

# Was macht eine Balkenbrücke stabil?

Technisches Konstruieren und Experimentieren mit Papier

Kornelia Möller

Brücken erfinden und der Frage nachgehen, was Brücken stabil macht, trifft auf großes Interesse bei Grundschulkindern. Der folgende Beitrag zeigt, wie das Thema mit geringem Materialaufwand realisiert werden kann und welche Kompetenzen Grundschul Kinder dabei erwerben können.

## Zum Thema

Das Überqueren von Wasser, Schluchten und Sümpfen sowie von Wegen und Straßen ist ein Ziel, das Menschen seit jeher zum Entwerfen technischer Lösungen und zu neuen Erfindungen herausgefordert hat. Die örtlichen Gegebenheiten, die verfügbaren Materialien und Techniken sowie die zu realisierenden Ziele führten dabei zu den unterschiedlichsten Brückenkonstruktionen. Man kann Brücken anhand verschiedener Kategorien einteilen: nach ihrer Nutzung (durch Fußgänger, Autos, Eisenbahnen, Schiffe), der Lage (Brücke über einen Fluss, eine Schlucht, über das Meer, über eine Straße), nach den verbauten Materialien (Holz, Stein, Eisen, Stahl, Beton) oder nach der Konstruktion. Unter dem Gesichtspunkt der Konstruktion werden vier Grundtypen unterschied-

den: die Balkenbrücken, Fachwerkbrücken, Hängebrücken und Bogenbrücken. Balkenbrücken sind Kindern aus ihrem Alltag her gut bekannt, z. B. als Holzbrücken für Fußgänger oder als Stahlbetonbrücken für den Autoverkehr. Doch auch ein Baumstamm, der im Spiel über einen Bach gelegt wird, stellt eine Balkenbrücke dar.

Was Bauwerke stabil macht und wie sie stabil konstruiert werden können, ist Gegenstand des Sachunterrichts in den Lehrplänen der meisten Bundesländer. Das Thema „Brücken bauen aus Papier“ eignet sich für diesen Bereich besonders, da es nur einen geringen Materialaufwand erfordert und somit auch in Schulen mit weniger optimalen Ausstattungsbedingungen leicht zu realisieren ist. Die vorgestellten Unterrichtsideen zielen auf den Aufbau inhaltlicher und pro-

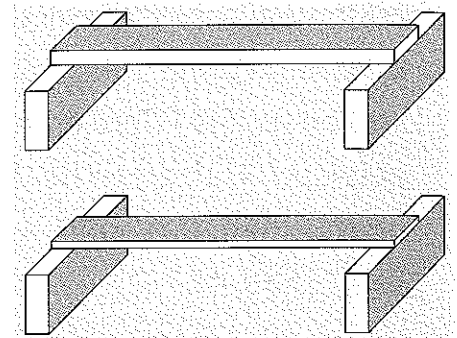


Abb. 2: Die dickere Fahrbahn ist deutlich stabiler.  
Quelle: nach Möller, K./Lemmen, K./Zolg, M.

zessbezogener Kompetenzen: Zum einen geht es darum, stabile Brücken zu konstruieren, die stabilitätsfördernden Prinzipien zu erkennen und in der Umwelt wieder zu entdecken; zum anderen sollen die Kinder lernen, technische Gebilde zu konstruieren und zu analysieren sowie technische Experimente zu planen, durchzuführen und auszuwerten.

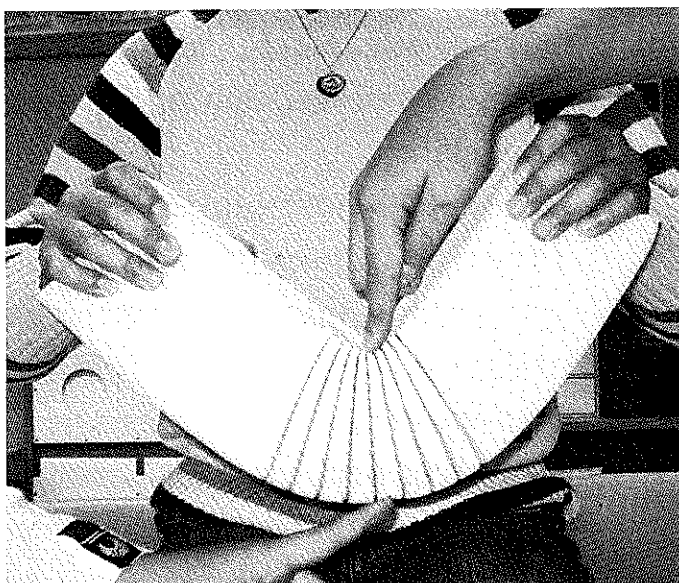


Abb. 1: Unten wird der Schaumstoffstreifen auseinandergezogen (wirkende Zugkräfte), oben wird er zusammengedrückt (wirkende Druckkräfte).

