



Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

Fachbereich Didaktik der Physik

Zulassungsarbeit zur ersten Staatsprüfung für das Lehramt an

Grundschulen im Fach Sachunterricht

eingereicht dem Amt für Lehrerbildung

- Prüfungsstelle Frankfurt am Main - .

Thema:

Leichtbau in der Grundschule

Verfasserin:

Anne Edhofer

Gutachter:

Prof. Dr. rer. nat. habil. Thomas Wilhelm

In der folgenden Arbeit werden Nennungen einzelner Personengruppen zur Vereinfachung des Leseflusses stets in männlicher Form benannt. In allen Fällen sind gleichermaßen Personen weiblichen und männlichen Geschlechts gemeint. Mit dieser Formulierung verbindet sich keinerlei Wertung irgendeines Geschlechts.

Sofern im Verlauf der Arbeit keine weiteren Quellen für Fotografien und Illustrationen angegeben sind, sind sie von mir [Anne Edhofer] erstellt worden.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung und Aufbau der Arbeit	5
1. Ausgangslage und Zielsetzung	7
2. Theoretischer Hintergrund.....	10
2.1 Ziele und Aufgaben des Leichtbaus.....	10
2.2 Leichtbau in unserer Umwelt.....	11
2.3 Strategien des Leichtbaus	17
2.3.1 Materialleichtbau	17
2.3.2 Strukturleichtbau.....	21
2.3.4 Fertigung.....	26
3. Eine Unterrichtseinheit zum Thema Leichtbau in der Grundschule.....	28
3.1 Lerngruppe/Bedingungsanalyse	28
3.2 Sachanalyse	28
3.2.1 Papier	29
3.2.2 Papier als Leichtbauwerkstoff	30
3.2.3 Sandwichbauweise.....	32
3.2.4 Mechanische Begriffe	33
3.3 Lernzielformulierungen	40
3.4 Didaktische und methodische Überlegungen	41
3.4.1 Das Fach Physik und sein Bildungsauftrag	41
3.4.2 Das Konzept der Unterrichtseinheit.....	43
3.4.3 Didaktische Reduktion.....	46
3.4.4 Lebensweltbezug der Lernenden	47
3.4.5 Analyse der Unterrichtsverläufe	48
3.4.6 Fächerübergreifendes.....	68
4. Zusammenfassung und Ausblick	70
5. Anhang.....	72
6. Literaturverzeichnis	87
7. Danksagung	95
8. Plagiatserklärung	96

„Durch bloßes logisches Denken vermögen wir keinerlei Wissen über die Erfahrungswelt zu erlangen; alles Wissen über die Wirklichkeit geht von der Erfahrung aus und mündet in ihr.“

Albert Einstein (1879-1955)

„Wir bieten dem Kind eine Welt; dem Kind bietet sich eine Welt.“

(Langeveld 1982, 78)

Einleitung und Aufbau der Arbeit

Unsere heutige Gesellschaft ist von Technik und Naturwissenschaften stark geprägt.¹ Deshalb ist es immanent für eine mündige Teilhabe an unserer Gesellschaft, Heranwachsenden, insbesondere Schülerinnen und Schülern, naturwissenschaftliches Denken und Handeln zu vermitteln. Das Introdizieren von naturwissenschaftlichen Themen und daraus resultierende Handlungskompetenzen gehört zu einem wichtigen Bildungsgut, um einen verantwortlichen und aufgeklärten Umgang mit Technik, Umwelt und Gesellschaft zu ermöglichen. Bildung dient nicht nur einem Wissenszuwachs, sondern stellt als ein die Identität eines Menschen in zentraler Weise konstituierendes Merkmal dar.² Dies konnotiert ein solidarisches und verantwortungsvolles Handeln in einer natürlichen, kulturellen, sozialen und technischen geprägten Umwelt.

Der Sachunterricht der Grundschule ist ein Fach, wie kein anderes, das von vielen Ansprüchen, einer Vielfältigkeit der Auslegung in den Bundesländern und unterschiedlicher Namensgebung begleitet wird. Nach Kahlert lässt sich jedoch, trotz der unterschiedlichen Auslegungen und Schwerpunkte das Leitbild erkennen, dass der Sachunterricht als Hilfe zu der Erschließung der Umwelt dienen soll. Der Bildungsauftrag des Sachunterrichts in der Grundschule schließt sowohl natur- als auch sozialwissenschaftliche Wissensbereiche ein.³ Die vorliegende Arbeit befasst sich überwiegend mit dem physikalischen, also naturwissenschaftlichen Bereich.

Der Anspruch an den physikalischen Sachunterricht ist es, ein Verstehen seitens der Lernenden zu ermöglichen. Dies ist eine komplexe Aufgabe welche sowohl inhaltsspezifisches Fachwissen, als auch fachdidaktische Kompetenzen erfordert. Der Lehrende muss sowohl interessiert, als auch engagiert Themen aufbereiten. Das aktuelle Hessische Kerncurriculum erlaubt Lehrenden eine große Freiheit bei der Auswahl der Themen. Dies wird vor allem aufgrund der

¹ Vgl. Prenzel (2003)

² Vgl. GDSU (Hrsg.) (2013), S. 9

³ Vgl. Kahlert (2009), S. 9

Output-Orientierung, also durch das Fokussieren handlungsbezogener Kompetenzen ermöglicht.

Eine Unterrichtseinheit zum Thema Leichtbau in der Grundschule stellt ein unerforschtes Gebiet dar. Es gibt zu diesem Thema weder Materialien noch Erfahrungsberichte. Lediglich in der Sekundarstufe gibt es erste Ansätze dieses Thema zu vermitteln.⁴ Daher beschäftigt sich diese wissenschaftliche Hausarbeit mit der Aufbereitung einer Unterrichtseinheit zu Thema Leichtbau in der Grundschule.

Im **ersten Kapitel** werden bisherige Studienergebnisse und Lehrpläne, die Anlass zu technischen Themen im Grundschulunterricht geben angebracht, sowie die Bedeutung des Themas Leichtbau für unsere Gesellschaft skizziert.

Im **zweiten Kapitel** wird ein theoretischer Hintergrund zum Thema Leichtbau, Sachunterrichtslehrenden ermöglicht. Dieser dient zur fachwissenschaftlichen Durchdringung des Themas Leichtbau und hilft bei der Aufbereitung im geeigneten Rahmen für die Grundschule.

Im **dritten Kapitel** wird auf der Grundlage des theoretischen Fachwissens über Leichtbau eine Unterrichtseinheit zum Thema Leichtbau für den Sachunterricht einer Grundschule aufbereitet.

Das **vierte Kapitel** beinhaltet eine Zusammenfassung, ein Fazit und einen Ausblick. Es stellt den Abschluss der Arbeit dar.

Im **fünften Kapitel** finden sich im Anhang mit die Arbeitsblätter für die Unterrichtseinheit.

Das **sechste Kapitel** beinhaltet das Literaturverzeichnis.

Das **siebte Kapitel** enthält eine Danksagung.

Das **achte Kapitel** bekundet die Plagiatserklärung.

⁴ initiative für junge Forscherinnen und Forscher bietet Lehrerfortbildungen an

1. Ausgangslage und Zielsetzung

Der naturwissenschaftliche Sachunterricht der Grundschule wird oftmals von den Lehrenden überwiegend aus biologischer Sicht präsentiert und lässt wenig Raum für die chemische und physikalische Sicht.⁵ Im Folgenden werden Gründe und Folgen dieser vorherrschenden Praxis betrachtet.

Resultate aus der Lehrerforschung zeigen auf, dass die Lernbiographie von Sachunterrichtslehrkräften eine bedeutende Rolle spielt. Demnach entwickeln Lehrkräfte, die sich in physikalischen-technischen Themen als gering kompetent wahrnehmen, eine Abneigung gegen diese Themen. Dies hat zur Folge, dass das Interesse im Bereich der physikalisch-technischen Inhalte verloren geht und daraus ein Vermeidungsverhalten resultiert.⁶

Dennoch messen nach einer nordrhein-westfälischen Studie befragte Lehrkräfte physikalischen Inhalten eine große Bedeutung bei und sind der Meinung, dass Grundschulkinder die Voraussetzungen haben, sich mit diesen auseinander zusetzen. Daher sollten sie Einzug in den Sachunterricht bekommen.⁷

Ebenso zeigen Studienergebnisse in Bezug auf technische Inhalte, dass Sachunterrichtslehrkräfte die Bildungswirksamkeit technischer Inhalte als hoch einschätzen, jedoch ein großer Anteil von ihnen, insbesondere weibliche Lehrkräfte, gegenüber der Umsetzung technikbezogener Themen im Unterricht eine ablehnende Haltung einnehmen. Zudem fehlt es drei von vier befragten an Kompetenz, um diese Unterrichtsinhalte entsprechend zu vermitteln. Achtzig Prozent der Befragten sind im Rahmen ihrer Ausbildung kaum oder nicht mit Technik in Berührung gekommen und ihr Interesse für technikbezogene Themen ist eher gering. Hinzu kommt, dass weniger als die Hälfte technische Inhalte in ihrem Sachunterricht anbieten.⁸

Man hat herausgefunden, dass die Interessenentwicklung bei Kindern im Grundschulalter geschlechtsspezifische Präferenzen aufweist auch in Bezug

⁵ Vgl. Heran-Dörr; Kahlert; Wiesner (2007), S. 1

⁶ Vgl. Landwehr 2001; Drechsler & Gerlach 2001; Möller (2004a)

⁷ Vgl. Möller (2004b)

⁸ Vgl. Möller und Tenberge (2000)

auf physikalisch-technische Inhalte und Themen.⁹ Es konnte jedoch noch nicht nachgewiesen werden, ob dieser Zustand in der vorschulischen oder in der schulischen Sozialisation verursacht wird. Auch andere Faktoren wären für diese Auswirkung möglich.

Der dieses Jahr in Kraft getretene Lehrplan in Bayern beinhaltet unter „Bauen und Konstruieren“ Konstruktionsprinzipien bei Brückenmodellen, sowie Mittel zur Erhöhung der Stabilität durch Profile und Aussteifungen.¹⁰ Auch im Hessischen Kerncurriculum wird gefordert, dass „das Wissen über technische Zusammenhänge, die Kenntnis von technischen Wirkungsweisen und von Auswirkungen der Technik die Orientierung in der aktuellen und zukünftigen Lebenswelt unterstützen.“¹¹

Es lässt sich also zusammenfassend festhalten, dass sich die Umsetzung physikalisch-technischer Inhalte im Sachunterricht aufgrund der oben genannten Faktoren als schwierig gestaltet. Vor diesem Hintergrund soll aufgezeigt werden, dass technische Unterrichtsinhalte ebenso für die Grundschule geeignet sind, wie biologische. Die Entwicklung des kompetenzorientierten Unterrichts macht es den heutigen Lehrkräften möglich, sich von den „klassischen“ Themen loszulösen und neue aufregende physikalisch-technische Inhalte mit den Lerngruppen auszuprobieren. Dies fordert zwar aufgrund der Aufbereitung ein großes Engagement, da man nicht immer aus einem bereits vorhandenen Material-Pool schöpfen kann, dennoch sollte es als Privileg und Chance angesehen werden. Gerade Kinder mit Entdeckergeist und Vorliebe für technische Themen kann man mit solchen Inhalten begeistern. Aber auch biologiebegeisterten Kinder kann man zeigen, dass es einen naturwissenschaftlichen Sachunterricht außerhalb der biologischen Thematik gibt.

Doch warum eignet sich das Thema „Leichtbau“ für die Grundschule?

⁹ Vgl. Rossberger und Hartinger (2000)

¹⁰ Vgl. Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München. Heimat- und Sachunterricht 3/4 2015. Lernbereich 6 Technik und Kultur. 6.2 Bauen und Konstruieren.

¹¹ Vgl. Hessisches Kerncurriculum Sachunterricht. (2011), S. 15

„Immer größere Nutzlast bei immer geringerem Flugzeuglärm, immer höhere Fahrzeugsicherheit bei gleichzeitiger Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs, immer längere Brückenspannweite bei immer höherer Tragfähigkeit – wann immer solch widersprüchliche Anforderungen zu erfüllen sind, kommt einer Disziplin eine entscheidende Bedeutung zu: dem Leichtbau.“¹²

Leichtbau wird auch gerne als Querschnitts- oder Schlüsseltechnologie bezeichnet. Er umringt uns und ist in unserer heutigen Gesellschaft in Form von Flugzeugen, Autos, Fahrrädern, Umzugskartons, Gebäuden und vielem mehr omnipräsent. Kinder sind indirekt davon betroffen. Aber auch ein direkter Kontakt findet beispielsweise durch leichtes Spielzeug aus stabilen Faserkunststoffverbunden und Papier, Fahrradhelmen oder Eierkartons statt. Es ist ein Thema was Raum für Kreativität und Individualität gibt.

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Unterrichtseinheit über das Thema Leichtbau zu entwerfen, um somit einen Beitrag zur Unterstützung des Zuwachses an physikalisch-technischen Themen im Sachunterricht zu erbringen.

¹² Vgl. Drechsler (2007), S. 6

2. Theoretischer Hintergrund

2.1 Ziele und Aufgaben des Leichtbaus

Zu Beginn dieser Arbeit stellt sich zunächst die Frage, was Leichtbau ist. Was sind die Ziele von Leichtbau und gibt es eine allgemein vertretbare Lehre des Leichtbaus?

Klein spricht von einer „Aufgabenstellung des Leichtbaus, die ein minimales Baugewicht unter höchster Ausnutzung anstrebt.“¹³ Nach Wiedemann handelt es sich um „eine Absichtserklärung, aus funktionalen oder ökonomischen Gründen das Gewicht zu reduzieren oder zu minimieren, ohne die Tragfähigkeit, die Steifigkeit oder andere Funktionen der Konstruktion zu schmälern, kurz gesagt: die Tragfunktion ohne Gewichtszunahme zu verbessern.“¹⁴

Betrachtet man einen LKW mit 12 Tonnen Eigengewicht und einer Nutzlast von 8 Tonnen als Beispiel. Der LKW darf mit seiner Ladung ein Gesamtgewicht von 20 Tonnen nicht überschreiten. Ein funktionaler Grund könnte also sein, das Eigengewicht eines LKWs durch die Verwendung leichtere Bauteile auf 11 Tonnen zu senken, um somit in Zukunft eine Nutzlast von 9 Tonnen transportieren zu können. Ein ökonomischer Grund könnte sein das Eigengewicht bei gleichbleibender Nutzlast zu senken, um somit einen geringeren Kraftstoffverbrauch und geringere Emissionen zu erzielen. Bei beiden Zielen ist zu beachten, dass die Tragfähigkeit und die Sicherheit des LKWs und seiner Bauteile nicht gemindert werden.

Fokussiert man nun nicht diesen Einzelfall und fragt im Allgemeinen nach den Gründen für Leichtbau, so ist nach Niemann/ Winter/ Höhn¹⁵ das Streben nach Leichtbau gerechtfertigt, solange die Bauteilkosten nicht anwachsen und die Funktion des Bauteils bzw. der Konstruktion nicht gemindert wird. Höhere Kosten sind angebracht, wenn Bauteile einer Konstruktion entlastet und somit leichter gestaltet werden können. Auch wie im oben genannten Beispiel Automobil sind höhere Kosten gerechtfertigt, wenn bei einer

¹³ Vgl. Klein (2009), S. 1

¹⁴ Vgl. Wiedemann (2007), S. 1 ff.

¹⁵ Vgl. Niemann & Winter & Höhn (2013), S. 166

Gewichtsverringern eine größere Nutzlast bei gleichem Gesamtgewicht ermöglicht wird. Ebenso wenn laufende Variablen und fixe Betriebskosten (Energiekosten) verringert werden können, wie beispielsweise das Gewicht eines Förderbandes zu reduzieren und bei gleichbleibender Förderlast die Energiekosten bei der Produktion zu senken. Aufgrund einer Erleichterung bei der Bedienung oder bei der Beförderung beispielsweise eines Handrührgerätes, das leichter gebaut ist und somit einfacher und zielgerichteter bewegt werden kann, sind höhere Kosten vertretbar. Das gleiche gilt für eine Konstruktion, die durch Leichtbau erst möglich wird, wie im Brückenbau oder in der Luft- und Raumfahrt durch spezielle Formgebung. Steuerliche Vorteile durch eine bessere Ökobilanz können höhere Kosten ebenfalls rechtfertigen, wie etwa bei einem Automobil, dass durch geringeres Eigengewicht weniger Abgas produziert und somit steuerliche Einsparungen ermöglicht.

2.2 Leichtbau in unserer Umwelt

Vor diesem Hintergrund werden nun einige Beispiele angeführt, wo in unserer Umwelt Leichtbau anzutreffen ist und in welchen Anwendungsgebieten Leichtbau vorzufinden ist. Auch stellt sich die Frage seit wann es Leichtbau gibt.

