragwerk für eine funktionstüchtige Kugelbahn von entscheidender Bedeutung ist, sollen sie sich in den folgenden Stunden insbesondere mit den statisch-konstruktiven Grundprinzipien der Skelettbauweise beschäftigen. Für dieses Unterrichtsvorhaben wird die fachspezifische, technische Methode der Fertigungsaufgabe⁸ vorgeschlagen, bei der die Kinder nach vorgegebenem Entwurf und bereits konzipierten Bauanleitungen⁹ einen Murmelturm mit umlaufenden Rollschienen bauen sollen. Diese Methode hat den Vorteil, dass sich der zeitliche Umfang der Bauphase einigermaßen abschätzen lässt und alle SchülerInnen zu einem zufrieden stellenden Ergebnis gelangen können.

⁸ vgl. 2.1 Ausgewählte Methoden für den technischen Bereich des Sachunterrichts

⁹ Alle notwendigen Bauanleitungen befinden sich im Anhang.

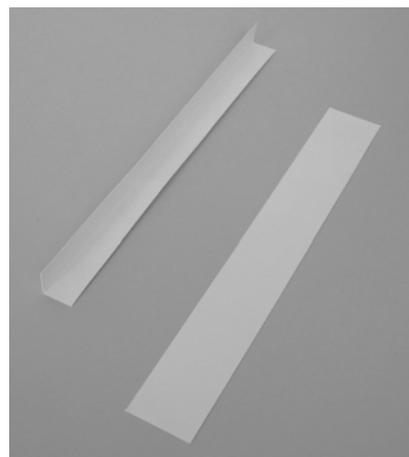
Es wird vorgeschlagen, die Fertigungsaufgabe auf zwei verschiedene Weisen durchzuführen: In einer ersten Phase baut jedes Kind in Einzelarbeit ein komplettes Würfelement inklusive Rollschienen und in einer zweiten Phase stellen die SchülerInnen in Gruppenarbeit einen kompletten Murmelturm her.¹⁰ Wenn das Zeitbudget nicht ausreicht, ist es jedoch auch möglich sich für eine Variante zu entscheiden. Es wird jedoch an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass im nachfolgenden Text beide Varianten nicht isoliert, sondern aufeinander aufbauend beschrieben werden.

VORVERSUCHE ZUR MATERIALUMFORMUNG

Bevor mit der Fertigungsaufgabe begonnen wird, ist es zunächst notwendig, dass die Kinder eine bestimmte Materialeigenschaft von Papier kennen lernen, nämlich, dass Papier durch Materialumformung an Stabilität gewinnt. Dazu werden zwei Möglichkeiten vorgeschlagen, die aufeinander folgend oder einzeln im Unterricht eingesetzt werden können:

Im **Basisversuch „3.1 Profile / Materialumformung“** wird den Kindern auf spielerische und experimentelle Weise die Stabilität durch Materialumformung veranschaulicht und sie lernen den Fachbegriff „U-Profil“ kennen, der beim späteren Bau der Rollschiene wieder auftauchen wird.

Bei der zweiten Möglichkeit erhält jedes Kind zwei Streifen Papier mit denselben Maßen wie für die Stützen und Träger des Murmelturms (3 * 21 cm). Eine der beiden Streifen soll von den SchülerInnen zu einer Winkelschiene gefaltet werden, wobei die Lehrperson entsprechende technische Hinweise¹¹ gibt. Anschließend sollen die Kinder die Stabilität der beiden Streifen untersuchen und ihre Beobachtungen äußern. Sie entdecken dadurch im probierenden Tun, dass sich Papier durch Falten, d. h. durch Materialumformung, stabil machen lässt. Außerdem sollen sie die Querschnittsform (L-Form) des hergestellten Modellbauteils beschreiben und die davon abgeleitete Fachbezeichnung „L-Profil“ kennen lernen. Die beiden Papierstreifen können für den darauf folgenden



¹⁰ Der Vorteil einer Aufspaltung in zwei Phasen wird im weiteren Text deutlich.

¹¹ Die technischen Hinweise werden nachfolgend noch erläutert.

Bau eines Würfелеlements verwendet werden.

FERTIGUNGSAUFGABE - EINZELFERTIGUNG¹²

Im Anschluss daran beginnt die bereits erwähnte Einzelarbeitsphase der Fertigungsaufgabe, bei der jedes Kind nach vorgegebenem Entwurf und bereits konzipierten Bauanleitungen ein komplettes Würfелеlement des Murmelturms einschließlich umlaufender Rollschienen selbst baut. Das heißt, die arbeitsorganisatorische Ausrichtung liegt auf der Einzelfertigung¹³.

Die Einzelfertigung dient einerseits dazu, dass alle SchülerInnen die recht anspruchsvollen Bauanleitungen verstehen und die notwendigen handwerklichen Fertigkeiten lernen. Daneben können sie feststellen, in welchen Bereichen ihre Stärken bzw. ihre Schwächen liegen. Davon können sie in der späteren Gruppenarbeitsphase beim Bau eines kompletten Murmelturms profitieren, da die Kinder dabei arbeitsteilig agieren können. Andererseits hat die Einzelfertigung den Vorteil, dass jedes Kind ein komplettes Element des Murmelturms nach Fertigstellung mit nach Hause nehmen und dort beliebig erweitern kann.

Da die Herstellung eines kompletten Würfелеlements recht kompliziert ist, wird empfohlen, in kleinen Schritten vorzugehen. Aus diesem Grund werden die dafür notwendigen Bauanleitungen in drei thematische Abschnitte unterteilt, wobei jeweils folgende Hinweise beachtet werden sollten:

Zunächst soll jedes Kind für sich die Bauanleitung lesen. Um zu gewährleisten, dass die SchülerInnen den Inhalt verstehen, sollte anschließend jeder Absatz einzeln besprochen werden, indem die SchülerInnen frei wiedergeben sollen, was sie verstanden haben und was nicht. Eventuelle Unklarheiten können auf diese Weise aus dem Weg geräumt werden.

Als sinnvolle Ergänzung dienen entsprechend vorbereitete Modelle, welche die einzelnen Arbeitsschritte unterstützend veranschaulichen. Damit die Anschauungsmodelle nicht von den Kindern mit ihren Modellteilen verwechselt werden können, empfiehlt es sich, diese in einer anderen Farbe herzustellen. Die Modelle sollten während der gesamten Bauphase im Klassenzimmer verbleiben, so dass die Kinder sich bei bestimmten Problemen auf selbstständige Weise daran orientieren können.

¹² vgl. Schmayl, Winfried / Wilkening, Fritz: Technikunterricht. 2., überarb. u. erw. Aufl. Bad Heilbrunn: Klinkhardt 1995. S.153.

¹³ vgl. ebd.

Bauanleitung 1 – Die Stützen und Träger des Tragwerks (s. Anhang)

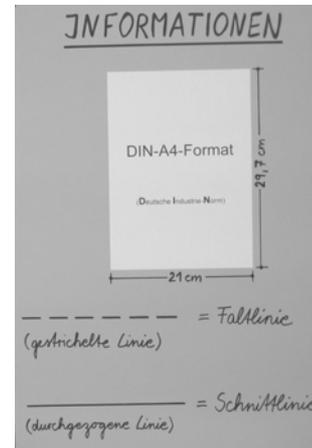
Die Bauanleitung 1 beschränkt sich auf die Hauptbestandteile von Skelettbauten „Stütze“ und „Träger“, aus denen ein würfelförmiges Element des Murmelturms gebaut werden soll.

Falls die Kinder nicht die Bezeichnung DIN-A4 kennen, sollte sie von der Lehrperson erläutert werden.

Bei der Besprechung der Bauanleitung ist es außerdem wichtig, die Blatteinteilung zu thematisieren. Die SchülerInnen sollen überlegen, wie ein DIN-A4-Blatt ökonomisch und technisch sinnvoll eingeteilt werden kann, um möglichst viele Papierstreifen zu erhalten. In diesem Zusammenhang wird auch der Begriff „Parallele“ aufgefrischt, der den Kindern bereits aus dem Mathematikunterricht bekannt sein sollte.

Um den Kindern das Falten der Winkelschienen zu erleichtern, kann die Lehrperson als technischen Hinweis die Verwendung eines Falzbeins erläutern. Vielleicht gibt es auch einzelne SchülerInnen in der Klasse, die bereits mit diesem Werkzeug gearbeitet haben und dessen Funktionsweise den übrigen MitschülerInnen erklären und vorführen können. Da eine sinnvolle Nutzung des Falzbeins nur dann gegeben ist, wenn an der Falzlinie zuvor eine entsprechende Hilfslinie gezeichnet wird, werden jedoch sicherlich viele Kinder aus Gründen der Bequemlichkeit oder Ungeduld auf dieses Hilfsmittel verzichten und lieber etwas weniger exakte Faltkanten in Kauf nehmen. Ein wichtiger Tipp beim Falten von Papier ist in jedem Fall, dass die Faltkanten mit der Nagelfläche eines Fingers nachgearbeitet werden.

Als ein der Veranschaulichung dienendes Modell wird ein Würfelement mit abnehmbarem „Deckel“ empfohlen, dessen sichtbare Klebeflächen farbig markiert werden sollten.



Bauanleitung 2 – Die Streben

Nachdem alle SchülerInnen ein Würfelement nach der Bauanleitung 1 hergestellt haben, sollen sie sich ihre Modelle genau betrachten und überlegen, welche Bauteile des Tragwerks in Skelettbauweise schon vorhanden sind (Stützen und Träger) und welche noch fehlen (Streben). Dadurch wiederholen die Kinder die bereits gelernten Fachbegriffe und prägen sie sich ein. Danach fordert die Lehrperson die Klasse auf, ihre Vermutungen bezüglich der Funktion von Streben zu äußern. Eventuell kommen manche Kinder darauf, dass diese der Stabilität dienen.

Um dies der gesamten Klasse zu verdeutlichen, bietet sich an dieser Stelle die Integration des **Basisversuchs „3.2 Stabilität durch Aussteifung“** an. Dabei lernen die Kinder selbsttätig handelnd auf anschauliche Weise die aussteifende Wirkung von Diagonal- bzw. Dreiecksverbänden, d. h. auch von Streben, kennen.

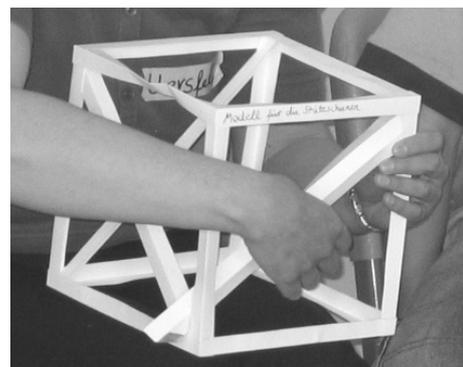
Alternativ zu den in diesem Versuch vorgeschlagenen Modellmaterialien können die Anschauungsmodelle auch aus Winkelschienen wie beim Murmelturm hergestellt werden, wobei diese dann nicht verklebt, sondern ebenfalls mit Briefverschlussklammern (mit Rundkopf) verbunden werden sollten.

Die Stabilität durch Aussteifung kann zusätzlich auch an zwei verschiedenen Würfelementen, einmal mit und einmal ohne Streben, überprüft werden, indem diese mit Gewichten belastet werden. Diese Ergänzung wird jedoch im vorliegenden Text nicht weiter erläutert.

In der anschließenden Besprechung der Bauanleitung 2 sollte zunächst geklärt werden, was „Querformat“ bedeutet.

Danach sollte das Zeichnen eines 45° -Winkels thematisiert werden. Auch wenn dies bereits im Mathematikunterricht praktiziert wurde, ist es dennoch wichtig, dieses Wissen aufzufrischen. Um diesen notwendigen Aspekt der Bauanleitung 2 für alle nochmals zu veranschaulichen, könnte beispielsweise ein Kind an der Tafel mit einem großen Geodreieck von einer waagerechten Linie ausgehend einen 45° -Winkel einzeichnen.

Ein von der Lehrperson vorbereitetes Anschauungsmodell einer Strebe mit farbig markierten Klebeflächen sollte vorhanden sein, um an einem unfertigen Würfelement zu zeigen, wie diese positioniert und eingeklebt wird.



ERGEBNISSICHERUNG UND THEORETISCHE UNTERRICHTSINHALTE

Nach dem Einbau der Streben ist das Tragwerk eines Murmelturmelements fertiggestellt und die Kinder haben dabei selbsttätig handelnd auf elementare Weise die statisch-konstruktiven Grundprinzipien der Skelettbauweise kennen gelernt. Der daran anschließende Bau der Rollschienen erfüllt ausschließlich funktionale Aufgaben und dient nicht der Tragfähigkeit. Diese wichtige Differenzierung sollte den Kindern in jedem Fall vermittelt werden. Dabei kann nochmals auf die Erfahrungen der SchülerInnen in der kreativen Einstiegsphase verwiesen werden, in der sie selbsttätig entdeckt haben, dass eine Rollbahn unbedingt eines stabilen Tragwerks bedarf und nur im Zusammenspiel von Tragkonstruktion und Rollbahn eine gut funktionierende Kugelbahn entsteht. Nach der Fertigstellung des Tragwerks eines Würfелеlements bietet es sich an, das bereits Gelernte zu vertiefen, indem die Kinder an ihren Bauwerken die wichtigen Bauelemente der Skelettbauweise und deren Funktion wiederholend erläutern sollen.

Darüber hinaus sollte die Klasse erfahren, dass ein Vorteil der Skelettbauweise darin besteht, dass sie eine sehr materialsparende Bauweise ist, da die Abmessungen der tragenden Bauteile auf das statisch erforderliche Mindestmaß reduziert sind. Die Kinder können selbst auf diesen Vorteil kommen, wenn sie beispielsweise anhand von Abbildungen ein Tragwerk eines Skelettbaus mit einem sich im Rohbau befindlichen Massivbau vergleichen. Da der Fokus in diesem Kapitel auf Stahlskelettbauten liegt, sollten sie außerdem lernen, dass dafür häufig I-, L-, U- und T-Profile aus Stahl verarbeitet werden. Durch die vorangegangenen Versuche zur Stabilität durch Materialumformung haben die SchülerInnen bereits selbst die Erfahrung gemacht, dass Papier durch Umformung stabiler wird. Dieser Aspekt kann auch auf das Material Stahl übertragen werden. Die Kinder sollen begreifen, dass bei bestimmten Materialien, wie Stahl oder Papier, durch Umformung eine höhere Belastbarkeit erreicht wird und dass aus diesem Grund Material eingespart werden kann.

Bauanleitung 3 – Die Rollschiene

Der Bau der Rollschienen, die ausschließlich funktionale Aufgaben übernehmen, stellt für SchülerInnen eine komplexe Aufgabe dar, da sie viele Arbeitsschritte bis zur Fertigstellung ausführen müssen. Die Rollschienen haben zwei unterschiedliche Enden (A und B). Ende A fängt die herunterfallende Murmel auf, die aus dem Ende B einer darüber liegenden Rollschiene herausfällt. Damit diese beiden Enden nicht so leicht von den Kindern verwechselt werden und sie deren Lage in den Zeichnungen der

Bauanleitung 3 schnell erkennen können, empfiehlt es sich, dass die Lehrperson beispielsweise das Ende A auf allen Skizzen farbig markiert.

Bei der gemeinsamen Besprechung der Bauanleitung 3 bietet es sich an, verschiedene Modelle zur Demonstration bereitzustellen:

Um die einzelnen Arbeitsschritte zu verdeutlichen und die räumliche Vorstellungskraft der Kinder zu unterstützen, können die wichtigsten Einzelschritte beim Bau einer Rollschiene durch drei entsprechend vorbereitete Modelle verdeutlicht werden.



von unten nach oben:

- Anzeichnen der Schnitt- und Knicklinien
- Einschneiden der Schnittlinien und Falten der Knicklinien
- Falten und Kleben der Rollschiene

Damit alle Kinder die Details gut sehen können, ist es sinnvoll, die Modelle doppelt so groß wie auf der Bauanleitung angegeben anzufertigen. Die SchülerInnen sollten auf den vergrößerten Maßstab hingewiesen werden. Damit die Kinder einen Bezug zwischen den vergrößerten Rollschienen und ihren bisher gebauten Würfelementen herstellen können, sollte das im Folgenden beschriebene Anschauungsmodell entsprechend der Bauanleitungen nach Originalmaßen gebaut sein, so dass die Kinder eine Vorstellung davon bekommen, wie ihre Bauwerke später auszusehen haben: Ein Modell eines Würfelements mit einer oder zwei bereits befestigten Rollschienen und eine lose, fertige Rollschiene. Daran kann der Klasse gezeigt werden, wo und wie die Rollschienen am Tragwerk befestigt werden.

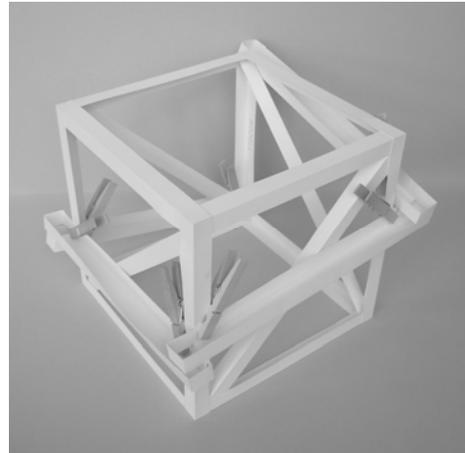


Die Vielzahl der Modelle hat den Vorteil, dass daran bei der Besprechung der Bauanleitung alle Fragen der Klasse direkt veranschaulicht und beantwortet werden können. Für die Besprechungsphase sollte die Lehrperson genügend Zeit einplanen, so dass möglichst viele Unklarheiten aus dem Weg geräumt werden.

In der nachfolgenden Bauphase sollten den Kindern außerdem drei weitere Modelltypen der Rollschiene, die die einzelnen Arbeitsschritte dokumentieren (s. o.), in Originalgröße zur Verfügung stehen (z. B. drei Modelle pro Gruppentisch), so dass die SchülerInnen immer wieder selbst nachschauen können, wie sie schrittweise vorgehen sollen und somit ihren Arbeitsablauf eigenständig überprüfen können.

Im vorangegangenen Unterricht haben die Kinder bereits den Fachbegriff L-Profil kennen gelernt. Wenn der Basisversuch 3.1 im Unterricht integriert worden ist, kennen sie darüber hinaus bereits die Fachbezeichnung U-Profil, die an dieser Stelle aufgefrischt werden sollte, denn die Rollschiene entspricht ebenfalls einem U-Profil. Wenn der Basisversuch nicht durchgeführt wurde, sollte dieser neue Begriff entsprechend eingeführt werden.

Für die anschließende Bauphase kann die Lehrperson den Kindern den Tipp geben, die vier Rollschienen zunächst provisorisch mit Wäscheklammern am Tragwerk des Würfelements zu befestigen und so zu positionieren, dass sie ungefähr ein gleichmäßiges Gefälle erhalten. Die Wäscheklammern können außerdem nach dem Ankleben der Rollschienen für den nötigen Druck beim Klebprozess sorgen.



Nach der jeweiligen ausführlichen Besprechung der einzelnen Arbeitsblätter und der entsprechenden Klärung des Sachgegenstands schließt sich jeweils dessen „sachgerechte Einzelherstellung“¹⁴ an. Dabei lernen die SchülerInnen ihren Arbeitsprozess selbst zu organisieren, denn sie sind sowohl für die Planung des Fertigungsablaufs als auch für die praktische Fertigungsausführung verantwortlich.¹⁵ Sie können die Erfahrung machen, dass eine geschickt strukturierte Arbeitsplanung¹⁶ ein schnelleres und produktiveres Arbeiten ermöglicht. Dadurch können sie erkennen, dass es sinnvoll ist, sich zunächst gedanklich mit der Planung einer Aufgabe auseinander zu setzen und erst anschließend mit deren praktischen Umsetzung zu beginnen. Da die Herstellung eines kompletten Würfelements in drei einzelne Phasen

¹⁴ vgl. Schmayl, W. / Wilkening, F.: Technikunterricht. S. 152.

¹⁵ vgl. ebd.

¹⁶ Beispielsweise indem die SchülerInnen entdecken, dass sie beim Zeichnen der Winkelschienen deren Breite von 3 cm nicht jeweils von Punkt zu Punkt abmessen müssen, sondern das Lineal nur einmal anlegen und entsprechende Markierungen an den Zahlen 3, 6, 9 usw. machen.

unterteilt ist, können die SchülerInnen ihre nach und nach gesammelten Erfahrungen bei der praktischen Umsetzung der jeweils folgenden Bauanleitung integrieren und somit ihre Arbeitsweise schrittweise perfektionieren.

Darüber hinaus lernen sie bei der praktischen Umsetzung den sachgemäßen Gebrauch von Werkzeugen und erlangen das Bewusstsein, wie vielfältig der Werkstoff Papier einzusetzen ist.

Nach dem Bau eines kompletten Würfелеlements sollten die Kinder in einer Spielphase ausreichend Gelegenheit erhalten, die Funktionstüchtigkeit ihrer Bauwerke unter Beweis zu stellen. Sie werden bestimmt schnell auf die Idee kommen, ihre einzelnen Elemente übereinander zu stapeln, um so die Rollbahn zu verlängern. Am Ende des Schultags können die SchülerInnen ihre Bauwerke mit nach Hause nehmen und dort bei Bedarf erweitern.



ERGEBNISSICHERUNG - Arbeitsblatt¹⁷

In einer nächsten Unterrichtsphase bearbeiten die Kinder in Stillarbeit ein Arbeitsblatt und können dabei überprüfen, was sie bereits in der Unterrichtseinheit gelernt bzw. noch nicht verstanden haben. Falls sie bei der Beantwortung Schwierigkeiten haben, dürfen sie sich die nötigen Informationen von den an den Wänden hängenden, bereits besprochenen Plakaten besorgen. Anschließend wird das Arbeitsblatt besprochen, wobei die SchülerInnen genügend Zeit für eventuelle Korrekturen erhalten sollten.

FERTIGUNGSAUFGABE - SERIENFERTIGUNG¹⁸

In der folgenden Unterrichtsphase erhalten die SchülerInnen die Fertigungsaufgabe, gemeinsam in einer Gruppe nach den bekannten Bauanleitungen einen kompletten Murmelturm zu bauen. Jede Gruppe sollte aus etwa vier Kindern bestehen. Es ist dabei von Vorteil, wenn die einzelnen Gruppen ähnlich leistungsstark sind, so dass sie ungefähr die gleiche Bauzeit benötigen. Im Unterschied zur vorangegangenen

¹⁷ siehe Anhang

¹⁸ vgl. Schmayl, W. / Wilkening, F.: Technikunterricht. S.153.

Einzelarbeitsphase bildet nun nicht die „sachgerechte Einzelherstellung“¹⁹, sondern die „serienmäßige Produktion“²⁰ des vorgegebenen Murmelturms den Schwerpunkt der Fertigungsaufgabe.

Wie schon vorab erwähnt, besteht der Vorteil der Einzelherstellung darin, dass alle SchülerInnen jeweils ein komplettes Würfelement inklusive Rollschienen bauen und dabei den gesamten Produktionsprozess durchlaufen, der für die Herstellung eines Murmelturms notwendig ist. Dadurch haben sie erfahren, in welchen Bereichen ihre Stärken und Schwächen liegen. Manche Kinder können beispielsweise sehr genau zeichnen, andere wiederum sind sehr gut im Ausschneiden oder Falten von Papier. Darüber hinaus konnten sie erfahren, dass eine strukturierte Arbeitsplanung den Produktionsablauf erleichtern und beschleunigen kann. Von diesen praktischen und planerischen Erfahrungen können sie nun in der Gruppenarbeitsphase profitieren, indem sie ihre individuellen Fähigkeiten und Kenntnisse nutzbringend einsetzen können. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass sie sich zunächst untereinander austauschen und gemeinsam eine sinnvolle Arbeitsplanung vornehmen, in der sie sich bestmöglich einbringen können. Auf diese Weise lernen sie, zu kooperieren und sich möglichst effektiv zu organisieren, beides sind wichtige Fähigkeiten für ihr späteres Arbeitsleben. „Indem sie gemeinsam die Herstellung eines einfachen Produkts planen und durchführen, gewinnen sie erste Einsichten in arbeitsteilige Verfahren.“²¹

Die fertig hergestellten Murmeltürme können anschließend auf Grundplatten geklebt werden, so dass sie besser transportiert werden können. Außerdem sollten die SchülerInnen noch genügend Zeit erhalten, für ihre Bauwerke einen Einwurf und eine Auffangschale zu entwerfen und zu bauen. Darüber hinaus ist eine ausreichende Spielphase wichtig, in der die Kinder ihre eigenen Murmeltürme auf deren Funktionstüchtigkeit überprüfen können und um sie für ihre anspruchsvolle und aufwendige Arbeit zu belohnen.



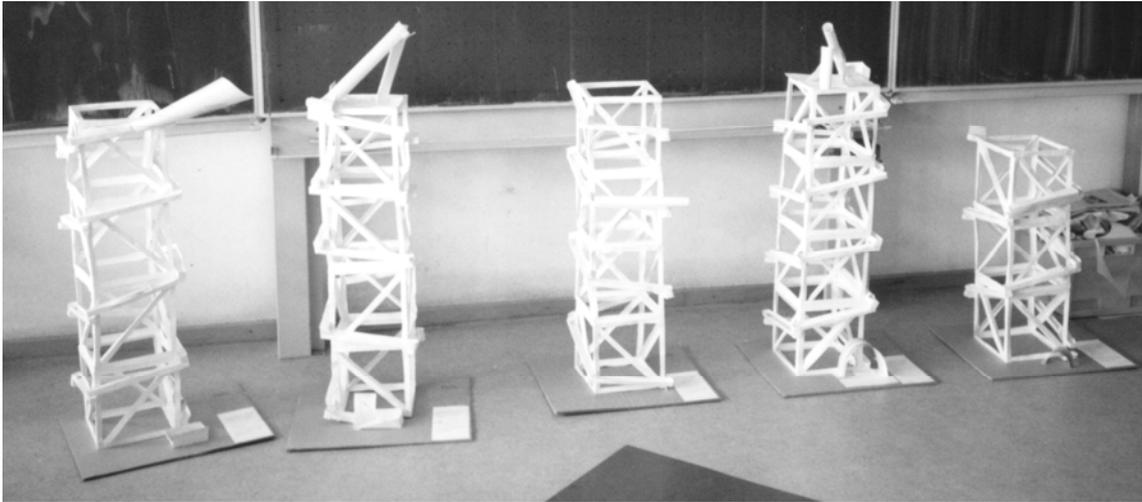
Die „Kinder sollen erleben, daß Arbeit zwar mühsam, aber sinnerfüllend und befriedigend sein kann [...] [und] erfahren, daß in Selbst-Erarbeitetem und –Produziertem

¹⁹ vgl. ebd. S.152.

²⁰ ebd.

²¹ Rahmenplan Grundschule: Hg. v. Hessisches Kultusministerium. Wiesbaden: Diesterweg 1995. S. 132.

ein eigener persönlicher Wert liegen kann, den ein vorgefertigtes Produkt in dieser Art nicht bietet.“²²



DIFFERENZIERUNG

Wie bereits erwähnt, sollte bei der „Fertigungsaufgabe – Einzelanfertigung“ der Herstellungsprozess eines kompletten Würfelements inklusive Rollschienen auf jeden Fall schrittweise, entsprechend den drei Bauanleitungen, erfolgen. Da die Kinder über unterschiedliche Fähigkeiten verfügen, wird dabei sicherlich das Problem entstehen, dass einige schneller sein werden als andere. Um sie zu beschäftigen, könnten sie als „Helferkinder“ den leistungsschwächeren MitschülerInnen behilflich sein. Nach der Herstellung eines Würfelements samt Rollschienen können sie außerdem aufgefordert werden, für die Murmel einen Einwurf und einen Auffangbehälter zu bauen, wobei sie ihrer Kreativität freien Lauf lassen können.

Sind bei der „Fertigungsaufgabe – Serienfertigung“ einzelne Gruppen unterschiedlich leistungsstark und dadurch eventuell schneller als andere, können sie beispielsweise angeregt werden, einen höheren Murmelturm zu bauen, eigene Laufrinnen, z. B. mit Kurven, zu entwerfen und mit den vorgegebenen Rollschienen zu verbinden oder ihren Murmelturm individuell zu gestalten.

AUFGABE DER LEHRPERSON

Die Aufgabe der Lehrperson besteht darin, in den Besprechungsphasen die Bauanleitungen verständlich zu erläutern und während der Bauphasen den Kindern bei Problemen als Ansprechpartner zur Verfügung zu stehen. Außerdem sollte sie den Lernprozess und die Lernergebnisse der Kinder beobachten, um diese in späteren

²² vgl. ebd. S. 26.