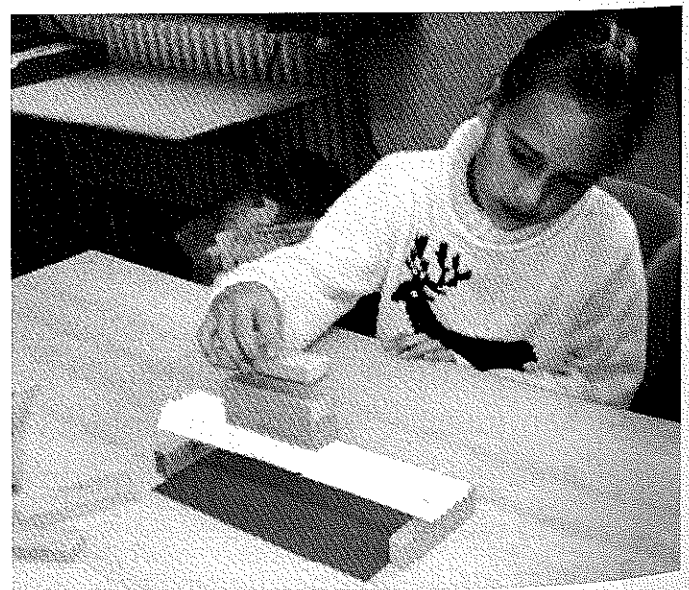


Abb. 3: Großes Erstaunen beim Testen der Zickzackbrücke

## Zum Unterricht



### Mögliche Einstiege

Etwa ein bis zwei Wochen vor Beginn der Unterrichtsreihe kündigt die Lehrperson das Thema „Brücken“ an und fragt die Kinder, was sie schon über Brücken wissen und was sie herausfinden möchten. Die Kinder erhalten zudem den Auftrag, Brücken in ihrer Nähe (Forscherbuch) zu erkunden und eine Brücke auf einem Brückensteckbrief näher zu beschreiben und zu zeichnen. Im Unterricht werden die verschiedenen Brücken vorgestellt und im Hinblick auf Bauweise, Zweck und Material verglichen. Brücken, die aus einer flachen Fahrbahn und Stützen bestehen, nennt man Balkenbrücken. Diese sollen weiter untersucht werden. Als Fortführung des Unterrichts können weitere Brückentypen thematisiert werden. In selbstständiger Arbeit können die Kinder zudem Informationen über berühmte Brücken in einer Portfolioarbeit sammeln.

### Aufgaben zum technischen Experimentieren und Konstruieren (ca. zwei Doppelstunden, s. Kasten 1)

1. Welche Kräfte wirken beim Belasten einer Fahrbahn? Um die Kräfte zu demonstrieren, die in einer Balkenbrücke wirken, belastet die Lehrperson mit den Kindern ein Brett, das auf zwei Auflagern liegt, bis es durchbricht. Deutlich ist zu beobachten, dass die Fasern zuerst an der Unterseite auseinanderreißen. An Schaschlikspießen, die langsam bis zum Zerschneiden durchgebogen werden, können die Kinder dieses noch einmal selbst beobachten. Ein Schaumstoffstreifen (oder ein Tafelschwamm) verdeutlicht das Drücken und Ziehen der Kräfte (s. Abb. 1).
2. Wie lässt sich die Stabilität der flachen Fahrbahn bei Belastung erhöhen? Die Kinder vermuten, dass eine dickere Fahrbahn stabiler ist. Dazu entwerfen sie ein Experiment: Zwei gleich lange und gleich breite

**Balkenbrücken** bestehen aus einem waagerechten „Träger“ und „Stützen“. Das Eigengewicht des Trägers sowie das Belastungsgewicht wirken auf die Stützen ein und werden in den Untergrund abgeleitet (s. Abb. 8). Die Stellen, an denen die Brücke aufliegt, heißen „Auflager“.