Leichtbau ist keineswegs ein neues oder modernes Fachgebiet, wie es manchmal den Anschein erweckt. Der Natur kann man seit Millionen von Jahren beim Arbeiten nach dem *Evolutionsprinzip Leichtbau* zusehen. Dabei versucht die Natur Stoffe und Strukturen entsprechend ihrer Aufgaben bei geringstem Gewicht mit einer hohen Festigkeit auszustatten. Nach dem Motto: „Minimaler Einsatz von Energie und Material bei bestmöglicher Erfüllung der Funktion.“ Beispiele für dieses Streben findet man im Skelett der Säugetiere als Stützstruktur, in Bienenwaben (Abb. 1), in der Längsfaser des Bambus und auch alle Stängel der Pflanzen tragen durch ihre Faserstruktur optimal das restliche Gewicht der Pflanze. Auch bei Vögeln, beispielsweise im Oberarmknochen eines Adlers arbeitet die Natur im Sinne von Leichtbau (Abb. 4).



Abb. 1 Honigwabe¹⁶



Abb. 2 menschliche
Schädeldecke¹⁷

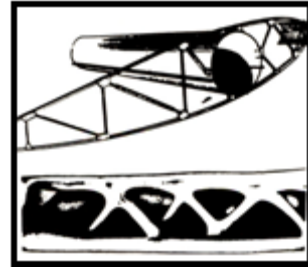


Abb. 3 Oberarmknochen
eines Adlers¹⁸

Bei den Menschen gibt es Leichtbau in seiner Grundidee schon immer. Der Mensch strebt nach Dingen, die das Leben einfacher machen. Dinge die leicht sind, viel aushalten und langlebig sind. Auch „die hohe Festigkeit von Fasern und die daraus nutzbare Verstärkungswirkung war den Menschen schon früh bekannt. Dies zeigt sich bei der Verwendung unter anderem von Flachs, Hanf, Sisal, Seide, Wolle und Haaren. Als Beispiele kann man hier die Ägypter anführen, die vor dreitausend Jahren mittels Stroh oder anderen Pflanzenfasern ihre Lehmziegel verstärkten. Auch in China wurden zwischen 480 und 221 vor Christus verzierte Schalen, Kästen und Becher, die mittels Fasern (Hanf oder Ramie) verstärkt und anschließend lackiert worden sind (Abb. 4 und 5).“¹⁹ Holz als das älteste Material des Menschen zur Konstruktion von Häusern, Schiffen, Fahrzeuge, Werkzeuge und vielem mehr, weist ebenfalls gute Leichtbaueigenschaften auf. Die Menschen haben schon früh erkannt, dass Holz ein Faserverbund-Werkstoff darstellt. Holz besitzt feste Cellulosefasern und hat bei geringer Dichte eine Festigkeit, die es somit zu einem stabilen (Leicht-)Werkstoff macht.²⁰

¹⁶ Bienenwaben entnommen: [http://media.kunst-fuer-alle.de/img/37/m/37_53727.jpg]

¹⁷ Vgl. Lüftl & Degischer (2009)

¹⁸ Vgl. Nachtigall (1985)

¹⁹ Vgl. Schürmann (2005) S. 2 und 3

²⁰ Vgl. Schürmann (2005) S. 1

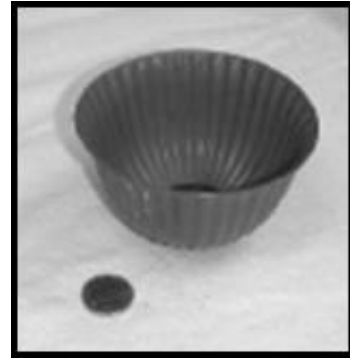


Abb. 4 Kasten und Schale aus China zwischen 480 und 221 v. Chr.²¹

Im Bauwesen und in der Luft- und Raumfahrt wird eine Konstruktion durch Leichtbau erst möglich. Die Bogenbrücke lässt durch ihre spezielle Verteilung von Lasten zu, dass ansonsten ungeeignete Materialien, wie Beton und Stein verwendet werden können, wie bei dieser römischen Steinbrücke zu sehen ist (Abb. 6). Kirchen sind beeindruckende Bauwerke die aus massiven und schweren Materialien vom Menschen erbaut worden sind und durch ihre faszinierenden Bauweisen, ebenso wie die Bogenbrücken sich selbst tragen. Als Beispiel dient hier der Kölner Dom (Abb. 7).



Abb. 6 Teufelsbrücke bei Tarragona²²

Abb.7 Innenansicht Kölner Dom²³

Leichtbau gibt es ebenfalls in der Automobilindustrie. Unter anderem sind die Fahrgastzelle und die Crash-Box aus dem Verbundstoff karbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK), auch Karbon genannt. Die

²¹ Vgl. Schürmann (2005), S. 3

²² entnommen: [https://de.wikipedia.org/wiki/Aq%C3%BCeducte_de_les_Ferreres]

²³ entnommen: [<http://deutschland-im-mittelalter.de/bilder/handwerk/koelner-dom-innen.jpg>]

Leichtbaukonstruktionen ermöglichen zum einen ein Automobil sicherer zu konstruieren, zum anderen es leichter zu machen. In Folge dessen kann durch ein geringeres Eigengewicht der Kraftstoffverbrauch gesenkt werden, was eine Kosteneinsparung und Senkung der Umweltbelastung ermöglicht.

In der Luft- und Raumfahrt sprechen viele Vorteile für den Gebrauch von Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV) bei dem Bau von Flugzeugen. „Sie besitzen eine hohe Korrosionsbeständigkeit, es gibt keine Grenzen bei der Formgebung und es besteht die Möglichkeit zur integralen Bauweise. Zudem haben FKV gegenüber Aluminium den großen Vorteil eine höhere Ermüdungsfestigkeit vorzuweisen. Aufgrund dessen werden heutzutage Segelflugzeuge, motorbetriebene Kleinflugzeuge und Windkraft-Rotorblätter fast ausschließlich aus FKV hergestellt.“²⁴ Im Laufe der Jahre hat die Verwendung von FKV im Flugzeugbau deutlich zugenommen. Wie in der Automobilindustrie ermöglichen leichtere Bauweisen von Flugzeugen auch in diesem Anwendungsgebiet Ersparnisse beim Treibstoff und umweltschonendere Transporte. Abb. 8 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Faserverbundanteils am Gesamtstrukturgewicht der Flugzeuge. Abb. 9 zeigt die über die Jahre abnehmende Gewichtsentwicklung im Flugzeugbau durch die Verwendung von Faserverbundtechnologien. Die folgenden Abbildungen zeigen, wie weit die Technik vorangeschritten ist und wie der aktuelle Stand der Technik sich auf den Flugzeugbau ausgewirkt hat. Abb. 10 stellt dar, welche Bauteile eines Flugzeugs, in diesem Fall der Airbus A 380, bereits mithilfe von Faserverbund-Technologie hergestellt werden. Abb. 11 den Anteil an Materialien bzw. Faserverbundstoffen in der Boeing 787.²⁵

²⁴ Vgl. Schürmann (2005), S. 6

²⁵ Vgl. Präsentation: Faserverbundleichtbau für Flugzeugstrukturen von Universität Stuttgart, Institut für Flugzeugbau. [http://www.swiss-aerospace-cluster.ch/upload/cms/user/Busse_Uni_Stuttgart.pdf]

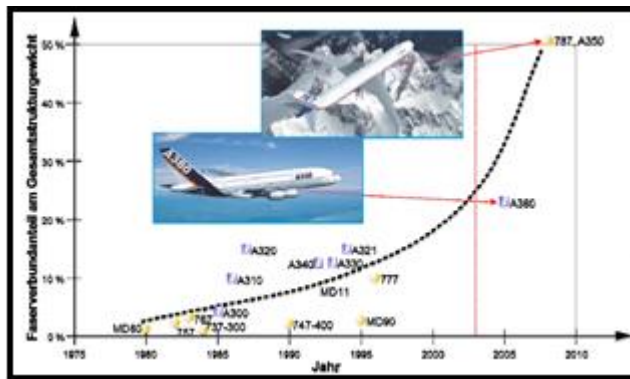


Abb. 8 Faserverbundanteil am Gesamtstrukturgewicht²⁶

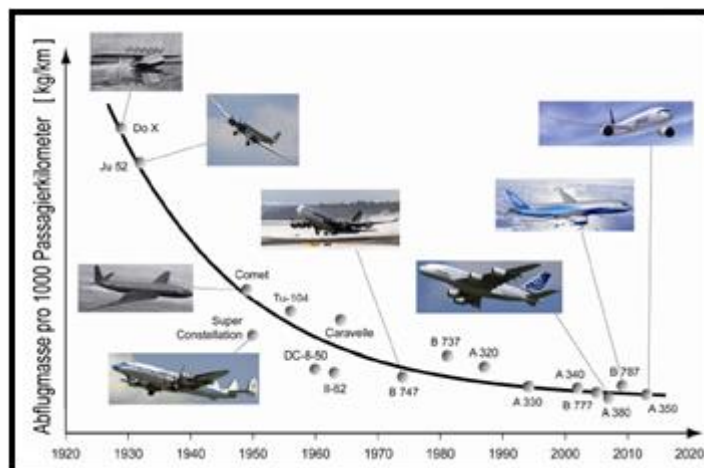


Abb. 9 Gewichtsentwicklung im Flugzeugbau²⁷

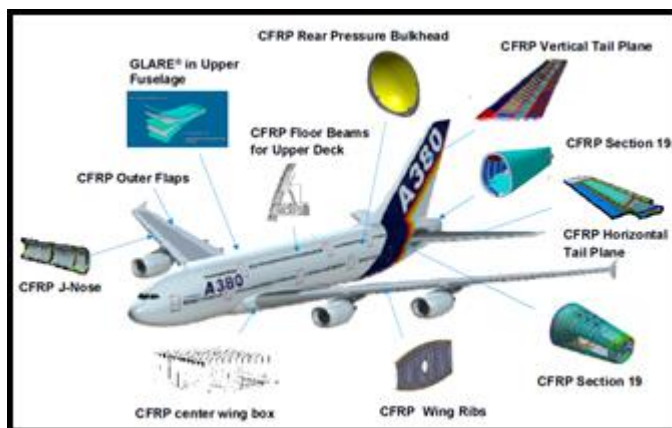


Abb. 10 Ansicht der mithilfe von Faserverbundtechnologie gefertigten Bauteile²⁸

²⁶ Vgl. Präsentation: Faserverbundleichtbau für Flugzeugstrukturen von Universität Stuttgart, Institut für Flugzeugbau. [http://www.swiss-aerospace-cluster.ch/upload/cms/user/Busse_Uni_Stuttgart.pdf]

²⁷ Vgl. ebd.

²⁸ Vgl. ebd.

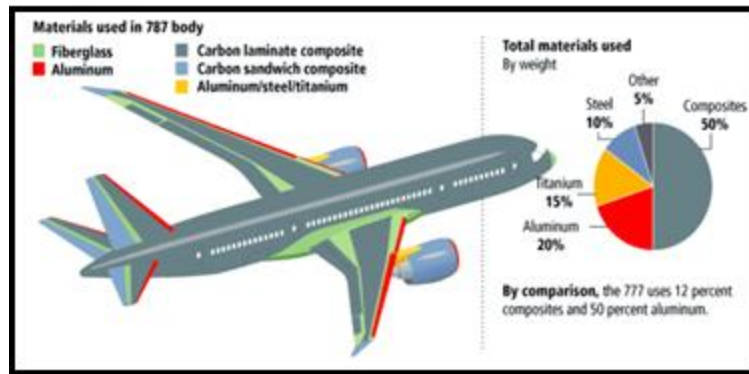


Abb. 11 Anteil von Faserverbundstoffen in der Boeing 787²⁹

Es wird deutlich, dass Leichtbau ein vielfältiges Anwendungsgebiet abdeckt und eine konkrete für alle Leichtbaukonstruktionen geltende Definition nicht existent ist, da es keine Patentregel für eine gute Leichtbaukonstruktion gibt. Die Betrachtung mehrerer Zielgrößen ist erforderlich. Es wird immer ein Kompromiss zwischen einer Gewichtsminderung und statisch und dynamischer Sicherheit sein. Denn je nach Anforderung an die Konstruktion, muss man beispielsweise am Material, am Gewicht oder an den Kosten Einbußen hinnehmen, wenn man mehr Wert auf eine andere Einflussgröße legt. Betrachtet man die oben aufgeführten Beispiele aus Industrie und Natur, so wird deutlich, dass Leichtbau mehrdimensional zu verstehen ist.

Leichtbau ist also an übergeordnete Ziele gebunden und orientiert sich nicht ausschließlich am Gewicht, sondern ist an Kosten und Nutzen gebunden. Hier kann man nach Wiedemann³⁰ drei Klassen anführen. Diese sind der Spar-, Öko- und Zweck-Leichtbau. Der Spar-Leichtbau konzentriert sich auf eine direkte Kosteneinsparung an Material und Herstellung. Dies kann beispielsweise durch eine belastungsgerechtere Struktur oder der Verwendung besser geeigneter Materialien geschehen. Der Ökoleichtbau bringt indirekte Kosteneinsparung. Durch Maßnahmen an Material oder Herstellung können zwar größere Kosten entstehen, wie beispielsweise das austauschen eines Materials gegen eine leichtere und teurere Alternative, jedoch kann sich

²⁹ Vgl. Präsentation: Faserverbundleichtbau für Flugzeugstrukturen von Universität Stuttgart, Institut für Flugzeugbau. [http://www.swiss-aerospace-cluster.ch/upload/cms/user/Busse_Uni_Stuttgart.pdf]

³⁰ Vgl. Wiedemann (2007), S. 2

dadurch der Energieverbrauch senken. Dieser kann wiederum die Betriebskosten senken und dadurch die Maßnahme rechtfertigen. Der Zweckleichtbau tritt dann in den Vordergrund, wenn bestimmte Funktionen von Bauteilen und Konstruktionen durch Gewichtsreduzierung erst möglich werden. Die ist bei präzise arbeitenden Robotern beispielsweise der Fall. Hierbei können dann Kosten zweitrangig sein.

2.3 Strategien des Leichtbaus

Aufgrund der oben genannten Ziele kann man Strategien bzw. Prinzipien ableiten die für eine Leichtbau-Konstruktion von Bedeutung sind. Zum einen gibt es den Materialleichtbau, den Strukturleichtbau, auch Formleichtbau genannt, und den Systemleichtbau. Zudem spielt die Fertigung eine große Rolle. Hier sei erwähnt, dass es viele unterschiedliche Kategorien im Leichtbau gibt, auch unter Experten. Die folgende Darstellung ist am besten für den Umfang dieser Arbeit geeignet. Eine Unterteilung von Leichtbau in dieser Art ist in der Praxis schwierig, da die unterschiedlichen Aspekte sich gegenseitig beeinflussen und bedingen. Für ein tieferes Verständnis werden diese dennoch zunächst getrennt betrachtet aufgeführt.

2.3.1 Materialleichtbau

Es gibt eine große Auswahl an Materialien mit guten und weniger guten Eigenschaften, die man für Leichtbau-Konstruktionen verwenden könnte. Wie wählt man nun den passenden Werkstoff aus? „Im Leichtbau gilt die Philosophie, immer den richtigen Werkstoff für den richtigen Anwendungsfall.“³¹ Dem modernen Leichtbauer sollte die breite und überaus zahlreiche Auswahl an Werkstoffen bekannt sein, damit er sorgfältig den, für sein Bauteil, Geeigneten herausucht. Im Folgenden sollen exemplarisch ein paar Werkstoffe vorgestellt werden.

Stahl ist auch noch heute ein wichtiger Konstruktionswerkstoff besonders beim Maschinen- und Fahrzeugbau. Es spricht nicht nur der günstige Kilopreis für Stahl, sondern auch eine sehr große Verfügbarkeit von Halbzeugen.³²Es

³¹ Klein (2009), S. 38

³² Halbzeuge sind vorgefertigte Gegenstände, wie Bleche, Stangen, Rohre, Platten und Coils. Sie entstehen in einem der ersten Schritte im Herstellungsprozess eines Produktes.

gibt viele verschiedene Stähle. Die Auswahl reicht von weichen bis festen bis hin zu korrosionsbeständigen Stählen. Gegen Stahl als Leichtbauwerkstoff spricht seine hohe Dichte, die bei Konstruktionen ein hohes Gewicht verursacht. Es gibt jedoch auch Anwendungsfälle bei denen eine Konstruktion aus Stahl, so gestaltet werden kann, dass es Sinn macht statt Stahl Aluminium vorzuziehen. „Ein schönes Beispiel für den Wandel von Stahl stellt das Demonstrationsprojekt ULSAB (Ultra-Light Steel Auto Body) dar, bei dem man bewiesen hat, dass ein intelligenter Einsatz von Stahl noch Potenziale im Karosseriebau (Abb. 1) mobilisieren kann.“³³ Daraus lässt sich schlussfolgern, dass bei der Bewertung eines Materials für eine Leichtbau-Konstruktion ein schlichter Vergleich der Dichte nicht ausreicht. Die Dichte von Stahl beträgt $\rho_{st} = 7,85 \text{ kg/dm}^3$. Eisen-Gusswerkstoffe haben eine Dichte von $\rho_{GG} = 7,1 - 7,6 \text{ kg/dm}^3$.