Leistungsbeurteilungen einfließen zu lassen. Des Weiteren ist es sehr wichtig, am Ende jeder Bauphase ein Reflexionsgespräch zu initiieren, bei dem die SchülerInnen von ihren Problemen und Lernergebnissen berichten können. Beispielsweise können die Kinder am Ende der serienmäßigen Herstellung des Murmelturms selbst die Vorteile der Arbeitsteilung entdecken. Reflexionsphasen sind wichtig zur Sicherung der Lernergebnisse, denn: „Wir lernen, wenn wir etwas tun u. ü. das Getane nachdenken, was u. wie wir es getan haben, was dabei herausgekommen ist u. in welche Beziehung wir uns dazu setzen.“²³ In den Gesprächsphasen sollte die Lehrperson darauf achten, dass die SchülerInnen möglichst die gelernten Fachbegriffe anwenden, um diese in ihrem Sprachgebrauch zu festigen.

TIPPS UND TRICKS	<ul style="list-style-type: none"> • Die Anschauungsmodelle sollten aus einem andersfarbigen Papier bestehen, so dass diese nicht ungesehen in die Bauwerke der SchülerInnen eingearbeitet werden können. • 160 g/m²-Papier ist stabil und lässt sich dennoch gut schneiden und falten. • Nach den Erfahrungen der Verfasserinnen klebt Klebestift von PRITT® am besten. • Wenn wenig Zeit vorhanden ist, kann die Lehrperson auch im Vorfeld <i>einige</i> Papierstreifen mit einer Papierschneidemaschine zuschneiden. • Wenn in der Schule keine Falzbeine vorhanden sind, kann man diese beispielsweise auch durch stumpfe, vorne abgerundete Frühstücksmesser ersetzen.
MEDIEN	<ul style="list-style-type: none"> • Overheadfolien • Overheadprojektor • Anschauungsmodelle (vorzugsweise aus farbigem Papier 160g/m²) <ul style="list-style-type: none"> ⇒ Für Bauanleitung 1: <ul style="list-style-type: none"> • Würfelement aus Stützen und Trägern mit abnehmbarem „Deckel“ (s. Foto im Text unter „Bauanleitung 1“). ⇒ Für Bauanleitung 2: <ul style="list-style-type: none"> • Würfelement mit Stützen und Trägern (es kann das Modell von Bauanleitung 1 verwendet werden) mit drei befestigten und einer losen Strebe. ⇒ Für Bauanleitung 3: <ul style="list-style-type: none"> • Drei Modelle einer Rollschiene, die die einzelnen Arbeitsschritte repräsentieren, doppelt so groß wie auf der Bauanleitung angegeben (s. Foto im Text unter Bauanleitung 3“). • Würfelement mit Stützen, Trägern und Streben (es kann das Modell von Bauanleitung 2 verwendet werden) mit ca. zwei befestigten und einer losen Rollschiene. • Drei Modelle einer Rollschiene, die die einzelnen Arbeitsschritte repräsentieren, wie oben – jedoch in Originalgröße, d. h. wie auf der Bauanleitung angegeben. Die Anzahl ist abhängig von der Sitzordnung der Kinder. Wenn sie beispielsweise an Gruppentischen sitzen, dann je drei Modelle pro Gruppentisch. • Plakate
LITERATUR	<p>ANREGUNGEN DURCH: Die Konstruktionsweise des Murmelturms wurde aus dem Buch von Michalski entnommen. Allerdings wurden die Maße der einzelnen Bauteile so verändert, dass alle möglichst effektiv die Maße von DIN-A4-Papier ausnutzen. Auf diese Weise wird ein ökonomischer Papierverbrauch erreicht und außerdem die Arbeit für die Kinder erleichtert. Des Weiteren wurden die Konstruktionsdetails der Rollschiene vereinfacht.</p>

²³ Lexikon Sachunterricht. Hg. v. Astrid Kaiser. 3., unveränd. Aufl. Hohengehren: Schneider 2004. S. 169.

	<p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baulexikon. Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Hg. v. Rüdiger Wormuth / Klaus-Jürgen Schneider. Berlin: Bauwerk 2000. • Kaiser, Astrid: Zeichnen und Malen als produktive Zugänge zur Sache. In: Basiswissen Sachunterricht. Band 5. Unterrichtsplanung und Methoden. Hg. v. Astrid Kaiser und Detlef Pech. Baltmansweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 96-101. • Lexikon Sachunterricht. Hg. v. Astrid Kaiser. 3., unveränd. Aufl. Baltmansweiler: Schneider Hohengehren 2004. • Michalski, Ute / Michalski, Tilman: Werkbuch Papier. Ravensburg: Ravensburger 2001. S. 32/33. • Rahmenplan Grundschule: Hg. v. Hessisches Kultusministerium. Wiesbaden: Diesterweg 1995. • Schmayl, Winfried / Wilkening, Fritz: Technikunterricht. 2., überarb. u. erw. Aufl. Bad Heilbrunn: Klinkhardt 1995. • Ullrich, Heinz / Klante, Dieter: Technik im Unterricht der Grundschule. Didaktische Grundlegung, Unterrichtsmodelle, Unterrichtsmaterialien. 6., unveränd. Aufl. Villingen-Schwenningen: Neckar 1994. S. 116-118.
<p>ABBILDUNGEN</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abb. 1: http://atkpics.web.psi.ch/fotodatenbank/images/jpg_big/proscan/-Kuehlzentrale/031222_Kuehlz_Rohbau_Stahlbau_2.jpg (09.11.05). ▪ Abb. 2: http://www.tu-chemnitz.de/advent/2003/9/turm.jpg (09.11.05). ▪ Abb. 3: http://www.digital.udk-berlin.de/~erikschoolz/images/gasometer/geruest.jpg (09.11.05). ▪ Abb. 4: http://baupraxis.de/magazin/bauoekologie/oeko_media/hochspannungsmast_265.jpg (09.11.05). ▪ Abb. 5: http://www.f-lohmueller.de/pov_tut/xsamples/g_mast1t.jpg (09.11.05). ▪ Abb. 6: http://www.galaxymed.de/images/details/detail_fred.jpg (09.11.05).

6 HÄUSER

6.1 Fachtheoretische Grundlagen

Die Aufgaben eines Hauses bestehen darin, eine Unterbringung für Menschen, Tiere und Güter zu schaffen und sie vor Umwelteinflüssen wie Temperatur, Feuchtigkeit oder Lärm zu schützen. Außerdem dienen sie zur Sicherung des Eigentums und im Bereich des Wohnens als Rückzugs- und Schutzraum. Häuser sind in der Regel für eine langfristige Nutzungsdauer konzipiert.

BEGRIFFSKLÄRUNG

Ein Haus ist die umgangssprachliche Bezeichnung für ein Gebäude, das im bautechnischen Sinne zu den Bauwerken bzw. baulichen Anlagen¹ gehört. Bauwerke können in den Hochbau, den Tiefbau, den Wasserbau und den Ingenieurbau untergliedert werden. Zum Hochbau zählen in der Regel alle Bauwerke, deren wesentliche konstruktive und räumliche Teile über der Erdoberfläche liegen.² Ein Haus ist damit den Hochbaukonstruktionen zuzuordnen. Brücken und Türme, die in Kapitel 4 und 5 dieser Arbeit betrachtet werden, gehören dagegen zu den Ingenieurbauten. Im Folgenden wird die Bezeichnung Häuser benutzt, da der Begriff Gebäude auch Türme einschließt und unter die Definition Bauwerke auch Türme und Brücken fallen würden.

GESCHICHTLICHE ASPEKTE

Urformen von Behausungen (Höhle, Windschirm, Zelt, Hütte), die in vorgeschichtlicher Zeit als Wetterschutz errichtet wurden und als Zufluchtstätte der Menschen vor feindlichen Angriffen dienten, wandelten sich mit dem Sesshaftwerden des Menschen zu



Abb.1: *Ideon-Andron-Höhle* auf Kreta



Abb.2: Tasmanischer Windschirm



Abb.3: Erdhütte

¹ Im Deutschen Baurecht fallen Bauwerke unter den Oberbegriff der baulichen Anlagen.

² vgl. VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. Hg. v. Hans-Gustav Olshausen und VDI-Gesellschaft Bautechnik. Düsseldorf: VDI 1991. S. 65/66.

festen Wohnstätten, dem konstruktiven Hausbau, dessen Merkmal die Trennung von Wand- und Dachelementen ist. Hieraus bildeten sich eine Fülle unterschiedlicher Typen, von denen in vorgeschichtlicher Zeit das baulich fest mit einem Innenhof gekoppelte Hofhaus und das frei stehende Einzelhaus die zwei wichtigsten Grundtypen waren.³

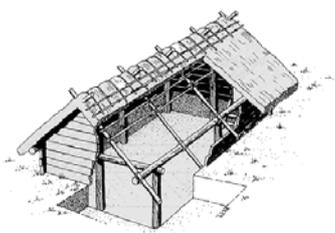


Abb. 4: Grubenhaus



Abb. 5: Pfostenhaus



Abb. 6: Blockbau

Im ägäischen Raum wurden in der Jungsteinzeit in den Boden eingelassene Grubenhäuser gebaut, später rechteckige Pfostenhäuser mit lehmbeputzten Flechtwerk-Wänden und Walmdächern. Daran anschließend bestanden die Wände aus Lehmziegeln und wurden auf Steinsokkeln errichtet. In der Bronzezeit wurde der Blockbau vervollkommen und in der Eisenzeit entstand der Fachwerkbau.

Der für die Weiterentwicklung wichtigste Haustyp war das Megaronhaus (Hallenhaus), das ebenfalls im ägäischen Raum verbreitet war und das Atrium (Zentraler Wohnhof des römischen Privathauses). In Ägypten und Mesopotamien wurden Hofhäuser errichtet, bei denen um einen zentralen Innenhof herum Räume für die unterschiedlichsten Wohn- und Wirtschaftsfunktionen angelegt wurden.⁴

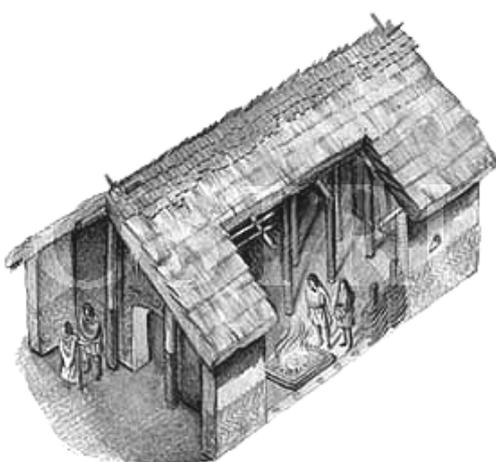


Abb. 7: Megaronhaus



Abb. 8: Atrium in Pompeji

³ vgl. Brockhaus CD-ROM. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2003. Wohnhaus.

⁴ vgl. ebd.

Im Mittelalter wiederholte sich der bereits in den frühen Kulturen mehrfach abgelaufene Prozess der Umwandlung ursprünglich dörflicher, für landwirtschaftliche Nutzung vorgesehener Häuser zum städtischen Wohnhaus, indem das bereits in der Jungsteinzeit auftretende frei stehende Einraumhaus, zu haken- oder u-förmigen Grundrissen zusammengesetzt wurde. Erst der etwa im 8. Jahrhundert einsetzende Stadtentstehungsprozess führte zur Ausbildung eines spezifisch städtischen Wohnhauses, das in Reihen angeordnet war und mit der Giebelseite zur Straße stand.⁵



Abb. 9: Giebelfassade eines Bonner Stadthaus



Abb. 10: Giebelhaus in Greifswald



Abb. 11: Giebelhäuser in Stralsund

Seit dem 15. Jahrhundert begannen sich in den Ländern nördlich der Alpen die Hausformen herauszubilden, die sich in der Folgezeit, durch regionale Eigenarten unterschieden und das Bild der Städte und Dörfer bestimmten. In den Städten entstanden einerseits reich ausgeschmückte Bürgerhäuser, andererseits wurden auch Hinterhäuser und Keller bewohnt und in den Ganghäusern, die auf tiefen Grundstücken entstanden, entwickelten sich erste Kleinhauassiedlungen. Von den aufkommenden Stilrichtungen wurde hauptsächlich das städtische Wohnhaus beeinflusst. Die Formgebung spiegelte sich im städtischen Raum auch in Häusern wider, die anderen Funktionen als dem Wohnen dienten.⁶

DIFFERENZIERUNG

Häuser können nach verschiedenen Parametern differenziert werden: nach der Konstruktion, dem Material oder der Funktion. Hinsichtlich ihrer Konstruktion lassen sich Häuser in Massivbau- und Skelettbauweise unterteilen. Sie können aus unterschiedlichen Materialien wie natürlichen oder künstlichen Steinen, Holz, Stahl, Glas, oder Stahlbeton gefertigt sein. Häuser lassen sich nach ihrer Funktion untergliedern in

⁵ vgl. ebd.

⁶ vgl. ebd.

z. B.: Wohnen (Wohnhäuser), Arbeiten (Bürogebäude, Hochhäuser), Gesellschaftliches Leben (Rathäuser), Gesundheit und Fürsorge (Krankenhäuser), Bildung (Schulen und Universitäten), Kultur (Konzert- und Opernhäuser), Religion (Sakrale Gebäude), Freizeit (Schwimmbäder) und Verkehr (Parkhäuser, Bahnhöfe).⁷

BAUTEILE EINES HAUSES

Zu den konstruktiven Bauteilen eines Hauses gehören Wände, Decken und das Dach. Der Begriff Wand stammt von dem althochdeutschen Wort "want" = winden: das Gewundene, das Geflochtene ab und geht auf Häuser der Steinzeit (vor ca. 6000 Jahren) zurück, deren Wände aus Pfählen bestanden, die mit Flechtwerk umwunden wurden. Die Wand ist ein senkrechtes, raumabschließendes Bauteil, das in horizontaler Richtung eine größere Ausdehnung hat als in vertikaler. Nach der statischen Beanspruchung unterscheidet man zwischen tragenden und nicht tragenden Wänden, nach der Lage im Gebäude zwischen Außen- und Innenwänden und nach der Funktion zwischen Trenn- und Brandwänden.⁸

Die Decke ist der "obere[...] Abschluss eines Raumes [und dient] zur Aufnahme der Eigen- und Nutzlasten sowie zur horizontalen Aussteifung des Bauwerkes. Die Decke [liegt auf den Wänden auf und] besteht aus der Rohdecke (tragende Deckenkonstruktion), [der] Oberdecke (Fußbodenbelag und Unterbau) und [der] Unterdecke (Putzträger, Putz und Holzverkleidung)."⁹

Das Dach ist das oberste Bauteil eines Hauses und schützt es damit vor Umwelteinflüssen wie Niederschlag, Sonneneinstrahlung, Temperaturverlusten und Wind. Das Dach besteht aus einer tragenden Unterkonstruktion und der Dachdeckung. Zu den bekanntesten Dachformen zählen das Satteldach, das aus zwei schrägen Dachflächen besteht, die sich am höchsten Punkt des Daches im Dachfirst treffen sowie das Pult- und Flachdach, die jeweils nur aus einer Dachfläche bestehen. Des Weiteren gibt es das Walmdach mit vier Dachflächen, und die Sonderform des Krüppelwalmdaches.¹⁰

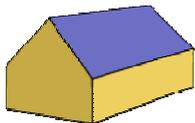


Abb. 12: Satteldach

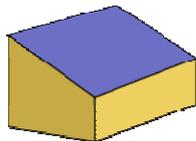


Abb. 13: Pultdach

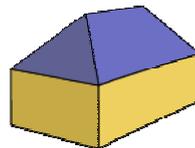


Abb. 14: Walmdach

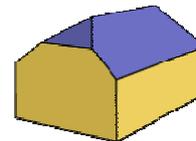


Abb. 15: Krüppelwalmdach

⁷ vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Bauwerk> (6.11.05).

⁸ vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Wand> (6.11.05).

⁹ vgl. Brockhaus CD-ROM. Decke.

¹⁰ vgl. ebd. Dach.

Weitere wichtige Bauteile eines Hauses sind Türen und Fenster. Bei Türen unterscheidet man zwischen Außen- und Innentüren. Außentüren sind verschließbare Öffnungen in den Außenwänden eines Hauses und stellen die Verbindung vom Inneren eines Hauses mit der Umgebung her. Mit einer Innentür werden zwei Bereiche oder Räume im Haus miteinander verbunden. Fenster sind Öffnungen in den Außenwänden eines Hauses, die zur Belichtung, Belüftung und zum Herausgucken dienen. Das althochdeutsche Wort "augadoro", das mit Augentor übersetzt ist, betont den Aspekt des Hinausschauens.¹¹

STATISCHE ASPEKTE

Eine wichtige Forderung an Häuser ist ihre Standsicherheit, die sowohl die Sicherheit einzelner Tragwerksteile gegen örtliches Versagen als auch die Gesamtstabilität des Gebäudes einschließt. Für die Stabilität eines Hauses ist seine Aussteifung wichtig, unter der man jene Tragsysteme versteht, die die Horizontalkräfte infolge von Wind, Erdbeben und Lotabweichungen der planmäßig lotrechten Tragwerksteile in den Baugrund leiten.¹² Näheres zu den Phänomenen der Standsicherheit ist im Kapitel 3.4 zu finden. Die Stabilität von Häusern aus Mauerwerk und von Fachwerkhäusern ist in den Kapiteln 6.2 und 6.3 erläutert.

LITERATUR	<p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. Hg. v. Hans-Gustav Olshausen und VDI-Gesellschaft Bautechnik. Düsseldorf: VDI 1991. • Brockhaus CD-ROM. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2003. Dach. • Brockhaus CD-ROM. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2003. Decke. • Brockhaus CD-ROM. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2003. Fenster. • Brockhaus CD-ROM. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2003. Wohnhaus. • http://de.wikipedia.org/wiki/Bauwerk (6.11.05). • http://de.wikipedia.org/wiki/Wand (6.11.05). <p>LITERATUREMPFEHLUNGEN FÜR DEN UNTERRICHT:</p> <ul style="list-style-type: none"> • http://de.wikipedia.org/wiki/Haus (6.11.05).
ABBILDUNGEN	<ul style="list-style-type: none"> • Abb. 1: http://images.tournet.gr/photos/1266/017.jpg (9.11.05). • Abb. 2: http://www.jadukids.de/ursprung/ursprung1/Bilder/u2_jpg.jpg (9.11.05). • Abb. 3: http://schulen.eduhi.at/first-vbs/unterricht/e-learning/early_people_austria/images/w02earth_hut.jpg (9.11.05). • Abb. 4: http://www.rosstal.de/vereine/heimatverein/heimatblaetter/heft27-j.gif (9.11.05). • Abb. 5: http://www.radtouren-sachsen-anhalt.de/images/steinzeithaus1.jpg (9.1.05).

¹¹ vgl. ebd. Fenster.

¹² vgl. VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. Hg. v. Hans-Gustav Olshausen und VDI-Gesellschaft Bautechnik. Düsseldorf: VDI 1991. S. 220.

- **Abb. 6:** http://www.girovagandointrentino.it/puntate/2003/inverno_2003_2004/mocheni/images/blockbau.jpg (9.11.05).
- **Abb. 7:** http://www.historyarts.ro/ilustratii/1_neolithic/images/06_megaron.jpg (9.11.05).
- **Abb. 8:** <http://depthome.brooklyn.cuny.edu/classics/dunkle/romnlife/atrium1.gif> (9.11.05).
- **Abb. 9:** <http://www.bonner-stadtwege.de/popp/popping/haus3.jpg> (9.11.05).
- **Abb. 10:** http://www.seaside.de/images/greifswald_dscn2055.jpg (9.11.05).
- **Abb. 11:** http://www.umwelt-verkehr.de/fotos/walder-verlag/d_stralsund/Stralsund-giebelhaus_i.jpg (5.11.05).
- **Abb. 12:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Satteldach.png> (9.11.05).
- **Abb. 13:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Pulldach.png> (9.11.05).
- **Abb. 14:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Walmdach.png> (9.11.05).
- **Abb. 15:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Kr%C3%BCppelwalmdach.png> (9.11.05).

6.2 Häuser aus Mauerwerk

BASISVERSUCHE	<ul style="list-style-type: none"> • 3.4 Standsicherheit durch Gleichgewicht • 3.5 Standsicherheit im Mauerwerksbau
SCHWIERIGKEITSGRAD	mittlerer Anspruch
ZEIT	ca. 3-4 Stunden
MATERIALIEN UND WERKZEUGE	<p>Das Grundmaterial sind genormte Holzbausteine (z. B. Fröbel-Bausteine mit dem Grundmaß $33\frac{1}{3}$ mm, Standardgröße: ca. H 16,7 * B 33,3 * L 66,7 mm (entspricht einem Maßverhältnis von 1:2:4))</p> <ul style="list-style-type: none"> • Holzbausteine (Mindestmenge pro Haus) <ul style="list-style-type: none"> • ca. 80 Stück Standardgröße • ca. 6 Stück, Maße ca. H 16,7 * B 33,3 * L 133,3 mm • ca. 14 Stück, Maße ca. H 16,7 * B 33,3 * L 33,3 mm • ca. 10 Stück, Maße ca. H 16,7 * B 33,3 * L 266,7 mm • evtl. Pappe / Karton (als Dach) • Spielzeugautos • Wolle od. Baumwolle (für Lot) • Knöpfe (für Lot) • kariertes Papier • Lineal + Bleistift + Radiergummi

SACHANALYSE

VORBEMERKUNG

Unter „3.5 Standsicherheit im Mauerwerksbau“ wurden die Begriffe „Mauerwerk“ und „Wand“ bereits ausführlich erläutert, weshalb in diesem Kapitel nur wesentliche Informationen wiederholt werden. Es empfiehlt sich deshalb, den Basisversuch 3.5 zuvor zu lesen und auch im Unterricht zu integrieren. Insbesondere die dort enthaltenen Informationen zum Mauerverband und zur Bauausführung sind grundlegend für das Kapitel „Häuser aus Mauerwerk“.

Sollen innerhalb dieses Unterrichtsthemas auch Maueröffnungen in Kragbauweise thematisiert werden, finden sich entsprechende Informationen und Anregungen im Basisversuch „3.4 Standsicherheit durch Gleichgewicht“ und im Thema „4.3.1 Kragsteinbogenbrücken“. Kragbogenöffnungen werden daher im folgenden Text nicht weiter erläutert.

Mauerwerk zählt zum Massivbau. Es besteht aus einem Gefüge aus natürlichen oder künstlichen Steinen mit oder ohne Mörtel. Das Herstellen von Mauerwerk ist eine traditionelle Bauart im Bauwesen. Seit Jahrtausenden werden Häuser aus Mauerwerk gebaut. Insbesondere Wände wurden auf diese Weise errichtet, aber auch Dächer in Gewölbekonstruktionen. Heutzutage werden bei Neubauten in der Regel nur noch Wände aus künstlichen Steinen im Mauerverband hergestellt. Das Mauern von

Wänden ist nach wie vor eine handwerkliche Tätigkeit, die von Maurern ausgeführt wird.

Häuser bestehen aus verschiedenen Bauteilen, z. B. Wände, Decken, Dächer, Türen und Fenster. Da heutzutage die bevorzugten Bauteile im Mauerwerksbau Wände sind, wird sich dieses Kapitel auch ausschließlich auf dieses Bauteil beschränken. Wände haben verschiedene Funktionen: Unter anderem bilden sie als Außenwände die Außenhülle des Gebäudes, als Innenwände dienen sie der Raumeinteilung und sie erfüllen Schallschutz-, Wärmeschutz- und Brandschutzanforderungen.

In statischer Hinsicht werden Wände in tragende Wände, aussteifende Wände und nichttragende Wände eingeteilt, wobei nur die beiden erstgenannten zur Standsicherheit eines Bauwerks beitragen.¹ Aus diesem Grund liegt der Fokus in diesem Textabschnitt auf den tragenden und aussteifenden Wänden .

Tragende Wände übernehmen innerhalb eines Bauegefüges die Aufgabe, vertikale Lasten (z. B. Eigengewicht, Verkehrslast, Schneelast) sicher über die Fundamente in den Baugrund abzuleiten. Bauwerke werden jedoch nicht nur durch vertikale Lasten beansprucht, sondern auch durch horizontale, insbesondere durch Windlasten.² Aussteifende Wände dienen daher nicht nur der Übertragung vertikaler Lasten, sondern gleichzeitig auch der Ableitung horizontaler Lasten.

Im Kapitel „3.5 Standsicherheit im Mauerwerksbau“ wurde das Bauteil Wand als frei stehende Wand, d. h. isoliert von einem Bauegefüge, untersucht. Statisch betrachtet hat in diesem Fall die Wand nur eine 1-seitige, untere Lagerung (z. B. Bodenplatte). Häuser bestehen jedoch aus einem Bauegefüge, innerhalb dessen die tragenden Wände nicht freistehend sind. Dort werden Wände oben und unten gelagert (z. B. Decke und Bodenplatte), aber auch seitlich durch andere Wände gehalten.³

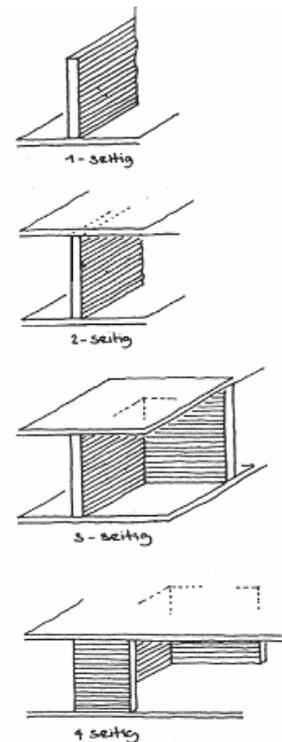


Abb. 1:

Aussteifung

Das zuvor Genannte ist bei der Einwirkung horizontaler Lasten von entscheidender Bedeutung für die Standsicherheit des gesamten Bauegefüges. Deckenplatten bei-

¹ vgl. Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. Teil I. 31., neu bearb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. S. 125.

² vgl. ebd. S. 128.

³ vgl. Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Hans Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 9., überarb. Auflage. Köln: Müller 2002. S. 213.

spielsweise wirken dabei als horizontale Deckenscheiben und aussteifende Wände als vertikale Wandscheiben. Eine sichere Übertragung horizontaler Lasten in den Baugrund, d. h. eine wirksame Aussteifung, ist jedoch nur gewährleistet, wenn Wand- und Deckenscheiben⁴ unverschieblich miteinander verbunden sind und dadurch zusammenwirken.⁵ Eine solche unverschiebliche Verbindung lässt sich im Modell nicht mit wieder verwendbaren Holzbausteinen veranschaulichen und sollte aus diesem Grund auch nicht im Unterricht thematisiert werden.

Da in diesem Kapitel das Augenmerk vorrangig auf Mauerwerkswänden liegt, ist vordergründig die konstruktive Verbindung zwischen tragenden und aussteifenden Wänden von Interesse. Diese kann beispielsweise durch Mauerverband erfolgen, deren Grundregeln unter 3.5 näher erläutert sind. Zusammenfassend muss darauf geachtet werden, dass die Mauerwerksschichten genau horizontal verlaufen, die Stoßfugen unmittelbar übereinander liegender Steinschichten gegenseitig versetzt sind und dabei ein ausreichendes Überbindemaß einhalten.⁶

Die Standsicherheit einer durch Windlasten beanspruchten Außenwand kann durch eine ausreichende seitliche Aussteifung durch aussteifende Wände gewährleistet werden.⁷

Gewicht (Eigengewicht der tragenden Wand + Eigengewicht anderer Bauteile)

Betrachtet man eine solche Außenwand innerhalb eines Bauegefüges, dann ist eine seitliche Aussteifung nicht allein verantwortlich für die Standsicherheit dieses Bauteils: Durch die obere und untere Verbindung zu Decken- bzw. Bodenplatten werden Außenwände durch horizontalen Winddruck auf Biegung beansprucht, wodurch Zugspannungen entstehen. Mauerwerk besitzt jedoch eine nur sehr geringe Zugfestigkeit und insofern nur eine geringe Biegefestigkeit. Bei Mauerwerk können entstehende Zugspannungen durch gleichzeitigen Druck aus ständig wirkender vertikaler Last wieder aufgehoben werden.⁸ Das heißt, dass ausreichende, ständige Eigenlasten, auch anderer Bauteile, ebenfalls zur Standsicherheit einer durch horizontale Krafteinwirkung beanspruchten Mauerwerkswand beitragen.

Maueröffnungen

Häuser bestehen nicht nur aus Wänden, sondern auch aus Fenstern und Türen. Deshalb müssen in Wänden entsprechende Maueröffnungen vorgesehen werden.

⁴ Neben Wand- und Deckenscheiben können beispielsweise auch Ringanker, Rahmen oder Dreiecksverbände diese Funktion übernehmen.

⁵ vgl. Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. S. 128.

⁶ vgl. ebd. S. 159.

⁷ Daneben sind auf Grund verschiedener Lasteinwirkungen noch andere Faktoren für die Standsicherheit notwendig (vgl. 3.5).