#### Bei der Balkenbrücke wirken Zug- und Druckkräfte

Zwischen den Stützen biegt sich der Träger durch Einwirken von Eigengewicht und Last durch. Dabei wirken im Träger oben Druckkräfte und unten Zugkräfte – das heißt, die Brückenfahrbahn wird oben zusammen gestaucht und unten auseinander gezogen (s. Abb. 9). In der Mitte des Trägers befindet sich die sog. neutrale Zone. Ist die Belastung zu groß, reißt das Material auf der Unterseite der Fahrbahn. Unten in den Beton eingelassener Stahl verbessert die Widerstandsfähigkeit gegen Zugkräfte, also gegen das Zerreißen des Materials.

Je dicker ein Träger ist, umso belastbarer ist er. Das lässt sich leicht an einer Leiste mit unterschiedlicher Höhe, aber gleicher Länge und Breite zeigen: Die dickere Leiste ist widerstandsfähiger gegen Durchbiegung. Auch die Vergrößerung der Breite eines Trägers (bei gleichbleibender Länge und Dicke) erhöht die Widerstandsfähigkeit gegen Durchbiegung; allerdings geht diese nur einfach in die Berechnung der Widerstandsfähigkeit ein, während die Höhe quadratisch eingeht.

#### Profile verbessern die Stabilität

Der Verstärkung von Trägern durch Vergrößerung der Materialmenge sind Grenzen gesetzt; deshalb werden Balkenbrücken durch Profile in ihrer Stabilität verbessert. Dies wird durch Umformung des Materials erreicht, wobei das Volumen des Materials erhalten bleibt. Profile sorgen dafür, dass der Abstand zwischen den angreifenden Druck- und Zugkräften vergrößert wird, damit das Material diese Kräfte daher besser aufnehmen kann (s. Abb. 10). Es gibt unterschiedliche Profiltypen, z. B. Zickzack-, Rohr-, U-, T- und Kreisprofile (s. Abb. 11). Bei Balkenbrücken werden häufig auf der Unterseite der Brücken T- oder Doppel-T-Profile angebracht. Profile finden sich in der gebauten Umwelt wie auch in der Natur (s. Abb. 5).

#### Kasten 1: Zum Hintergrund: Balkenbrücken

Fahrbahnen aus demselben Material, die nur in der Dicke variieren, werden jeweils mittig belastet – die Fahrbahn aus dem dickeren Material erweist sich dabei eindeutig als belastbarer. Als Material für das Experiment eignen sich Sperrholzleisten unterschiedlicher Dicke oder aufeinander geklebte Pappstreifen (s. Abb. 2). Für Brücken eignet sich

das Prinzip der Vergrößerung der Fahrbahndicke natürlich nur begrenzt zur Erhöhung der Stabilität, da bei zu hohem Eigengewicht die Bauweise unökonomisch würde.

3. Wie lässt sich die Stabilität einer Balkenbrücke vergrößern, ohne die Materialmenge zu verändern? Die Kinder erhalten die Aufgabe, ein DIN-A4-Blatt Papier so zu bearbei-

#### Eine Fachwerkbrücke als „Gerippe“ eines Balkens

Eine Fachwerkbrücke kann als „Gerippe“ eines Balkens betrachtet werden. Das Gerippe hat den Vorteil, dass es im Vergleich zu einem gleich dicken Balken einen geringeren Materialverbrauch und dementsprechend ein geringeres Eigengewicht hat. Fachwerkbrücken werden deshalb immer dann eingesetzt, wenn aus wirtschaftlichen, technischen oder ästhetischen Gründen eine Auflösung von Vollelementen notwendig bzw. sinnvoll ist. Auch bei Türmen, Häusern und Masten werden Fachwerke zur Verbesserung der Stabilität und zur Verringerung des Eigengewichts eingesetzt (s. Abb. 6)