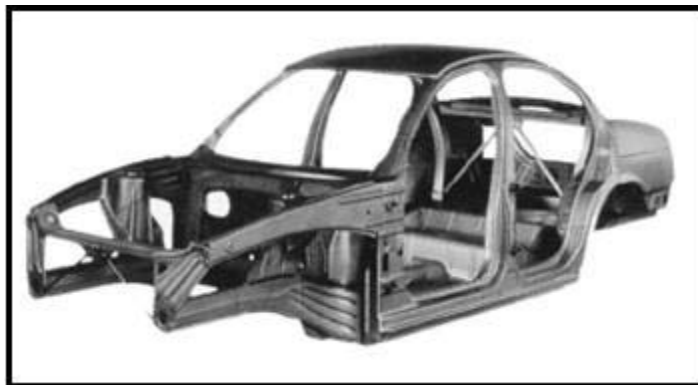


Abb. 12 Demonstrationsprojekt ULSAB (Ultra-Light Steel Auto Body)

Aluminium wird als „wichtigster Konstruktionswerkstoff im metallischen Leichtbau“³⁴ genannt. Aluminium besitzt mit $\rho_{Al} = 2,7 \text{ kg/dm}^3$ eine niedrige Dichte und an Stahl heranreichende Festigkeitswerte. Auch die gute Formbarkeit sprechen für Aluminium als ausgezeichneten Leichtbauwerkstoff. Zu diesen Vorteilen kommt noch der maßgebende Aspekt der Wartungsfreiheit. Dies hat Aluminium seiner großartigen Eigenschaft der vollkommenen Korrosionsbeständigkeit zu verdanken. Dieser Werkstoff wird

³³ Vgl. Klein (2009), S. 38

³⁴ Klein (2009), S.38

gerne in der Industrie bei der Fensterherstellung, Fertigung von Dachrinnen, Jalousien und bei Fahrradrahmen eingesetzt.³⁵

Der Vollständigkeit und des Verständnisses wegen wird auch Kunststoff vorgestellt. Kunststoff mit einer Dichte von $\rho_K \approx 0,8-2,2 \text{ kg/dm}^3$ nimmt zurzeit keine große Rolle bei Leichtbaukonstruktionen ein. Im Faser-Kunststoff-Verbund hingehend spielen Harze als Matrixwerkstoff eine Rolle.

Bevor als nächstes Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe, auch Carbon-Faser-Verstärkte Kunststoffe genannt (CFK), vorgestellt werden, soll zunächst erklärt werden, was faserverstärkte Werkstoffe überhaupt sind. Ein aus der Natur stammender faserverstärkter Werkstoff ist, wie in 2.2. bereits erwähnt, das Holz. Es besitzt Cellulosefasern, die in eine Matrix aus Lignin eingebettet sind. Die Fasern nehmen die Lasten auf, während die Matrix sie an ihrer Position hält. Bei Faser-Kunststoff-Verbunden (FKV) ist sie aus Kunststoff, meist Harz. Es gibt ebenso andere Verbunde bei denen die Matrix aus Beton, Keramik, Metall usw. besteht. „In Verbundbauweisen werden meist völlig unterschiedlichen Stoffe derart kombiniert, dass ihre individuellen Eigenschaften optimal zur Wirkung kommen.“³⁶ Aufgrund dessen darf man, obwohl FKV als eigene Werkstoffklasse betrachtet werden, nicht vergessen, dass es sich hierbei um eine Konstruktion eines Werkstoffes handelt. Demnach können unter anderem Anteile von Fasern und Matrix, Faserrichtungen, Schichtdicken usw. beeinflusst werden.³⁷

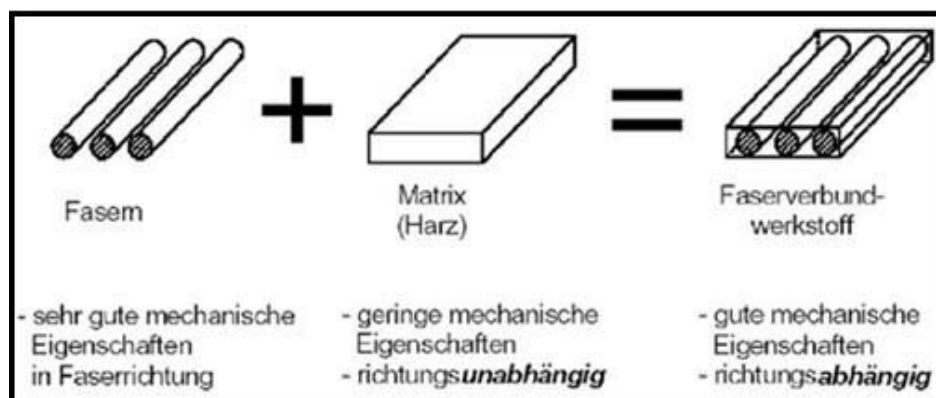


Abb. 13 Faserverbund³⁸

³⁵ Vgl. Kammer (2014), S. 388 & Klein (2009), S. 43

³⁶ Wiedemann (2007), S. 488

³⁷ Vgl. Schürmann (2005), S. 13 ff.

³⁸ entnommen aus Präsentation: Faserverbundleichtbau für Flugzeugstrukturen von Universität Stuttgart, Institut für Flugzeugbau. [http://www.swiss-aerospace-cluster.ch/upload/cms/user/Busse_Uni_Stuttgart.pdf]

CFK wurden ursprünglich besonders im Rahmen der Luft- und Raumfahrt und im Rennsport entwickelt. Sie haben eine sehr geringe Dichte $\rho \approx 1,8 \text{ g/cm}^3$, sind also besonders leicht. Darüber hinaus besitzen sie eine extrem hohe Festigkeit, Steifigkeit, Elastizität und Ermüdungsfestigkeit. Vor allem die hohe Ermüdungsfestigkeit spricht in der Luftfahrt besonders für CFK und ist ein Vorteil gegenüber dem Gebrauch von Aluminium.³⁹

Alle hier vorgestellten Materialien haben nicht nur Vorteile. Es gibt auch physikalische Nachteile, die sich natürlich auf die Konstruktion und deren Mechanik auswirken. Aufgrund des kleinen Rahmens dieser Arbeit soll hier ein kurzer Blick auf die unterschiedlichen Kosten der Materialien (Abb. 14) geworfen werden. In den Unternehmen gibt es sehr selten ein unbegrenztes Budget, insofern muss natürlich auch auf die Materialkosten Wert gelegt werden.

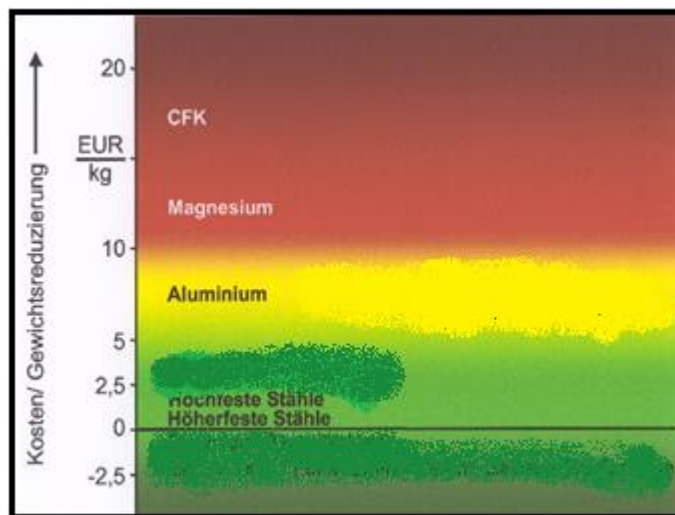


Abb. 14 Materialpreis

Hier wird deutlich, dass in der Reihenfolge, der oben vorgestellten Materialien auch der Kilopreis steigt. Rückblickend ist es umso verständlicher, dass manchmal eine gut geplante Stahlkonstruktion durchaus Vorteile bringen, nicht nur aus physikalischer, sondern auch aus lohnender Sicht. Trotz allem wird die Bedeutung der CFK in Zukunft noch zunehmen. Dies liegt nicht nur an ihren hervorragenden Eigenschaften für Leichtbau, sondern auch an dem Wunsch der

³⁹ Vgl. Schürmann (2005), S. 35 ff. & Klein (2009), S. 60 & Wiedemann (2007), S. 488 ff.

Gesellschaft nachhaltiger zu produzieren. Denn wie bereits erwähnt sind CFK in der Herstellung, sowie unter Einsatz in der Energieersparnis unschlagbar.

2.3.2 Strukturleichtbau

Der Strukturleichtbau ist nochmals differenziert nach Form und Bauweise zu beleuchten. Da er beides umfasst, ist es immanent beides zu berücksichtigen. Jedoch ist die Form und Bauweise einer Konstruktion nur schwer getrennt zu beachten, da sie sich gegenseitig bedingen.

Form

Die Form des Bauteils nimmt großen Einfluss auf dessen Eigenschaften wie Steifigkeit und Festigkeit. Hierbei bedienen sich Konstrukteure gerne bionischer Prinzipien. Es wird ganz nach der Natur gearbeitet. Die Natur ist in der Lage mithilfe von Adaptivität Werkstoffeigenschaften und Form für die jeweiligen Belastungen und Umweltauforderungen optimal zu gestalten.⁴⁰ Ein gutes Beispiel hierfür ist der Knochen von Säugetieren (Abb. 15). „Knochen können nicht nur wachsen, sondern auch schrumpfen. Ihre unterbelasteten Bereiche werden durch Fresszellen (Osteoclasten) weggeknabbert.“⁴¹ An den belasteten Bereichen wird hingegen das Wachstum verstärkt. Es entsteht ein teils hohler Bereich an unterbelasteten Stellen im Knochen und ebenso sehr stabile Ränder mit Knochensubstanz, sowie stabiles Schwammgewebe im inneren des Knochens (Abb. 1). Somit wird Material an den unnötigen Stellen eingespart und unterschiedlich geformt für die verschiedenen Belastungen und Beanspruchungen. Das Ergebnis ist ein Knochen, der leichter und stabiler wird, sowie an den verschiedenen Stellen für unterschiedliche Aufgaben optimal ausgeformt ist. Übertragen auf das Stahlbauteil (Abb. 16) kann man diesen Prozess nachvollziehen. Es gibt Aussparungen in der Mitte des Bauteils und es wird durch die Verformung an den Rändern außen und den Löchern in der Mitte leichter und stabiler. Je genauer man die Belastungen und Aufgaben des zu konstruierenden Bauteils kennt, desto optimierter kann die Bauform gestaltet werden und desto höher ist die Lebensdauer eines Bauteils.

⁴⁰ Vgl. Drechsler (2007), S. 14

⁴¹ Mattheck (2010), S. 22



Abb. 15 Knochen⁴²

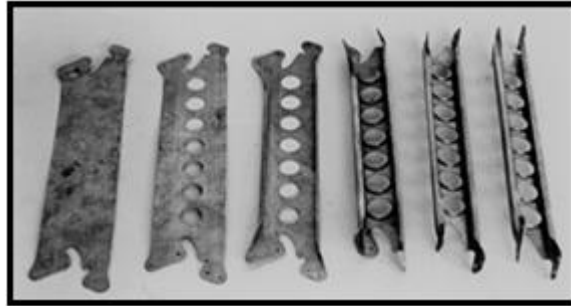


Abb. 16 Bauteil

Bauweise

„Als Bauweise wird die Art und Weise bezeichnet, in der der einzelne Werkstoff geformt und miteinander zu Bauteilen verbunden werden.“⁴³ Im Folgenden werden einige Bauweisen vorgestellt.

Bei der Differentialbauweise (Abb. 17) wird ein Bauteil aus mehreren Einzelteilen zusammengebaut durch Vernieten, Verschweißen oder Verkleben der Einzelteile. An diesen Niet-, Schweiß- oder Klebstellen kann es zu Spannungen kommen. Im Leichtbau würde man dies gerne umgehen. Vorteile bei dieser Bauweise sind, dass Konstruktionen gut demontierbar und recycelbar sind. Dies ist der einfachen Fügung zu verdanken. Da die Verbindungen der Bauteil üblicherweise leicht lösbar sind, kann man die Einzelteile anschließend ersetzen oder sortieren und recyceln. Auf Baustellen bietet daher die Differentialbauweise viele Vorteile.⁴⁴

Ein Bauteil, das in Integralbauweise (Abb. 18) gefertigt ist, besteht aus einem Stück und ist ein sogenanntes Einstoff-Bauteil. Die Vorteile hierbei sind, dass es keine Niet-, Schweiß- oder Klebestellen gibt, die zu Spannungen führen könnten und da das Bauteil aus einem Material besteht ist es auch sehr gut recycelbar. Ein weiterer Vorteil ist, dass durch diese Bauweise ein geringeres Gewicht des Bauteils erzielt werden kann. Nachteilig ist anzusehen, dass

⁴² Mattheck (2010), S. 22

⁴³ Vgl. Sobek (2007), S. 72

⁴⁴ Vgl. ebd. & Klein (2009), Seite 17 f. & Wiedemann (2007), S. 7 f.

immer wieder das gleiche Material verwendet wird und bei Schädigungen das ganze Bauteil, beispielsweise von Rissen, betroffen ist.⁴⁵



Abb. 17 Rennradrahmen in Differentialbauweise⁴⁶



Abb. 18 Rennradrahmen in Integralbauweise⁴⁷

Aufgrund des Schädigungsverhaltens bei der Integralbauweise, versucht man bei einem Bauteil die Integration angemessen zu begrenzen. Dies kann durch die integrierende Bauweise erreicht werden. Man versucht deshalb das Bauteil mit Teilintegration zu konstruieren. Dadurch lassen sich die Bauteile bei anfallender Reperatur und für das Recyceln besser austauschen. Man sieht, dass hier ein Einzelbauteil mit zwei Vertiefungen ausgestattet sind, sogenannte Sicken⁴⁸. Sie dienen der Versteifung. Die integrierende Bauweise kann gewissermaßen als Kompromiss zwischen Differential- und Integralbauweise bezeichnet werden.⁴⁹ In Abbildung 19 werden Diefferential-, Integral- und Integrierende-Bauweise nochmal im Vergleich zueinander aufgeführt.

⁴⁵ Vgl. Sobek (2007), S. 72 f. & Wiedemann (2007), S. 7 f. & Klein (2009), S. 18

⁴⁶ Vgl. Neitzel & Mitschang, & Breuer, (2014), S. 278

⁴⁷ Vgl. ebd.

⁴⁸ Vgl. Klein (2009), S. 261

⁴⁹ Vgl. Sobek (2007), S. 72 f. & Wiedemann (2007), S. 7 f. & Klein (2009), S. 18 f.

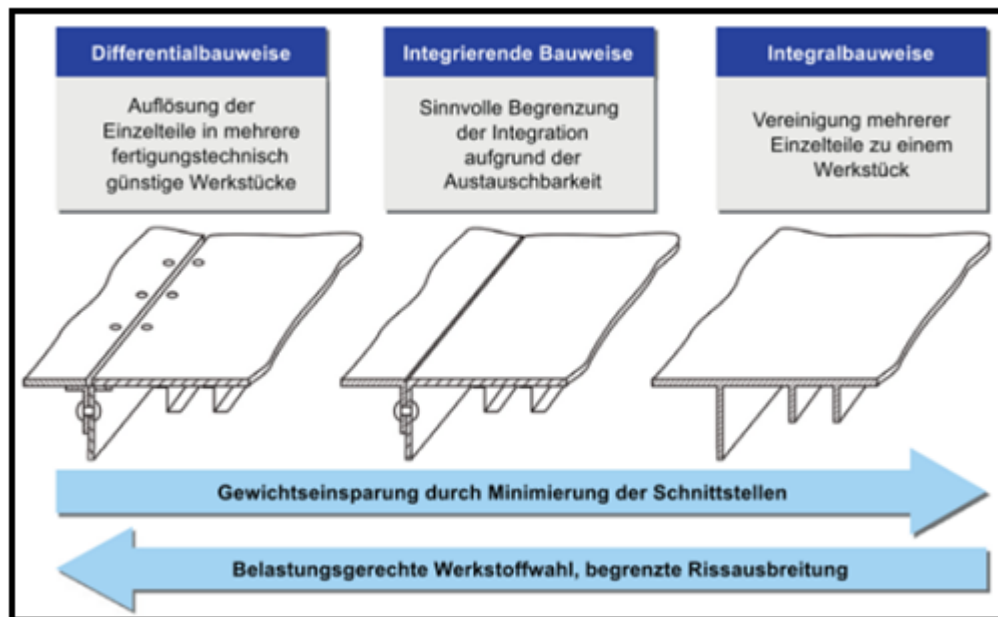


Abb. 19 Differential-, Integral- und integrierende Bauweise⁵⁰

Diese drei Bauweisen gelten als grundlegende Bauweisen im Leichtbau. Darüber hinaus soll anschließend noch die Verbundbauweise vorgestellt werden.