⁸ vgl. Krauss/Führer/Neukäter: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 9., überarb. Auflage. 2002. S. 211.

Diese werden heutzutage von Stürzen überdeckt, die beispielsweise als Stahlbetonbalken oder Profilstahlträger ausgeführt sind. Als man in früheren Zeiten noch nicht über diese moderneren Baustoffe verfügte, wurden kleinere Maueröffnungen mit Steinbalken, gemauerten Bogen⁹ oder Kragbogen¹⁰ überbrückt. Größere Weiten konnten im Mauerwerksbau auf Grund der geringen Zugfestigkeit von Steinbalken nur mit Kragbogen oder Bogen überspannt werden. Tür- und Fensterstürze übernehmen in statischer Hinsicht als Tragelemente die Funktion eines Trägers. Daher besteht die Aufgabe eines Sturzes darin, die auf ihn einwirkenden darüber liegenden vertikalen Lasten an Wände bzw. Stützen, auf denen er aufliegt, abzuleiten. Das bedeutet, dass diese Bauteile entsprechend dimensioniert sein müssen. Als Träger werden Stürze vorwiegend auf Biegung beansprucht, weshalb sie aus Baustoffen sind, die sowohl Druck- als auch Zugkräfte aufnehmen können.

SACHANALYSE – Modell aus Holzbausteinen

Mit Holzbausteinen unterschiedlicher Abmessungen, die jedoch maßlich aufeinander abgestimmt sein sollten, lässt sich ein komplettes Haus mit Flachdach bauen. Aus statisch-konstruktiver Perspektive steht dabei das standsichere Bauen von Mauern und Maueröffnungen im Vordergrund. Daher können auch einzelne Ausschnitte eines Hauses dazu dienen, diverse Aspekte der Herstellung von Mauerwerkswänden zu erproben. Vor allem die Überbrückung von Fenster- bzw. Türöffnungen als Kragbogen bietet sich als Detailausschnitt an. Das Dach bzw. bei mehrgeschossigen Häusern zusätzliche Decken erfüllen im Modell eher funktionale Aspekte.

Eine Vielzahl identischer Holzbausteine mit kleineren Abmessungen werden für den Mauerverband benötigt. Längere Holzbausteine können als Fenster- bzw. Türstürze eingesetzt werden. Noch längere können in der Funktion von Stahlbetonfertigteilen ein Flachdach oder bei mehrgeschossigen Häusern eine Zwischendecke bilden.¹¹

Sind keine sehr langen Holzbausteine vorhanden, können alternativ auch Pappen, entsprechend zurecht geschnitten, die Funktion von Decken und Dächer übernehmen.

LERNVORAUSSETZUNGEN

- Hilfreich sind sicherlich bereits gesammelte Erfahrungen im Spiel mit Holzbausteinen, sie sind jedoch keine notwendige Voraussetzung.

⁹ nähere Ausführungen zu Bogenkonstruktionen siehe 4.3.2

¹⁰ nähere Ausführungen zu Kragbogenkonstruktionen siehe 4.3.1

¹¹ Flachdach bzw. Decke in dieser Ausführung wirkt in statischer Hinsicht nicht als aussteifende Scheibe gegen horizontale Lasten, da deren Einzelteile nicht miteinander verbunden sind.

- Wenn die am Ende vorgeschlagene Phase des technischen Zeichnens übernommen wird, müssen die Kinder bereits zählen können und über inhaltsbezogene mathematische Kompetenzen im Bereich der Geometrie verfügen, wenn sie reale, dreidimensionale Holzbausteine in ihren Zeichnungen als ebene Figuren darstellen sollen.

LERNZIELE

die SchülerInnen sollen

- die Massivbauweise aus Mauerwerk kennen lernen.
- statisch-konstruktive Grundprinzipien im Mauerwerksbau kennen lernen.
- auf experimentelle Weise selbsttätig handelnd wichtige Faktoren, die die Standsicherheit von Mauerwerk beeinflussen, kennen lernen:
 - Mauerverband, Bauausführung, Wandhöhe-/dicke und Gewicht (durch Integration des Basisversuchs „3.5 Standsicherheit im Mauerwerksbau“)
 - Aussteifung
- die in den Versuchen gewonnenen Erkenntnisse auf den Bau eines Hauses aus Holzbausteinen übertragen.
- ein Modell eines Hauses mit Flachdach aus Holzbausteinen bauen.
- relevante Bauteile von Wohnhäusern benennen können: Wände, Decken, Dach, Türen und Fenster.
- sich in problemorientierter Weise mit Maueröffnungen beschäftigen.
- in elementarer Weise Grundzüge des technischen Zeichnens kennen lernen.

DIDAKTISCH-METHODISCHE ANREGUNGEN

BEZUG ZUR LEBENSWELT DER KINDER

In unseren Dörfern und Städten gibt es viele Häuser, insbesondere Einfamilienhäuser und kleinere mehrgeschossige Wohn- und Geschäftshäuser, die aus Mauerwerk in Massivbauweise errichtet sind, so dass viele Kinder diese Bauweise aus ihrer gebauten Umwelt kennen. Da Baustellen meist eine besondere Faszination auf Kinder ausüben, haben vielleicht schon einige von ihnen Maurern bei ihrer Arbeit zugesehen. Man muss allerdings auch damit rechnen, dass manche SchülerInnen kaum Vorerfahrungen haben, beispielsweise wenn sie in Gebieten mit Fertig- oder Hochhäusern

wohnen. Erschwerend kommt hinzu, dass oft nicht erkennbar ist, ob Häuser aus Mauerwerk bestehen, da sie häufig verputzt sind.

Aber auch beim Bauen mit Holzbausteinen ist in vielen Klassen vermutlich mit unterschiedlichen Vorerfahrungen der SchülerInnen zu rechnen: Einige Kinder der Klasse haben sicherlich zu Hause oder im Kindergarten schon verschiedene Erfahrungen mit Holzbausteinen beim spielerischen Bauen sammeln können, andere haben sich vielleicht bisher noch nie mit diesem Spielmaterial beschäftigt.

FREIE SPIELERISCHE BAUPHASE¹²

Damit alle Kinder mit dem Baumaterial vertraut werden, sollte zunächst eine freie Spielphase eingeplant werden, in der keine konkrete Aufgabenstellung seitens der Lehrperson vorgegeben wird. Holzbausteine regen von sich aus zum Bauen an, so dass die Kinder entsprechend ihrer unterschiedlichen Vorerfahrungen und Interessen auf spielerische Weise selbsttätig im handelnden Tun vielfältige Erfahrungen im Bauen machen können. Durch eine fehlende Themenvorgabe wird die Phantasie der SchülerInnen angeregt und sie erhalten Raum für kreative Bauideen, wodurch sich zunächst zielloses Spielen in zielgerichtetes Tun verwandeln kann. In dieser Spielphase können die SchülerInnen nicht nur gestalterisch tätig sein, sondern auch technische Verhaltensweisen entwickeln, wie das Probieren, Experimentieren und Konstruieren.¹³ In dieser freien spielerischen Bauphase übernehmen die Kinder selbst die Entscheidung, in welcher Sozialform sie arbeiten möchten, ob in Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit. Um dem natürlichen Bewegungsdrang der Grundschul Kinder entgegenzukommen, kann überall, auch auf dem Fußboden, gebaut werden. Die Lehrperson sollte diese Zeit nutzen, um etwas über die individuellen Vorerfahrungen der Kinder zu erfahren, welche sie in ihre weitere Unterrichtsplanung einbeziehen sollte.

THEMATISCHER EINSTIEG

Die im freien Spiel entstandenen Bauwerke (z. B. Türme, Brücken, Häuser etc.) der Klasse können zunächst im Unterrichtsgespräch funktional unterschieden werden, wobei anschließend das Augenmerk auf das Thema „Häuser“ gerichtet werden sollte. Danach können die SchülerInnen aufgefordert werden, ein Haus zu zeichnen. Je

¹² vgl. Wagner, Reinhold: Formen spielerischen Lernens im Sachunterricht der Grundschule. Ansbach: Prögel 1983. S. 14.

¹³ vgl. Ullrich, Heinz: Zum technischen Handeln des Kindes. Spielendes und problemlösendes Lernen. In: Grundschule 9 (1994). S. 12.

nachdem aus welchem Wohnumfeld die Kinder kommen, werden dabei sicherlich unterschiedliche Haustypen (z. B. Einfamilienhaus, mehrgeschossige Wohnhäuser oder Hochhäuser¹⁴) entstehen. Nachfolgend sollen sie überlegen, aus welchen Bauteilen Häuser bestehen¹⁵. Vermutlich werden die SchülerInnen mehr Begriffe nennen, als in den Lernzielen aufgeführt, wie beispielsweise Balkon oder Schornstein. Sie sollen überlegen, welche Bauteile für ein Haus unbedingt notwendig sind und welche weniger. Die genannten Begriffe sollten auf einem Plakat, eingeteilt in relevante und weniger wichtige Bauteile, festgehalten werden. Anschließend beschriften die Kinder die auf ihren Zeichnungen sichtbaren Bauteile.¹⁶ Danach sollte erörtert werden, aus welchen Materialien die verschiedenen Bauteile hauptsächlich gefertigt sind und welche Bauteile mit Holzbausteinen gut modellhaft nachempfunden werden können. Die Klasse wird vermutlich darauf kommen, dass sich Holzbausteine gut für den Bau von Wänden eignen, da sie im Modell als Ersatz für Mauersteine verwendet werden können.

VERSUCHSPHASE

An dieser Stelle wird empfohlen, den **Basisversuch „3.5 Standsicherheit im Mauerwerksbau“** einzuplanen. In dieser spielerischen Versuchsphase erfahren die SchülerInnen Grundlegendes über verschiedene Kriterien, die für die Standsicherheit im Mauerwerksbau verantwortlich sind. Auch wenn sich der Basisversuch vorrangig mit der Standsicherheit von frei stehenden Mauern beschäftigt, gelten die dort entwickelten Kriterien auch für Wände innerhalb eines Bauegefüges. Die Erkenntnisse über die dort thematisierten Faktoren *Bauausführung*, *Mauerverband*, *Wanddicke* und *Gewicht* können jedoch innerhalb des Themas „Häuser aus Mauerwerk“ noch um das Kriterium *Aussteifung* erweitert werden.

Versuch: Aussteifung

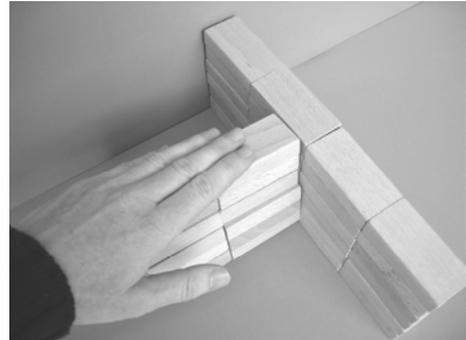
Wie in der Sachanalyse beschrieben, kann die Standsicherheit einer durch horizontale Windlasten beanspruchten Außenwand, welche meist die statische Funktion einer tragenden Wand hat, auch durch aussteifende Wände gewährleistet werden. Dabei ist zu beachten, dass aussteifende Wände rechtwinklig zur ausgesteiften Wand stehen und dass beide unverschieblich miteinander verbunden sind, was beispielsweise durch eine Verzahnung im Mauerverband erfolgen kann.

¹⁴ Hochhäuser sollten innerhalb dieses Themas ausgeklammert werden, da sie nicht aus Mauerwerk in Massivbauweise, sondern vorrangig in Skelettbauweise errichtet werden.

¹⁵ vgl. Lernziele (Es werden nur relevante Bauteile von Häusern benannt.)

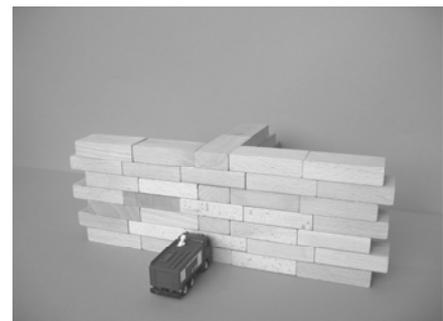
¹⁶ Da vermutlich alle SchülerInnen Ansichten von Häusern gezeichnet haben, können darauf nicht sichtbare Bauteile, wie Decken, nicht auf ihren Zeichnungen benannt werden.

Zunächst müssen die Kinder das Prinzip der unverschieblichen Verbindung von Mauerwerkswänden kennen lernen. Dazu könnte die Lehrperson, beispielsweise im Sitzkreis, der Klasse das Problem eines nicht verzahnten Wandanschlusses veranschaulichen, indem sie die Labilität eines stumpfen Wandanschlusses zweier rechtwinklig zueinander stehenden Wände aus Holzbausteinen¹⁷ vorführt. Dies kann dadurch demonstriert werden, dass die Lehrkraft mit einer Hand die Wand, die stumpf an die andere anschließt, von oben leicht belastet und vorsichtig seitlich hin und her kippt.



Anschließend werden die Kinder aufgefordert, Lösungsvorschläge für einen stabileren Wandanschluss zu machen, was ihnen vermutlich auf Grund ihrer zuvor erworbenen Kenntnisse im Mauerverband¹⁸ auch gelingen dürfte. Die SchülerInnen können dabei ihre Vermutungen mit Hilfe von Holzbausteinen veranschaulichen.

Das Prinzip einer unverschieblichen Verbindung zweier Wände durch Mauerverband bildet die Grundlage für den Aspekt der Aussteifung, der ebenfalls eine wichtige Rolle bezüglich der Standsicherheit von Mauerwerkswänden spielt und im Unterricht durch einen weiteren spielerischen Versuch mit Holzbausteinen nachvollzogen werden kann. Der Versuch ist als Ergänzung zu denen aus Kapitel 3.5 zu betrachten und verläuft daher in ähnlicher Weise: In Einzel- oder Partnerarbeit vergleichen die SchülerInnen eine einfache, frei stehende Wand mit einer anderen Wand, die zusätzlich mit einer oder mehreren aussteifenden Wänden verzahnt ist. Wie im Basisversuch 3.5 werden beide Wände wiederum horizontal durch kräftiges Pusten oder durch Anstoßen von Spielzeugautos belastet. Das Ergebnis zeigt, dass die Aussteifung einer Wand deren Standsicherheit erhöht.



¹⁸ vgl. 3.5 Standsicherheit im Mauerwerksbau

ZIELGERICHTETE SPIELERISCHE BAUPHASE¹⁹

Im Anschluss an die Versuchsphase beginnt eine zielgerichtete spielerische Bauphase, in der die Klasse die Aufgabe gestellt bekommt, ein Haus mit Tür, Fenstern und Flachdach aus Holzbausteinen zu bauen. Da die Kinder in einer späteren Unterrichtsphase eine Ansicht ihres Hauses zeichnen sollen, empfiehlt sich dabei Einzelarbeit²⁰ und das Bauen auf ihren Tischplätzen. Die SchülerInnen bauen selbsttätig und können dabei ihr bisher erworbenes Wissen einbeziehen. Die Lehrperson sollte die Klasse zuvor darauf hinweisen, dass alle Außenwände miteinander verzahnt werden sollten (Mauerverband), da sie sich auch in der Realität in der Regel gegenseitig aussteifen.



Maueröffnungen

Die zielgerichtete spielerische Bauphase gilt nicht nur der Festigung des bisher Gelernten, sondern bietet auch Raum für problemorientiertes Lernen, bei dem sowohl die Problemfindung als auch die Problemlösung durch die Kinder erfolgen. Während die SchülerInnen ihr Haus bauen, werden sie bald auf das Problem der Überbrückung von Maueröffnungen stoßen. Sie sollten genügend Zeit dafür haben, durch handelndes Ausprobieren selbsttätig und entdeckend eigene Lösungsvorschläge zu finden. Eventuell eingeschlagene Umwege und Irrwege fördern dabei im Prozess des problemlösenden Lernens das produktive Denken und die Kreativität.²¹ Die Lehrperson sollte bei Bedarf entsprechende Hilfestellung anbieten. Es ist jedoch auch damit zu rechnen, dass Kinder mit entsprechenden Vorerfahrungen keine Schwierigkeiten mit der Überbrückung von Maueröffnungen haben und auf Anhieb konkrete Lösungsvorschläge realisieren.

Wie in der Sachanalyse beschrieben, werden Maueröffnungen heutzutage mit so genannten Stürzen überbrückt. Im Modell können längere Bausteine die Funktion von Stürzen übernehmen. Darüber hinaus lässt sich mit kürzeren Holzbausteinen auch sehr gut die ältere Überbrückungsmethode durch Kragbogen realisieren. Mit beiden Lösungsmöglichkeiten ist seitens der SchülerInnen zu rechnen.

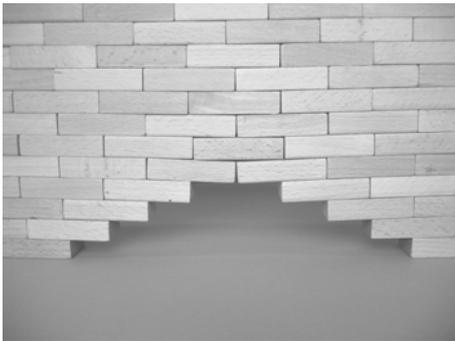
¹⁹ vgl. Wagner, R.: Formen spielerischen Lernens im Sachunterricht der Grundschule. S. 14.

²⁰ Falls nicht genügend Holzbausteine zur Verfügung stehen, kann aber auch in Partnerarbeit gebaut werden.

²¹ vgl. Ullrich, Heinz: Zum technischen Handeln des Kindes. Spielendes und problemlösendes Lernen. In: Grundschule 9 (1994). S. 13.



Überbrückung von Tür- und Fensteröffnungen durch Stürze



Überbrückung einer Maueröffnung durch Kragbogen



Vielleicht kommen auch einige Kinder auf diese Variante

Das Thema Maueröffnungen sollte anschließend in einem gemeinsamen Unterrichtsgespräch thematisiert werden. Dabei kann zusätzliches Bildmaterial der Veranschaulichung dienen, wie Maueröffnungen in der Realität überbrückt werden.

DIFFERENZIERUNG UND AUFGABEN DER LEHRPERSON

Die zielgerichtete spielerische Bauphase ermöglicht auf verschiedene Weisen Binnendifferenzierung, sowohl qualitativer als auch quantitativer Art²²: Die Kinder können beispielsweise unterschiedlich große, eingeschossige oder mehrgeschossige Häuser bauen oder unterschiedlich viele Maueröffnungen in ihr Haus integrieren. Durch die unterschiedlichen Schwierigkeitsgrade des Überbrückens von Maueröffnungen entweder mit Stürzen oder mit Kragbogen wird eine quantitative innere Differenzierung erreicht.

Die Lehrperson kann die Bauphase nutzen, die Kinder zu beobachten und deren Lernprozesse und -ergebnisse festzuhalten, um diese in spätere Leistungsbeurteilungen einfließen zu lassen.

ZEICHNEN

Nach der Bauphase können die Kinder die Aufgabe erhalten, eine Ansicht ihres Modell-Hauses einschließlich aller Holzbausteine auf kariertem Papier²³ zu zeichnen. Dabei sollen die Größenverhältnisse nicht 1:1 übernommen werden, sondern die Zeichnung soll in einem verkleinerten Maßstab²⁴ angefertigt werden. Da zu erwarten ist, dass die meisten SchülerInnen vermutlich Schwierigkeiten bei einer Verkleinerung des Maßstabs haben, sollte die Lehrperson gemeinsam mit der Klasse festlegen, wie viele Kästchen den jeweiligen Maßen der Holzbausteine entsprechen und dies an der Tafel festhalten. Die Kinder sollen demnach versuchen, eine Ansicht ihres Hausmodells zeichnerisch in einem anderen Maßstab abzubilden. Da es dabei auf Genauigkeit ankommt, sollen sie ihre Zeichnungen mit Lineal anfertigen. Um eventuelle Korrekturen vornehmen zu können, empfiehlt sich Bleistift als Zeichenwerkzeug. Bei dieser Tätigkeit lernen sie in elementarer Weise Aspekte des technischen Zeichnens kennen.²⁵

MEDIEN	<ul style="list-style-type: none"> • Plakat
LITERATUR	<p>Die Idee, ein Haus mit Tür, Fenstern und Flachdach aus Holzbausteinen zu bauen, entstammt aus dem Buch von Eckel / Halamiczek.</p> <p>Verwendete Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eckel, Johann / Halamiczek, Herbert: Werkerziehung Grundstufe 1. Bauen – Wohnen, Technik, Produktgestaltung. Wien: Österreichischer Bundesverlag 1981. S. 34-37. • Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. Teil I. 31., neu bearb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. • Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Hans Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 9., überarb. Aufl. Köln: Müller 2002. • Lexikon Sachunterricht. Hg. v. Astrid Kaiser. 3., unveränd. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. • Ullrich, Heinz: Zum technischen Handeln des Kindes. Spielendes und problemlösendes Lernen. In: Grundschule 9 (1994). S. 12/13. • Wagner, Reinhold: Formen spielerischen Lernens im Sachunterricht der Grundschule. Ansbach: Prögel 1983.
ABBILDUNGEN	<ul style="list-style-type: none"> • Abb. 1: Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Hans Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 9., überarb. Aufl. Köln: Müller 2002. S. 213.

²² vgl. Lexikon Sachunterricht. Hg. v. Astrid Kaiser. 3., unveränd. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 92.

²³ Die Linien des karierten Papiers erleichtern den Kindern das Einzeichnen der einzelnen Holzbausteine.

²⁴ Es geht dabei nicht um eine *exakte* Maßstabsverkleinerung, sondern um eine *ungefähre*, da die Maße der Kästchen auf dem karierten Papier nicht einer genauen proportionalen Verkleinerung der Holzbausteine entsprechen.

²⁵ Bezogen auf die Aspekte des technischen Zeichnens: genau zu zeichnen unter Zuhilfenahme entsprechender Werkzeuge (wie Lineal und Bleistift) und unter Einhaltung eines Maßstabs.

6.3 Fachwerkhäuser

SCHWIERIGKEITSGRAD	hoher Anspruch
ZEIT	ca. 20 Stunden, in geblockter Form z. B. als Projekt
MATERIALIEN UND WERKZEUGE	<p>pro Zeichnung</p> <ul style="list-style-type: none"> • DIN-A3-Block • Bleistift • Radiergummi <p>pro Fachwerkhausmodell</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vierkanthölzer, Querschnitt: 1cm * 1cm, Länge: 20 m (Der Verschnitt ist eingerechnet. Es ist zu beachten, dass Vierkanthölzer in unterschiedlichen Längen vertrieben werden, bei einer Länge von 2m pro Leiste werden 10 Leisten pro Modell benötigt) • flüssiger Kleber (Pritt Bastelkleber ohne Lösungsmittel) • Puksägen • Schneidladn oder Schraubstöcke • Schleifpapier • Bleistifte • Geodreiecke • lange Lineale • dicker Karton zum Herstellen von kleinen rechtwinkligen Dreiecken • Scheren • Grundplatte aus dickem, festem Karton oder eine MDF-Platte, Maße: 30 cm * 35 cm

SACHANALYSE

Die Bezeichnung Fachwerk wird einerseits für aufgelöste Tragwerke verwendet, die aus Stäben zusammengesetzt sind, welche nur auf Druck- und Zug beansprucht werden und bei denen äußere Lasten nur in den gelenkigen Knoten, den Verbindungsstellen der Stäbe, angreifen (vgl. Kap. 4.2.1).

Unter einem Fachwerk wird auch die tragende Holzkonstruktion von Gebäuden verstanden, die aus horizontalen, vertikalen und in einzelnen Feldern aus diagonalen Balken besteht. Das letztgenannte Fachwerk findet sich in der Fachliteratur häufig unter dem Begriff Fachwerkgefüge und wird im folgenden Kapitel behandelt, wobei beide Bezeichnungen synonym verwendet werden.¹

Das Grundprinzip des Fachwerks mit einem tragenden Skelett und raumabschließenden, nicht tragenden Ausfachungen wurde bereits in vorgeschichtlicher Zeit entwickelt. Der Ursprung waren einerseits Zelte aus tragenden Stangen mit einer nicht tragenden Haut, andererseits erste Pfostenbauten mit Mittelpfosten, Wandpfosten und nicht tragenden Außenwänden aus Reisig mit oder ohne Lehmwurf, die zwischen die Pfosten gestellt wurden. Bis heute sind die wesentlichen Merkmale des Fachwerk-

¹ vgl. VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. Hg. v. Hans-Gustav Olshausen. Düsseldorf: VDI 1991. S. 183.

gefüges gleich geblieben: Alle statisch wirksamen Kräfte, wie senkrecht abzutragende Lasten, schräg oder horizontal angreifender Druck oder Zug, werden vom Holzskelett mit gelenkigen Knotenpunkten aufgenommen und abgeleitet. Die Ausfachungen, auch Gefache genannt, erfüllen hingegen ausschließlich wand- oder raumabschließende Funktion und müssen wetterfest sowie schall- und wärmedämmend ausgeführt sein. Zudem werden in ihnen Fenster und Türen eingebaut. Bei historischen Fachwerkbauten wurden Materialien wie Eichen- oder Fichtenholz verwendet und ergänzten sich mit einem Holzgeflecht mit Lehmewurf oder Lehmziegeln, die die oben beschriebenen Anforderungen erfüllten, zu einem idealen Bausystem. Anstatt mit Lehmziegeln sind die Gefache auch häufig mit Backsteinen ausgemauert worden. Bis ins 20. Jahrhundert wurden die Hölzer im Fachwerkbau vorwiegend überdimensioniert, was dadurch zu erklären ist, dass die Zimmerleute Fachwerke nach "statischem Gefühl" bauten. Fachwerke, die nach 1900 erstellt wurden, sind baustatisch berechnet und entsprechend der geforderten Sicherheit bemessen.²



Abb.1: Riegelhaus in Waldkirch



Abb.2: Kantorhaus in Herford

Bestandteile eines Fachwerkgefüges:

Fachwerkkonstruktionen liegen in der Regel auf gemauerten Fundamentsockeln oder auf massiven Untergeschossen auf, die das Holz des Fachwerks vor aufsteigender Feuchtigkeit schützen. Ein Schutz vor Schlagregen wird durch konstruktive Maßnahmen erreicht, indem große Dachüberstände gewählt werden.³

Die Schwelle stellt die untere horizontale Begrenzung eines Fachwerkgefüges dar. Schwellen, die über dem Keller oder dem Fundament liegen, nennt man Grundschwellen, ab dem ersten Geschoss werden sie als Saum- oder Sockelschwellen bezeichnet. Schwellen, ebenso wie Rähme, haben im Gegensatz zu Ständern einen rechteckigen Querschnitt.

² vgl. Gerner, Manfred: Fachwerk. Entwicklung, Gefüge, Instandsetzung. 8. Aufl. Stuttgart: DVA 1998. S. 56/57.

³ vgl. Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre Teil 1. 31., neubearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. S. 197.

Die vertikalen Balken eines Fachwerks sind Ständer oder Stiele und stehen im Abstand von 0,60 bis 1,00 m auf den Schwellen. Sie sind meistens als quadratische Querschnitte ausgeführt. In ihnen werden senkrechte Kräfte abgetragen und sie gliedern sich in Eck-, Wand-, Tür-, Fenster-, Doppel- oder Bundstiele. Doppelstiele werden oft über die ganze Höhe eines Gebäudes geführt und bei starken Belastungen verwendet. Bundstiele sind dort angeordnet, wo Zwischenwände an die Außen- oder Mittelwände treffen.

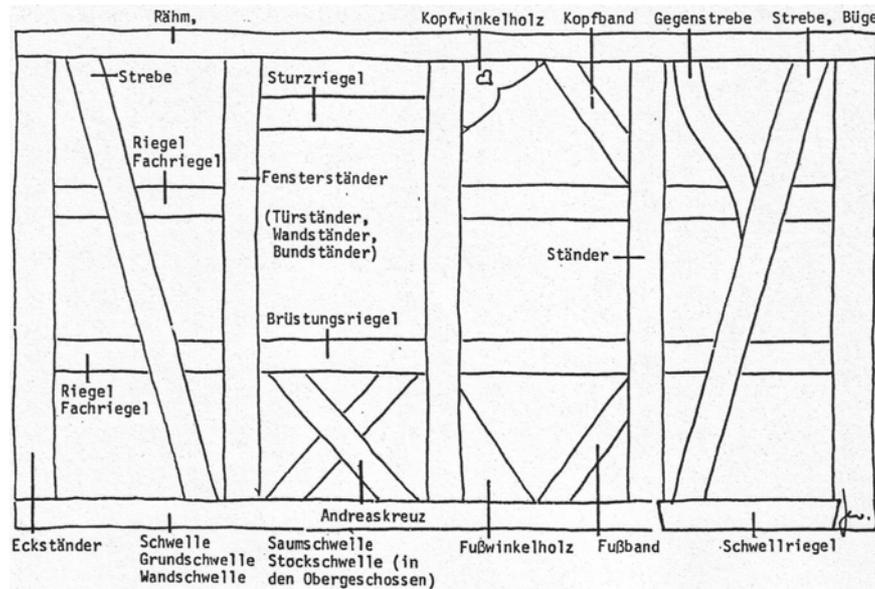


Abb. 3: Aufbau eines Fachwerkgefüges

Durch Streben wird die Wand in Längsrichtung ausgesteift. Wandhohe Streben sind zwischen Schwelle und Rähm angeordnet, konstruktiv besser ist jedoch eine Lage zwischen Schwelle und Stiel, die oft bei dreiviertelwandhohen Streben genutzt wird. Streben sind immer paarweise und im gleichen Winkel geneigt angeordnet, um Kräfte aus beiden Angriffsrichtungen aufnehmen zu können. Eckstreben sind meistens zum Eckständer hin geneigt. Eine besondere Form der Ausstrebung ist das Andreaskreuz, das aus zwei sich kreuzenden Streben besteht, die zwischen Schwelle und Riegel liegen. Horizontalkräfte werden auch durch die schräg angeordneten Hölzer der Kopf- und Fußbänder sowie Kopf- und Fußwinkelhölzer aufgefangen.