#### Kasten 2: Zum Hintergrund: Fachwerkbrücken

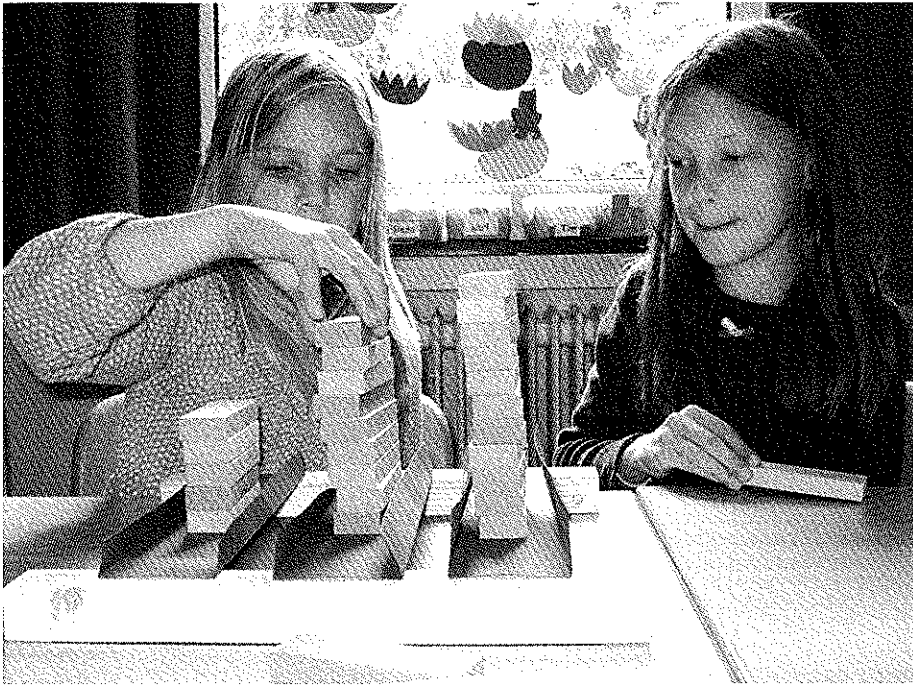


Abb. 4: Ein deutlicher Effekt bei einem geringen Unterschied in der Höhe der Seitenkanten!

ten, dass 25 cm überbrückt werden und die Fahrbahn in der Mitte möglichst viele (gleich große) Bauklötze tragen kann. Als Auflager können Bauklötze o. ä. genutzt werden. Die Kinder können Schere und etwas Klebstoff hinzunehmen oder aber auch nur mit Faltungen arbeiten. Häufige Lösungen sind Doppel- bzw. Mehrfachfaltungen, Zickzackfaltungen und Brücken mit Rändern. Die Zickzackbrücken erweisen sich am stabilsten – für die

Kinder ein erstaunliches Ergebnis (s. Abb. 3).

4. Welchen Einfluss haben hochgebogene Ränder bei einer Brücke? Die Funktion der sog. Seitenprofile erkunden die Kinder durch ein technisches Experiment: Dazu werden drei gleich breite (ca. 7 cm) und gleich lange Brückenfahrbahnen (ca. 30 cm) mit unterschiedlich hohen Kanten (z.B. 2, 3 und 4 cm Kantenhöhe) aus Tonzeichenpapier hergestellt (empfehlenswert

sind 130 g/qm). Die Kinder testen die Brücken auf ihre Belastbarkeit durch mittig aufgelegte Bausteine (s. Abb. 4). Die Brücke mit der größten Seitenhöhe erweist sich am stabilsten. Welch große Wirkung bereits ein kleines Seitenprofil von ca. 0,3 cm hat, beobachten die Schüler bei dem Belastungstest eines dünnen Holzbrettes, an das nachträglich eine kleine Leiste von ca. 0,3 mm geleimt wird.

5. Die Kinder erhalten die Aufgabe, in ihrer Umwelt nach Gegenständen zu suchen, die durch Profile stabil sind (z. B. Grashalm, Palmblatt, Knochen mit Röhrenprofil, Wellblechdach, Wellpappe, Fahrradrahmen, Stuhl- oder Tischbein mit einem Rundprofil, T-Träger unter Brücken; s. Abb. 5).