Es handelt sich um eine Verbundbauweise, wenn aus mehreren unterschiedlichen Werkstoffen Bauteile zu einem Stück zusammengesetzt werden, sozusagen ein Mehrstoff-Bauteil. Dies kann beispielsweise in einer Faserverbund-Konstruktion oder in einer Sandwich-Konstruktion verwirklicht werden. Die Faserverbundkonstruktion stellt einen Verbund zwischen zwei Stoffen da, wie in 2.2.1 dargestellt. Hier macht sich auch bemerkbar, dass sich die Prinzipien von Leichtbau nur schwer trennen lassen. Der Faserverbund kann also gleichzeitig ein Material, eine gewisse Form und Bauweise in einem inne haben, denn es ist ein konstruierter Werkstoff. Die Sandwichkonstruktion zeichnet sich durch zwei Oberflächen und ein, in ihnen eingeschlossenes, Kern aus Schaumstoff oder Waben aus.⁵¹ „Als integrierend bezeichnet man eine Bauweise, bei der verschiedene Teile (durch Kleben oder Schweißen) zu einer quasi homogenen oder kontinuierlichen Einheit verbunden werden. In diesem

⁵⁰ Vgl. Rieg & Steinhilper (2012), S. 468

⁵¹ Vgl. Klein (2009), S. 19 & Sobek (2007), S. 73 & Wiedemann (2007), S.8

Sinne kann man auch die Faserverbund- und Sandwichkonstruktionen zu den integrierenden Bauweisen zählen.“⁵²

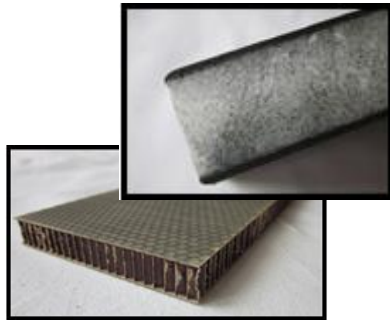


Abb. 20 Sandwichpaneele



**Abb. 21 Ahornbahn
in Mayrhofen Sandwichbauweise⁵³**

Darüber hinaus gibt es noch die Fachwerk-, Schalen- und Vollwandsysteme, die aber im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter thematisiert werden.

2.3.3 Systemleichtbau

Unter Systemleichtbau versteht man das Prinzip, in einem Bauteil neben der lastabtragenden auch noch andere, wie zum Beispiel raumabschließende, speichernde, dämmende oder vergleichbare Funktionen zu vereinigen. Damit werden Bauteile multifunktional. Dieses im Systemleichtbau verfolgte Ziel wird auch als funktionsintegrierender Leichtbau bezeichnet. Hierbei wird das System Bauteil im Ganzen betrachtet. Das Bauteil soll mehrere Funktionen besitzen, aber gleichzeitig auch das Gewicht reduzieren. Das Ergebnis ist ein komplexeres Bauteil, jedoch aus weniger Einzelteilen zusammengesetzt. Da das Bauteil weniger Einzelteile besitzt, lassen sich die Kosten des Materials, der Fertigungsaufwand, Bauraum und Gewicht senken. Ein Beispiel für funktionsintegrierenden Leichtbau ist die Außenhaut eines Flugzeugflügels (Abb. 22). Die Geometrie der Außenhaut hat vor allem aerodynamische Grundeigenschaften und ist für den Auftrieb zuständig. Ihre zusätzlichen Funktionen sind das Übernehmen von Steifigkeitsanforderungen und ein integrierter Tank.⁵⁴ Ein weiteres Beispiel für die Entwicklung der Funktionsintegration ist der Vergleich zwischen klassischer Konstruktion eines

⁵² Vgl. Wiedemann (2007), S. 470

⁵³ Vgl. Sviridov (2011), S. 28

⁵⁴ Vgl. Sobek (2007), S. 74 & Rieg, F./Steinhilper (2012), S. 468

Helikopterrotors und eine funktionsintegrierten Konstruktion (Abb. 23 und Abb. 24).



Abb. 22 Integraltank zwischen den Tragflächenrippen eines Flugzeugflügels⁵⁵

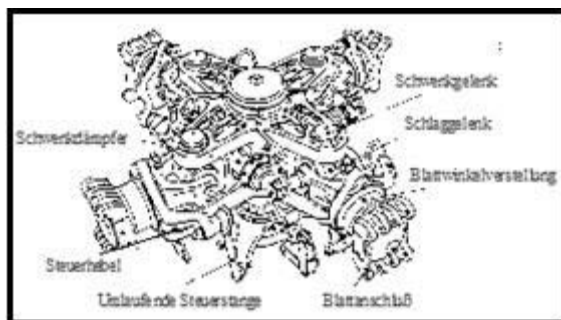


Abb. 23 Klassische Konstruktion eines Helikopterrotors

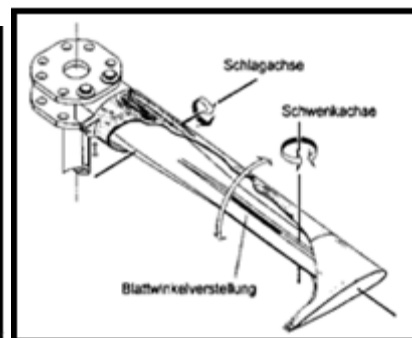


Abb. 24 funktionsintegrierte Konstruktion eines Helikopterrotors

2.3.4 Fertigung

Die Techniken der Fertigung und Fügung bestimmen darüber, ob die gewünschte Formgebung also Bauweise und oder das Material für ein Bauteil geeignet ist und sich die Konstruktion realisieren lässt. Hierbei geht es um Herstellungs-, Fertigungs-, und Montageprozesse. Auch Füge und Montagetechniken, wie Kleben, Laserschweißen und Löten gehören dazu.⁵⁶

⁵⁵ Vgl. Henning & Moeller (2011): S.65

⁵⁶ Vgl. Henning & Moeller (2011), S. 67 & Rieg & Steinhilper (2012), S. 468

Zusammenfassend ist zu sagen, dass Leichtbau ein interdisziplinäres Feld darstellt. Dieses wird branchenübergreifend angewendet und hat unterschiedlich übergeordnete Ziele bzw. Absichten. Diese können Zweck-, Spar- oder Ökoleichtbau sein. Es können Prinzipien oder auch Strategien wie Materialleichtbau, Strukturleichtbau und Systemleichtbau genannt werden. Diese beeinflussen und bedingen sich gegenseitig und stehen in Verbindung miteinander. Mit der Fertigung steht und fällt alles, denn diese ermöglicht oder ermöglicht auch nicht die Realisierung einer Konstruktion. „Trotz solcher anwendungsspezifischen Unterschiede in Gründen, Bedingungen und Realisationsformen sei davon ausgegangen, dass es sich beim Leichtbau um eine einheitliche, wenn auch mit unterschiedlicher Konsequenz ausgeführte Konstruktionstechnik handelt.“⁵⁷

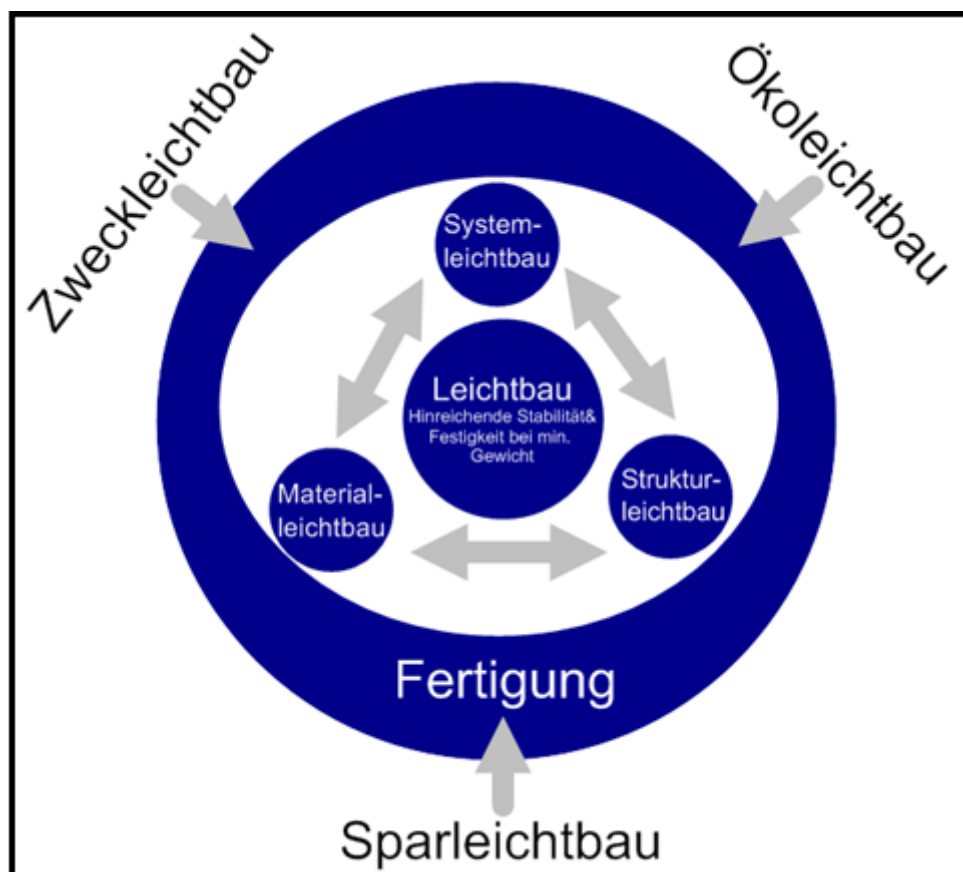


Abb. 25 Leichtbau als interdisziplinäres Feld⁵⁸

⁵⁷ Wiedemann (2007), S. 2

⁵⁸ basiert auf einer Abbildung von Rieg & Steinhilper (2012), S. 467

3. Eine Unterrichtseinheit zum Thema Leichtbau in der Grundschule

3.1 Lerngruppe/Bedingungsanalyse

Da es sich hier um eine fiktive Lerngruppe handelt, sind nur wenige Fakten zu nennen. Die Einheit wurde für eine vierte Klasse einer Grundschule entworfen. Es handelt sich vielerorts um große und vom Leistungsniveau her heterogene Lerngruppen. Aus diesem Grund wird die Einheit für differenziertes und auch eigenständiges Lernen konzipiert. Die Lernenden sollen die Möglichkeit haben, bei einem für sie unbekannten Thema individuell zu lernen. Dadurch soll das Fehlerdenken eingedämmt und die Motivation beim Kennenlernen dieses Themas gesteigert werden. Als Material wurde bewusst Papier gewählt, da es in jeder Schule verfügbar ist und weitere Materialien, wie Wellpappe, zu günstigen Preisen zu erstehen sind. Lernende einer vierten Klasse haben viele Erfahrungen zum Thema Papier gesammelt. Papier begegnet ihnen seit frühester Kindheit im Alltag. Da der Trend in Schulen immer mehr zu offenen Konzepten geht, wird davon ausgegangen, dass Lernende einer vierten Klasse bereits Erfahrungen zum Thema offenen Unterricht und selbstständigen Arbeiten gesammelt haben. Auch kleinere Präsentationen gehören hierbei zum Erfahrungsschatz. Schere, Tesafilm, Klebeband und Klebstoff gehören zum normalen Schulinventar und auch zum Inventar der Lernenden und sollten daher vorhanden sein.

3.2 Sachanalyse

In der Sachanalyse soll das Fachwissen, welches der Lehrende zum Unterrichten dieser Einheit benötigt, aufbereitet und analysiert werden. Da der im zweiten Kapitel dargestellte Sachstand über Leichtbau ein zu großes Gebiet für eine Unterrichtseinheit einer vierten Grundschulklasse darstellt, werden hier nur Teilaspekte der im Unterricht vorkommenden Elemente analysiert. In der Unterrichtseinheit Leichtbau steht das Prinzip Strukturleichtbau im Fokus, da sich dieser besonders für Lernende der vierten Jahrgangsstufe eignet. Da im theoretischen Teil unter 2.3.2 dieses Thema ausführlich dargelegt wurde, sollen hier nun weitere relevante Aspekte aufgeführt werden. Diese sind wie folgt

aufgeteilt Papier, Papier als Leichtbauwerkstoff, Sandwichbauweise und mechanische Begriffe.

3.2.1 Papier

Bei Papier handelt es sich nach DIN um einen „flächigen, im Wesentlichen aus Fasern meist pflanzlicher Herkunft bestehender Werkstoff, der durch Entwässerung einer Faserstoffsuspension auf ein Sieb gebildet wird. Dabei entsteht ein Filz, der anschließend getrocknet und verdichtet wird; flächenbezogene Masse $< 225 \text{ g/m}^2$ “.⁵⁹ Jede Papiersorte gibt es in unterschiedlichen Flächengewichten. Das Flächengewicht wird in Gramm pro Quadratmeter (g/m^2) angegeben. Innerhalb einer Papiersorte ist das Papier mit einem höheren Flächengewicht in der Regel fester als das mit einem niedrigeren Flächengewicht.⁶⁰ Karton hat im Gegensatz zu Papier ein Flächengewicht von $150\text{-}600 \text{ g/m}^2$. Damit tangiert er sowohl das Gebiet der Papiere als auch der Pappe. Er wird allgemein gesehen aus hochwertigeren Stoffen hergestellt. Er ist jedoch ebenfalls aus Fasern meist pflanzlicher Herkunft und steifer als Papier. Pappe ist der Oberbegriff für Vollpappe und Wellpappe. Bei Vollpappe handelt es sich um eine massive Pappe, die eine flächenbezogene Masse $> 225 \text{ g/m}^2$ besitzt. Sie ist einlagig und gegautscht⁶¹. Ein Erzeugnis der Papierverarbeitung ist Wellpappe. Hier wird ein gewelltes Papier auf eine oder mehrere Lagen eines anderen Papiers oder Pappe geklebt. Man unterscheidet die folgenden Arten: einseitige Wellpappe, einwellige Wellpappe, zweiwellige Wellpappe und dreiwellige Wellpappe.⁶² Die Wellpappe ist sehr vielseitig, da Papiersorte und Flächengewicht des Papiers ihre Qualität bestimmen. Es handelt sich hierbei um Einflussgrößen, die sich flexibel miteinander kombinieren lassen.⁶³ Der immanenteste Rohstoff für die Papierherstellung ist Holz. Es wird eine nachhaltige Forstwirtschaft von den Waldbesitzern angestrebt, um sicher zu stellen, dass so viel Holz nachwächst, wie es verbraucht wird. Die überwiegenden Stoffe zur Papierherstellung sind

⁵⁹ Jürgen Blechschmidt (2013), S. 30, 31

⁶⁰ Vgl. Wellpappe-Wissen. Wellpappenrohpapier. Papiereinsatz. [<http://www.wellpappe-wissen.de/wissen/papier/wellpappenrohpapier/papiereinsatz.html>]

⁶¹ aus zwei oder mehreren vorgebildeten Faserstofflagen bestehend. im feuchten Zustand ohne Verwendung von Klebstoff verbunden.

⁶² Vgl. Jürgen Blechschmidt (2013), S. 31

⁶³ Vgl. Wellpappe-Wissen. Wellpappenrohpapier. Papiereinsatz. [<http://www.wellpappe-wissen.de/wissen/papier/wellpappenrohpapier/papiereinsatz.html>]

Bruch-, Durchforstungs- und Abfallholz der verschiedenartigsten Nadel- und Laubhölzer.⁶⁴

3.2.2 Papier als Leichtbauwerkstoff

In der Leichtbauindustrie hat es, wenn auch nur zu einen minimalen Anteil, seinen Platz. Vorteile sind die produktive Verarbeitungstechnik und die Nachhaltigkeitsaspekte. Als nachteilig werden der Feuchteschutz und die daraus resultierende Festigkeitsbeständigkeit und die mikrobiologische Beständigkeit angesehen. Derzeit ist die Forschung und Entwicklung noch am Anfang. Dennoch gibt es bereits interessante Produkte, die teilweise noch bis zur Marktreife hin entwickelt werden müssen.