Zur Fixierung der Ständer sowie zur Lastverteilung der aufliegenden Deckenlasten dienen im oberen Bereich die Rähmbalken oder Rähme. Die Unterteilung der Gefache in kleinere "Fache" erfolgt mit horizontal angeordneten Riegeln als Fach-, Brüstungs-, Hals-, Fenstersturz oder Türsturzriegel und vermindert die Knicklänge der Stiele. Die

Anzahl der Riegel pro Geschoss ist je nach Region und Entstehungszeit verschieden und kann von keinem Riegel bis zu fünf Riegeln übereinander reichen.⁴

Die Balkenlagen (Deckenbalken) für Fachwerkhäuser können auf zwei Arten angeordnet sein, von denen eine näher beschrieben wird: Der Rähm des Erdgeschosses und die Saumschwelle des 1. Geschosses sind durch eine Balkenlage voneinander getrennt. An zwei gegenüberliegenden Seiten sind die Balkenköpfe der Deckenbalken zu sehen, auf den anderen beiden Seiten (meistens den Giebelseiten) werden Füllhölzer eingesetzt.⁵

Die Anschlüsse der Hölzer in einem Fachwerkhaus werden in zimmermannsmäßigen Verbindungen ausgeführt, in der Regel Zapfen-, Blatt-, und Versatzverbindungen. Zapfen- und Blattverbindungen gehören zu den ältesten und gebräuchlichsten Verbindungen.⁶

Die Tragkonstruktion oder der Dachstuhl eines Fachwerkhausdaches kann als Pfetten- oder Sparrendach ausgeführt sein. Ein Sparrendach ist ein Tragwerk, das aus hintereinander liegenden Sparren besteht. Zwei gegenüber liegende und gegeneinander geneigte Sparren, die sich im First treffen, bilden mit dem Dachbalken ein unverschiebliches Dreieck. Dieses Tragwerk eignet sich für Dächer, die eine Neigung von 30 bis 50° haben.⁷ Beim Pfettendach liegt jeder Sparren auf zwei oder drei Pfetten auf und wirkt als schräger Träger auf zwei oder drei Stützen. Die Fußpfetten sind auf der Decke aufgelagert, Firstpfetten auf Ständern und Querwänden. Bei beiden Tragkonstruktionen wird die Steifigkeit des Daches in Längsrichtung durch Windrispen erreicht, die schräg in der Dachebene verlaufen und den First mit der Traufe verbinden.⁸

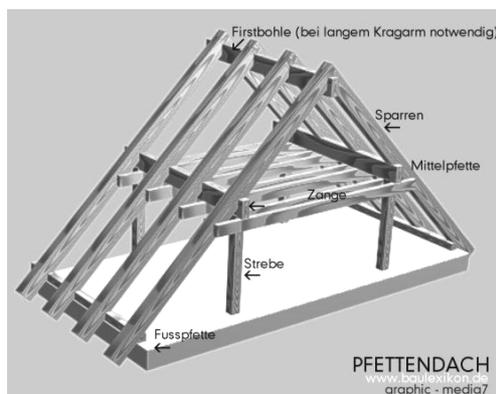


Abb. 4 Pfettendach

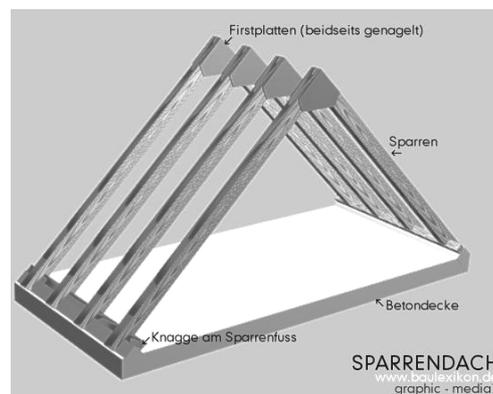


Abb. 5 Sparrendach

⁴ vgl. Gerner, M.: Fachwerk. S. 57.

⁵ vgl. Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre Teil 1. S. 203/204.

⁶ vgl. Gerner, Manfred: Handwerkliche Holzverbindungen der Zimmerer. Stuttgart: DVA 1992. S. 53.

⁷ vgl. VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. Hg. v. Hans-Gustav Olshausen. Düsseldorf: VDI 1991. S.131.

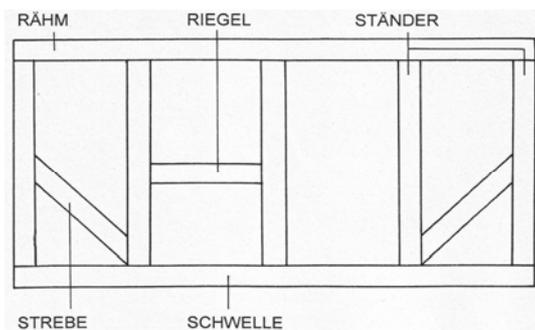
⁸ vgl. Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Willems, Claus-Christian: Grundlagen der Tragwerklehre 2. 4., vollst. überarb. Aufl. Köln: Müller 1997. S. 182.

SACHANALYSE – Fachwerkhausmodell aus Holzvierkanteleisten

Wie bereits ausführlich erläutert, besteht das Grundprinzip eines Fachwerks aus einer tragenden Holzkonstruktion und raumabschließenden, nicht tragenden Ausfachungen. Die tragende Holzkonstruktion eines Fachwerkhausmodells kann mit Holzvierkanteleisten (10 mm * 10 mm)⁹ modellhaft realisiert werden. Holzvierkanteleisten eignen sich besonders als Modellmaterial, da sie sich gut verarbeiten lassen und von ihrer Struktur den Balken eines realen Fachwerkhauses, die meistens in Fichten- oder Eichenholz ausgeführt sind, nahe kommen.



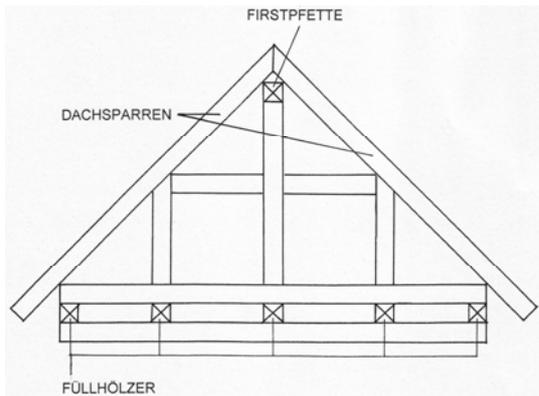
Der linke Modellausschnitt ist aus Holzvierkanteleisten (10 mm * 10 mm), das rechte Modell aus Holzvierkanteleisten (5 mm * 5 mm) erstellt.



Aufbau einer Fachwerkkonstruktion

Als Bestandteile der Konstruktion werden senkrechte Ständer, horizontal verlegte Hölzer wie Schwellen im unteren Bereich und Rähme im oberen Bereich, waagerechte Riegel als Unterteilung der Gefache sowie schräge Streben unterschieden. Die Streben dienen zur Ableitung der horizontal wirkenden Kräfte.

⁹ Von den Verfasserinnen wurde zuerst ein Fachwerkhaus aus Holzvierkanteleisten (5 mm * 5 mm) gebaut. Im Anschluss daran wurde aus Holzvierkanteleisten (10 mm * 10 mm) ein Teilausschnitt eines Fachwerkhauses erstellt. Die Leisten mit größerem Querschnitt ließen sich erheblich besser verarbeiten und sind daher für den Bau mit Grundschulkindern unbedingt zu empfehlen.



Aufbau einer Dachkonstruktion

Als weitere Bestandteile der Konstruktion werden Deckenbalken, Dachsparren, Firstpfetten und Füllhölzer im Modell dargestellt. Diese sollten, obwohl die Kinder viele neue Fachbegriffe auf einmal lernen, trotzdem thematisiert werden. Die Zuweisung der Begriffe zu den einzelnen Teilen des Fachwerkhäuses wird für die Bauphase benötigt, da die verschiedenen Elemente mittels ihrer Bezeichnung einfacher identifiziert werden

können als durch die Beschreibung ihrer Lage.

Die Vierkanthölzer werden am besten mit der Puksäge auf die gewünschte Länge gesägt. Die entsprechende Länge kann mit einem Bleistiftstrich angezeichnet werden und bei den Streben, die am Ende im 45° Winkel abgesägt werden, sollte ein Geodreieck zu Hilfe genommen werden. Das Absägen der Hölzer sollte entweder in einem Schraubstock oder in einer Schneidlade erfolgen. Besonders bei den Streben ist die Schneidlade von Vorteil, um beim Absägen der Schräge eine Führung für die Säge zu haben. Bei den Streben ist zu beachten, dass sie im Fachwerkhaus von der Schwelle zum Ständer oder günstiger Weise von der Schwelle zum Rähm angeordnet sind. Im Modell kann es, durch die geringe Breite der Gefache und der Bemühung, die Streben im 45° Winkel anzuordnen, dazu kommen, dass die Streben zwischen den Ständern liegen. Dabei kommt es im unteren Bereich der Strebe zu einer hohen Beanspruchung, und die Strebe würde bei einem Fachwerkhaus in der Realität nicht in dieser Art ausgeführt werden.



Im Modell kann darauf geachtet werden, dass die Streben immer paarweise angeordnet werden. Neben dem ästhetischen hat das auch einen statischen Hintergrund: Es können Kräfte aus beiden Richtungen aufgenommen werden. Die Hölzer werden auf Stoß bzw. auf Gehrung verbunden und geklebt, da die Ausführung der im

Fachwerk üblichen zimmermannsmäßigen Holzverbindungen für diesen Maßstab nicht geeignet ist.

Die Dachkonstruktion im Modell wird einem Pfettendach nachempfunden, wobei zwei gegeneinander geneigte Dachsparren auf der Firstpfette, die von Ständern getragen werden, aufliegen. Beim realen Fachwerkhaus liegen die Dachsparren an den Seiten zudem auf Fußpfetten auf. Im Fachwerkhausmodell liegen die Dachsparren direkt auf der Schwelle des Dachgeschosses auf.

Die Form des Querschnitts der Holzvierkantstäbe entspricht dem quadratischen Querschnitt der Ständer bei einem Fachwerkhaus, allerdings sind die Holzvierkantstäbe im Modell proportional größer als im Fachwerkhaus, damit sie besser verarbeitet werden können. Der quadratische Querschnitt wurde im Modell ebenfalls für die Schwellen, Rähme und Streben verwendet, obwohl diese im Fachwerkhaus einen rechteckigen Querschnitt haben. Der Abstand der Deckenbalken, wie auch der Sparren wurde im Modell vergrößert, da diese sonst sehr eng liegen würden und schlecht einzufügen wären. Dem Bau von Fachwerkhäusern aus Holzvierkantstäben sollte eine Erkundungsphase von Fachwerkhäusern sowie eine Zeichenphase vorausgehen.

LERNVORAUSSETZUNGEN

- Die SchülerInnen sollten Erfahrungen mit selbstständigen Arbeitsformen wie Projektarbeit sowie mit Gruppenarbeit haben.
- Der sachgemäße Gebrauch von Geodreieck und Lineal und das Anzeichnen von Längen sollten den SchülerInnen vertraut sein.
- Erfahrungen im Umgang mit der Säge sind bei den SchülerInnen und der Lehrperson in dieser Unterrichtseinheit von großem Vorteil.

LERNZIELE

Die SchülerInnen sollen

- in einer Recherchephase erste Merkmale von Fachwerkhäusern kennen lernen und diese in der Klasse präsentieren.
- das Tragsystem eines Fachwerkhäuses von den ausfachenden Teilen, hinsichtlich der Materialien, unterscheiden können.
- theoretisch erarbeitete Merkmale eines Fachwerkhäuses auf ein echtes Fachwerkhaus bei einem Unterrichtsgang übertragen können.

- ein Fachwerkhaus zeichnerisch darstellen und dabei besonderes Augenmerk auf die Anordnung der Balken, die die tragende Struktur des Fachwerkhauses bilden, legen.
- anhand der erstellten Zeichnungen die Balken hinsichtlich ihrer Lage unterscheiden und Fachbegriffe wie "Schwelle", "Rähm", "Riegel", "Strebe" und "Sparren" kennen lernen.
- die Bedeutung der Riegel und Streben in Bezug auf das Tragwerk erkennen können.
- die bereits erworbenen Fachbezeichnungen auf die einzelnen Elemente eines Fachwerkhausmodells übertragen können.
- anhand des Modells weitere typische Teile und deren Lage und Bezeichnung wie "Füllhölzer", "Firstpfette" und "Deckenbalken" kennen lernen.
- das Modell eines Fachwerkhauses mit Holzvierkanteleisten in Gruppenarbeit erstellen:
 - die einzelnen Elemente einer Fassade herstellen und zusammenkleben.
 - sich beim Bau der Fassaden mit den anderen Kindern der Gruppe absprechen.
 - die vier Fassaden zusammenfügen und die Sparren und die Firstpfette arbeitsteilig herstellen und sie auf dem Fachwerkhausmodell ankleben.
- die theoretisch erarbeiteten Unterrichtsinhalte anhand ihrer gebauten Fachwerkhausmodelle wiederholen.

DIDAKTISCH–METHODISCHE ANREGUNGEN

VORINFORMATION

Die Behandlung des Themas Fachwerkhäuser im Unterricht ist besonders von den örtlichen Gegebenheiten abhängig. Um den Kindern eine Realbegegnung zu ermöglichen, sollten in der Umwelt der Kinder Fachwerkhäuser oder ein Freiluftmuseum mit Fachwerkhäusern vorhanden sein. Derartige außerschulische "[...] Lernorte sind Erfahrungsräume außerhalb des Schulgeländes, die Lernprozesse anregen, erweitern und ergänzen können."¹⁰

ABSICHTEN DER UNTERRICHTSEINHEIT

Die Unterrichtseinheit zum Thema Fachwerkhäuser eignet sich, um als Projekt durchgeführt zu werden. Dabei weist hauptsächlich die zeitliche Dimension auf eine

¹⁰ Hellberg-Rohde: Außerschulische Lernorte. In: Basiswissen Sachunterricht. Band 5. Unterrichtsplanung und Methoden. Hg. v. Astrid Kaiser und Detlev Pech. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 145.

Projektform hin. Das Thema "Fachwerkhäuser" hingegen wird von der Lehrperson vorgegeben. Eine Themenfindungsphase der SchülerInnen, wie sonst häufig bei Projekten, entfällt daher.¹¹

Nachdem die Kinder Fachwerkhäuser in ihrem Umfeld aufgesucht und dokumentiert haben, werden die wichtigsten Bestandteile des Tragwerks eines Fachwerkhauses bestimmt. Das Tragsystem eines Fachwerkhauses soll in einer Bauphase als Modell aus Holzvierkantleisten in Gruppenarbeit hergestellt werden und bildet den Schwerpunkt des Projekts.

Das Bauen eines Fachwerkhausmodells sollte als Fertigungsaufgabe (vgl. 2.1) realisiert werden, bei der das zu bauende Fachwerkhaus mittels Zeichnungen einer Giebel- und einer Seitenansicht sowie eines Grundrisses von der Lehrperson vorgegeben wird.¹² Das erscheint den Verfasserinnen bei diesem komplexen Thema angemessen, da maßstäbliche Zeichnungen, die als Grundlage für die Modellbauphase erforderlich sind, für die SchülerInnen schwierig herzustellen sind. Außerdem sind viele bestehende Fachwerkhäuser im städtischen Raum so gebaut, dass nur deren Giebelansicht zu sehen ist und die Seitenansichten somit schlecht zu rekonstruieren wären.

VORERFAHRUNGEN DER LEHRPERSON



Unbedingt erforderlich bei dieser Unterrichtseinheit ist, dass die Lehrperson über gute handwerkliche Fähigkeiten im Umgang mit der Feinsäge bzw. Puksäge verfügt oder sich diese aneignet. Es wäre von Vorteil, wenn die Lehrkraft zudem Maschinen wie die Tischkreissäge bzw. Bandsäge bedienen könnte. Auf jeden Fall sollte ein Fachwerkhaus, das während der

Unterrichtseinheit zugleich als Anschauungsmodell verwendet werden kann, von der Lehrperson vorher gebaut werden. Ideal wäre es, sich mit interessierten LehrerInnen des Kollegiums zusammenzuschließen und ein Modell zu bauen, das in zeitlichem Abstand in mehreren Klassen genutzt werden kann.

¹¹ vgl. Bönsch, Manfred: Projektarbeit im Sachunterricht. In: Basiswissen Sachunterricht. Band 5. Unterrichtsplanung und Methoden. Hg. v. Astrid Kaiser und Detlev Pech. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 202-210.

¹² Alle Kopiervorlagen hierzu befinden sich im Anhang.

BEZUG ZUR LEBENSWELT DER KINDER

Wenn in der näheren Umgebung der Kinder Fachwerkhäuser vorhanden sind, stellen diese vermutlich einen selbstverständlichen Bestandteil der Lebenswelt der Kinder dar, über deren Existenz sie sich wenig Gedanken machen. Durch die Thematisierung von Fachwerkhäusern im Unterricht werden die SchülerInnen ihre gebaute Umwelt genauer betrachten und Fachwerkhäuser von anderen Häusern zu unterscheiden lernen.

UNTERRICHTSEINSTIEG

Eine Woche, bevor mit dem Thema Fachwerkhäuser begonnen wird, sollten die SchülerInnen die Aufgabe bekommen Fotos, Abbildungen oder eigene Skizzen von Fachwerkhäusern mitzubringen. Bei dieser Aufgabenstellung sollte auf jeden Fall geklärt werden, ob alle SchülerInnen wissen, was ein Fachwerkhaus ist, und gegebenenfalls die nötigen Informationen hierzu gegeben werden.

Diese Aufgabe ist zunächst sehr offen gehalten und soll die SchülerInnen motivieren sich auf ihre Weise dem Thema zu nähern und sich damit auseinanderzusetzen, daher sollte diese erste Recherchephase auch in Einzel- oder Partnerarbeit erfolgen. Die SchülerInnen können z. B. Erkundungsgänge in ihrem Wohnumfeld durchführen und dabei Fachwerkhäuser fotografieren oder eigene kleine Skizzen herstellen. Es können aber auch Bücher von Fachwerkhäusern oder Abbildungen aus dem Internet mitgebracht werden.

MERKMALE EINES FACHWERKHAUSES

In einem ersten Unterrichtsgespräch stellen die Kinder ihre mitgebrachten Materialien der Klasse vor. Die Kinder sollten dabei benennen, was ihnen aufgefallen ist und was sie für wichtig halten. Bei dieser ersten Sammlung steht zunächst das gesamte Fachwerkhaus im Mittelpunkt der Betrachtung. Die von den Kindern genannten Merkmale sollten an der Tafel gesammelt und nach bestimmten Kategorien wie z.B. Materialien, Größe, Alter, Erscheinungsbild oder auffällige Details geordnet werden. Die Besonderheiten von Fachwerkhäusern können später auf ein Plakat oder in ein Projektbuch übertragen werden, die während des gesamten Projekts in der Klasse verbleiben und als Übersicht und Informationsquelle dienen sollten und im Laufe der Einheit durch neu hinzukommende Inhalte ergänzt werden können.



Abb. 6 verputztes Fachwerkhaus



Abb. 7 Fachwerkhaus mit gemauerten Gefachen

Bei den herausgefundenen Charakteristika sollte auf jeden Fall herausgearbeitet oder von der Lehrperson ergänzt werden, dass Fachwerkhäuser aus verschiedenen Materialien wie Holz und Stein bzw. einem Stroh-Lehm-Gemisch bestehen. Außerdem sollte die Unterscheidung zwischen dem Tragwerk, das aus Holzbalken besteht, und den Ausfachungen, die aus Stein oder einem Stroh-Lehm-Gemisch bestehen, anhand der mitgebrachten Fotos und Abbildungen veranschaulicht werden. Weiterhin könnte angesprochen werden, dass Fachwerkhäuser alt sind, was mit einer Jahreszahl oder mit Vergleichen beispielsweise "so alt wie eure Urgroßeltern" verdeutlicht werden kann.

UNTERRICHTSGANG¹³

In der folgenden Phase sollte ein gemeinsamer Unterrichtsgang zu einem Fachwerkhäuser in der näheren Umgebung oder ein Ausflug in ein nahe gelegenes Freiluftmuseum organisiert werden. Hierzu sollte genügend Zeit eingeplant werden. Bei dieser Realbegegnung werden die herausgearbeiteten Merkmale an einem bestehenden Fachwerkhäuser veranschaulicht. Dies sollte an einem Fachwerkhäuser erfolgen, das eine möglichst einfache und übersichtliche Aufteilung der Holzbalken und damit der tragenden Struktur aufweist. Dazu sollte die Lehrerin im Voraus ein geeignetes Objekt auswählen. Für die anschließende Zeichenphase ist es zudem wichtig, dass genügend Platz vorhanden ist, dass sich die Kinder beim Zeichnen hinsetzen können, z.B. auf einer Mauer oder mitgebrachten Kissen und Unterlagen.

¹³ vgl. Lexikon Sachunterricht. Hg. v. Astrid Kaiser. 3., unveränd. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 221.

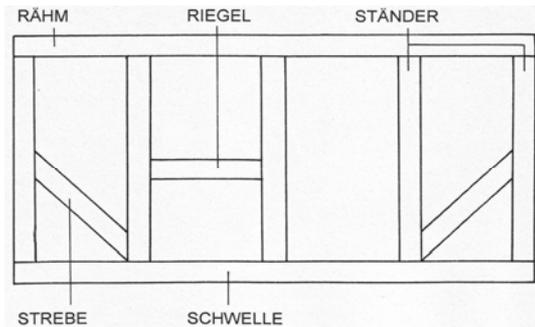
ZEICHENPHASE

Nachdem die Charakteristika eines Fachwerkhäuses an dem gebauten Fachwerkhaus verdeutlicht wurden, sollen die Kinder eine Seite des Fachwerkhäuses auf DIN-A3-Blöcken in Hochformat mit Bleistift abzeichnen. Als erstes sollen sie ihr Blatt so einteilen, dass die gesamte Fassade darauf Platz hat. Bei zwei Stockwerken mit Dachgeschoss wird das hochkant liegende Papier mit zwei waagerechten Bleistiftstrichen in drei etwa gleich große Teile geteilt. Die SchülerInnen sollten beim Abzeichnen des Hauses Stockwerk für Stockwerk vorgehen. Durch diese Strukturierung können die Kinder einen Teil des Hauses genau betrachten und verlieren sich nicht im Ganzen. Eine Möglichkeit, wie die Kinder beim Aufbau ihrer Zeichnung vorgehen, könnte sein, dass sie in jedem Stockwerk mit den waagerechten Balken beginnen, dann werden alle hochkant stehenden und danach die schrägen Balken eingezeichnet. Beim nächsten Stockwerk wird auf die gleiche Weise verfahren. Zum Schluss werden das Dach und die Fenster gezeichnet. Bei den Zeichnungen kommt es nicht auf Detailgenauigkeit an, sondern das Haus sollte in seinen Grundzügen wiedergegeben werden, das heißt durch die Lage der Balken soll die Grundstruktur des tragenden Gerüsts des Fachwerkhäuses dargestellt werden und erkennbar sein. Die Lehrperson unterstützt die SchülerInnen während der Zeichenphase und hilft ihnen besonders bei der Aufteilung des Blattes und der Anordnung der Balken.

TRAGENDE HOLZKONSTRUKTION DES FACHWERKHAUSES

Die Zeichnungen werden im Klassenraum vervollständigt und weiter ausgearbeitet. Die Flächen der Holzbalken sollten mit einem braunen oder dunklen Stift ausgemalt werden, damit die tragende Holzkonstruktion des Fachwerkhäuses gut zu erkennen ist. Nachdem sich die Balken auf den Zeichnungen der Kinder durch die dunkle Farbgebung deutlich hervorheben, sollte noch einmal wiederholt und explizit darauf hingewiesen werden, dass die Holzbalken die tragende Struktur des Fachwerkhäuses bilden.

Im Folgenden sollen die Zeichnungen als Grundlage genommen werden, um an ihr die einzelnen Teile der tragenden Holzkonstruktion zu erarbeiten. Dazu bekommen die SchülerInnen zunächst die Aufgabe, die gezeichneten Balken nach ihrer Lage zu unterscheiden. Es gibt hochkant stehende, waagerechte und schräge Balken. Daraus sollen die jeweiligen Begriffe abgeleitet werden. Alle hochkant stehenden Hölzer werden als Ständer bezeichnet. Bei den waagerechten Hölzern unterscheidet man zwischen langen Hölzern und kurzen Hölzern. Lange horizontale Hölzer sind im



unteren Bereich Schwellen und im oberen Bereich Rähme. Die kurzen waagerechten Hölzer werden als Riegel bezeichnet. Die langen schrägen Hölzer werden Sparren und die kurzen schrägen Hölzer Streben genannt. Die nebenstehende Skizze stellt einen Ausschnitt, des von den Verfasserinnen gebauten Fachwerkhäuses mit zugeordneten Bezeichnungen dar.

Aufbau einer Fachwerkkonstruktion

ERGEBNISSICHERUNG - Unterrichtsgespräch

Die erarbeiteten Begriffe werden von der Lehrperson zur Veranschaulichung in einem Tafelbild, das der Struktur des abgezeichneten Hauses entspricht, beispielhaft zugeordnet. Die SchülerInnen übertragen die erarbeiteten Begriffe zur Ergebnissicherung ebenfalls auf ihre erstellten Zeichnungen und ordnen sie dort einzelnen gezeichneten Balken zu. Zum Abschluss dieser Phase sollte die Bedeutung der Riegel und der Streben angesprochen werden. Die Riegel unterteilen die Gefache, damit diese nicht zu groß werden und das Stroh-Lehm-Gemisch nicht heraus fällt. Die Streben haben die Funktion, das Fachwerkhaus zu stabilisieren.

BAUPHASE

In der nächsten Phase sollten Modelle von Fachwerkhäusern aus Holzvierkanteleisten in Gruppenarbeit gebaut werden. Zur Überleitung in die Bauphase wird den SchülerInnen das Modell, des von der Lehrperson gebauten Fachwerkhäuses gezeigt. Dieses sollte den Kindern während der gesamten Bauphase zur Anschauung und Motivation zur Verfügung stehen. Die SchülerInnen sollen die zuvor erarbeiteten Begriffe aus ihren Zeichnungen auf das Modell übertragen, indem sie die Begriffe den einzelnen Teilen des Fachwerkhausmodells zuordnen.



Einige Teile des Fachwerkhäuses, die bisher nicht durch eine Bezeichnung identifiziert worden sind und die im Modell besser zu erkennen sind als in der Zeichnung, sollten durch die entsprechenden Begriffe "Firstpfette", "Deckenbalken" und "Füllhölzer" ergänzt werden.

Organisation des Modellbaus

Der Modellbau kann unterschiedlich realisiert werden. Vom zeitlichen Ablauf sollte der Bau des Fachwerkhausmodells in drei Schritten organisiert werden. Im ersten Schritt werden die Giebelfassaden und die Seitenfassaden bis zur Unterkante der Dachsparren erstellt. Es kann von je einem Kind eine Fassade gebaut werden, so dass eine Gruppengröße von vier SchülerInnen erforderlich wäre. Diese arbeitsteilige Vorgehensweise hat den Vorteil, dass die Kinder sich auf einen Teil des Fachwerkhauses konzentrieren können und im ersten Schritt für diesen verantwortlich sind. Im zweiten Schritt werden die vier Fassadenteile zusammengefügt und im letzten Schritt werden die Dachsparren und die Firstpfette arbeitsteilig erstellt und auf das Fachwerkhaus aufgesetzt. Der Ablauf und die Herstellung der Fassaden sollte mit den einzelnen Gruppen von der Lehrperson vor der Bauphase besprochen werden und am Fachwerkhausmodell erläutert werden.