#### Mögliche Fortführung des Unterrichts

Zunächst berichten die Kinder von den Profilen, die sie gefunden haben. Die Ergebnisse der letzten Stunde werden anschließend in einem Gedankenexperiment fortgeführt: Wenn man die Seitenkante der Fahrbahn immer höher machen würde, müsste die Balkenbrücke noch wesentlich stärker belastet werden können. In der Wirklichkeit findet man Brücken, die Balkenbrücken mit hohen Seitenkanten ähneln, sog. Fachwerkbrücken. Die Seitenflächen sind aber durchbrochen, um das Eigengewicht der Brücke zu verringern; das sog. Fachwerk ist aus Streben gebaut (s. Kasten 2). Im Experiment kann eine aus Tonpapier gefertigte Fachwerkbrücke mit einer Balkenbrücke – beide mit einem gleich großen Träger versehen – im Hinblick auf ihre Belastbarkeit verglichen werden. Die Fachwerkbrücke erweist sich als wesentlich stabiler. Warum die Streben schräg in das Fachwerk eingesetzt sind, erkunden die Kinder anhand eines weiteren Experiments; hierzu wird eine rechteckig verstrebt Fachwerkbrücke mit einer solchen mit dreieckiger Verstrebung verglichen. Letztere erweist sich als

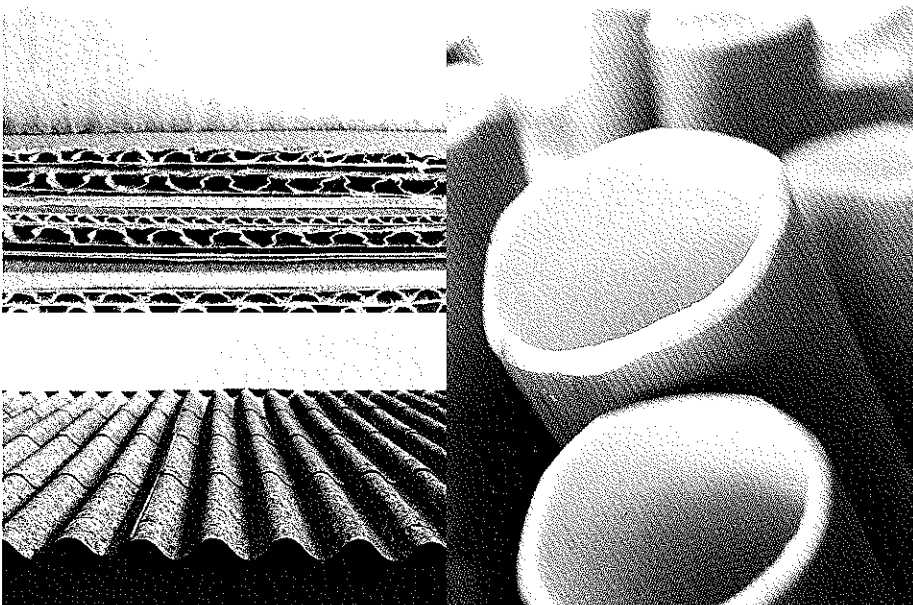


Abb. 5: Profile, d. h. Umformungen bei Materialien, finden sich sowohl in der gebauten Umwelt als auch in der Natur. Sie dienen der Erhöhung der Stabilität.

Fotos: Wellpappe – Sergio Schnitzler, Dreamstime.com; Bambus – Juriah Mosin, Dreamstime.com; Welldach – Remigiusz Galazka, Dreamstime.com

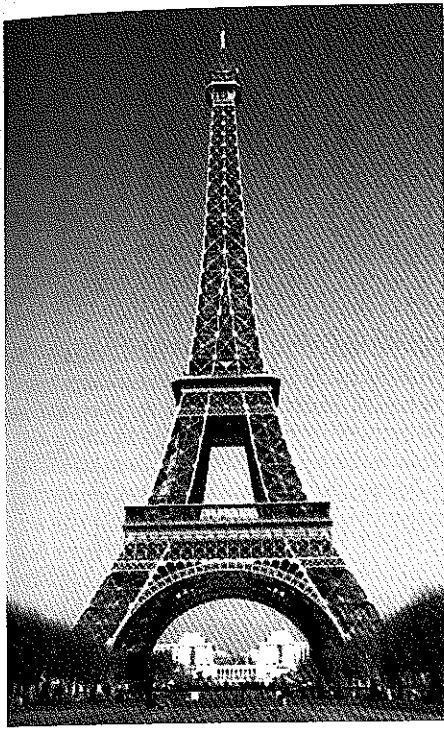


Abb. 6: Der anlässlich einer Weltausstellung 1889 fertig gestellte Eiffelturm mit einer Höhe von 300 m – ein Meisterwerk des Fachwerkbaus

deutlich belastbarer – ein Unterricht zur Funktion des stabilen Dreieckes kann sich hier anschließen (vgl. Möller et al. 2008; dort finden sich auch eine Bauanleitung und eine Kopiervorlage zum Bau der Fachwerkbrücke aus Tonkarton; s. Abb. 7).