Forscher des Fraunhofer LBF haben einen aus einem Papierverbund bestehenden, auch Papier-Composite genannten, Fahrradsattel (Abb. 26) entwickelt. Das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF testet Papierverbundwerkstoffe sowohl für die technischen Anforderungen als auch in ihrer Wirtschaftlichkeit. Testergebnisse zeigen, dass die mechanischen Eigenschaften der untersuchten Papiercomposites im Bereich von Naturfasercomposites und teilweise darüber liegen.⁶⁵



Abb. 26 Papier-Composite Sattel vom LBF

Izhar Gafni, einem israelischer Maschinenbauingenieur, ist es gelungen, ein Fahrrad aus alter gebrauchter Wellpappe herzustellen. Das Card Board Bike

⁶⁴ Vgl. Wellpappe-Wissen. Papierherstellung. Rohstoff Holz. [<http://www.wellpappe-wissen.de/wissen/papier/papierherstellung/rohstoff-holz.html>]

⁶⁵ Vgl. Papier im Duroplast: Sättel und Möbel für morgen? [<http://www.k-zeitung.de/papier-im-duroplast-saettel-und-moebel-fuer-morgen/150/4343/80050/>] und [<http://www.lbf.fraunhofer.de/>]

(Abb. 27), so wird es genannt, ist so beschichtet, dass es feuer- und wasserfest ist. Die Tragkraft des Fahrrads liegt bei 200 kg.⁶⁶

Es wurde ebenso von der Papiertechnischen Stiftung im Rahmen der Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung in Zusammenarbeit mit der TU Cottbus und der TU Dresden ein sogenannter multifunktionaler Verbundwerkstoff (Abb. 28) für Leichtbau entwickelt. Dieser wird aus einer Blech-Papier-Kombination hergestellt und kann für den Karosseriebau von Automobilen genutzt werden.⁶⁷

Das letzte Beispiel, dass angeführt wird ist das vom Lübecker Ingenieur Gerd Niemöller entwickelte „Universelle-Welt-Haus“ (Abb. 29). Dem Diplomingenieur ist es gelungen, mithilfe von in Kunstharz getränktem Altpapier Welt-Häuser für die Slums in Nigeria zu bauen. Es soll Menschen in Krisengebieten zu einem besseren und würdigeren Leben verhelfen. Dieses Haus wiegt etwa achthundert Kilogramm. Es wird aus verklebten Paneelen zusammen gebaut. Diese haben sechseckige Wabenstrukturen als Kern. Da das in Kunstharz getränkte Papier unter Hitze und Druck gehärtet wurde, ist es witterungsbeständig und erdbebensicher. Aufgrund seiner Beständigkeit, können sogar Waschbecken daraus hergestellt werden. Das Leitmotiv ist bei diesem Projekt preiswerter, umweltfreundlicher und vor allem ethischer Siedlungsbau. Bisher wurden hochbelastbare Wabenstrukturen vor allem aus Aluminium gefertigt. Für den Notstand in der dritten Welt wird das aber als zu energieintensiv und zu teuer eingestuft. Aus diesem Grund entschied sich Niemöller für die Verwendung von Altpapier. Die Maschine zur Anfertigung der Paneele hat er ebenfalls erfunden. Die Wabenstruktur seines Bauwerkstoffs bietet eine hervorragende Isolierung. Es hat reicht sogar an den Standard eines Passivhauses und schützt die Familien deshalb gut vor Kälte und Nässe.⁶⁸

⁶⁶ Miletzk, Dr. Frank (2013), S.249

⁶⁷ Vgl. Magazin Leichtbau : Papier-Blechverbundmaterial für den Karosseriebau
[<http://www.haute-innovation.com/de/magazin/leichtbau/papier-blech-verbundmaterial-mit-schwingungsdampfen-eigenschaften.html>]

⁶⁸ Vgl. Lubowski (2009)



Abb. 27 Cardboard Bike



Abb. 28 Papier-Blech-Verbund für Karosserie



Abb. 29 Welt-Haus aus Altpapier

Da die gegenwärtigen auf Papier basierten Leichtbauprodukte vorwiegend Elemente besitzen, die auf Prinzip der Wellpappe oder Wabenstruktur hergestellt sind und im Unterricht vor allem diese Bauweise thematisiert wird, soll im Folgenden die Sandwichbauweise (unter 2.3.2.2 bei den Verbundweisen bereits genannt) nochmal genauer betrachtet werden.

3.2.3 Sandwichbauweise

Die Sandwichbauweise (Abb. 30) ist dreischichtig und wird den Verbundbauweisen zugeordnet. Sie zeichnet sich durch zwei feste Decklagen, auch Häute genannt, und einen Kern mit geringerer Dichte aus. Als Kernlagen können Wellen- und Wabenstrukturen, sowie Metall- oder Kunststoffschäume verwendet werden. Die Decklagen können in der Industrie Metallbleche, Gitterstrukturen und Platten aus Verbundwerkstoffen sein. Um die Decklagen mit dem Kern zu verbinden, bedient man sich der Techniken des Klebens,

Schweißens oder Walzplattierens^{69, 70} Die in 3.2.1 u. a. vorgestellte Wellpappe ist ein ideales Beispiel für Sandwichbauweise, da sie aus zwei Decklagen und mit einem in Wellen geformten Kern ausgestattet ist. Typische Anwendungsbereiche der Wabenplatte mit Papierkern sind unter anderem der Messebau, Trennwände, Fertighausbau und Kulissen- und Bühnenbau. Die Decklagen sind durch den Kern Zug- und Druckfest miteinander verbunden.

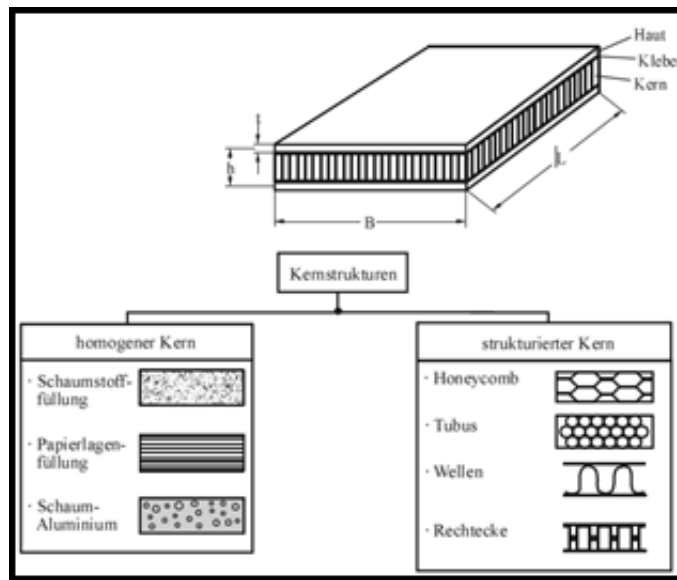


Abb. 30 Aufbauprinzip von Sandwichelementen⁷¹

3.2.4 Mechanische Begriffe

Eines der Ziele in der Unterrichtseinheit ist die Herstellung von Sandwichplatten und ihren mechanischen Nutzen gegenüber den anderen Bauteilen, die in den Versuchen geformt und belastet werden, zu testen. Darum sind die folgenden mechanischen Begriffe wichtig, um zu verstehen, welche Kräfte bei Belastungen auf eine Konstruktion wirken. Daraus lassen sich dann auch Schlüsse für eine stabile Konstruktion ziehen. Hierbei ist zu beachten, dass aufgrund der Zielgruppe eine oberflächliche Betrachtung in die Mechanik gewählt wird ohne genauere Formeln oder Berechnungen.

⁶⁹ Mit Plattieren bezeichnet man Verfahren aus der Metallverarbeitung und der Textiltechnik, bei der ein unedleres Material (Metall bzw. Stoff) mechanisch durch ein anderes edleres Material überdeckt wird, mittels einer Walze.

⁷⁰ Vgl. Wiedemann (2007), S. 503

⁷¹ Klein (2009), S. 192

Kräfte, Biegemomente und Spannungen

Die folgenden Abbildungen (Abb. 31) sollen der Anschaulichkeit dienen und Kräfte, Biegemomente und Spannungen im angemessenen Rahmen aufzeigen. Die Kräfte oder auch Grundbeanspruchungsarten, die auf ein Bauteil wirken, sind Biegung, Zug und Druck, Torsion und Schub.⁷²

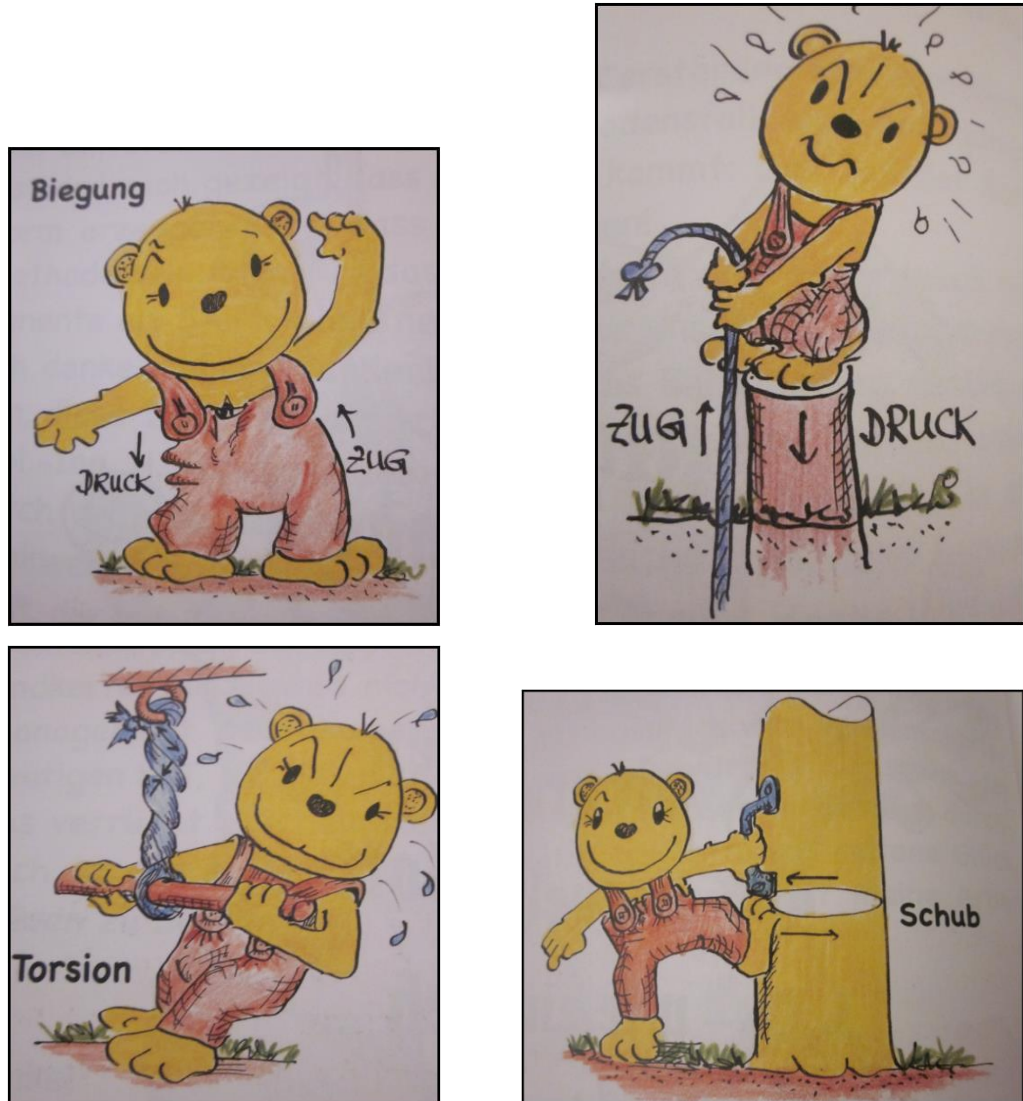


Abb. 31 Kräfte v. l.: Biegung, Zug und Druck, Torsion und Schub⁷³

Bei Zugspannungen handelt es sich um einen Widerstand gegen eine Längung, Druckspannungen hingegen stellen einen Widerstand gegen eine Verkürzung des Bauteils dar. Das Bauteil versagt, wenn die Materialfestigkeit, die kritische Spannung, erreicht wird. Man kann Spannungen berechnen,

⁷² Vgl. Haller (2013), S. 6

⁷³ Vgl. Mattheck (2010), S. 4

Materialfestigkeiten hingegen unterliegen einer Messung. Die Spannungen, die Zug, Druck und Biegung betreffen, sind gelb gekennzeichnet (Abb. 32). Das sogenannte Biegemoment $M(x)$ ist ein Produkt aus Kraft F und Kraftarm l $M = F \cdot l$. Es nimmt mit dem Hebelarm von oben nach unten zu, die Biegespannungen nehmen ebenfalls zu. An der freien Stelle beträgt das Biegemoment null. An der eingespannten Stelle unten ist es maximal. Die Schubspannungen sieht man am Schubviereck oben im Biegebalken. Hierbei ist Querschub gleich Längsschub.⁷⁴

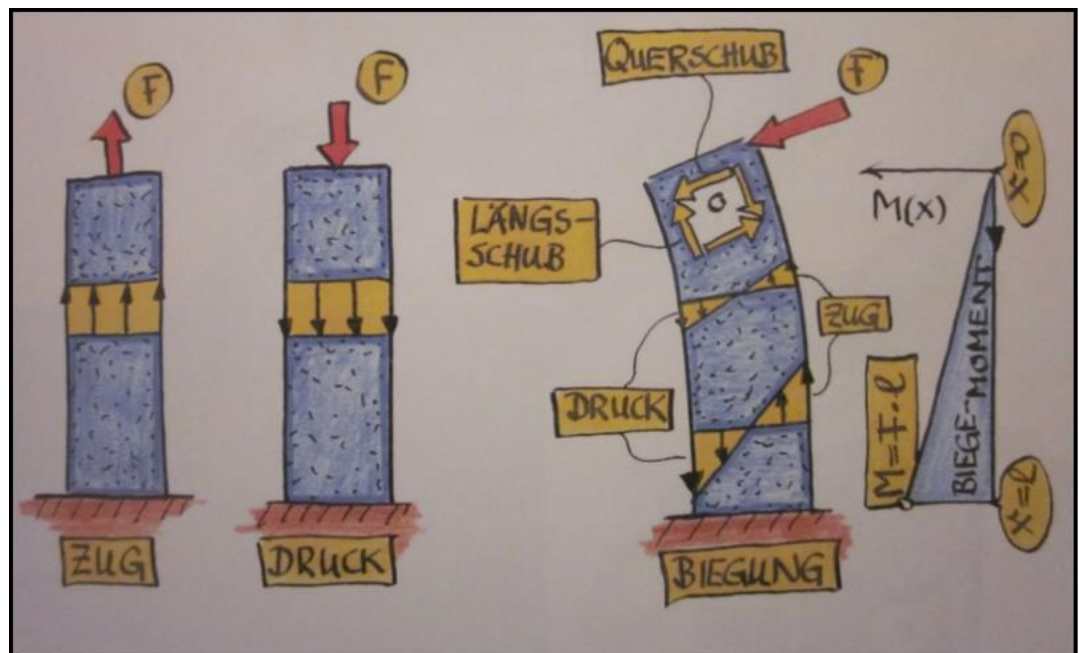


Abb. 32 Kräfte, Biegemomente und Spannungen⁷⁵

Schubspannungen stellen einen Widerstand gegen eine Gleitung dar. Wenn man die kritische Schubspannung erreicht, spricht man von Schub- oder Scherfestigkeit. Auch sie unterliegen, wie die Materialfestigkeiten, einer Messung. Schubspannungen (Abb. 33) lassen sich besonders gut an einer Klebeverbindung unter Zugbelastung aufzeigen. Gut vorstellbar ist der Längsschub in der Klebefuge. Das als drehbar gedacht Schubviereck kann nicht rotieren, daher ist Längsschub gleich Querschub. Man sieht hierbei auch Druck- und Zugkraft, die auf das Schubviereck wirken. Ebenso verhält es sich bei der Torsion (Abb. 33). Hierbei sind die Zug- und Druckspannungen äquivalent zu den Schubspannungen. Beim Torsionsmoment $M(T)$ handelt es

⁷⁴ Vgl. Mattheck (2010), S.4

⁷⁵ Vgl. ebd. S.4

sich ebenfalls um ein Produkt aus Kraft F und Kraftarm l . So gilt für den Torsionsmoment $M(t)$ gleich $F \cdot l$.⁷⁶