Wie bereits erwähnt, sollte der weitere Verlauf der Unterrichtseinheit als Fertigungsaufgabe ausgeführt werden. Dazu erhalten die Gruppen je zwei Giebel- und Seitenansichten sowie einen Grundriss. Jedes Kind hat somit eine Vorlage seiner zu bauenden Fassade, die beim Zusägen zum Abmessen für die Längen der Holzvierkanteleisten verwendet werden kann. Beim Zusammenkleben können die fertigen Leisten auf der Vorlage angeordnet werden. Die Kopiervorlagen der beiden Ansichten und des Grundrisses befinden sich im Anhang dieses Kapitels. In der Giebelansicht wird der gestrichelte Balken bei einer Ansicht gebaut und bei der anderen nicht, die größere Öffnung ohne Querriegel übernimmt somit die Funktion einer Türöffnung.

Alle drei Kopiervorlagen müssen mit dem Kopierer um 200 % vergrößert werden. Die Abmessungen der Holzbalken entsprechen nach Vergrößerung den Holzvierkanteleisten im Modell. Die Giebelansicht des Fachwerkhausmodells sollte dann eine Breite von 23 cm und eine Höhe von 41 cm, die Seitenansicht eine Breite von 28 cm und eine Höhe von ebenfalls 41 cm und der Grundriss eine Länge von 28 cm und eine Breite von 23 cm haben.

Erstellung der Modellbalken

Die Längen der Modellbalken sollten direkt aus der Zeichnung entnommen werden. Dazu werden die Holzvierkanteleisten auf die Zeichnung gelegt und die Länge mit einer kurzen Bleistiftmarkierung gekennzeichnet. Nun wird mit Hilfe des Geodreiecks ein Bleistiftstrich an der Stelle der Markierung senkrecht zur langen Kante der Holzvierkanteleiste gezogen. Bei den Streben und den Sparren wird mit Geodreieck und Bleistift ein 45°-Winkel angezeichnet. Die Leisten werden wie bereits in der Sachanalyse

erwähnt, in der Schneidlade oder in einem Schraubstock abgesägt. Die Schneidlade sollte hierzu am Tisch festgeklemmt werden. Die SchülerInnen sollten darauf achten, dass sie knapp neben dem Bleistiftstrich sägen, da sich sonst die Länge der Leiste um die Sägeblattbreite verkürzt. Die Sägekanten sollten mit Schleifpapier kurz abgeschliffen werden.

Falls die SchülerInnen wenig Erfahrungen mit dem Sägen haben, sollte das Sägen zuvor an einigen Leisten geübt werden. Das Sägen wird vereinfacht, wenn man zuerst eine Kerbe einsägt. Diese fungiert als eine Art "Sägeführung", in der die Leiste durchgesägt werden kann. Beim Sägen sollte nicht zu viel Druck mit der Säge auf die Leiste ausgeübt werden, sondern wichtig ist, dass die Säge gleichmäßig mit leichtem Druck hin- und her geschoben und gezogen wird.

Wenn in der Schule eine Werkstatt mit entsprechenden holzverarbeitenden Maschinen wie einer Tischkreissäge oder einer Bandsäge vorhanden ist, können einige der kurzen Hölzer wie beispielsweise Riegel, Streben und Füllhölzer sowie die Dachsparren mit den Maschinen von der Lehrperson für die Modelle vorbereitet werden. Besonders die Streben und Dachsparren lassen sich für die Kinder aufgrund des 45°-Winkels schwer herstellen.

Zusammenkleben der Modellbalken

Beim Zusammenkleben sollte darauf geachtet werden, dass nicht zuviel Kleber auf die Klebeflächen aufgetragen wird. Überschüssiger Kleber sollte möglichst in weichem Zustand mit einem dünnen Streifen Karton entfernt werden. Das gelingt einfacher, als wenn der Kleber hart ist. Die beiden zusammengeklebten Teile sollten einige Sekunden zusammengedrückt werden.

Außer den Streben und den Sparren stehen alle Elemente der Fachwerkhäusfassaden im 90°-Winkel zueinander. Um beim Zusammenkleben einen rechten Winkel zu erreichen, kann ein Geodreieck oder an Stellen, an denen dieses zu groß ist, ein Dreieck aus dickem Karton in der Form eines Geodreiecks erstellt und verwendet werden.

Herstellung der Giebelfassaden

Die beiden Kinder einer Gruppe, die die zwei Giebelfassaden herstellen, können die Bestandteile dieser Fassade bis zur Unterkante der Dachsparren zusägen und zusammenkleben. Die Firstpfette, die im obersten Bereich des Giebels als Querschnitt zu sehen ist, und die Sparren sollten noch nicht erstellt werden. Beim Zusammen-

kleben werden die einzelnen Elemente auf der Zeichnung angeordnet. Am besten, die Kinder beginnen von unten mit dem Kleben und arbeiten sich Stockwerk für Stockwerk nach oben vor. Es sollte wie bereits erwähnt, darauf geachtet werden, dass die Ständer und Riegel mit den Schwellen und Rähmen einen 90°-Winkel bilden. Die Rechtwinkligkeit kann mit dem Dreieck aus Karton überprüft werden.

Herstellung der Seitenfassaden

Bei der Erstellung der Seitenfassaden sind zwischen den SchülerInnen einige Absprachen notwendig. Die insgesamt 18 Deckenbalken (6 Deckenbalken pro Geschoss mit einer Länge von je 23 cm), von denen in der Seitenansicht lediglich die Querschnittsflächen zu sehen sind, können aufgeteilt werden, so dass jedes Kind 9 Deckenbalken zusägt. Weiterhin ist bei der Erstellung der Seitenfassaden darauf zu achten, dass die äußersten 4 Ständer und 6 Füllhölzer auf beiden Seitenansichten nicht benötigt werden, da diese schon von den SchülerInnen, die die Giebelansicht bauen, angefertigt werden.

Wenn die einzelnen Bestandteile der Seitenfassade bis zur obersten Schwelle erstellt sind, sollten die Elemente des Erdgeschosses und des ersten Stockwerks auf beiden Seiten jeweils zusammengeklebt werden. Das Erdgeschoss wie auch das 1. Stockwerk schließen unten mit einer Schwelle und oben mit einem Rähm ab.

In einem nächsten Schritt können die beiden untersten einzelnen Grundschwellen und die 6 Deckenbalken zusammengeklebt werden. Dazu werden die beiden Grundschwellen zunächst auf dem Grundriss angeordnet. Es wird mit dem Aufkleben der beiden äußeren Deckenbalken begonnen, wobei darauf geachtet werden sollte, dass diese mit den beiden Grundschwellen einen rechten Winkel bilden. Das kann bei den äußeren Deckenbalken mit Hilfe eines liegenden Geodreiecks überprüft werden, bei den anderen Deckenbalken kann das kleinere Dreieck aus Karton zu Hilfe genommen werden.

Als nächstes werden die beiden Erdgeschosse auf beiden Seiten auf die Deckenbalken aufgeklebt. Es ist wichtig, dass diese im rechten Winkel auf den Deckenbalken stehen, was mittels eines stehenden Geodreiecks überprüft werden kann. Es schließt sich eine Lage von sechs Deckenbalken an, die im gleichen Abstand wie die unteren Deckenbalken liegen. An diesen kann sich beim Aufkleben orientiert werden.

Danach werden die beiden ersten Stockwerke auf beiden Seiten auf die Deckenbalken aufgeklebt.

Wiederum schließt sich eine Lage von sechs Deckenbalken an. Hierbei kann sich beim Aufkleben an der Lage der mittleren Deckenbalken orientiert werden.

Als letztes werden die obersten beiden Schwellen des Dachgeschosses, auf denen die Dachsparren aufliegen, aufgeklebt.

Zusammenfügen der Fassadenteile

Nachdem die beiden Giebelfassaden und die beiden Seitenfassaden, die durch die 18 Deckenbalken bereits miteinander verbunden sind, fertig sind, können diese zusammengeklebt werden. Dazu wird eine Giebelfassade flach auf eine Unterlage gelegt und die Seitenfassaden darauf geklebt. Abschließend wird die zweite Giebelfassade auf die noch offene Seite des Fachwerkhausmodells aufgeklebt.

Herstellung des Daches

Das Herstellen und Aufkleben der 12 Dachsparren und der Firstpfette bildet den letzten Arbeitsschritt des Modellbaus und kann arbeitsteilig erfolgen. Wenn die Firstpfette erstellt ist, wird sie auf die beiden mittleren obersten Ständer der Giebelfassaden aufgeklebt. Jeweils zwei Dachsparren sollten zusammengeklebt werden, bevor sie auf das Fachwerkhausmodell aufgeklebt werden. Zur Erreichung eines 90°-Winkels können die beiden Dachsparren im oberen Bereich an ein Geodreieck angelegt werden. Beim Aufkleben der Dachsparrenpaare kann sich an der Lage der Deckenbalken orientiert werden, die im gleichen Abstand wie die Dachsparren liegen.

Das fertige Fachwerkhaus wird auf eine Grundplatte, die aus dickem, festen Karton besteht, oder auf eine MDF-Platte aufgeklebt.

WIEDERHOLUNG THEORETISCHER UNTERRICHTSINHALTE

Als theoretische Wiederholung sollten die erarbeiteten Sachverhalte noch einmal an den Modellfachwerkhäusern der SchülerInnen nachvollzogen werden. Es sollte den Kindern deutlich geworden sein, dass das von ihnen angefertigte Modell dem Tragsystem eines Fachwerkhauses entspricht. Ebenfalls sollten die gelernten Fachbegriffe wiederholt und die Bedeutung der Riegel und Streben betont werden.

ABSCHLUSS

Als Abschluss und Abrundung dieser Unterrichtseinheit, in der die Kinder viel Geduld und Anstrengungsbereitschaft für das Erstellen der Fachwerkhausmodelle aufbringen mussten, könnte (wie bei einem echten Fachwerkhaus auch) ein Richtfest veranstaltet werden. Das kann neben dem Festcharakter dazu genutzt werden, zu thematisieren

welche Handwerker neben dem Zimmermann, der für den Aufbau der tragenden Holzkonstruktion verantwortlich ist, an dem Bau eines Fachwerkhäuses beteiligt sind.

TIPPS UND TRICKS	<ul style="list-style-type: none"> • Die Querschnittsabmessungen von 1 cm * 1cm für die Vierkanteleisten sollten nicht unterschritten werden. Kleinere Abmessungen lassen sich schwerer verarbeiten, da die einzelnen Teile bei einer Maßstabsänderung sehr klein werden und für die SchülerInnen daher schlecht zu greifen sind. • Das Absägen der Vierkanteleisten sollte mit einer Puksäge erfolgen, da diese ein feineres Sägeblatt hat als z.B. eine Feinsäge. • Pritt-Bastelkleber braucht nicht so lange zum Abbinden und klebt besser als herkömmlicher Holzleim.
MEDIEN	<ul style="list-style-type: none"> • Kopiervorlagen (Giebelansicht, Seitenansicht und Grundriss eines Fachwerkhäuses)
LITERATUR	<p>ANREGUNGEN DURCH: In der beschriebenen Unterrichtseinheit sind viele Ideen und Anregungen aus dem Artikel von Claus Claussen entnommen und teilweise modifiziert worden: Projektform, Unterrichtseinstieg, Unterrichtsgang, Zeichnen eines Fachwerkhäuses, Modellbau der Lehrperson, Querschnittsmaße der Holzvierkanteleisten.</p> <p>VERWENDETE LITERATUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bönsch, Manfred: Projektarbeit im Sachunterricht. In: Basiswissen Sachunterricht. Band 5. Unterrichtsplanung und Methoden. Hg. v. Astrid Kaiser und Detlev Pech. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 202-210. • Claussen, Claus: Fachwerkhäuser. Bauen in der Grundschule. In: Grundschulunterricht 2 (2003). S. 23/24, 33-36 + Material Grundschulunterricht 2 (2003). S. 1-8. • Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre Teil 1. 31., neubearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. S. 197-209. • Gerner, Manfred: Fachwerk. Entwicklung, Gefüge, Instandsetzung. 8. Aufl. Stuttgart: DVA 1998. S. 56/57. • Gerner, Manfred: Handwerkliche Holzverbindungen der Zimmerer. Stuttgart: DVA 1992. S. 53/54. • Hellberg-Rohde: Außerschulische Lernorte. In: Basiswissen Sachunterricht. Band 5. Unterrichtsplanung und Methoden. Hg. v. Astrid Kaiser und Detlev Pech. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 145-150. • Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Willems, Claus-Christian: Grundlagen der Tragwerklehre 2. 4., vollst. überarb. Aufl. Köln: Müller 1997. S. 182-192. • Lexikon Sachunterricht. Hg. v. Astrid Kaiser. 3., unveränd. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 221. • VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. Hg. v. Hans-Gustav Olshausen. Düsseldorf: VDI 1991.
ABBILDUNGEN	<ul style="list-style-type: none"> • Abb. 1: http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Waldkirch_Gasthaus_Kreuz.jpg (9.11.05). • Abb. 2: http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Kantorhaus_Herford.jpg (9.11.05). • Abb. 3: Gerner, Manfred: Fachwerk. Entwicklung, Gefüge, Instandsetzung. 8. Aufl. Stuttgart: DVA 1998. S. 56. • Abb. 4: http://www.baulexikon.de/Bautechnik/Begriffe_Bautechnik/d/dachstuhllarten/BAUlexikon_pfettendach_bild.htm (9.11.05). • Abb. 5: http://www.baulexikon.de/Bautechnik/Begriffe_Bautechnik/d/dachstuhllarten/BAUlexikon_sparrendach_bild.htm (9.11.05). • Abb. 6: http://home.arcor.de/margret.kloberdanz/denktope/denktope-Dateien/image005.jpg (9.11.05). • Abb. 7: http://www.gschwieters.de/galerie/030413/Fachwerkhaus-in-Venne.jpg (9.11.05).

7 SCHLUSS

In dem vorliegenden Materialband wurde der Lerngegenstand des statisch-konstruktiven Bauens für die Klassen 1 bis 4 anhand der Themenbereiche Brücken, Türme, Häuser sowie Basisversuche zur Stabilität dargestellt. Das Anliegen der Verfasserinnen ist es, die einzelnen Themen sowohl in fachwissenschaftlich ausführlicher und verständlicher Weise darzustellen als auch den komplexen Sachverhalt des statisch-konstruktiven Bauens auf die Ebene der Grundschule zu transportieren. Das stellt zuweilen eine Gratwanderung dar und wird durch zahlreiche didaktische Reduktionen, die in unterschiedlicher Weise vorgenommen wurden, erreicht. Es ist noch einmal darauf hinzuweisen, dass die fachtheoretischen Grundlagen und die Sachanalysen des jeweiligen Kapitels das fachwissenschaftliche Grundwissen bilden, das sich nach Ansicht der Autorinnen angeeignet werden sollte, um die Themenbereiche zum statisch-konstruktiven Bauen mit Grundschulkindern im Unterricht durchführen zu können. Die didaktisch-methodischen Anregungen zu den einzelnen Themen sollten jedoch nur als **ein** möglicher Zugang betrachtet werden, da die konkrete Umsetzung im Unterricht stark von den Lernvoraussetzungen und Vorerfahrungen der jeweiligen Lerngruppe abhängig ist und gegebenenfalls einer Modifizierung und Anpassung an die Lerngruppe bedarf.

GLOSSAR

Aktionskraft: Kräfteinwirkung eines Körpers; z. B. die Kräfteinwirkung eines Bauwerks auf den Baugrund.

Ankerblock: ist ein massiver Betonklotz, der bei Hängebrücken der Verankerung von Tragkabeln dient (wenn diese nicht im natürlichen Fels möglich ist).

Auflager: dient als Auflagefläche für tragende Bauteile und damit der Lastübertragung.

Äußere Kraft: Kraft, die von außen auf ein Bauteil bzw. Bauwerk angreift, z. B. Windlasten.

Äußeres Moment: wird auch als Drehmoment bezeichnet (s. Drehmoment).

Ausfachung: Füllung von Fachwerkfeldern; z. B. bei Fachwerkhäusern besteht die A. aus Strohlehm oder aus Mauerwerk.

Auskragung: Bauteile, die frei über ein Auflager hinausragen; z. B. Balken, Träger, Erker, Balkone od. ganze Stockwerke.

Aussteifung: das Sichern eines Bauwerks oder Bauteils gegen *Kippen*, *Knicken*, *Beulen* usw. durch eine bestimmte Anordnung von stabilisierenden Elementen, z. B. von *Streben* oder aussteifenden Wänden.

Balken: 1. Ein im Holzbau verwendetes Teil einer Konstruktion. 2. Bezeichnung eines Tragwerkes, das auf Biegung beansprucht wird; auch als Träger bezeichnet.

Bauteil: Einzelne Teile eines Bauwerks wie Wände, Stützen oder Decken.

Bauwerk: Eine bauliche Anlage, die mit dem Erdboden verbunden ist und aus Baustoffen und Bauteilen hergestellt ist. Brücken, Türme und Häuser sind Bauwerke.

Beulen: Werden flächige Bauteile (z. B. Wände) in ihrer Längsrichtung zu stark auf Druck belastet, weichen sie seitlich aus, d. h. sie beulen aus. (Schlanke, stabförmige Bauteile (z. B. Stützen) hingegen *knicken* aus.)

Bewehrung: Stahlstäbe, die in Stahlbeton oder Spannbeton eingelegt werden und Zugspannungen ertragen.

Biegebeanspruchung: s. Biegung

Biegefestigkeit: Spannungen, die zum Bruch eines Materials führen, heißen Festigkeit und geben an, wie viel Biegebeanspruchung ein Werkstoff ertragen kann, bevor er versagt.

Biegemoment: (auch: *inneres Moment*) statische Größe, die bei der Beeinflussung einer Biegebeanspruchung wirkt; Biegemoment $M = \text{Kraft } F \cdot \text{Kraftarm (od. Last, Lastarm) } l$. (s. Moment)

Biegung: Bei einer Biegebeanspruchung treten auf der einen Seite des biegebeanspruchten Bauteils Druckspannungen und auf der gegenüberliegenden Seite Zugspannungen auf. Die Mitte wird neutrale Zone genannt, da hier Druck- und Zugspannungen gleich null sind.

Diagonalverband: s. Dreiecksverband

Drehmoment: (auch: *äußeres Moment*) physikalische Größe, die bei der Beeinflussung einer Drehbewegung wirkt; Drehmoment $M = \text{Kraft (od. Last) } F \cdot \text{Hebelarmlänge } l$. (s. Moment)

Dreiecksverband: (bzw. Diagonalverband); fachwerkartig angeordnete Streben in einzelnen Feldern von Wand und Dach im Skelettbau, die der Lastabtragung von Horizontalkräften (z. B. Windkräften) dienen.

Druckfestigkeit: Spannungen, die zum Bruch eines Materials führen heißen Festigkeit und geben an wie viel Druckspannungen ein Werkstoff ertragen kann bevor er versagt.

Druckkraft: Die Druckkraft bezeichnet eine Kraft, die versucht ein Bauteil bei Belastung zusammenzudrücken. Man spricht auch von Druckspannungen, die dann im Bauteil auftreten.

Duktilität: Das Vermögen eines Werkstoffs, eines Bauteils oder eines Verbindungsmittels, sich unter hoher Beanspruchung zu verformen, ohne zu versagen.

Eigenlasten: Unter Eigenlasten werden Lasten verstanden, die durch das Eigengewicht des tragenden Bauteils hervorgerufen werden (s. Lasten).

Fachwerk: 1. Tragwerk, das aus Stäben zusammengesetzt ist. Die Stäbe bilden Dreiecke und sind in den Knotenpunkten gelenkig verbunden. 2. Tragende Holzkonstruktion von Gebäuden mit vertikalen und horizontalen sowie diagonalen Balken in einigen Gefachen zur Stabilisierung.

Freier Vorbau: Teile eines Bauwerks werden am fertig gestellten Bauwerk frei auskragend angebaut, ohne Verwendung eines Lehrgerüsts. Dieses Verfahren kommt häufig bei Brücken über tiefen Tälern oder Wasserläufen zur Anwendung.

Fundament: Ein Fundament hat die Aufgabe, die Standfestigkeit eines Bauwerks zu gewährleisten. Vom Fundament werden die am Bauwerk auftretenden Lasten aufgenommen und in den Baugrund abgegeben.

Gleichgewicht (statisches): Zustand eines Körpers, bei dem sich die Wirkungen aller angreifenden Kräfte aufheben, sodass weder eine resultierende Kraft noch ein resultierendes Drehmoment entsteht.

Gusseisen: Gusseisen ist eine Eisen-Legierung mit niedrigerem Schmelzpunkt als Stahl und ist leichter zu verarbeiten als dieser. Durch die geringe Stabilität von Gusseisen wurden viele Brücken durch Stahl ersetzt.

Hebelarm: Bezeichnet den senkrechten Abstand der Wirkungslinie einer Kraft und dem Drehpunkt. Das Produkt aus Kraft und Hebelarm bezeichnet das Drehmoment.

Horizontalkraft: ist eine Kraft, die horizontal auf ein Bauwerk od. Bauteil einwirkt; z. B. Windlasten od. Anpralllasten durch Fahrzeuge.

Innere Kraft: entsteht in einem Bauteil, wenn eine *äußere Kraft* darauf einwirkt.

Inneres Moment: wird auch als Biegemoment bezeichnet (vgl. Biegemoment).

Kämpfer: (bzw. Kämpfersteine) sind steinere Widerlager eines Bogens od. Gewölbes, die der Aufnahme von Druckkräften und deren Weiterleitung dienen und den Übergang zum übrigen Mauerwerk herstellen.

Kämpferpunkte sind die Punkte, an denen ein Bogen am Widerlager (Kämpfer) beginnt.

Kinematisch: Ein statisches System, das nicht bestimmt ist, und dadurch beweglich ist.

Kippen: Ein Bauwerk oder Bauteil kippt, wenn das resultierende *Kippmoment* größer ist als das *Standmoment*.

Kippmoment: statische Größe, die bei der Beeinflussung einer horizontalen Krafteinwirkung (z. B. Windlasten) auf ein Bauwerk bzw. Bauteil entsteht.

Knicken: Pfeiler, Stützen oder Streben weichen, wenn sie in ihrer Längsrichtung auf Druck belastet werden, zur Seite aus. Ab einer bestimmten Beanspruchung knicken sie.

Knickfestigkeit: Spannungen, die zum Bruch eines Materials führen heißen Festigkeit und geben an wie viel Druckspannungen ein Werkstoff ertragen kann, bevor er knickt.

Knoten: Verbindungsstellen von Stäben in einem Fachwerk, die gelenkig oder steif ausgeführt sein können.

Konstruktion: Die Bauart eines technischen Erzeugnisses beispielsweise von Bauteilen, Gebäuden oder Maschinen sowie alle Ideen, Überlegungen, Prinzipien, Berechnungen, Konstruktionszeichnungen und Verfahren, welche die Funktion gewährleisten.

Kraft: Wirkt eine Kraft auf einen Körper, dann wird dieser beschleunigt, deformiert oder ändert seine Richtung. Die Einheit der Kraft ist das Newton (N). Auf die Masse (gemessen in kg) eines Körpers übt die Masse der Erde eine Anziehungskraft aus. Die Anziehungskraft der Erde wird als Gewichtskraft bezeichnet. Die Gewichtskraft (G) eines Körpers mit der Masse 1kg beträgt $G = 9,81 \text{ N} \approx 10 \text{ N}$. In dieser Arbeit werden *Aktionskräfte*, *Reaktionskräfte*, *Horizontalkräfte* und *Vertikalkräfte* unterschieden. Differenziert wird auch in *äußere* und *innere Kräfte*.

Lasten: Unter Lasten werden verschiedene Kräfte zusammengefasst, die von außen auf ein Bauwerk einwirken: Eigenlasten (Eigengewicht der tragenden Bauteile), Verkehrslasten (Menschen, Möbel), Wind-, Eis-, Schneelasten, dynamische Belastun-

gen (Fahrzeuge), thermische Beanspruchungen (Temperaturschwankungen), Setzungen.

Lastfall: Auf ein Bauwerk oder Bauteil wirken unterschiedliche *Lasten*, die verschiedene Lastfälle ergeben. Lastfälle sind verschiedene Lasten (z. B. Eigenlast, Verkehrslast, Windlast) bzw. Lastkombinationen. Wenn beispielsweise auf einem Balkon zehn Menschen stehen, herrscht ein anderer Lastfall, als wenn sich dort nur ein Mensch aufhält.

Lehrgerüst: Ein Lehrgerüst ist ein Hilfsgerüst, beispielsweise zur Unterstützung von frisch gemauerten (Bogenbrücke) oder betonierten Tragwerken. Es bleibt so lange stehen, bis das Tragwerk selbst tragend ist.

Lichte Höhe: Maßangabe einer „freien“ Raumhöhe; bezeichnet z. B. bei Wohnräumen die Höhe zwischen Oberkante Fußboden und Unterkante Decke oder bei Brücken die kürzeste Strecke zwischen Oberkante Untergrund und Unterkante Tragwerk.

Lichte Weite: Bezeichnet bei Brücken die kürzeste Strecke zwischen den beiden gegenüberliegenden Widerlagern.

Massivbau: ist eine Bauweise, bei der Wände, Decken, *Stützen* oder *Träger* aus homogenen, schweren Baumaterialien wie Mauerstein oder Beton bestehen, wobei die Wände sowohl eine tragende als auch eine raumabschließende Funktion haben.

Moment: Der Betrag **M** des Moments ist gleich dem Produkt aus dem Betrag **F** der angreifenden Kraft und dem senkrechten Abstand **I** ihrer Wirkungslinie vom Drehpunkt.

Moment **M** = Kraft **F** * Hebelarmlänge **I**.

Es wird zwischen innerem Moment (*auch: Biegemoment*) und äußerem Moment (*auch: Drehmoment*) unterschieden (s. Biegemoment und Drehmoment).

Pfeiler: Der Begriff Pfeiler wird hauptsächlich im Mauerwerksbau und Brückenbau verwendet für senkrechte Tragwerksteile, die durch Druckkräfte beansprucht werden; auch als Stütze bezeichnet.

Profil: Profile werden hauptsächlich im Stahlbau verwendet. Die Bezeichnungen der verschiedenen Profile wie I-, L-, U- und T-Profilstähle sowie Rohre mit kreisförmigen, quadratischen und rechteckigen

Querschnitten ergeben sich aus der Form der Querschnitte.

Querschnitt: Ein gedachter Schnitt durch einen Werkstoff quer zu seiner Längsrichtung.

Reaktionskraft: entgegengesetzte Kräfteinwirkung zur *Aktionskraft* eines Körpers; z. B. wenn der Baugrund eine gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete Kraft zur Kräfteinwirkung eines Bauwerks entwickelt. „Aktion = Reaktion“ gilt als eine grundlegende Voraussetzung für die Standsicherheit von Bauwerken.

Resultierende Kraft: = *Reaktionskraft* (s. Reaktionskraft)

Schwerpunkt: Der Schwerpunkt ist derjenige Punkt, in dem ein Körper, würde man ihn in diesem Punkt aufhängen, im mechanischen Gleichgewicht bleibt. Alle Drehmomente heben sich dann auf.

Seillinie: Wird ein Seil belastet, nimmt es die zum Abtragen dieser Last günstigste Form, die so genannte S., an. Unterschiedliche Lasten führen dabei zu unterschiedlichen S. (Detailliertere Informationen s. Kapitel 4.4.)

Skelettbau: (auch: Gerippebau); Bauweise mit einer skelettartigen Tragkonstruktion, deren Konstruktionselemente *Stützen* und *Träger (Stäbe)* sind, die über gelenkige od. steife *Knoten* verbunden sind und zusätzlich gegen Horizontalkräfte ausgesteift werden müssen. Das Tragwerkssystem von Skelettbauten wird auch als Stabtragwerk bezeichnet.

Spannbeton: Verbundbaustoff aus Stahl und Beton. Im Gegensatz zum Stahlbeton werden im Spannbeton ein Teil der Bewehrung, die Spannstähe vorgedehnt. Dadurch wird die Konstruktion vorgespannt und ein Eigenspannungszustand erzeugt, der äußeren Belastungen entgegenwirkt und den Spannbeton stabiler macht.

Spannweite: Auch *Stützweite* genannt, bezeichnet die Strecke zwischen den Auflagerpunkten.

Stab: Stäbe sind Teile eines Tragwerks, sind längs zu ihrer Achse belastet und werden nur auf Zug oder Druck beansprucht, jedoch nicht auf Biegung.

Stahl: Stahl ist eine Veredelung des Roheisens in Form von Legierungen. Er muss

mit einem Anstrich vor Korrosion (Rosten) geschützt werden. Nachteilig ist sein Verhalten im Brandfall.