Zum Abschluss kann mit den Kindern ein Brückenwettbewerb veranstaltet werden: Aus einer vorgegebenen Anzahl von DIN-A4-Papierblättern (z. B. zwei) soll eine möglichst belastbare Brücke mit einer Spannweite von mind. 25 cm gebaut werden. Band, Kleber und Schere werden zur Verfügung gestellt.

**Was haben die Kinder in diesem Unterricht gelernt?**

Sie hatten Gelegenheit, wichtige technische Arbeitsweisen durch eigenes Tun und Nachdenken kennen zu lernen: Das technische Konstruieren, das technische Experimentieren und das Analysieren von Funktionsweisen. Während das Erlernen naturwissenschaftlicher Arbeits- und Denkweisen in vielen Schulen bereits etabliert ist, besteht Unsicherheit, wie technisches Arbeiten und Denken bereits mit Grundschulkindern realisiert

werden kann. Häufig ist auch unklar, was das technische vom naturwissenschaftlichen Denken und Arbeiten unterscheidet. Naturwissenschaftliches Denken richtet sich auf das Ergründen der Ursachen für bestimmte Wirkungen – es ist kausal orientiert. Technisches Denken und Arbeiten zielt dagegen auf das Lösen konkreter Problemstellungen, verfolgt dabei einen Zweck (in diesem Beitrag das „Überbrücken“) und hat gegebene Bedingungen (z. B. eine tiefe Schlucht) und vorhandene Mittel (z. B. Holz vor der Erfindung von Beton und Stahl) zu berücksichtigen – es ist final orientiert.

**Technisches Konstruieren:  
Die Kinder entwerfen, realisieren,  
bewerten technische Lösungen**

Das technische Konstruieren wird im vorgeschlagenen Unterricht bei der Umformung der Papierbrücke und beim Brückenwettbewerb realisiert: Die Kinder entwerfen, realisieren, testen und bewerten technische Lösungen, die den Zweck verfolgen, das angegebene Ziel zu realisieren. Sie machen dabei die Erfahrung, dass technisches Problemlösen fast nie in einem einzigen Schritt gelingt, dass Planungen verändert werden müssen und dass man Geduld benötigt, um zum Ziel zu kommen. Ihre Lösungen können sie selbst bewerten, da das Material die Überprüfung ihrer Ideen ermöglicht. Technisches Erfinden und

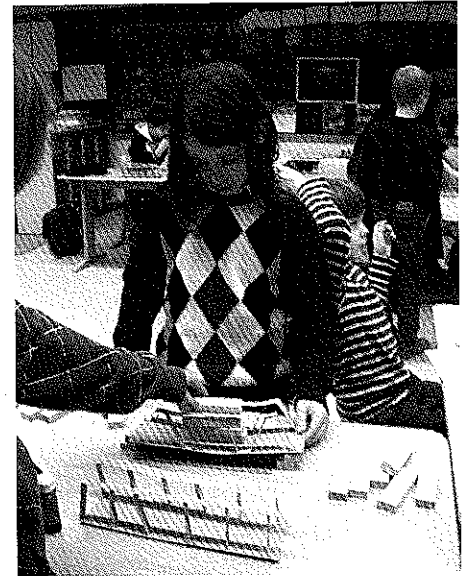
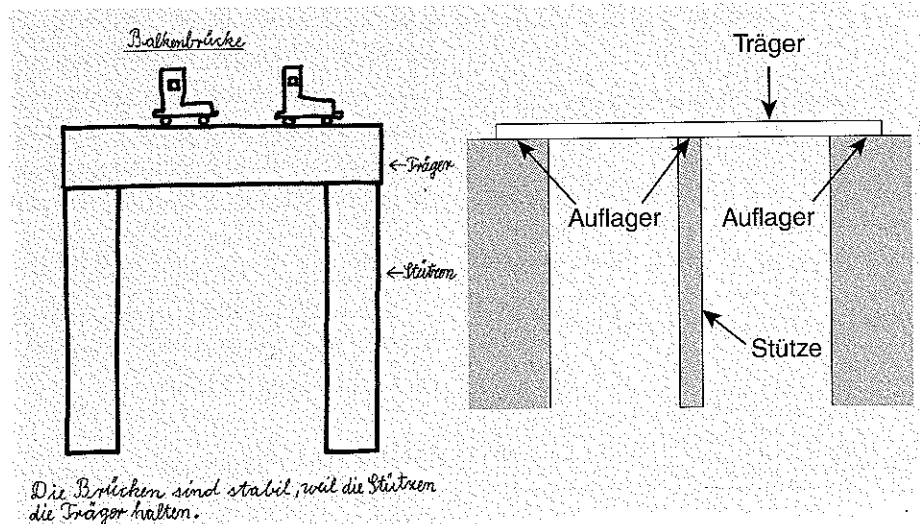