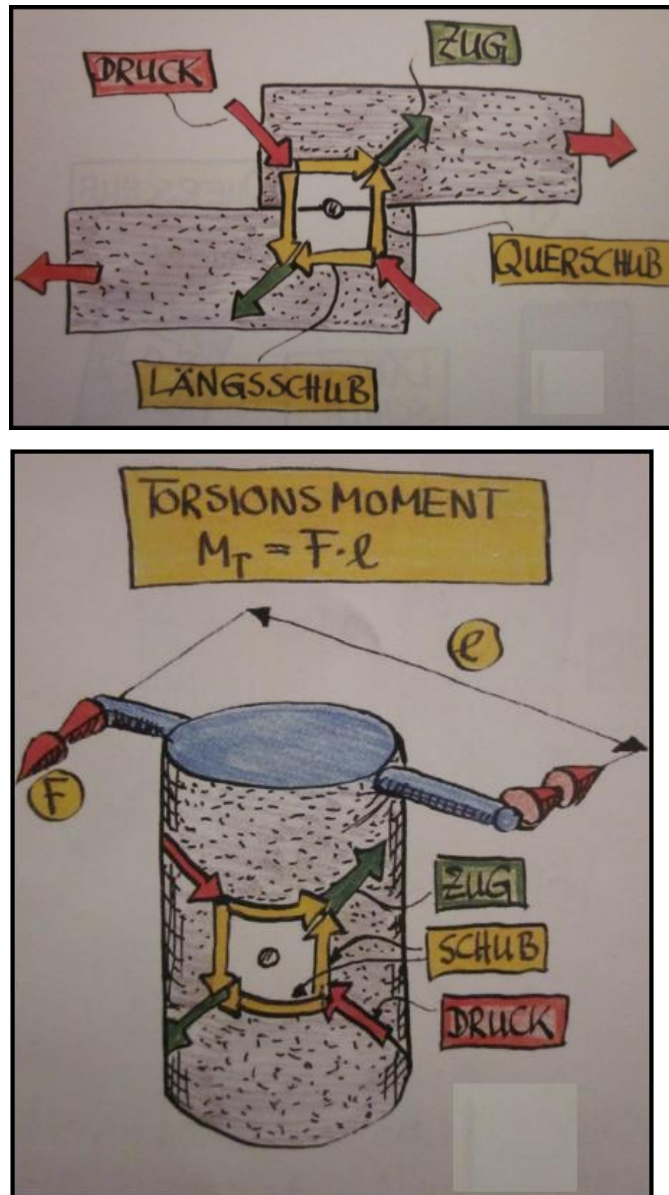


Abb. 33 oben Schubspannungen und unten Torsionsmomente⁷⁷

In Abb. 34 kann man sehen, wie sich ein Sandwichbauteil bei Biegebelastung verhält. Da die Decklagen sind mit dem Kern Schub- und Zugfest miteinander verbunden. Dadurch wirken unter Biegebelastung gleich große Zug und Druckspannungen in den Decklagen. Im Kern wirkt sich die Biegebelastung durch Schubspannungen aus.⁷⁸ Bei Sandwichmaterial insbesondere mit

⁷⁶ Vgl. Mattheck (2010), S. 6

⁷⁷ Vgl. ebd., S. 6

⁷⁸ Vgl. Sirichai (2007), S 3, 4

Wabenkern sollen die Waben Schub- und Kompressionssteif sein und die Decklagen sollen zu eine hohe Zugfestigkeit aufweisen.⁷⁹ Man kann diese Ansprüche an das Sandwichmaterial besonders an der Biegebelastung verstehen und nachvollziehen, warum insbesondere der Kern eine hohe Steifigkeit bezogen auf Schub und Kompression aufweisen muss. Auch die Aufgabe der Decklagen wird deutlich, da sie zwar von der Schub und Kompressionsfestigkeit des Kerns profitieren, müssen sie dafür eine hohe Zug- und Druckfest bereitstellen. Hier wird deutlich, wie sich der Verbund positiv ergänzt und trotzdem sehr leicht ist.

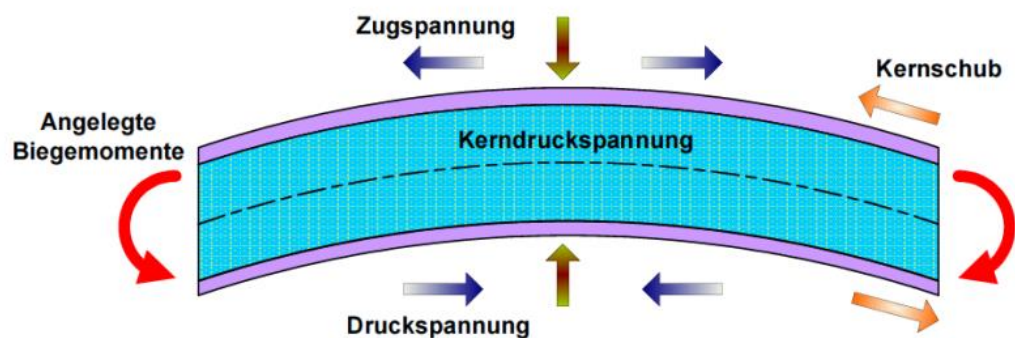


Abb. 34 Sandwichmaterial unter Biegebelastung⁸⁰

Profile

Profile dienen der Stabilitätserhöhung und verringern die Menge des Materials. Es gibt offene und geschlossene Profile zu den offenen Profilen gehören Winkel-, U-, T-, Doppel-T-, und „Zickzack“- Profil. Zu den geschlossenen Profilen gehören Vierkant-, Rohr- und Dreikantprofil. Eine Sandwichkonstruktion kann wie oben genannt einen Schaum- oder einen Strukturkern besitzen. Bei diesen Strukturen handelt es sich um Profile.

⁷⁹ Vgl. Wiedemann (2007), S. 504

⁸⁰ Vgl. Sirichai (2007), S. 4

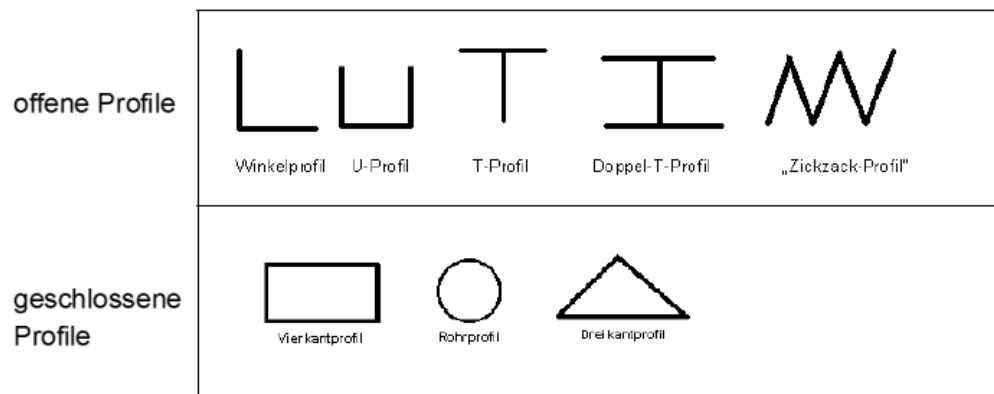


Abb. 35 Profile⁸¹

Fehlkonstruktionen

Eine Fehlkonstruktion kann unterschiedliche Ursachen haben. Es kann an der Wahl der Form oder des Materials liegen. Es gibt aber auch ein Schlankkeitsrisiko.

Eine gute Konstruktion kann man mit einer Reihe aus gleichfesten Kettengliedern (Abb. 36) assoziieren. Die Konstruktion muss die richtige Form besitzen. Hierbei ist wichtig, dass kein Glied über- bzw. unterbelastet ist. Ist ein Kettenglied überlastet, so muss es gestärkt werden, wie Bäume es durch Wachstum optimieren. Wenn ein Kettenglied unterbelastet ist, also trotzdem die auf sich bezogene Beanspruchung aushält, dann können auch die anderen Glieder leichter werden, wie es bei den Knochen durch die Fresszellen der Fall ist. Auch wenn in einer Konstruktion (Abb. 36 rechts), wie eben ausgeführt, die Form stimmt und alle Kettenglieder gleichgroß und gleich dick sind, so kann es eine Fehlkonstruktion wegen falschen Materials geben. Es handelt sich hier um eine materialbedingte Schwachstelle. Diese kann entweder durch falsche Materialauswahl auftreten oder es kann nach der Herstellung zu einer Verschlechterung der Materials substanz kommen, bedingt durch Fäule oder Korrosion.⁸²

⁸¹ Vgl. Klein (2009), S.152

⁸² Vgl. Mattheck (2010), S. 7 f.

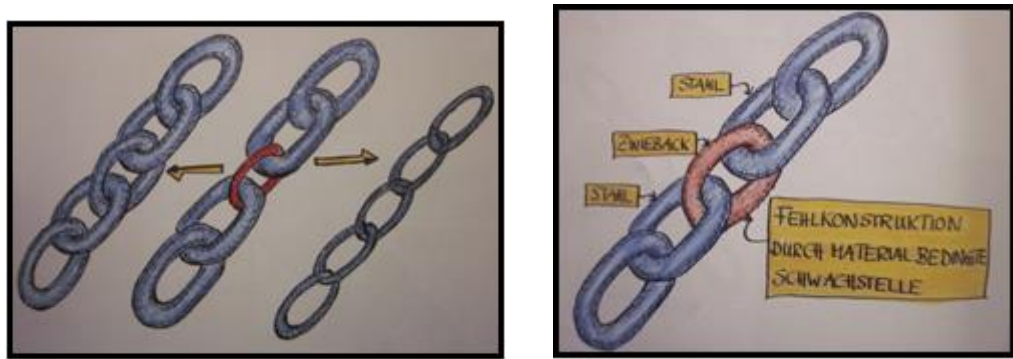


Abb. 36 Fehlkonstruktion wegen falscher Form/ wegen falschen Materials⁸³

Als letzte Ursache für eine Fehlkonstruktion, soll die Schlankheit als ein mechanisches Risiko angeführt werden. Es trägt zur Stabilität bei, wenn im Bauteil verteilt die gleichen Spannungen herrschen. Als Beispiel können hier Bäume (Abb. 37) angeführt werden. Sie verbeitern ihren Stamm, wenn die Krone eine gewisse Größe erreicht hat. Dies hat den Vorteil, dass bei starken Windverhältnissen die Spannungen entlang des Stammes gleichmäßig wirken. Es muss also eine gerechte Lastenverteilung geben.⁸⁴

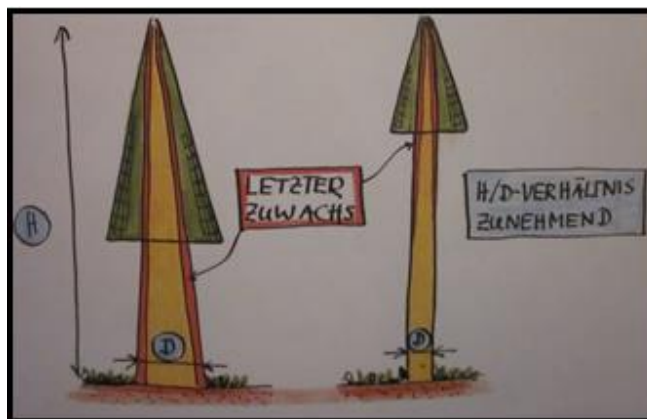


Abb. 37 Schlankheit als Risiko⁸⁵

Diese Risiken lassen sich gut auf eine Sandwichkonstruktion aus Papier beziehen. Die einzelnen Waben- oder Tubus-Formen im Kern sollten gleichmäßig geformt und gleich fest sein (Form und Material). Die Deckplatten sollten ebenfalls aus einem festen und geeigneten Material gewählt werden und eine glatte Form besitzen ohne Wellen oder Risse. Ist die Höhe der Warben

⁸³ Vgl. Mattheck (2010), S. 9

⁸⁴ Vgl. Mattheck (2010), S. 9

⁸⁵ Vgl. ebd. S.7 f.

oder der Tubusse sehr hoch, sollte der Radius groß genug sein, um eine gerechte Lastenverteilung zu garantieren.

3.3 Lernzielformulierungen

Die Unterrichtseinheit ist dem Inhaltsfeld Technik zuzuordnen, da es hierbei um „die Erprobung und Umsetzung technischer Errungenschaften“⁸⁶ geht. Während der Unterrichtseinheit findet für die Lernenden ein Zuwachs im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung, sowie im Bereich der überfachlichen Kompetenzen⁸⁷ statt. Dieser begründet sich drauf, dass zu Beginn der Einheit die Prinzipien und die Bedeutung der Konstruktionstechnologie Leichtbau anhand von Papier erarbeitet werden. Die gesamte Einheit wird durch die Gesprächskreise von Kommunikation und Austausch begleitet. Welches die Kompetenz zu einer Feedback-Kultur entwickeln soll. Die Lernenden bringen eigenes Vorwissen und Lebenserfahrungen zum Thema Papier und Leichtbau mit. Dem Basiskonzept Menschen gestalten in Verbindung mit dem Inhaltsfeld Technik kommt in dieser Unterrichtseinheit eine besondere Bedeutung zu.⁸⁸ Sie beobachten und betrachten gezielt ihre Versuche, stellen Fragen und bilden Thesen. Sie können beim Konstruieren selbständig planen und bauen und ihren Ideen eine Gestalt geben. Neben dieser Erkenntnisgewinnung können die Lernenden ihre Ideen und Ergebnisse versprachlichen und miteinander austauschen. Dazu gehört auch die sachgerechte Darstellung und Beschreibung der Ergebnisse und Versuche. Zudem ist die anschließende Bewertung ihrer Konstrukte Teil des Lernprozesses. Sie sollen ihre Ergebnisse reflektieren, beurteilen und gegeben Falls revidieren. Das Bewusstsein der Lernenden für Technik und Leichtbau, sowie ihre Allgegenwärtigkeit im Alltag soll geweckt und vertieft werden. Die Lernenden können das „Prinzip Strukturleichtbau“ am Material Papier erklären und verwenden bei ihrer Argumentation und Ausführung mechanische Begriffe.⁸⁹ Auch die Erkenntnis, dass Profile die Menge des Materials reduzieren und für Stabilität sorgen, gehört dazu. Ebenso das

⁸⁶ Hessisches Kerncurriculum Sachunterricht. (2011), S.20

⁸⁷ Vgl. ebd., S.17 ff.

⁸⁸ Vgl. ebd., S.14 ff.

⁸⁹ Vgl. ebd., S.20

Verständnis, dass durch Decklagen das Profil noch stärker und stabiler wird, da das Profil nicht mehr so leicht durchbiegt, ist ein Ziel der Unterrichtseinheit.

3.4 Didaktische und methodische Überlegungen

3.4.1 Das Fach Physik und sein Bildungsauftrag

Das Fach Sachunterricht stellt einen großen Bildungsbereich da. Sein Bildungsauftrag besteht darin, den Lernenden zu helfen, ihre Umwelt zu erschließen. Dies beinhaltet, über Bestehende Konzepte aufzuklären und das Verstehen zu unterstützen. Zudem gehört ebenso, das Interesse für Neues entwickeln und Kompetenzerfahrung handelnd zu ermöglichen, sowie sinnvolle Zugangsweisen anbieten, um Sachlichkeit zu fördern.⁹⁰ Es sind sowohl ein sozialwissenschaftlicher Lernbereich (z. B. Institutionen, Werte und Normen), als auch ein naturwissenschaftlicher Bereich (z. B. Phänomene, Sachverhalte, technische Anwendungen) vertreten.⁹¹ Nachdem Studien (TIMSS, PISA, IGLU) tragfähigere Konzepte im naturwissenschaftlichen und technischen Bereich gefordert haben, wurde 2002 von der Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU e.V.) ein „Perspektivrahmen Sachunterricht“ entwickelt. Die GDSU e.V. ist ein Zusammenschluss von Lehrenden aus Hochschule, Lehrerfortbildung, Lehrerweiterbildung und Schule. Ihre Aufgabe ist die Förderung der Didaktik des Sachunterrichts als wissenschaftliche Disziplin in Forschung und Lehre, sowie die Vertretung der Belange des Schulfaches Sachunterricht. Der von der GDSU e.V. entwickelte Perspektivrahmen präsentiert die vielfältigen Aufgaben des Sachunterrichts in fünf Perspektiven. Diese sind die sozial- und kulturwissenschaftliche Perspektive, die raumbezogene Perspektive, die naturwissenschaftliche Perspektive, die technische Perspektive und die historische Perspektive. Die Unterrichtseinheit Leichtbau bezieht sich vor allem auf die technische und naturwissenschaftliche Perspektive.⁹² In 3.4.5 wird nochmal genauer auf das Kompetenzmodell des Perspektivrahmens im Sachunterricht und seine Bedeutung für Unterrichtseinheit eingegangen. Die Physik spielt eine große

⁹⁰ Vgl. Kahlert J. (2009). S. 27

⁹¹ Vgl. Kahlert, J. (2011), S. 487

⁹² Vgl. Köhnlein, W. (2011), S. 497

Rolle und da die Einheit für eine vierte Klasse konzipiert ist, soll auch die Physikdidaktik mit Blick auf die weiterführenden Schulen betrachtet werden.