Stahlbeton¹: Verbundbaustoff aus Beton und Stahl. Der Beton umschließt den Stahl und schützt ihn somit vor Korrosion. Beton besitzt eine hohe Druckfestigkeit, Stahl verfügt über eine hohe Zugfestigkeit.

Standmoment: statische Größe, die vom Gewicht und der Breite eines Bauteils bzw. Bauwerks abhängig ist. Ist das St. kleiner als das resultierende *Kippmoment*, kann ein Bauteil bzw. Bauwerk infolge einer horizontalen Krafteinwirkung (z. B. Windlasten) *kippen*.

Statik: Teilgebiet der Mechanik, das sich mit dem Gleichgewicht von Kräften an Körpern beschäftigt. Nach den Gleichgewichtsbedingungen der Statik müssen alle Kräfte, die an einem ruhenden Körper wirken, in der Summe Null sein. Die Anwendung der Statik im Bauingenieurwesen nennt sich Baustatik, die Lehre der Modellbildung zur Berechnung des Tragverhaltens von Tragwerken im Bauwesen. Dazu gehören die Berechnung der Auflagergrößen, Schnittgrößen und Verschiebungen infolge von Lasten, die auf das Tragsystem wirken. Auf der Grundlage der Baustatik werden Tragwerke dimensioniert.

Statisch bestimmt: Ein System ist statisch bestimmt, wenn alle Teile des Systems eine statische Funktion übernehmen und kein Teil entfernt werden kann. Man unterscheidet zwischen äußerer und innerer statischer Bestimmtheit. Die äußere statische Bestimmtheit bezieht sich darauf wie das gesamte System gelagert ist. Die innere statische Bestimmtheit betrifft die inneren Teile des statischen Systems.

Statisch unbestimmt: Bei diesem statischen System übernehmen einige Teile keine Funktion und sind überflüssig. Es können so viele entfernt werden, bis das System statisch bestimmt ist. Man unterscheidet zwischen äußerer und innerer statischer Unbestimmtheit, siehe *statisch bestimmt*.

Strebe: schräger *Stab*, z. B. aus Holz od. Stahl, der zur *Aussteifung* dient und Horizontalkräfte aufnimmt.

Stütze: meist vertikales *Bauteil*, das der Lastabtragung anderer Bauteile (z. B. *Träger*) dient und dabei auf Druck beansprucht wird.

Stützlinie: aus statischer Sicht betrachtet man den Bogen als die Umkehrung des Seils und entsprechend ist die so genannte St. die Umkehrung der *Seillinie* unter der gleichen Last. Die St. entspricht der idealen Form eines Bogens und hängt von den senkrecht auf den Bogen wirkenden Lasten ab. Die Bogen- bzw. Gewölbedicke sollte möglichst so dimensioniert sein, dass die Stützlinien aller denkbaren Lastfälle darin verlaufen. (Detailliertere Informationen s. Kapitel 4.3.2.)

Stützweite: Auch *Spannweite* genannt, bezeichnet die Entfernung zwischen den Auflagerpunkten.

Taktschiebverfahren:

Herstellungsverfahren bei langen Brücken, bei denen der Bau in Abschnitten (15 - 30 m) hinter dem Widerlager an einer fest installierten Fertigungsstelle erfolgt. Nach jedem fertigen Brückenabschnitt wird die wachsende Brücke zum anderen Widerlager hin verschoben.

Torsionssteifigkeit: Torsion entsteht wenn ein Bauteilquerschnitt auf Drehung beansprucht wird. Spannungen, die zum Bruch eines Materials führen heißen Festigkeit und geben an wie viel Beanspruchung ein Werkstoff ertragen kann bevor er versagt.

Träger: meist horizontal verlegtes *Bauteil*, das vertikale Lasten horizontal an andere Bauteile (z. B. *Stützen*) weiterleitet und dabei vorwiegend auf Biegung beansprucht wird, weshalb er aus druck- und zugfesten Materialien (z. B. Holz, Stahl, Stahlbeton) besteht.

Trägheitsmoment: physikalische Größe, die die Trägheit eines Körpers bei Rotationsbewegungen beschreibt.

Trägheitsradius: ähnelt dem Trägheitsmoment. Lässt sich zu der Knicklänge einer Stütze in Beziehung setzen.

Tragende Konstruktion: Tragende Konstruktionen haben innerhalb eines Bauwerks die Aufgabe, *Lasten* aufzunehmen, zu tragen und in den Baugrund abzuleiten.

¹ Der Stahlbeton wurde von dem französischen Gärtner Joseph Monier 1867 entdeckt, der damit seine Blumenkübel stabiler machte und sich diese Methode patentieren ließ.

Tragfähigkeit: Die maximale Belastung, die eine Konstruktion aufnehmen kann. Die Bemessung von Querschnitten erfolgt im Bauwesen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit.

Tragwerk: Ein Tragwerk umfasst die maßgeblich für die Standsicherheit eines *Bauwerks* erforderlichen Tragglieder, die besondere geometrische Eigenschaften aufweisen, beispielsweise *Stäbe*, *Scheiben* oder *Fachwerk*.

Verkehrslasten: Unter Verkehrslasten werden Lasten verstanden, die nicht ständig wirksam sind und durch veränderliche oder bewegliche Belastung eines Bauteils, z. B. durch Menschen, Möbel, Lagerstoffe, Maschinen, Kran-, Straßen- oder Eisenbahnfahrzeuge hervorgerufen werden (s. auch Lasten).

Versagen: in der Bautechnik ein zeitweiliges oder endgültiges Aufhören eines Systems oder Bestandteils eines Systems, aufgrund einer äußeren Krafteinwirkung, entsprechend seiner festgelegten oder vorausgerechneten Arbeitsweise zu funktionieren.

Vertikalkraft: ist eine Kraft, die vertikal auf ein Bauwerk od. Bauteil einwirkt; z. B. Eigenlasten, Verkehrslasten, Schneelasten usw.

Widerlager: massiver Baukörper (z. B. aus Mauerwerk od. Beton); ist bei Bogenkonstruktionen (z. B. Bogenbrücken) zur Aufnahme des Horizontalschubs erforderlich; dient bei anderen Brückenkonstruktionen zur Lastabtragung des Überbaus und Ableitung dieser Kräfte an den Baugrund.

Windrispe: Dient zur Längsaussteifung des Dachtragwerks und der Ableitung der Windkräfte auf den Unterbau.

Wirkungslinie: Eine Gerade, die durch den Angriffspunkt einer Kraft und in deren Richtung verläuft.

Zugfestigkeit: Spannungen, die zum Bruch eines Materials führen heißen Festigkeit und geben an wie viel Zugspannungen ein Werkstoff ertragen kann bevor er versagt.

Zugkraft: Die Zugkraft ist eine Kraft, die versucht ein Bauteil bei Belastung auseinander zu ziehen. Man spricht auch von Zugspannungen, die dann im Bauteil auftreten.

Zugspannung: ist die Spannung, die in zugbeanspruchten Bauteilen entsteht. Die zulässige Zugspannung von Bauteilmaterialien darf nicht überschritten werden, da sonst das Material versagt.

LITERATUR	<p>FOLGENDE LITERATUR DIENTE ALS GRUNDLAGE FÜR DIE ERSTELLUNG DES GLOSSARS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baulexikon. Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Hg. v. Rüdiger Wormuth / Klaus-Jürgen Schneider. Berlin: Bauwerk 2000. • dtv-Atlas Physik. Band 1. Mechanik, Akustik, Thermodynamik, Optik. Hg. v. Hans Breuer. 6., aktual. Aufl. München: dtv 2000. • Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. Teil I. 31., neu bearb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997. • Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 7.,vollst. überarb. Aufl. Köln: Müller 1996. • Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Hans Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 9., überarb. Aufl. Köln: Müller 2002. • Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Willems, Claus-Christian: Grundlagen der Tragwerklehre 2. 4., vollst. überarb. Aufl. Köln: Müller 1997. • Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Willems, Claus-Christian: Grundlagen der Tragwerklehre 2. 6., überarb. Aufl. Köln: Müller 2004. • Nestle, Hans: Bautechnik. Fachkunde Bau. 3. Aufl. Wuppertal: Europa-Lehrmittel 1983. • Schüler Duden. Die Physik. Hg. u. bearb. v. Meyers Lexikonredaktion in Zusammenarb. mit Klaus Bethge. 3., überarb. u. erg. Aufl. Mannheim / Leipzig / Wien / Zürich: Dudenverlag 1995. • Schulze, Walter / Lange, Joachim / Wanner, Artur: Kleine Baustatik. Einführung in die Grundlagen der Statik und die Berechnung der Bauteile für den Baupraktiker. 12., überarb. Aufl. Stuttgart / Leipzig / Wiesbaden: Teubner 2002. • VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. Hg. v. Hans-Gustav Olshausen und VDI-Gesellschaft Bautechnik. Düsseldorf: VDI 1991. • VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. Hg. v. Hans-Gustav Olshausen und VDI-Gesellschaft Bautechnik. 2., überarb. und erw. Aufl. Berlin / Heidelberg: Springer 1997.
------------------	---

LITERATURVERZEICHNIS

Abel, Chris: Sky High. Vertical Architecture. London: Thames & Hudson 2003.

Baulexikon. Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens mit vielen Abbildungen. Hg. v. Rüdiger Wormuth / Klaus-Jürgen Schneider. Berlin: Bauwerk 2000.

Beck, Gertrud / Claussen, Claus: Experimentieren im Sachunterricht. In: Die Grundschulzeitschrift 139 (2000). S. 10/11.

Bewert, Fritz / Pester, Heinz: Lehr- und Übungsbuch Mathematik Band II. Leipzig: Deutsch / Thun 1985.

Biester, Wolfgang: Denken über Natur und Technik. In: Denken über Natur und Technik. Zum Sachunterricht in der Grundschule. Hg. v. Wolfgang Biester. Bad Heilbrunn / Obb.: Klinkhardt 1991. S. 24-67.

Bönsch, Manfred: Projektarbeit im Sachunterricht. In: Basiswissen Sachunterricht. Band 5. Unterrichtsplanung und Methoden. Hg. v. Astrid Kaiser und Detlev Pech. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 202-210.

Brockhaus - Die Enzyklopädie: in 24 Bänden. Band 4. Bron-Crn. 20., überarb. u. aktualisierte Aufl. Leipzig / Mannheim: Brockhaus 1996.

Brockhaus – Die Enzyklopädie: in 24 Bänden. Band 22. Them-Valk. 20., überarb. u. aktualisierte Aufl. Leipzig / Mannheim: Brockhaus 1999.

Bruner, Jerome S.: Über kognitive Entwicklung. In: Studien zur kognitiven Entwicklung. Eine kooperative Untersuchung am „Center for Cognitive Studies“ der Harvard-Universität. Hg. v. Jerome S. Bruner, Rose R. Olver u. Patricia M. Greenfield. Stuttgart: Klett 1971. S. 21-53.

Chudoba, Charlotte / Kleszak, Brigitte / Meier, Bernd / Mette, Dieter / Zeißler, Fritz-Peter: Wir bauen Modelle. Berlin: Volk und Wissen 1993.

Claussen, Claus: Fachwerkhäuser. Bauen in der Grundschule. In: Grundschulunterricht 2 (2003). S. 23/24, 33-36 + Material Grundschulunterricht 2 (2003). S. 1-8.

dtv-Atlas Physik. Band 1. Mechanik, Akustik, Thermodynamik, Optik. Hg. v. Hans Breuer. 6., aktual. Aufl. München: dtv 2000.

dtv-Brockhaus-Lexikon: in 20 Bänden. Band 3. Bor-Cub. München: dtv 1988.

dtv-Brockhaus-Lexikon: in 20 Bänden. Band 11. Len-Mec. München: dtv 1988.

dtv-Brockhaus-Lexikon: in 20 Bänden. Band 19. Tus-Wek. München: dtv 1988.

Eckel, Johann / Halamiczek, Herbert: Werkerziehung Grundstufe 1. Bauen – Wohnen, Technik, Produktgestaltung. Wien: Österreichischer Bundesverlag 1981.

Eckel, Johann / Halamiczek, Herbert: Werkerziehung Grundstufe 2. Wien: Österreichischer Bundesverlag 1983.

Frick / Knöll / Neumann / Weinbrenner: Baukonstruktionslehre. Teil I. 31., neu bearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997.

Gerner, Manfred: Fachwerk. Entwicklung, Gefüge, Instandsetzung. 8. Aufl. Stuttgart: DVA 1998.

Gerner, Manfred: Handwerkliche Holzverbindungen der Zimmerer. Stuttgart: DVA. 1992.

Graf, Bernhard: Brücken, die die Welt verbinden. München / Berlin / London / New York: Prestel 2002.

Heinle, Erwin / Leonhardt, Fritz: Türme aller Zeiten – aller Kulturen. 3. Aufl. Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt 1997.

Hellberg-Rohde: Außerschulische Lernorte. In: Basiswissen Sachunterricht. Band 5. Unterrichtsplanung und Methoden. Hg. v. Astrid Kaiser und Detlev Pech. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 145-150.

Kaiser, Astrid: Zeichnen und Malen als produktive Zugänge zur Sache. In: Basiswissen Sachunterricht. Band 5. Unterrichtsplanung und Methoden. Hg. v. Astrid Kaiser und Detlev Pech. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 96-101.

Kälberer, Günter / Hüttenmeister, Hilleke: Bauen, Konstruieren, Montieren. Leipzig: Klett 2002.

Kälberer, Günther: Elementares Bauen. Arbeitsanregungen für naive, konstruktive u. funktionale Bauaufgaben. Ravensburg: Maier 1980.

Klemp, Klaus / Seidel, Peter: Oben. Frankfurt am Main. Türme der Stadt. Tübingen: Wasmuth 1999.

Köthe, Rainer: Brücken. Nürnberg: Tessloff 1991. (= WAS IST WAS) Bd. 91).

Köthe, Rainer: Türme und Wolkenkratzer. Nürnberg: Tessloff 2003 (= WAS IST WAS Bd. 87).

Krätzig, W. B. / Wittek, U.: Tragwerke 1.Theorie und Berechnungsmethoden statisch bestimmter Stabtragwerke. 3. Aufl. Berlin u.a.: Springer 1995.

Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 7.,vollst. überarb. Aufl. Köln: Müller 1996.

Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Hans Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. 9., überarb. Aufl. Köln: Müller 2002.

Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Willems, Claus-Christian: Grundlagen der Tragwerklehre 2. 4., vollst. überarb. Aufl. Köln: Müller 1997.

Krauss, Franz / Führer, Wilfried / Willems, Claus-Christian: Grundlagen der Tragwerklehre 2. 6., überarb. Aufl. Köln: Müller 2004.

Leonhardt, Fritz: Brücken. Ästhetik und Gestaltung. 4. Aufl. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt 1994.

Lexikon Sachunterricht. Hg. v. Astrid Kaiser. 3., unveränd. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004.

Lindemann, Klaus: Bauklötze im Technikunterricht der ersten Schuljahre. In: Lernbereich Technik. Hg. v. Carl Schietzel. Braunschweig: Westermann 1976. S. 35-54.

Mämpel, Uwe: Bautechnik und Architektur in Unterrichtsbeispielen. Weinheim / Basel: Beltz 1975 (= Lehrerhandbuch für den Technischen Werkunterricht. Band 2).

Mann, Walther: Vorlesungen über Statik und Festigkeitslehre. Einführung in die Tragwerkslehre. 2., überarb. Aufl. Stuttgart: Teubner 1997.

Meschenmoser, Helmut: Leichte Einspanner kosten drei Pfennig. Mit der Oberbaumbrücke Geschichte entdecken. In: Unterricht – ARBEIT + TECHNIK 26 (2005). S. 20-22.

Michalski, Ute / Michalski, Tilman: Werkbuch Papier. Ravensburg: Ravensburger 2001.

Nestle, Hans: Bautechnik. Fachkunde Bau. 3. Aufl. Wuppertal: Europa-Lehrmittel 1983.

Perspektivrahmen Sachunterricht. Hg. v. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU). Bad Heilbrunn: Klinkhardt 2002.

Pospischil, Wolfgang / Ziebell, Horst: Lehrerband mit Kopiervorlagen. Werken Klassen 1 bis 4. Berlin: Volk und Wissen 1998.

Probst, Holger: Konstruieren und Gestalten mit Papier aus Röhren. Ein Unterrichtsbeispiel zur Verbindung von Ästhetik und Funktionalität. In: Schulmagazin 5 bis 10 1 (2002). S. 45-48.

Probst, Holger: Was hält meine Brücke aus? Konstruieren und Problemlösen mit Papierbrücken. In: Unterricht – ARBEIT + TECHNIK 26 (2005). S. 5–8.

Rahmenplan Grundschule. Hg. v. Hessisches Kultusministerium. Wiesbaden: Diesterweg 1995.

Schietzel, Carl / Raabe, Hermann / Vollmers, Christian: Erste Schritte in die Welt der Technik. Werk- und Lernbeispiele für Vier- bis Siebenjährige. Ravensburg: Maier 1976.

Schmayl, Winfried / Wilkening, Fritz: Technikunterricht. 2., überarb. u. erw. Aufl. Bad Heilbrunn: Klinkhardt 1995.

Schmitt, Heinrich / Heene, Andreas: Hochbaukonstruktion. Die Bauteile und das Baugefüge. Grundlagen des heutigen Bauens. 15., vollst. überarb. Aufl. Braunschweig / Wiesbaden: Vieweg 2001.

Schoeler, Udo: Bauen – Aspekte eines lernfeldübergreifenden Themas. In: Sachunterricht in der Grundschule. Hg. v. Richard Meier / Henning Unglaube / Gabriele Faust-Siehl. Frankfurt a. M.: Grundschulverband, Arbeitskreis Grundschule 1997. S. 237-268.

Schrader, Mila / Voigt, Julia: Bauhistorisches Lexikon. Baustoffe, Bauweisen, Architekturdetails. Suderburg-Hösseringen: Anderweit. 2003.

Schüler Duden. Die Physik. Hg. u. bearb. v. Meyers Lexikonredaktion in Zusammenarb. mit Klaus Bethge. 3., überarb. u. erg. Aufl. Mannheim / Leipzig / Wien / Zürich: Dudenverlag 1995.

Schulze, Walter / Lange, Joachim / Wanner, Artur: Kleine Baustatik. Einführung in die Grundlagen der Statik und die Berechnung der Bauteile für den Baupraktiker. 12., überarb. Aufl. Stuttgart / Leipzig / Wiesbaden: Teubner 2002.

Seidlein, Peter C. v. / Schulz, Christina: Skelettbau. Konzepte für eine strukturelle Architektur. Projekte 1981-1996. München: Callwey 2001.

Ullrich, Heinz / Klante, Dieter: Technik im Unterricht der Grundschule. Didaktische Grundlegung, Unterrichtsmodelle, Unterrichtsmaterialien. 6., unveränd. Aufl. Villingen-Schwenningen: Neckar 1994.

Ullrich, Heinz: Zum technischen Handeln des Kindes. Spielendes und problem-lösendes Lernen. In: Grundschule 9 (1994). S. 12/13.

VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. Hg. v. Hans-Gustav Olshausen und VDI-Gesellschaft Bautechnik. Düsseldorf: VDI 1991.

VDI-Lexikon Bauingenieurwesen. Hg. v. Hans-Gustav Olshausen und VDI-Gesellschaft Bautechnik. 2., überarb. und erw. Aufl. Berlin / Heidelberg: Springer 1997.

Wagner, Reinhold: Formen spielerischen Lernens im Sachunterricht der Grundschule. Ansbach: Prögel 1983.

Wesseling, Aloys: Die alte Brücke von Mostar. Tore und Brückenbogen konstruieren und untersuchen. In: Sache Wort Zahl 33 (2005). S. 29-42.

Wodzinski, Rita: Experimentieren im Sachunterricht. In: Basiswissen Sachunterricht. Band 5. Unterrichtsplanung und Methoden. Hg. v. Astrid Kaiser u. Detlef Pech. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren 2004. S. 124-129.

Brockhaus CD-ROM. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2003. Brücken: Die verschiedenen Konstruktionsformen.

Brockhaus CD-ROM. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2003. Dach.

Brockhaus CD-ROM. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2003. Decke.

Brockhaus CD-ROM. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2003. Fenster.

Brockhaus CD-ROM. Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2003. Wohnhaus.

- http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/ausleger/ausleger.html (28.10.05).
- http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/bogen/bogen.html (28.10.05).
- http://www.bernd-nebel.de/bruecken/6_technik/haenge/haenge.html (28.10.05).
- <http://www.karl-gotsch.de/Lexikon/Haengebr.htm> (28.10.05).
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Bauingenieur> (28.10.05).
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Baustatik> (28.10.05).
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Bauwerk> (6.11.05).
- http://de.wikipedia.org/wiki/Bogen_%28Architektur%29 (28.10.05).
- http://de.wikipedia.org/wiki/Br%C3%BCcke_%28Bauwerk%29 (8.11.05).
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Haus> (6.11.05).
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Konstruktion> (28.10.05).
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Kraggew%C3%B6lbe> (28.10.05).
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Mauer> (28.10.05)
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Schr%C3%A4gseilbr%C3%BCcke> (28.10.05).
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Wand> (6.11.05).

KOPIERVORLAGE

Murmelturm – ARBEITSBLATT

Bau eines Murmelturms

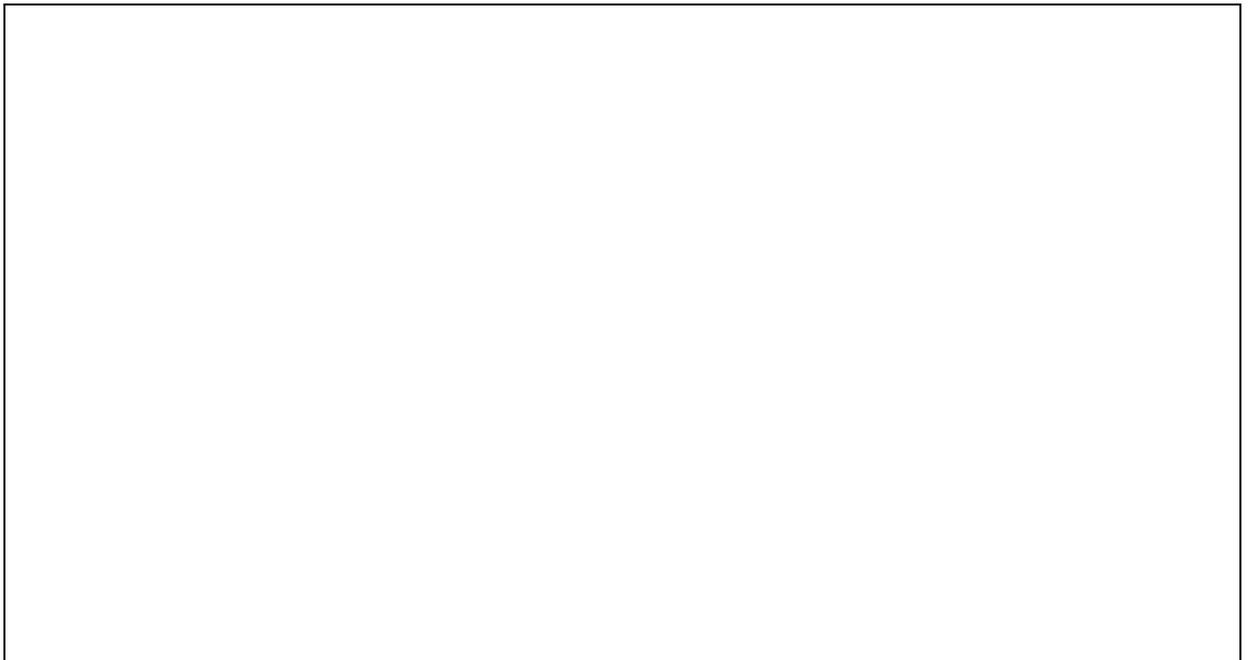
Name: _____

1. Wie nennt man die Bauweise für den Murmelturm?

2. Wo findest du diese Bauweise in deiner Umwelt wieder?

3. Nenne die einzelnen Elemente dieser Bauweise:

Fertige dafür eine Zeichnung an und beschrifte sie?



4. Beschreibe die Aufgaben der einzelnen Elemente.

5. Welche Profile werden beim Bau des Murmelturms verwendet?

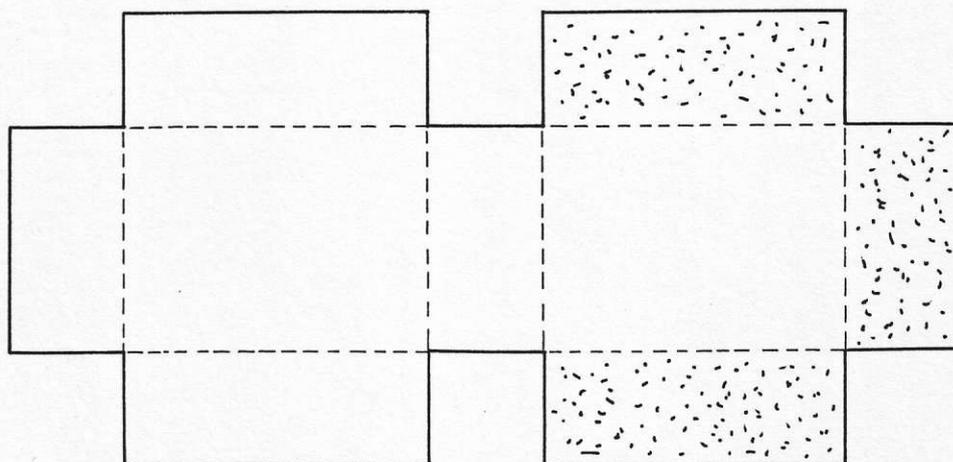
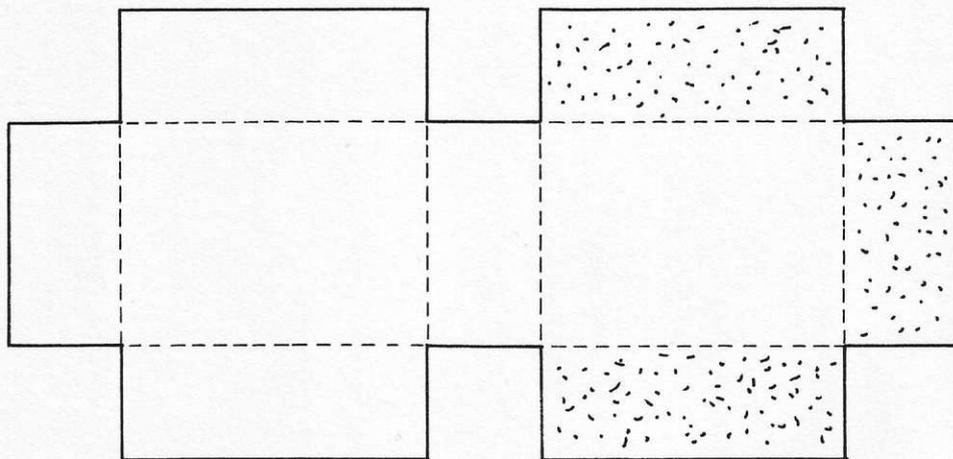
KOPIERVORLAGE

Keilsteinbogenbrücke – HALBKREISBOGEN – quaderförmige Steine

Schnittlinie: ———

Faltlinie: - - - - -

Klebefläche: 