Abb. 7: Zwei Fachwerkbrücken – eine mit dreieckiger Verstrebung, eine mit rechteckiger Verstrebung. Das Ergebnis des Experiments ist eindeutig!

technischer Fortschritt durch immer optimalere Problemlösungen können sie so als kulturelle Leistung der Menschheit bereits an einfachen Aufgaben nachvollziehen.

**Technisches Experimentieren:  
Eine Variable untersuchen, andere  
konstant halten**

Technisches Experimentieren dient dem Vergleich von möglichen Lösungen unter kontrollierten Bedingungen. Hier müssen – wie beim naturwissenschaftlichen Experimentieren – die nicht variierten Faktoren konstant gehalten werden, um den Einfluss des untersuchten Faktors auf



Die Brücken sind stabil, weil die Stützen die Träger halten.

Abb. 8: Träger, Stützen und Auflager bei der Balkenbrücke

Quelle: nach Möller, K./Lemmen, K./Zolg, M.

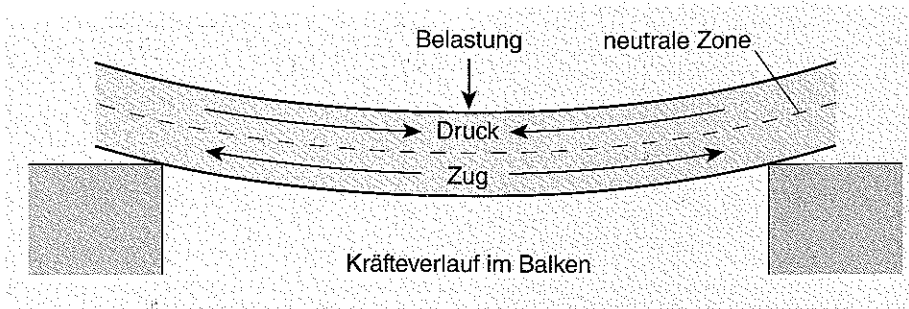


Abb. 9: Kräfteverlauf im Balken bei Belastung

Quelle: nach Möller, K./Lemmen, K./Zolg, M.

das angestrebte Ziel heraus zu finden. Die Kinder entdecken im vorgestellten Unterricht so den Einfluss der Dicke eines Trägers und der Kantenhöhe auf die Belastbarkeit eines Trägers.

**Technisches Analysieren: Funktionsweisen erschließen**

Auch das Analysieren technischer Funktions- und Bauweisen wird im vorgeschlagenen Unterricht geübt, indem die Kinder Balkenbrücken und weitere Brückentypen sowie Profile in der Natur und in der gebauten Umwelt in ihrer Umgebung auffinden. Der Transfer des an Modellen Erarbeiteten auf reale Fälle wird so unterstützt.

**Darüber hinaus Gelerntes**

Über diese technischen Arbeits- und Denkweisen hinaus erwerben die Kinder inhaltliche Kenntnisse, die zum Verständnis von Stabilitätsprinzipien in der gebauten und natürlichen Umwelt führen. Das Interesse an technischen Fragen und das bewusste Wahrnehmen der gebauten Umwelt können hierdurch gefördert werden. Zudem

bietet der Unterricht vielfältige Gelegenheiten, in Verbindung mit dem praktischen Tun die Entwicklung der mündlichen und schriftlichen Sprachkompetenz zu fördern. Auch die ikonische Darstellungsfähigkeit kann geübt werden, indem geplante und realisierte Lösungen gezeichnet werden. Darüber hinaus gibt es im Unterricht zum Thema Brücken viele Möglichkeiten, das eigenständige Arbeiten der Kinder, z.B. beim Recherchieren berühmter Brücken und ihrer Erfinder oder beim Erstellen von Portfolios und Forscherarbeiten, zu unterstützen. Der Unterricht fördert ebenso die Fähigkeit des Problemlösens und vermittelt Erfolgserlebnisse durch eigenständiges Erarbeiten, Entdecken und Erfinden. ■