Die Physikdidaktik kann nicht mehr als einzelne Disziplin gewertet werden, da Physik heutzutage nicht mehr einzeln als Fachwissenschaft betrachtet werden kann, sondern mit anderen Perspektiven vernetzt ist. Nach Kirchner kann man die Physikdidaktik durch drei Brillen betrachten. Zum einen wäre da die fachliche Brille. Sie ist sehr wichtig, denn auf den fachlichen Informationen des Lehrenden begründen sich die Konzepte und Vorstellungen der Lernenden über einen Sachverhalt. Doch die Physikdidaktik allein mit Fachwissen betrachtet genügt nicht. Dies liegt vor allem daran, dass die Gründe nach Physik nicht nur der Fakten willen praktiziert wird, sondern tieferliegenden Gründen geschuldet ist. Daher wird die zweite Brille, die gesellschaftliche Brille, herangezogen. Der Mensch strebt schon immer nach Technik, die ihm das Leben leichter macht. Er ist wissbegierig und hat den Antrieb, Konzepte immer wieder zu überdenken und zu optimieren. Hier können die Verhaltensweisen der Menschen analysiert und vor Hintergründen, wie beispielsweise dem Umweltschutz, diskutiert werden. Die dritte und letzte Brille ist die pädagogische Brille. Der Lehrende soll nicht nur Wissensvermittler sein, sondern alle Lernenden mit ihren individuellen Leistungsniveaus und Interessen erreichen. Vor allem die Aufgabe des Moderators der Konflikte, zu Austausch anregt und physikalische Gespräche initiiert, ist von Bedeutung. Auch eine gerechte Beurteilung obliegt dem Lehrer mit der pädagogischen Brille. Die Sichtweise der pädagogischen Brille sollte ein Physiklehrer immer beibehalten. Während die anderen Sichtweisen, je nach Geschehen im Unterricht, gewechselt werden können.⁹³ Aufgrund dieser Sichtweisen soll auch die Einführung der Einheit Leichtbau einen mehrdimensionalen Zugang schaffen. Es soll deutlich werden, dass Leichtbau nicht nur leichte und stabile Konstrukte darstellt, sondern als ein Nutzen für den Menschen und die Umwelt gewertet werden kann. Dies soll auch das Interesse der Lernenden anregen und ein Rahmen mit tieferer Bedeutung für dieses Thema schaffen.

⁹³ Vgl. Kirchner (2009), S.10

Es soll beim Physiklernen nicht um bloße Wissensvermittlung gehen und das in möglichst kurzer Zeit, damit der Lehrplan eingehalten werden kann. Wie jedes Unterrichtsfach hat auch die Physik ihre ästhetische und sinnliche Komponente. Die Erfahrung beim Experimentieren und Erkenntnissen bei Phänomenen soll in die Lebenswelt der Lernenden integriert und vernetzt werden. Dies kann bei Lernenden individuell und subjektiv ausfallen. Solange es tragbare Konzepte über das Gelernte gibt, können diese durchaus individuell und mit persönlichen Emotionen und Gefühlen in die Gedankenwelt der Lernenden aufgenommen werden.⁹⁴ Dies bedeutet für die Unterrichtseinheit, dass das Arbeiten mit Papier, vor allem das selbstständige Formen von Leichtbau-Konstrukten hierbei zu einer sinnlichen physikalischen Erfahrung beitragen soll. Auch über Frust und Fehlkonstruktionen soll ein Austausch erfolgen, der zu einem natürlichen Bestandteil beim Konstruktionsprozess anerkannt wird.

3.4.2 Das Konzept der Unterrichtseinheit

Das Konzept dieser Unterrichtseinheit hat nicht den höchsten Grad der Öffnung inne. Man könnte sie als halb offen bezeichnen. Die Arbeitsblätter beinhalten Arbeitszielaufgaben wie z. B. *Baue eine Brücke aus Papier die das Glas mit den Murmeln trägt*. Hier ist zwar das Material vorgegeben, jedoch ist die freie Auswahl an methodischen Umsetzungen gegeben. Es gibt hier keine richtige oder falsche Variante. Auch vollständig vorstrukturierte Aufgaben sind Teil der Unterrichtseinheit, wie z. B. *Zerreiße ein Blatt Papier. Mache anschließend ein Papierknäuel und zerreiße es*. Die Auswahl der Aufgaben ist verschieden gewählt, aufgrund der gewünschten Erkenntnis. Bei der zweiten oben aufgeführten Aufgabe geht es um Begrifflichkeiten. Bei der ersten oben genannten Aufgabe um Vielfalt und Kreativität.⁹⁵

Die Öffnung des Unterrichts soll bei den Lernenden zu mehr Selbstständigkeit, Selbstverantwortung und mehr Förderung führen. Die offenen Aufgaben bewirken ein schülerzentriertes Lernen. Sie geben den Lernenden Raum und Zeit sich eigene Gedanken machen zu können. Auch die Art und Weise der Umsetzung der Aufgabe ist frei wählbar. Es gibt Lernende die von ihrer

⁹⁴ Vgl. Kircher (2009), S. 56 f.

⁹⁵ Vgl. Munser-Kiefer, M. (2011), S. 352

Persönlichkeit eher Gruppen-, Partner- oder Einzelarbeit bevorzugen. Oder sich zunächst eigene Gedanken machen wollen, um sie anschließend in der Gruppe auszutauschen. Diese Selbstregulierung beim Lernen fördert die Selbstständigkeit und Selbstverantwortung der Lernenden. Je vielfältiger und offener der Rahmen für Ergebnismöglichkeiten abgesteckt ist, desto besser kann eine innere Differenzierung im Unterricht stattfinden, um somit für jeden Lernenden und seine Lerngeschichte eine individuelle Förderung zu ermöglichen.⁹⁶ Somit wird ein Rahmen für eine qualitative Differenzierung geschaffen, da die Arbeitsaufträge in sich schon unterschiedliche Ergebnisse zulassen. Durch diese Vorgehensweise wird eine quantitative Differenzierung, die ein bloßes Überbrücken der Wartezeit bei schnell arbeitenden Lernenden darstellt, vermieden.⁹⁷

Ein wichtiger Aspekt der Unterrichtseinheit Leichtbau soll das entdeckende Lernen sein. Das entdeckende Lernen zeichnet sich seitens der Lernenden besonders durch eine aktive Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand aus. So versuchen die Lernenden selbstständige Probleme und Konflikte zu lösen und so neue Denkmuster und Strukturen zu aktivieren und entwickeln. Bei dieser Form des Lernens wird vermieden, dass die Lernenden die Rolle von passiven Rezipienten des Unterrichts einnehmen. Daher handelt es sich auch nicht um einen lehrerzentrierten Unterricht. Der Fokus liegt auf den Lernenden. In der Unterrichtseinheit wird es für einige Lernende ein entdeckendes Lernen durch Konfliktinduktion darstellen. Dies geschieht durch das sonst leichte und instabile Papier als plötzlich tragendes Konstrukt. Für alle Lernenden wird es ein entdeckendes Lernen durch Experimentieren sein. Hierbei soll durch die Phasen des Experimentierens *Fragestellung*, *Hypothese*, *Versuchsdurchführung*, *Beobachtung* und *Argumentation* kausales Wissen aufgebaut werden. Dennoch zeigen Forschungsergebnisse, dass entdeckendes Lernen in größtmöglicher Offenheit zu vermeiden ist, da die Lernenden strukturierte Lernprozesse und moderierte Gespräche zu einer tragbaren Ergebnissicherung brauchen. Aufgrund dessen unterliegen die Aufgaben in der Unterrichtseinheit einer Struktur, jedoch sind den Lernenden keine Grenzen beim Experimentieren gesetzt. Das abschließende von dem Lehrenden

⁹⁶ Vgl. Kircher (2009), S. 151

⁹⁷ Vgl. Thomas, B. (2011), S. 362 f.

moderierten Gespräch bildet einen angemessenen Rahmen für den Austausch der Ergebnisse und einem tragfähigen und transferfähigen Konzept.⁹⁸ Das Konzept für diese Einheit soll vor allem „die vom Input- zur Output orientierten Vorgehensweise“ beim Vermitteln von Wissen unterstreichen, die auch seit 2011 vom Hessischen Kerncurriculum gefordert wird.

Es ist unter anderem durch Baumert belegt, dass sowohl bei offenen, als auch geschlossenen Unterrichtskonzepten die Strukturiertheit zu einem der wichtigsten Merkmale erfolgreichen Unterricht gehört.⁹⁹ Aufgrund dessen ist jede Doppelstunde in drei Phasen strukturiert:

Phasen	Unterrichtsschritte
Gesprächskreis	Dient der Einführung, Wiederholung und Besprechung des Arbeitsvorhabens
Arbeitsphase	Freies Arbeiten nach den abgesprochenen Aufträgen und Regeln, es kann hier jederzeit ein Gesprächskreis nach Bedarf der Lernenden einberufen werden, um unter anderem nicht klare formulierte Arbeitsaufträge zu wiederholen oder auftretende Herausforderungen und Probleme zu klären
Gesprächskreis	Dient der Reflexion, sowie der Sammlung der Ergebnisse und Erkenntnisse

Abb. 38 Tabelle Stundenverlauf¹⁰⁰

Diese Strukturierung soll den Lernenden trotz der offen gestalteten Arbeitsweise als angemessener Rahmen dienen und zu einer emotional, sowie sozial unterstützenden Arbeitsatmosphäre beitragen.

Ein weiterer interessanter Punkt für das Konzept dieser Unterrichtseinheit, wird für die Lernenden das Papier als belastbares und tragfähiges Material sein. Vielleicht haben manche Lernenden schon etwas davon gehört oder gesehen. Die bisherigen existierenden Konzepte (Präkonzepte) über das Papier und seinen Nutzen, werden durch die Unterrichtseinheit in Frage gestellt. Die Conceptual-Change-Theorie geht davon aus, dass Wissen bei Kindern schon

⁹⁸ Vgl. Hartinger & Lohmann (2011), S. 369

⁹⁹ Vgl. Bohl (2009). S. 32

¹⁰⁰ Vgl. Meyer (2012,) S. 37

früh theorieähnlich organisiert ist. Dieses Wissen ist jedoch zu Beginn intuitiv und nicht von Anfang an einer Reflexion unterlegen. Es ist sehr resistent gegen neue Erklärungsmodelle. Das Konzept lässt sich nur verändern, wenn das Erklärungsmodell für den gegebenen Fall nicht mehr passt und die Vermutung nicht bestätigt worden ist. Darauf folgt die Suche nach einem neuen veränderten oder erweiterten Erklärungsmuster.¹⁰¹ Der verblüffende Moment, dass ein umgeformtes Papier nun doch viel Masse trägt, soll ein irritierender und zu gleich aufbrechender Moment sein, der es möglich macht das Präkonzept über das Papier zu überdenken. Auch das Konzept darüber, dass Dinge die leicht sind und gleichzeitig instabiler sind als massivere, soll erweitert werden.

3.4.3 Didaktische Reduktion

Die in Kapitel zwei erörterten Prinzipien und Ziele von Leichtbau können in dieser umfangreichen Form nicht Eingang in den Sachunterricht einer vierten Grundschulklasse finden. Dennoch ist es wichtig für den Lehrenden mit der gesamten Thematik vertraut zu sein. Von den drei Prinzipien Material-, Struktur- und Systemleichtbau bietet sich in besondere Weise der Strukturleichtbau an.

Für die Lernenden im Primarbereich sind besonders konkrete Darstellungen eines Lerngegenstandes von großer Bedeutung, da sich das abstrakte Denken noch entwickelt. Schulleistungsstudien wie PISA, TIMSS oder IGLU haben aufgezeigt, dass Kinder nicht oder nur wenig über transferfähiges Wissen verfügen, welches sie auf andere Situationen übertragen und zu nutzen wissen sollten. Durch die Auseinandersetzung mit konkreten Ausgangssituationen soll die Wissensstruktur an Zuwachs erfahren und durch Elaboration zu einem tragfähigen Konzept auswachsen. Durch Abstrahierungen sollen Erkenntnisse auf immanente Anteile reduziert werden und eine Wissensstruktur ermöglicht werden, die es erlaubt, das Wissen auch auf andere unbekannte Situationen zu übertragen. So kann das Wissen organisiert und vernetzt benutzt werden.¹⁰² Diesen Schritt sollen vor allem die durch den Lehrenden moderierten Gespräche zum Erfahrungsaustausch und Ergebnissicherung gewährleisten.

¹⁰¹ Vgl. Koerber (2011), S. 159

¹⁰² Vgl. Lohrmann (2011), S. 398

Der Strukturleichtbau kann mithilfe von Papier die Herstellung und Resultate konkret aufzeigen. Wie in Kapitel zwei (2.3.2) dargestellt kann der Strukturleichtbau in Form und Bauweise eingeteilt werden. Diese werden didaktisch soweit reduziert, dass die Lernenden mithilfe ihrer Konstruktionen sich Begrifflichkeiten wie Steifigkeit und Festigkeit erschließen. Ebenso das die Erfahrung, dass hohle Konstrukte mit der richtigen Form genauso belastbar, wie massive sein können. Die verschiedenen Bauweisen werden nicht direkt thematisiert. Da die Lernenden den größten Stabilitätserfolg sehr wahrscheinlich mit der Sandwichbauweise haben werden, wird ihre Herstellung besonders in den Fokus gerückt. Da das Material Papier/Pappe leicht zu verarbeiten ist, kann jeder Lernende selbst zum Konstrukteur/Leichtbauer werden. Das Prinzip Strukturleichtbau getrennt zu betrachten, stellt keinen Nachteil für das Entwickeln eines tragfähigen Konzepts über Leichtbau dar. Es wird am Ende der Unterrichtseinheit ein Ausblick für die Lernenden gegeben, welche Prinzipien es noch gibt. So lässt sich in der Sekundarstufe I auf diesem bisherigen Konzept aufbauen oder nochmal vertieft wiederholen.

3.4.4 Lebensweltbezug der Lernenden

Im Folgenden soll der Lebensweltbezug zum Thema Werkstoff Papier und zum Thema Leichtbau der Lernenden dargestellt werden.

Papier spielt eine wichtige Rolle in allen Bereichen unseres Lebens. Es dient als Informationsträger, z.B. in Form von Zeitung, eines Werbeplakates oder Einkaufszettels. Papier stellt auch ein Verpackungsmaterial da, z.B. als Umzugskarton, als Verpackung für Lebensmittel oder zum Schutz zerbrechlicher Dinge. Es kann auch dekorative Funktionen einnehmen, z.B. als Geschenkpapier, als Tapete oder als Poster an der Wand. Auch zum Reinigen im Alltag nutzen wir es beispielsweise als Küchenrolle, Toilettenpapier oder Taschentuch. Auch Möbel, Spielzeuge oder Gebrauchsgegenstände können aus Papier und Pappe hergestellt sein. Daher scheint es verständlich, dass Kinder schon von Geburt an viel Kontakt mit Papier haben. Anfangs kommen sie mit Bilderbüchern in Kontakt oder bemalen, zerreißen und zerknüllen Papier. Sie sehen ihre Eltern Zeitung lesen, öffnen Geschenkpapier oder basteln mit Papier. Sie kennen es von Geldscheinen oder Einkaufszetteln. Die Welt der

Erwachsenen und auch ihre Welt ist von Papier umgeben. Das Papier wird also ein Werkstoff sein, zu dem jeder Lernende seine individuellen Erfahrungen und seine Lerngeschichte mit einbringen kann.

Leichtbau kann man, wenn man verstanden hat, was Ziele dieser Konstruktionsphilosophie sind, überall im Alltag erkennen. Die Lernenden brauchen jedoch zunächst einen Bezug dazu. Es soll deutlich werden, dass möglichst wenig Gewicht und hohe Stabilität Ziele des Leichtbaus sind. Konkrete Beispiele aus der Lebenswelt der Kinder sind ihre Fahrräder, Fahrradhelme, Eierkartons, Verpackungen von Elektrogeräten (kleine stabile Papierschalen), Styropor, Flugzeuge, Rennautos, Plastikmöbel und vieles mehr. Auch Beispiele aus der Natur können aufgeführt werden, wie die Knochen von Säugetieren und Bienenwaben. Die Welt von Kindern ist mit Physik und Technik umgeben und kann auch als Alltagsphysik bezeichnet werden. Wenn Kinder die Welt der Technik verstehen lernen, dann können sie ihre Welt auch mit anderen Augen als eine technische ansehen und erforschen.