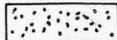


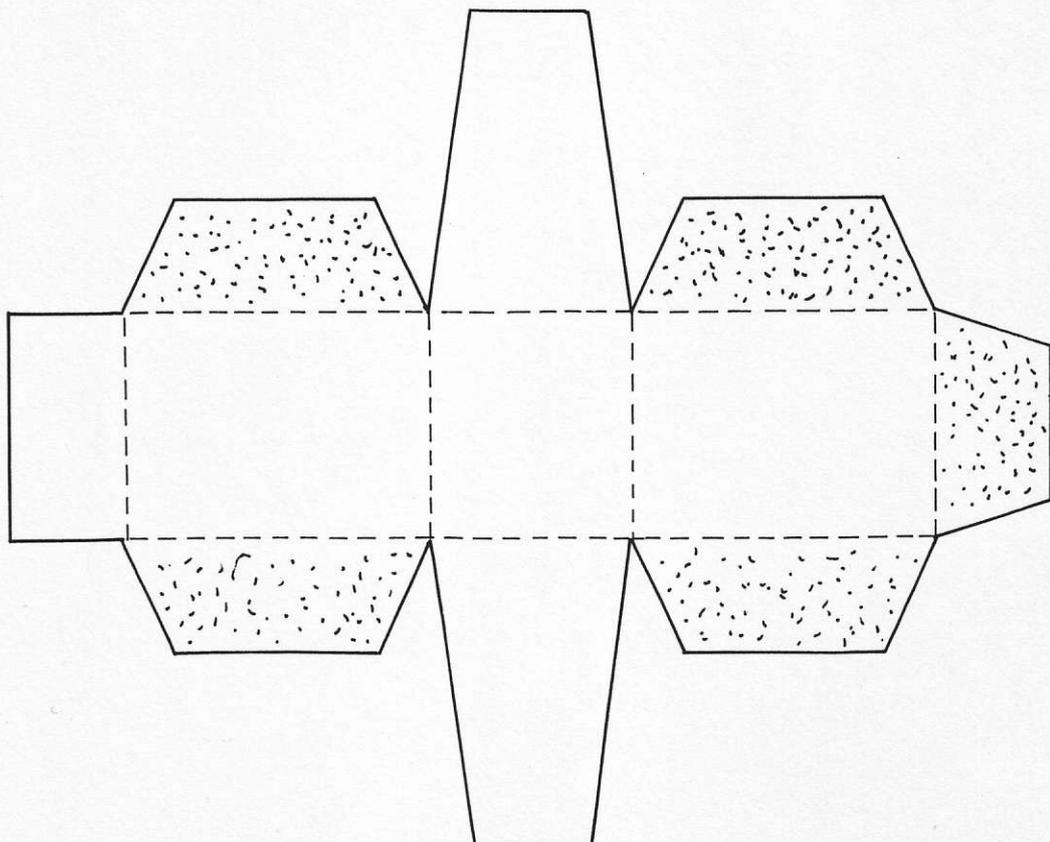
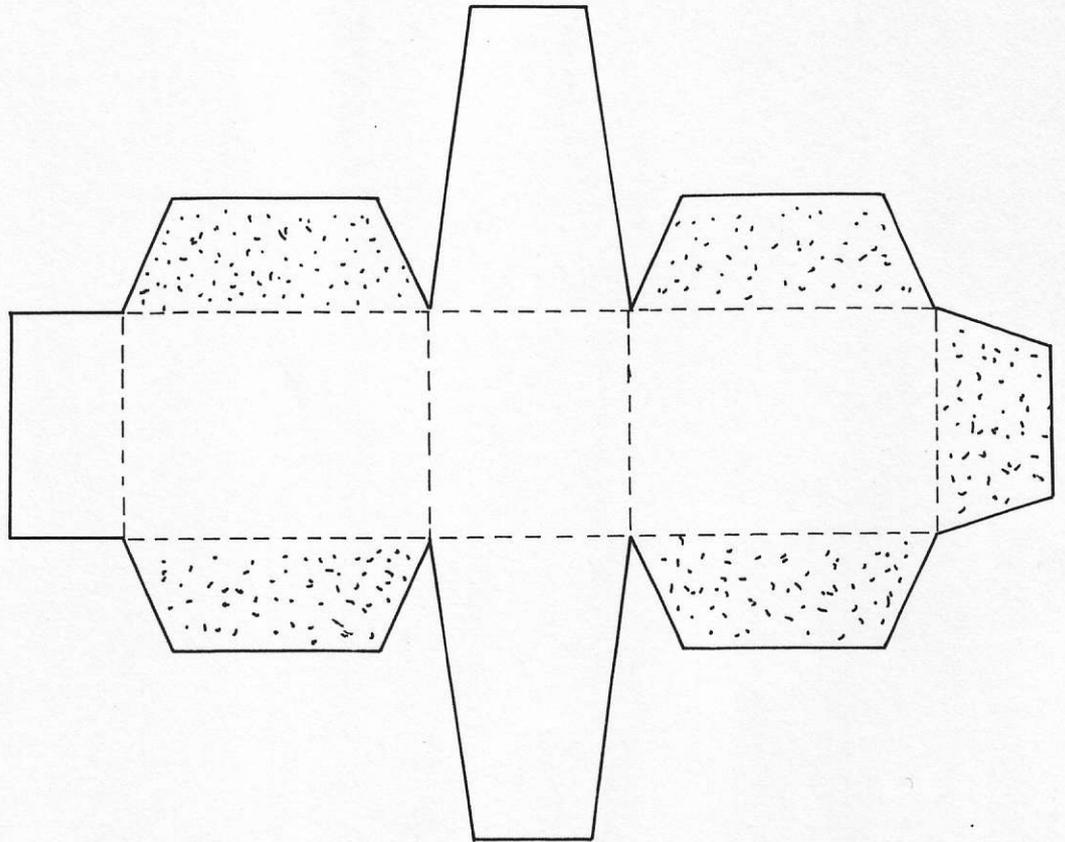
KOPIERVORLAGE

Keilsteinbogenbrücke – HALBKREISBOGEN – Keilsteine

Schnittlinie: ———

Faltlinie: - - - - -

Klebefläche: 

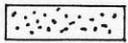


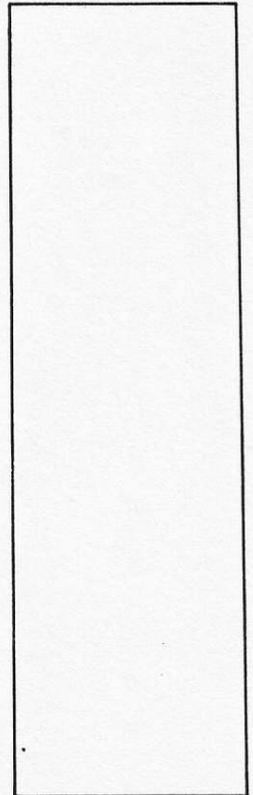
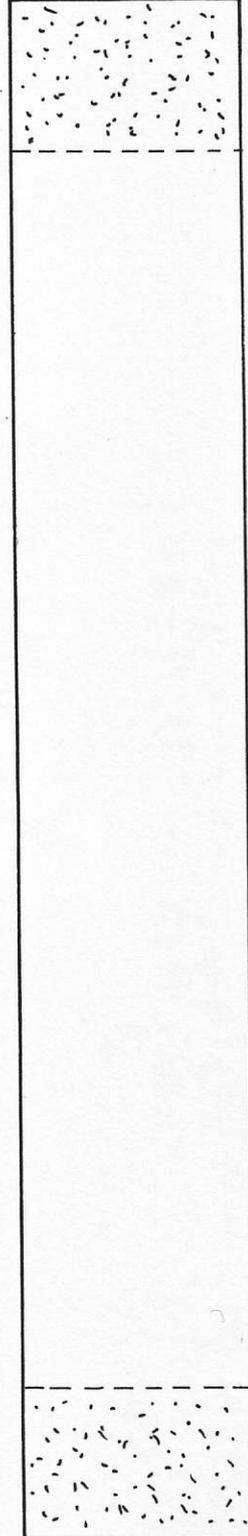
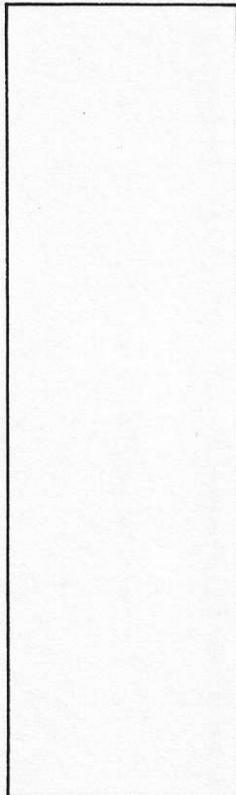
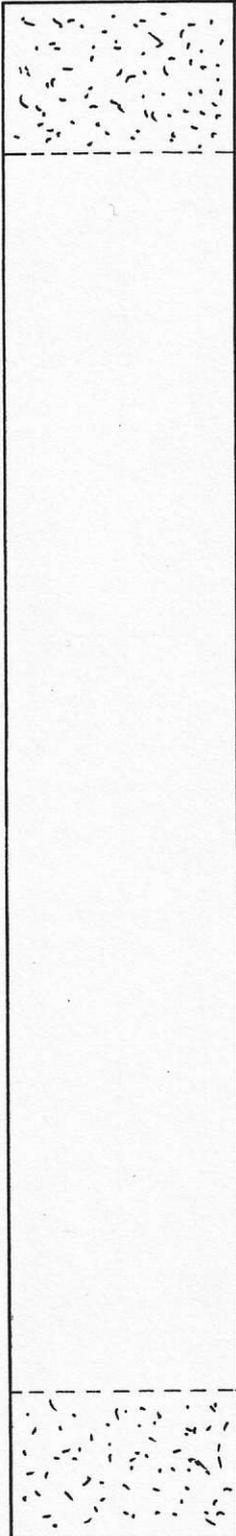
KOPIERVORLAGE

Keilsteinbogenbrücke – HALBKREISBOGEN – Lehrgerüst

Schnittlinie: _____

Faltlinie: - - - - -

Klebefläche: 



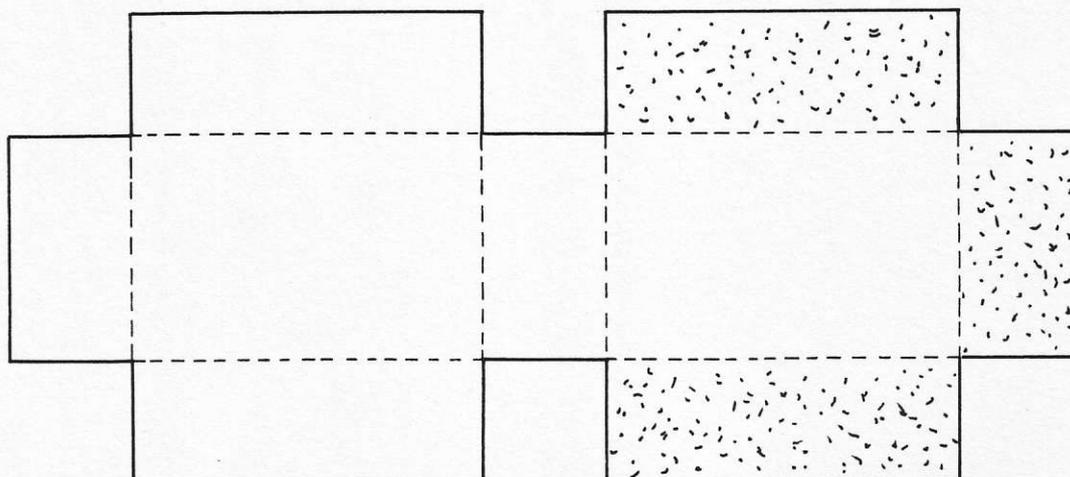
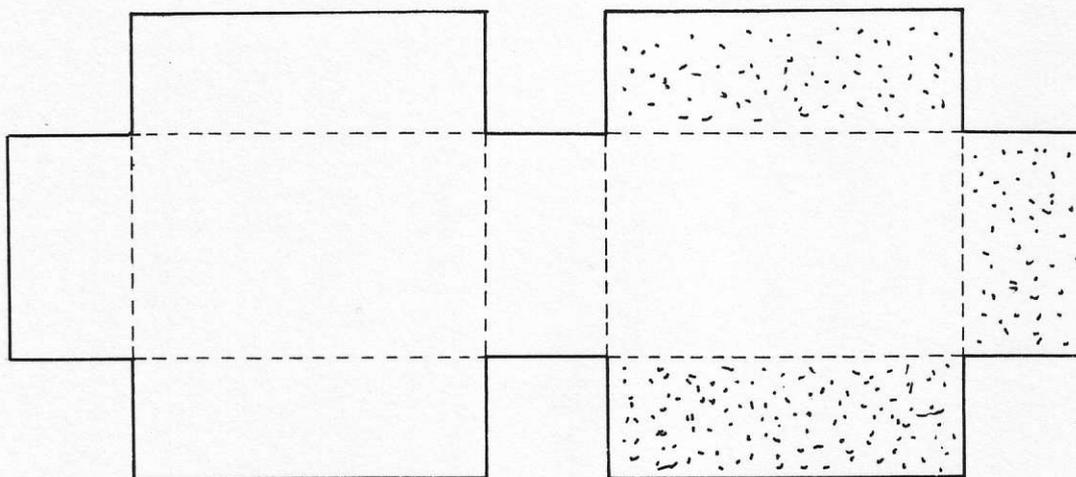
KOPIERVORLAGE

Keilsteinbogenbrücke – FLACHBOGEN – quaderförmige Auflagersteine

Schnittlinie: ———

Faltlinie: - - - - -

Klebefläche: 

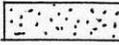


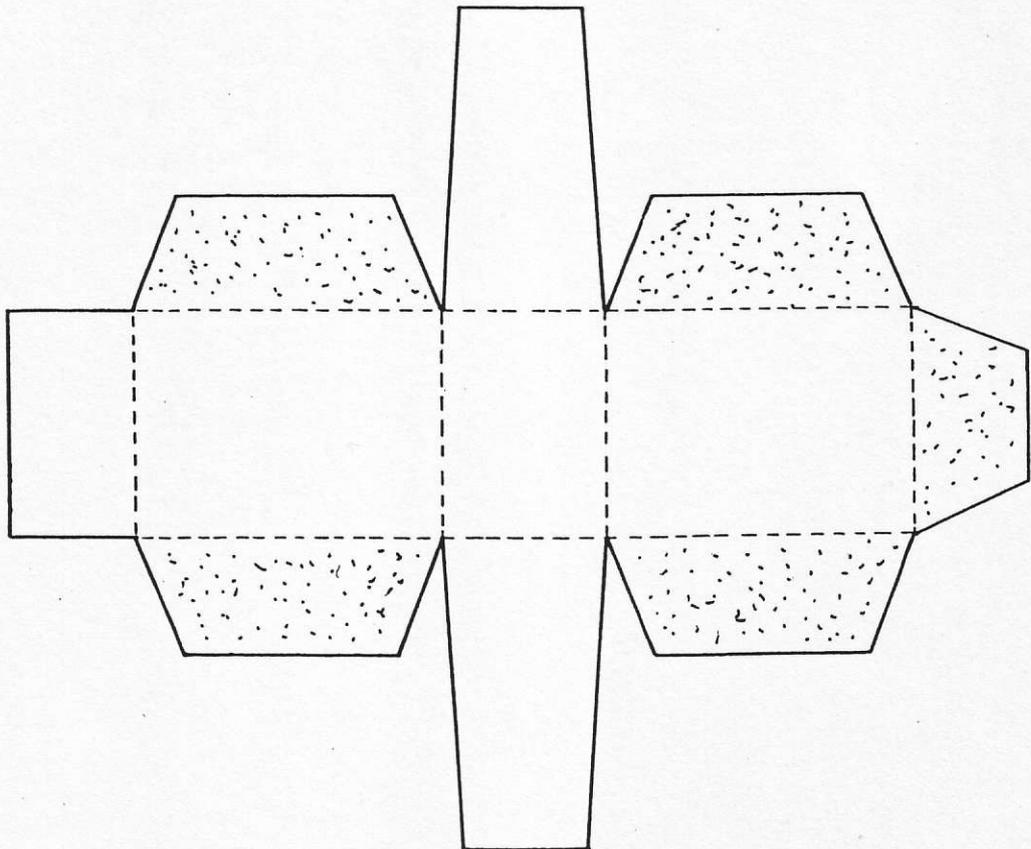
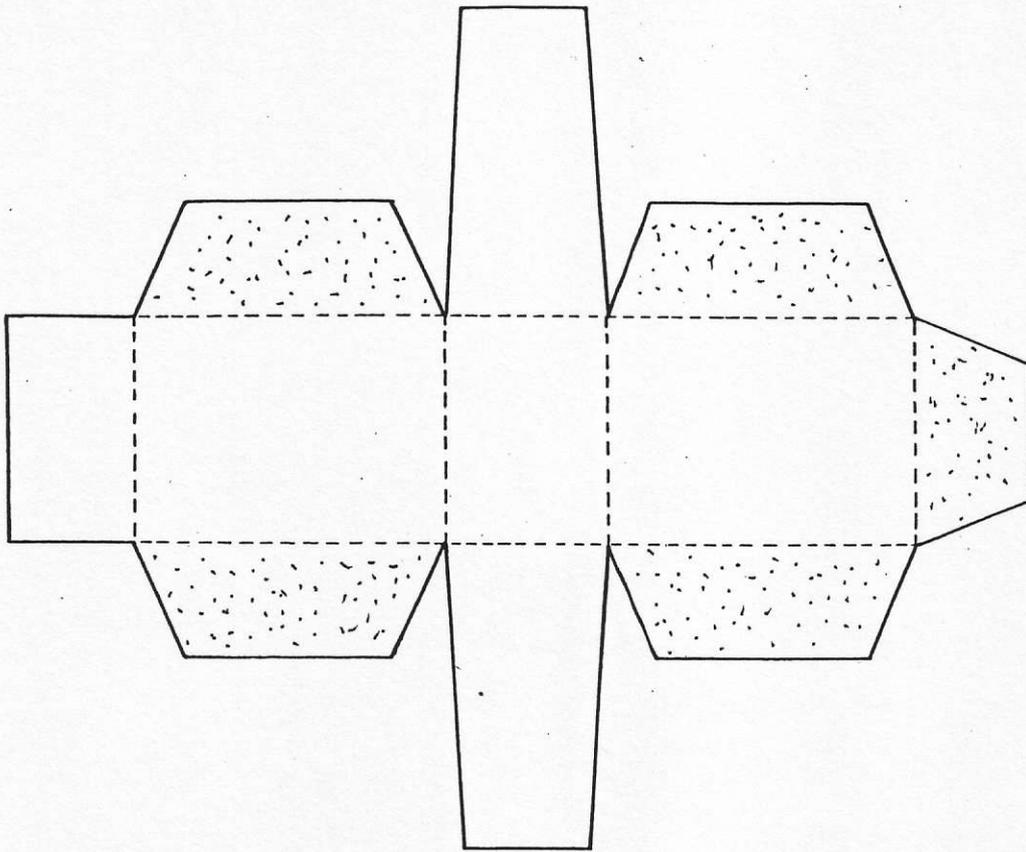
KOPIERVORLAGE

Keilsteinbogenbrücke – FLACHBOGEN – Keilsteine

Schnittlinie: ———

Faltlinie: - - - - -

Klebefläche: 



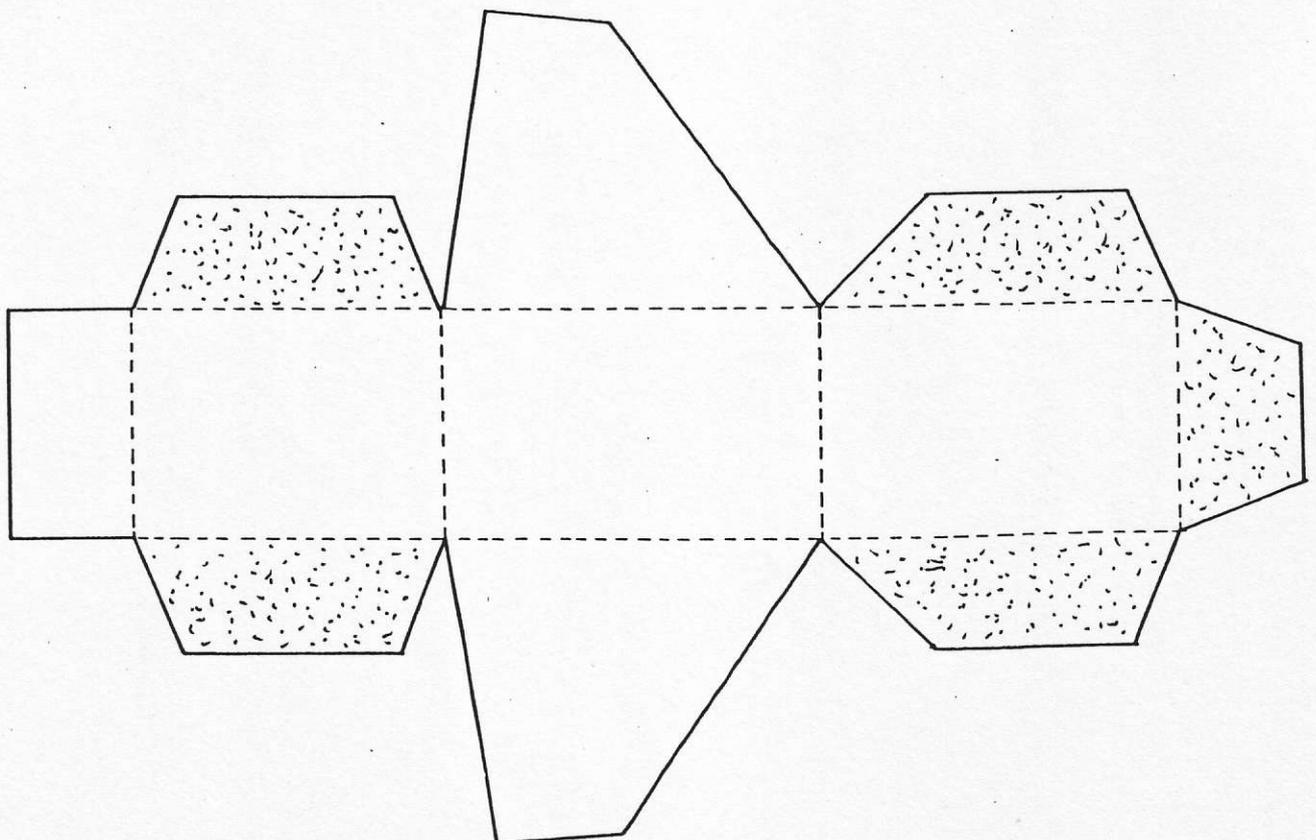
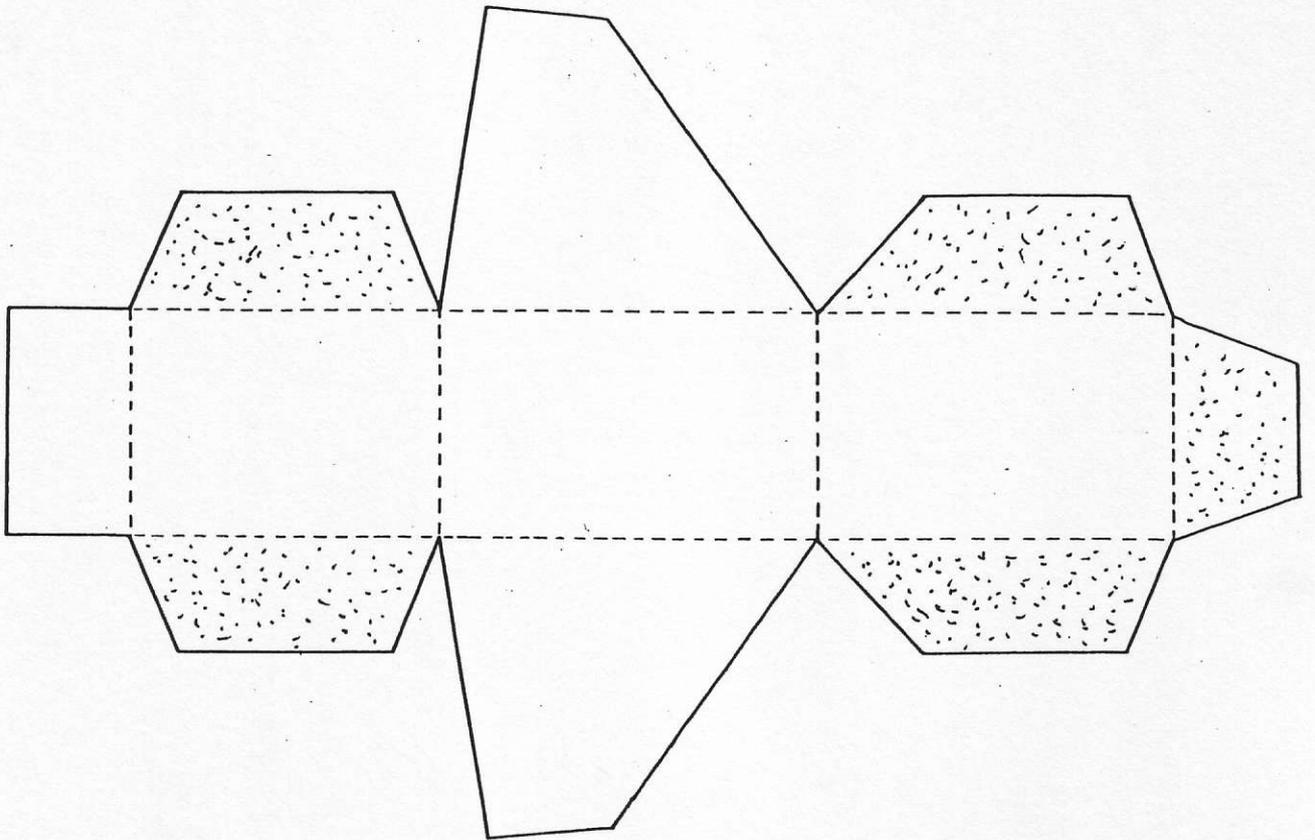
KOPIERVORLAGE

Keilsteinbogenbrücke – FLACHBOGEN – trapezförmige Steine

Schnittlinie: ———

Faltlinie: - - - - -

Klebefläche: 



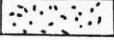
KOPIERVORLAGE

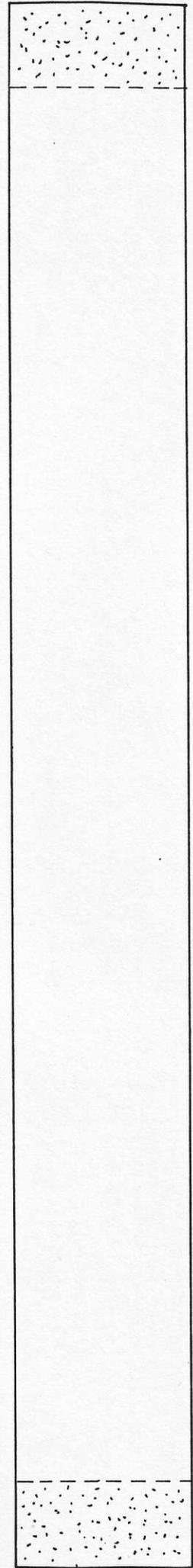
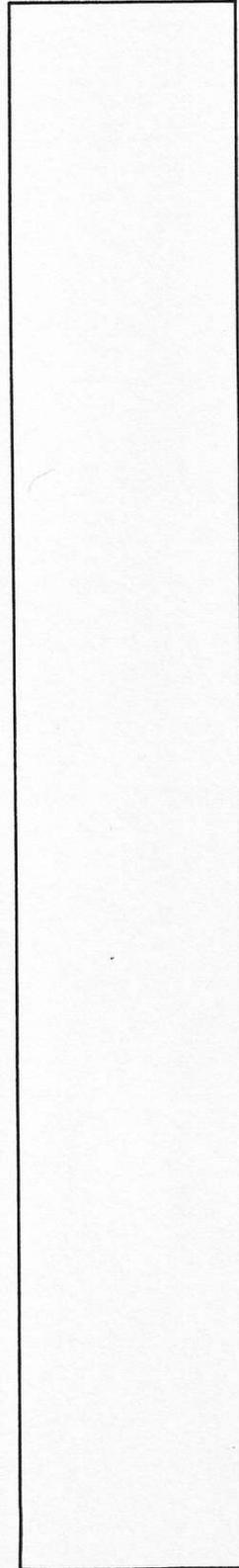
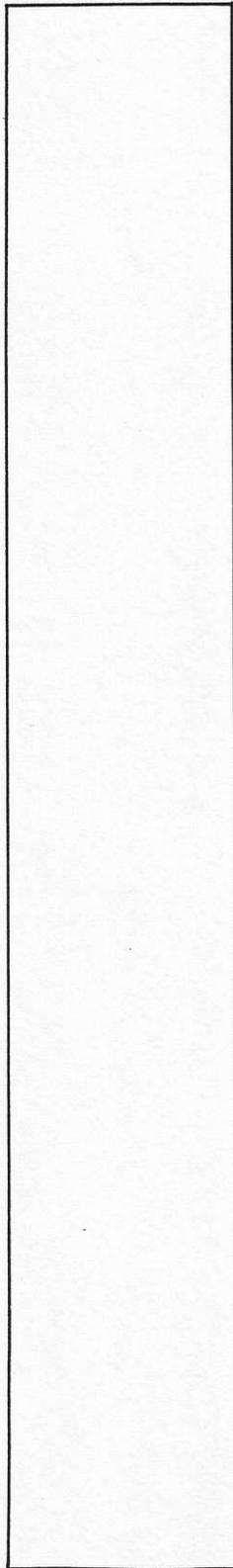
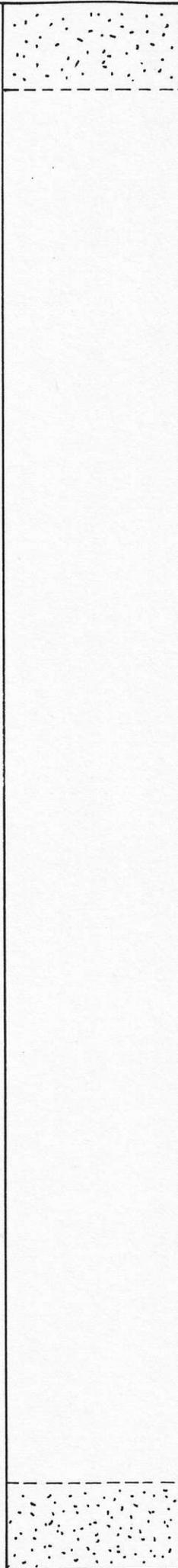
Keilsteinbogenbrücke – FLACHBOGEN