**Literatur**

Die Unterrichtsbeispiele und ihre Umsetzung im Unterricht werden in folgender Literatur eingehender dargestellt:

Möller, K./Lemmen, K./Zolg, M. (2009): „Brücken – und was sie stabil macht.“ Die KiNT-Boxen – Kinder lernen Naturwissenschaft und Technik. Klasse(n)kisten für den Sachunterricht. Unterrichtsordner und Experimentiermaterial. Essen: Spectra-Lehrmittel-Verlag. (Die Handreichung mit ausführlichen Hintergrundinformationen, detaillierten Planungshilfen und Anregungen zur Kompetenzdiagnostik wird durch Boxen ergänzt, in denen sich Materialien zur Realisierung von Schüler- und Demonstrationsexperimenten zu Balken-, Bogen- und Hängebrücken befinden.)

**Vertiefende Literatur**

Brown, David J. (2007): Brücken. Kühne Konstruktionen über Flüsse, Täler, Meere. München: Callwey.

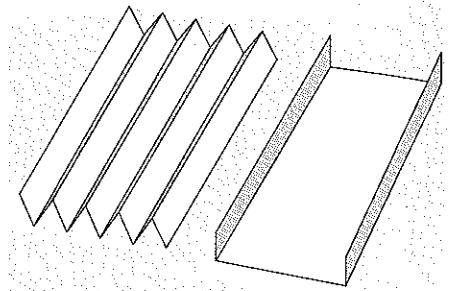


Abb. 10: Bei dem U-Profil und beim Zickzackprofil haben die bei Belastung an der Unterseite wirkenden Zugkräfte und die an der Oberseite des Trägermaterials angreifenden Druckkräfte einen deutlichen Abstand voneinander. Je höher die Aufkantung ist, umso weiter voneinander entfernt greifen die Druck- und Zugkräfte im Material an und umso größer ist die Belastbarkeit. Beim Zickzackprofil verteilen sich die Druck- und Zugkräfte zudem auf mehr Materialfasern.

Quelle: nach Möller, K./Lemmen, K./Zolg, M.

Kleszak, Brigitte (2001): Brücken – interessante Konstruktionen unserer bautechnischen Umwelt. In: Grundschulunterricht Heft 2, S. 16–18.

Lambert, Anette/Reddeck, Petra (2007): Brücken – Türme – Häuser. Statisch-konstruktives Bauen in der Grundschule. Hrsg. v. Monika Zolg, Rita Wodzinski und Holger Wöhrmann. Materialien für den naturwissenschaftlichen und technischen Sachunterricht. Kassel: kassel university press.

Macaulay, David (2002): David Macaulay's großes Buch der Bautechnik. Hildesheim: Gerstenberg.

Probst, Holger (2005): Was hält meine Brücke aus? Konstruieren und Problemlösen mit Papierbrücken. In: Unterricht Arbeit und Technik. Heft 26.

Valkenier, Harry (2006): Bauen mit Papier. Kinder lernen selbständig – freiwillig und systematisch. In: Unterricht Arbeit und Technik. Heft 32. S. 5–6.

**Internet**

<http://www.bernd-nebel.de/bruecken/> (hier finden sich viele interessante Hintergrundinformationen)

**Anschrift der Autorin**

Prof. Dr. Kornelia Möller, Direktorin des Seminars für Didaktik des Sachunterrichts, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Leonardo Campus 11, 48149 Münster

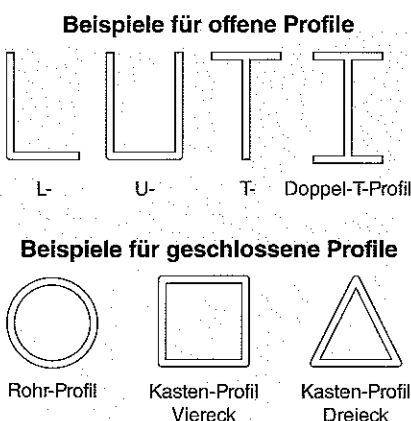


Abb. 11: Verschiedene häufig zu findende Profilarten im Querschnitt Quelle: nach Möller, K./Lemmen, K./Zolg, M.