Lehrgerüst

Schnittlinie: ———

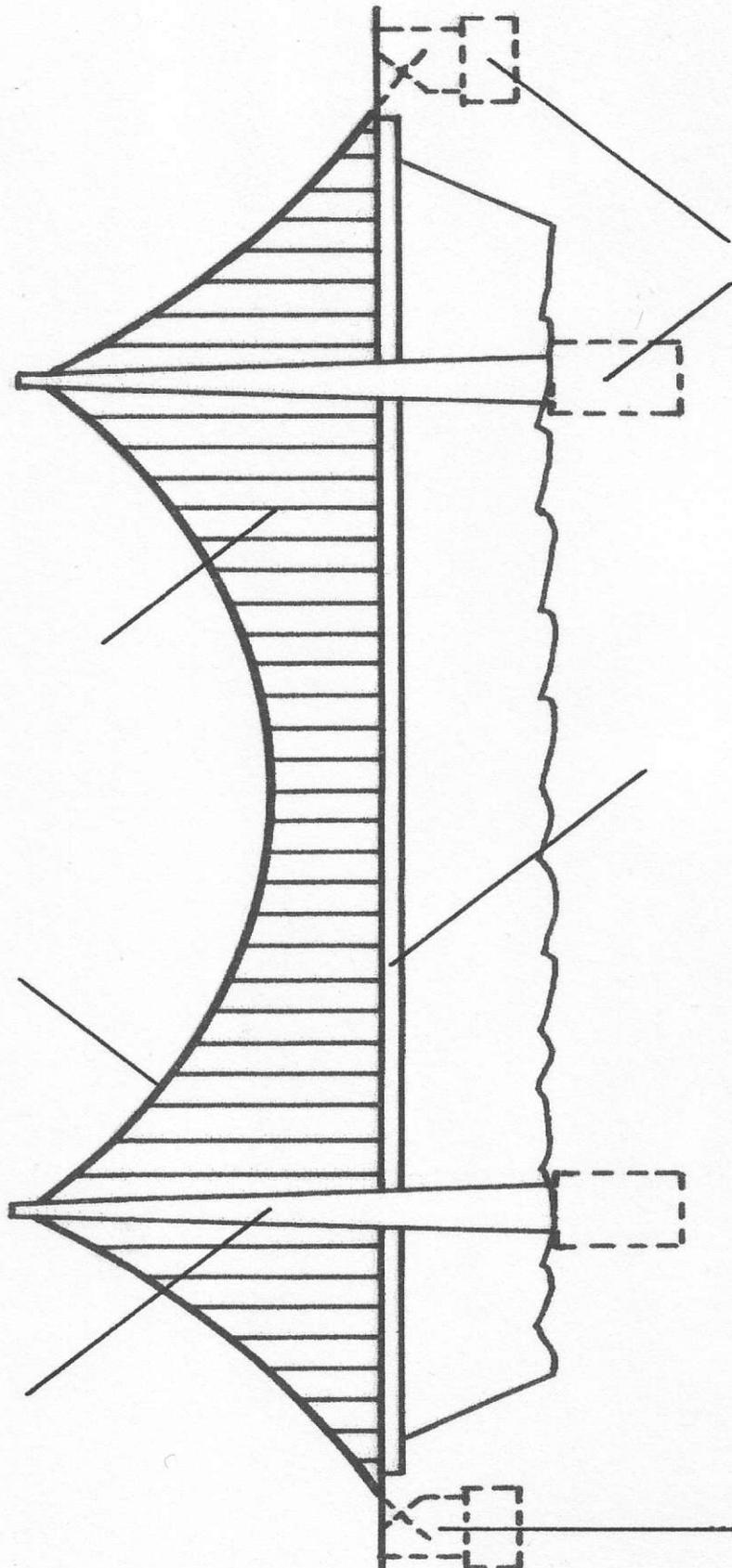
Faltlinie: - - - - -

Klebefläche: 



KOPIERVORLAGE

Hängebrücke – ARBEITSBLATT

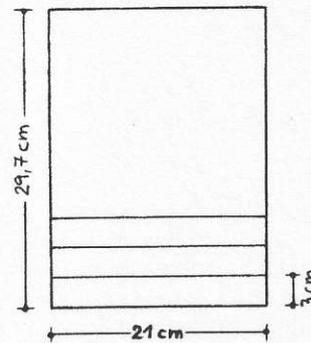


KOPIERVORLAGE

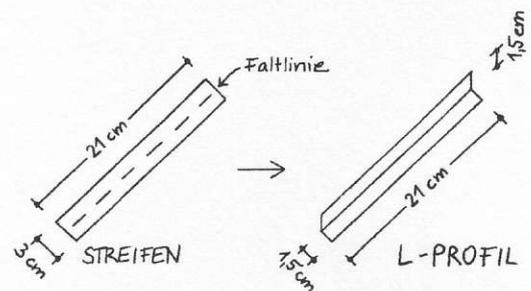
Murmelturm – BAUANLEITUNG 1 – Die Stützen und Träger des Tragwerks

Das Tragwerk des Murmelturms besteht aus mehreren würfelförmigen Elementen. Ein Wüfelement misst 21 x 21 x 21 cm. Es wird aus L-Profilen zusammengebaut, die entweder als Stützen oder als Träger verwendet werden.

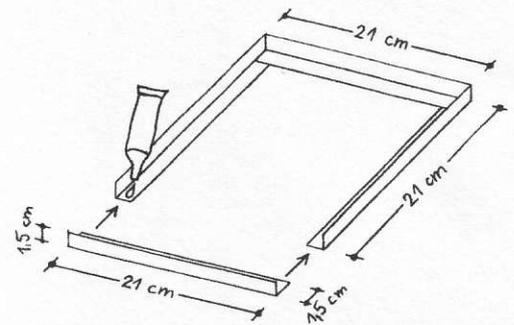
- a. Zeichne auf ein DIN-A4-Papier mit einem Bleistift Streifen mit der Länge 21 cm und der Breite 3 cm. Für ein Wüfelement benötigst du 12 Streifen mit diesen Maßen.



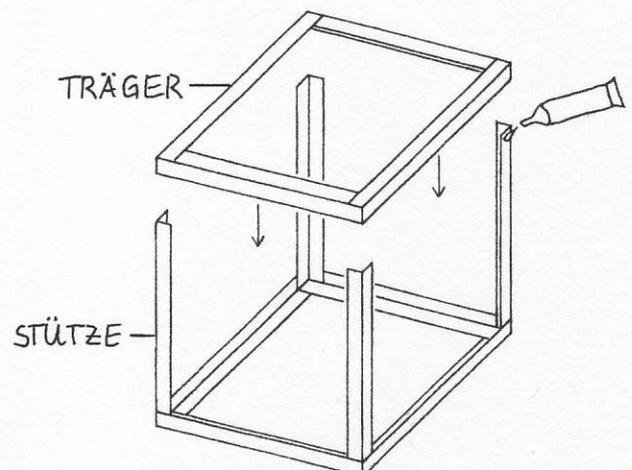
- b. Schneide die Streifen aus und falte sie jeweils in ihrer Mitte zu einem L-Profil, so dass die beiden Seiten je 1,5 cm lang sind.



- c. Klebe 4 L-Profile zu einem Bodenrahmen und 4 L-Profile zu einem Deckenrahmen zusammen. Diese L-Profile dienen im Tragwerk des Murmelturms als Träger.



- d. Verbinde mit Klebstoff den Bodenrahmen mit dem Deckenrahmen durch weitere 4 L-Profile, welche als Stützen dienen.

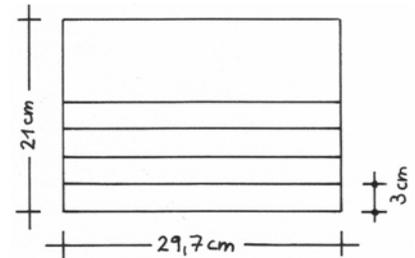


KOPIERVORLAGE

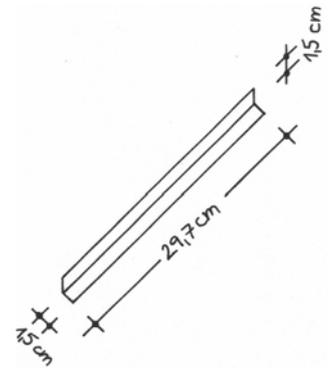
Murmelturm – BAUANLEITUNG 2 – Die Streben

Damit das Würfelement stabiler wird, werden längere L-Profile eingeklebt, die als Streben dienen. Zur Fertigung der Streben benötigst du ein DIN-A4-Papier.

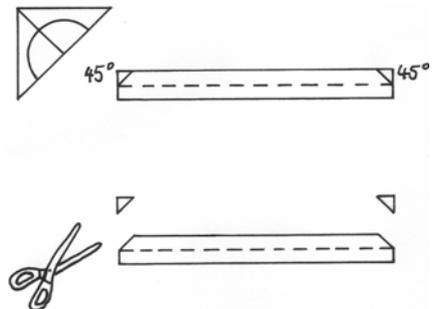
- a. Lege das Papier in Querformat vor dich hin.
Zeichne darauf 4 Streifen mit der Länge 29,7 cm und der Breite 3 cm.



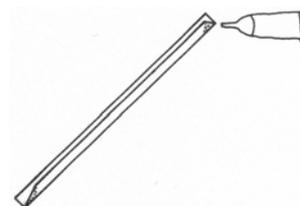
- b. Schneide die Streifen aus und falte sie jeweils in ihrer Mitte zu einem L-Profil, so dass die beiden Seiten je 1,5 cm lang sind.



- c. Öffne das L-Profil und zeichne mit dem Geodreieck an die obere Hälfte des Papierstreifens auf beiden Seiten einen Winkel von 45° ein.
Schneide die eingezeichneten Ecken ab und falte den Papierstreifen wieder zu einem L-Profil.



- d. Mache etwas Klebstoff an die schrägen Seiten des L-Profils und klebe die vier Streben an die 4 Seitenflächen des Würfelements.

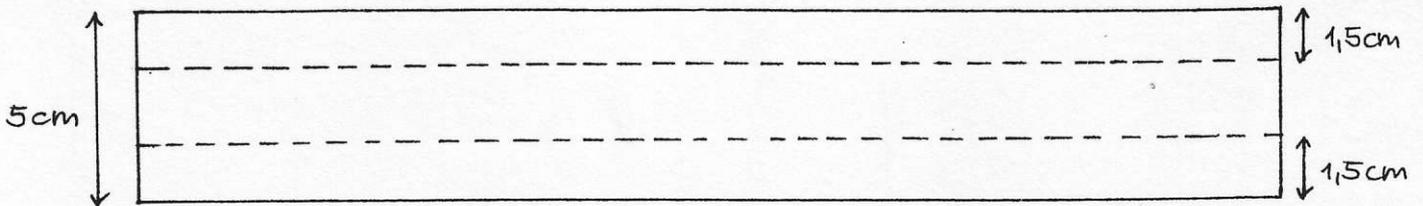


KOPIERVORLAGE

Murmelturm – BAUANLEITUNG 3 – Die Rollschiene

Herstellen der Papierstreifen für die Rollschiene:

- Lege das Papier im Querformat vor dich hin und zeichne mit einem Bleistift Linien im Abstand von 5 cm.
- Schneide die Streifen ab, indem du an der angezeichneten Bleistiftlinie entlang schneidest.
- Zeichne jeweils eine parallele gestrichelte Linie im Abstand von 1,5 cm wie in Skizze 1.

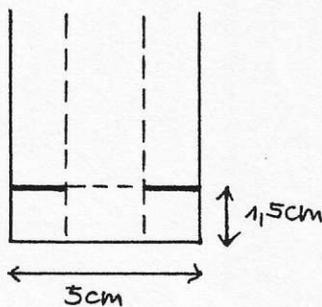


Skizze 1

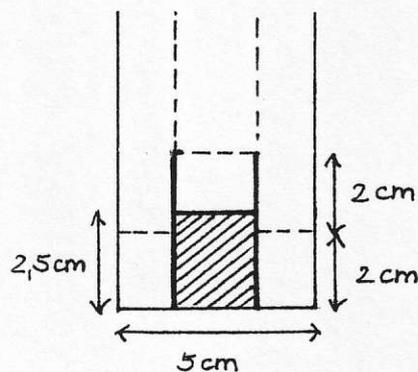
Die Rollschiene hat zwei Enden A und B. Ende A und Ende B sind unterschiedlich. Ende A fängt die herunterrollende Murmel auf, aus Ende B fällt die Kugel heraus.

Anzeichnen der Faltlinien am Ende A und Ende B:

- Zeichne eine parallele Linie mit dem Abstand 1,5 cm wie in Skizze 2 auf das Ende A.
- Schneide die Linien, die in Skizze 2 dick gezeichnet sind mit der Schere ein.
- Zeichne zwei parallele Linien im Abstand von 2 cm und eine parallele Linie im Abstand von 2,5 cm wie in Skizze 3 auf das Ende B.
- Schneide die Linien, die in Skizze 3 dick gezeichnet sind mit der Schere ein. Die schraffierte Fläche fällt heraus.



Skizze 2 - Ende A



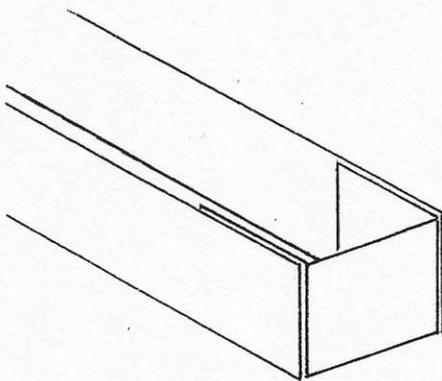
Skizze 3 - Ende B

KOPIERVORLAGE

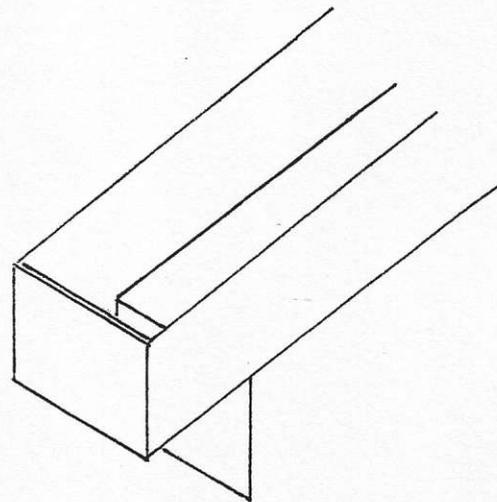
Murmelturm – BAUANLEITUNG 3 – Die Rollschiene

Falten von Ende A und Ende B:

- h. Falte entlang der gestrichelten Linien so, dass eine Rollschiene mit zwei Seitenwänden entsteht. Falte die beiden Ecken und klebe sie wie in Skizze 4 an.
- i. Falte entlang der gestrichelten Linie und klebe die Enden wie in Skizze 5 zusammen.



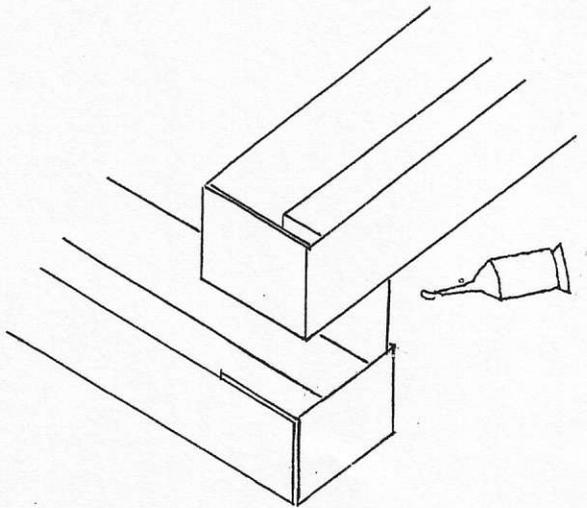
Skizze 4 – Ende A



Skizze 5 – Ende B

Anbringen der Rollschienen an das Würfelement:

- k. Klebe die fertigen Rollschienen von oben angefangen so an das Würfelement, dass sie eine leichte Neigung in Richtung des Endes B haben und an den Ecken des Würfelementes wie auf dem Foto zusammentreffen. Ende B wird mit der heruntergefalteten Fläche wie in Skizze 6 in das Ende A geklebt.



Skizze 6 – Einkleben von Ende B in Ende A

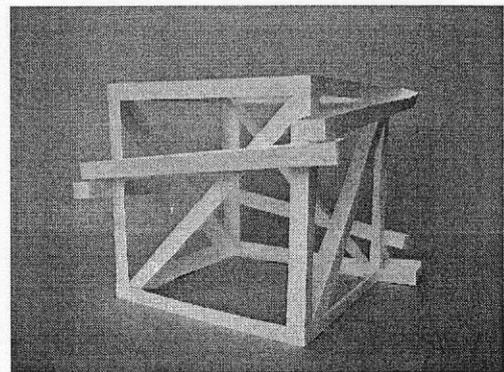
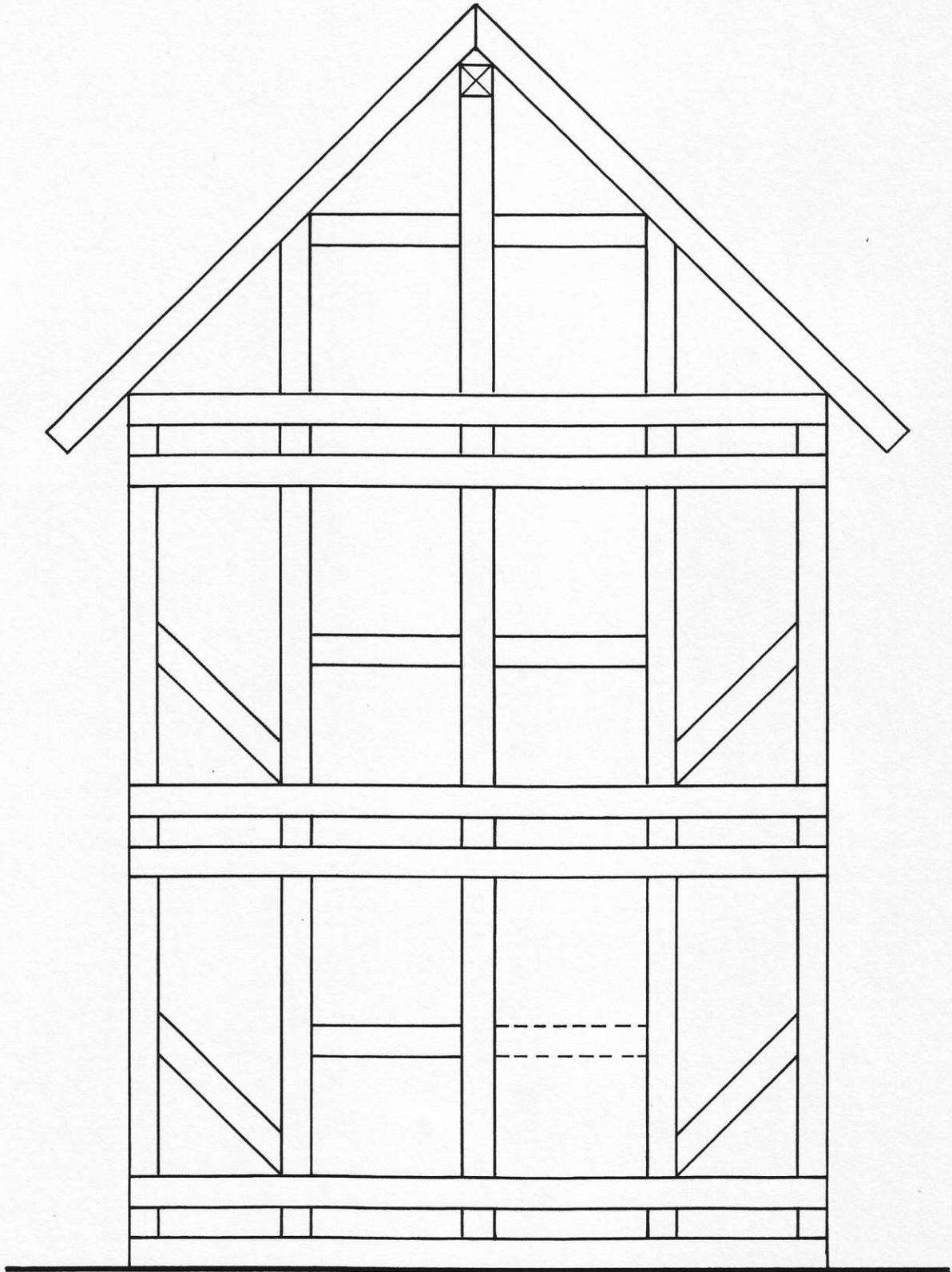


Foto 1 – fertiges Würfelement

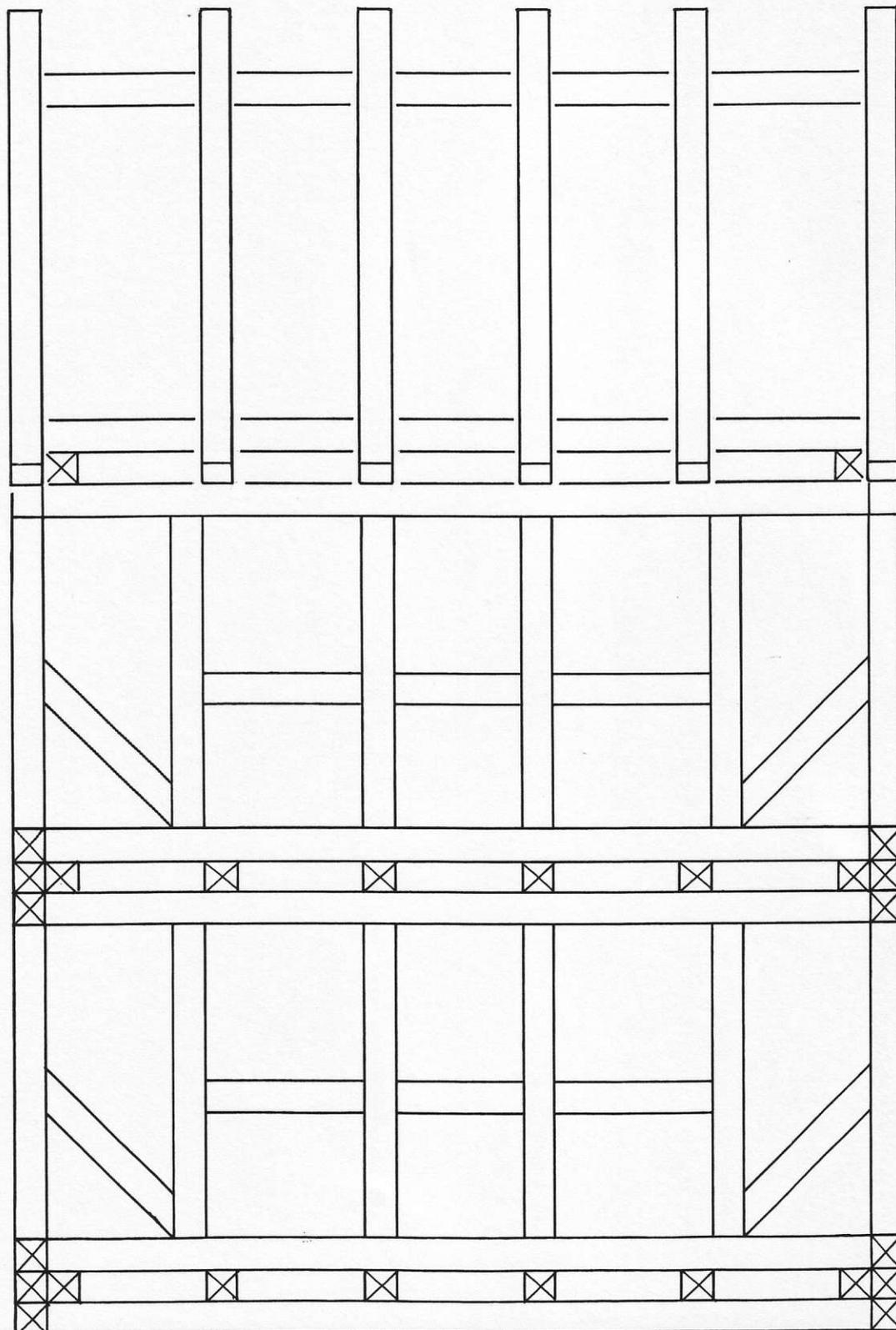
KOPIERVORLAGE

Fachwerkhaus – VORDERANSICHT



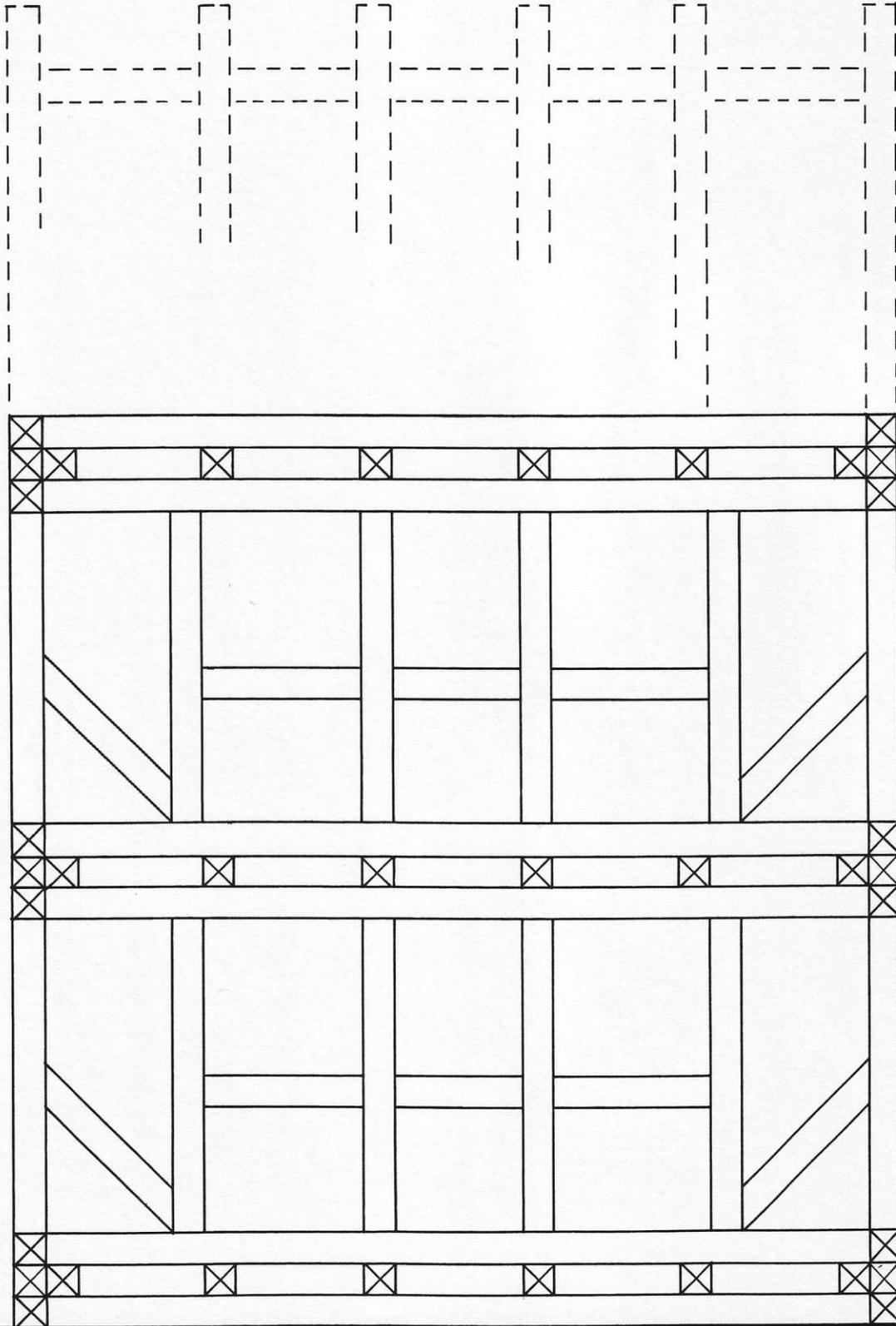
KOPIERVORLAGE

Fachwerkhaus – SEITENANSICHT



KOPIERVORLAGE

Fachwerkhaus – SEITENANSICHT



KOPIERVORLAGE

Fachwerkhaus – GRUNDRISS