3.4.5 Analyse der Unterrichtsverläufe

Die Unterrichtseinheit teilt sich in sieben Doppelstunden auf und wird auf Grundlage des Perspektivrahmens für den Sachunterricht (siehe Abb. 39) analysiert. Das Kompetenzmodell des Perspektivrahmens basiert auf einem Verständnis, dass Kompetenzen nicht nur kognitive Elemente und praktische Fähigkeiten und Fertigkeiten vereint, sondern darüber hinaus auch motivationale, volitionale und soziale Fähigkeiten fördert. Die erste Unterscheidung im Perspektivrahmen ist die Trennung von zwei Dimensionen. Diese sind die Dimension Themenbereiche und die Dimension Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen. Die Dimension Themenbereiche vertritt deklarative Konzepte, Fragestellungen und Themen. Die andere Dimension zeigt die prozedurale Seite (inhaltsfreie Methoden oder Verfahren) des Lernens auf. Beim Erarbeiten von Unterrichtsinhalten sind die deklarative und prozedurale Dimension immer zusammen zu berücksichtigen. Verfahren und Inhalte sind zwangsläufig aneinander gebunden. Sie dienen nur der komplexeren Betrachtung des Lerngegenstandes und zur Schwerpunktsetzung. Die zweite grundlegende Unterscheidung im Perspektivrahmen ist die Ausarbeitung der Dimensionen in einer perspektivbezogenen Sicht und in einer

perspektivenübergreifenden Sicht. Die perspektivenübergreifenden Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen (erkennen/ verstehen; eigenständig erarbeiten; evaluieren/ reflektieren; kommunizieren/ mit anderen zusammenarbeiten; den Sachen interessiert begegnen; umsetzen/ handeln) stellen zentrale Fähigkeiten zu einer an kompetenzwachsenden Erschließung der Lebenswelt der Kinder da. Sie betreffen alle Perspektiven und ebenso die perspektivvernetzenden Themenbereiche. Zu nennen wären nun noch die perspektivbezogenen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen und die perspektivbezogenen Konzepte und Themenbereiche. Insgesamt soll der Perspektivrahmen die Vielperspektivität des Sachunterrichts erfassen und dabei helfen Lernenden ein Lernen zu ermöglichen, dass anschlussfähig und selbstbestimmt gestaltet wird.¹⁰³

Hier sei noch einmal auf den Grundgedanke der Montessori-Pädagogik hingewiesen „helf mir es selbst zu tun“¹⁰⁴, dem der Perspektivrahmen durch sein Fordern nach prozeduralem und transferfähigem Wissen nachkommt.

¹⁰³ Vgl. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013), S. 12 f.

¹⁰⁴ Vgl. Müller (2006), S. 3

Dimension: Denk-, Arbeits- und Hand- lungs- weisen		perspektivenübergreifende Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen im Sachunterricht					
		erkennen/ verstehen	eigen- ständig erarbeiten	evalui- ren/reflek- tieren	kommuni- zieren/ mit ande- ren zu- sammen- arbeiten	Interessen entwickeln	umsetzen/ handeln
		z.B. samm- eln, ordnen, verglei- chen, struktu- rieren, vernetzen, modellie- ren	z.B. beob- achten, Informa- tionen erschlie- ßen, re- cherchie- ren	z.B. bewer- ten, beur- teilen, einschät- zen, sich positionie- ren, Lern- prozesse reflektie- ren	z.B. mit- teilen, austau- schen, argumen- tieren	z.B. forschende Haltung entwickeln, fragen, vermuten, deuten	z.B. gestalten, Projekte durch- führen
perspektivenbezogene Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen	z.B. verhandeln, urteilen, partizipieren	sozialwissenschaftliche Perspektive Politik – Wirtschaft – Soziales				z.B. Demokratie	perspektivenbezogene Konzepte/ Themenbereiche
	z.B. die belebte und unbelebte Natur untersu- chen, experi- mentieren	naturwissenschaftliche Perspektive belebte und unbelebte Natur				z.B. Leben, Kraft	
	z.B. Räume er- kunden und sich in diesen orientieren	geographische Perspektive Räume – Naturgrundlagen – Lebenssituationen				z.B. Raum- nutzung	
	z.B. sich in Zei- ten orientieren; rekonstruieren	historische Perspektive Zeit – Wandel				z.B. Wandel	
	z.B. bauen, kon- struieren, her- stellen, Technik nutzen, bewerten und beurteilen	technische Perspektive Technik – Arbeit				z.B. Stabilität	
		z.B. „Mobilität“	z.B. „Ernährung“		z.B. gesellschaftliche „Kernfragen“ wie nachhaltige Entwicklung, Friede		Dimension: Konzepte/ Themen- bereiche
perspektivenübergreifende Themenbereiche und Fragestellungen							

Abb. 39 Das Kompetenzmodell des Perspektivrahmens Sachunterricht¹⁰⁵

Um einen Überblick über die gesamte Einheit zu erlangen werden zunächst die sieben Doppelstunden und ihre Lernziele mit einer kurzen Beschreibung vorgestellt. Die Arbeitsblätter und dokumentierten Ergebnisse werden zum Ende der Einheit zu einer Mappe über das Thema Leichtbau zusammengefasst.

Anschließend erfolgt eine detaillierte Analyse der Stunden.

¹⁰⁵ Vgl. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013), S. 13

Erste Doppelstunde

In der ersten Doppelstunde gibt es eine Einführung in das Thema Leichtbau. Der Lehrende bringt viele Materialien und Bilder mit, die Veranschaulichen, dass leichte Dinge durchaus sehr stabil sein können. Das Papier wird als durch die Einheit Leichtbau begleitende Material vorgestellt. Erste Erfahrungen zum Thema Verformung des Papiers werden in Experimenten gesammelt. Dabei sollen die Konstruktionen belastet werden, um so Schwachstellen zu erforschen. Ziel ist es die Profile als Erhöhung von Tragfähigkeit zu erfahren. Hausaufgabe: Fotos von starken Profilen festhalten. Begriffe: Profile, Stabilität, Form, Schwachpunkte der Konstruktion.

Zweite Doppelstunde

In der zweiten Doppelstunde werden die Schwachpunkte der Konstruktionen nochmal besprochen und Verbesserungsvorschläge gesammelt. Der Lehrende gibt Impulse für eine Konstruktion in Sandwichbauweise. Anschließend werden sie mit Papier umgesetzt und belastet. Positive und negative Aspekte werden gemeinsam gesammelt. Hierbei werden Prinzipien gesammelt, die dafür verantwortlich sind, dass das Sandwich besonders stabil und belastbar macht. Um Impulse zu geben oder Ergebnisse der Lernenden zu bekräftigen, kann der Lehrende Anschauungsmaterial in der Phase der Diskussion und Ergebnissammlung einbringen. Begriffe bei der Argumentation: Druck, Kraft, Biegung, Zug.

Dritte Doppelstunde

Wellpappe, Küchentücher-Rollen und Pappe werden betrachtet. Vergleiche zu den Ergebnissen der vorigen Stunde werden herangezogen. Die in dieser Stunde hergestellten Konstruktionen sollen mit dem eigenen Körpergewicht belastet werden. Die Sandwich-Bauweise soll hierbei in den Fokus rücken, da sie die stabilste Konstruktion darstellt. Die Ergebnisse werden besprochen und es wird einen Ausblick auf die nächste Stunde gegeben und das Bauen eines Hockers in dreier-Gruppen gegeben.

Vierte Doppelstunde

In der vierten Doppelstunde kommt es zur Gruppenfindung für den Bau eines Hockers aus Papier. Die Lernenden können sehr kreativ und frei arbeiten, halten ihre Planung jedoch fest und legen vor dem Konstruieren genaue Vorgehensweisen fest. Zum Ende der Stunde werden Pläne und erste Anfertigungsversuche zusammengetragen und Probleme und positive Resultate besprochen. Die Gruppen sollen gegenseitig Erfahrungen austauschen und Ratschläge formulieren.

Fünfte Doppelstunde

Die Ratschläge der Lernenden zur Konstruktion eines Hockers werden wiederholt, um die anschließende produktive Phase zu unterstützen. Bei Bedarf kann jederzeit Gesprächskreis zusammen berufen werden, wenn es große Probleme beim Umsetzen der Ideen gibt. Zum Ende der Stunde werden die Bau-Phasen der Lernenden verglichen, da die Präsentationen der Hocker vor der Lerngruppe in der sechsten Doppelstunde beginnen sollen. Es werden nochmal Erfahrungen ausgetauscht und Schwachstellen der Konstruktionen diskutiert.

Sechste Doppelstunde

In der sechsten Doppelstunde werden zu Beginn im Gesprächskreis die von letzter Stunde hervorgebrachten Erfahrungen zu den Konstruktionen wiederholt und Tipps für die Umsetzung gegeben. Schon fertige Gruppen teilen sich auf und helfen Gruppen in einer Expertenrolle. In dieser Stunde finden auch die ersten Präsentationen statt. Die Hocker werden der Lerngruppe vorgestellt und belastet. Hierbei ist wichtig, dass es nicht darauf ankommt, ob der Hocker tatsächlich hält. Eine Fehlkonstruktion soll nicht ein Scheitern bedeuten, sondern vielmehr als eine Anregung zur Diskussion und als Erfahrungsaustausch dienen.

Siebte Doppelstunde

In der siebten Doppelstunde kann es für noch nicht fertige Gruppen noch eine letzte Konstruktionsphase geben. Die Gruppen, die den Bau des Hockers schon abgeschlossen haben, sollen wieder als Experten die übrigen Gruppen tatkräftig

unterstützen. Im Anschluss finden die restlichen Präsentationen statt. Der Lehrende fasst die erarbeitenden Erfahrungen und Ergebnisse der Lernenden zusammen. Darüber hinaus soll von den speziellen Erfahrungen mit dem Material Papier wieder in das Allgemeine Feld des Leichtbaus hingeführt werden. Es sollen seitens der Lernenden Meinungen geäußert und Kompetenzzuwachs reflektiert werden.

Erste Doppelstunde – Einführung in das Thema Leichtbau

In der ersten Stunde werden die Lernenden im Unterrichtseinstieg mit leichten, aber trotzdem stabilen Dingen aus dem Alltag konfrontiert. Die Lernenden betrachten Bilder und Gegenstände und stellen Vermutungen an. Dies soll in einem Gesprächskreis erfolgen. Als Gruppe sollen individuelle und persönliche Erfahrungen mit Leichtbau-Materialien ausgetauscht werden. Hierbei greift die perspektivenbezogene Denk-, Arbeits- und Handlungsweise 2 (DAH TE 2): *Technik und Arbeit erkunden und analysieren*.¹⁰⁶ Zwar sind beim Leichtbau nicht immer Funktionen sichtbar, die man erkunden kann, aber hinsichtlich des Gewichtes und der Stabilität lassen sich hier durch Erfahrungen aus der Lebenswelt der Kinder sammeln. Je nach Leistungsniveau der Lerngruppe können in dieser Einstiegsphase die Stichwörter Stabilität und geringes Gewicht gegeben werden oder nicht. Bei einer starken Lerngruppe wäre es von Vorteil, wenn man die Lernenden vermuten und diskutieren lässt, welche Eigenschaften die abgebildeten Dinge gemein haben. Auch die DAH TE 3: *Technik nutzen*¹⁰⁷, kann hier zum Tragen kommen. Die Lernenden berichten aus dem Alltag über ihre Erfahrungen beispielsweise mit dem Eierkarton oder dem Fahrradhelm. Bei dieser Einstiegsphase ist es immanent, dass der Lehrende auf die Argumentation und Ausdrucksweise der Lernenden achtet. So können die darauf folgenden Stunden an die Lerngruppe individuell anpassen und Schwerpunkte gesetzt werden. Die angemessene Verwendung von Begriffen wie Stabilität, Steifigkeit und Kräfte ist ein Ziel der Unterrichtseinheit. Der Lehrende nimmt die Rolle des Moderators ein und hebt, wenn diese Begriffe gefallen, sie noch einmal positiv hervor, sodass die

¹⁰⁶ Vgl. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013), S. 66 & Hessisches Kerncurriculum Sachunterricht. (2011), S. 20

¹⁰⁷ Vgl. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013), S. 66 f. & Hessisches Kerncurriculum Sachunterricht. (2011), S.20

Lernenden die Begriffe als praktische Helfer beim Beschreiben technische Phänomene empfinden. Der perspektivbezogene Themenbereich (TB TE) auf den sich die DAH TE beziehen, ist in diesem Fall TB TE 1: *Stabilität bei technischen Gebilden*.¹⁰⁸ Eines der grundlegenden Ziele der Technik ist Stabilität. Die spezielle Komponente, die bei dem Thema Leichtbau für die Lernenden hinzukommt, ist das geringe Gewicht der Dinge bzw. Konstruktionen. Die perspektivübergreifenden DAH¹⁰⁹, die bei diesem Gruppengespräch gefördert werden, sind die Kompetenz erkennen/verstehen, kommunizieren/erarbeiten und den Sachen interessiert begegnen. Dies äußert sich im Einstieg durch das Vergleichen der Gegenstände und Bilder hinsichtlich ihrer technischen Eigenschaften, durch das Austauschen von Lebenserfahrungen und Argumentieren in der Gruppe und durch das Zeigen einer forschenden Haltung. Letzteres kann besonders durch eine geeignete Auswahl an Gegenständen und Bildern gefördert werden, die aus der konkreten Lebenswelt der Lernenden stammen. So können auch Schülerinteressen in den Unterricht miteinfließen. Der erste Eindruck zum Thema Leichtbau wird im Gesprächskreis auf dem Arbeitsblatt „Was ist Leichtbau?“ festgehalten. (Alle Arbeitsblätter sind im Anhang zu finden.) Nachdem ein Austausch der Lernenden erfolgt ist, wird das Papier als Begleiter durch das Thema Leichtbau vorgestellt. Hierzu können ebenfalls Lebenserfahrungen zum Gegenstand Papier gesammelt werden. Dieser Kontrast des Papiers und der vorgestellten Gegenstände soll eine Irritation der Lernenden hervorrufen und die Frage stellen wie Papier so stabil werden kann.

Als nächstes beginnt die Arbeitsphase. Den Lernenden wird im Unterrichtsgespräch erklärt, dass eine Mappe zum Thema Leichtbau entstehen soll und das Deckblatt „Mein Forscherbuch zum Thema Leichtbau“ ausgeteilt. Auch das offene Konzept wird deutlich gemacht. Die Aufgaben können in Partner- und Gruppenarbeit bewältigt werden. Wer möchte kann auch einzeln arbeiten. Da es in jeder Stunde ein Gespräch über die Erfahrungen und Ergebnisse gibt, wird das Kommunizieren der Gruppe gesichert. Das Vorgehen, das immer eine Fragestellung bearbeitet und eine Hypothese formuliert wird und erst anschließend die Versuchsdurchführung, Beobachtung

¹⁰⁸ Vgl. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013), S. 69

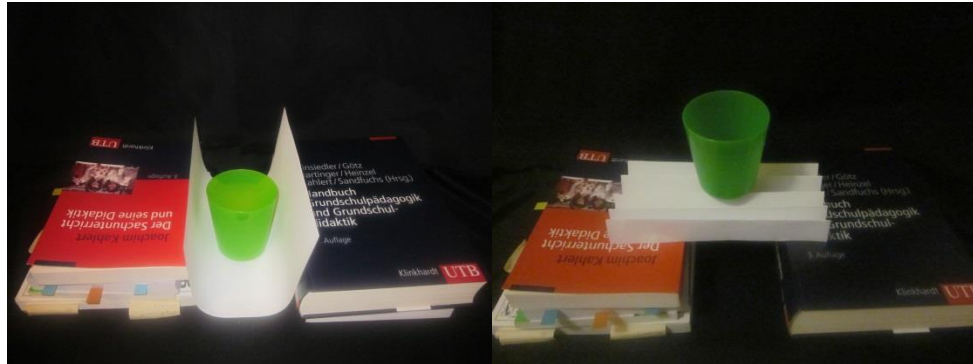
¹⁰⁹ Vgl. ebd., S. 13

und Argumentation (entdeckendes Lernen, siehe 3.4.2) erfolgt, wird dargelegt. Das Arbeitsblatt „Wie stark Ist Papier?“ und „Papier mit Muskeln - Stabil durch Profil“ wird zur Veranschaulichung genutzt. In der Arbeitsphase werden zwei Experimente durchgeführt und ausgewertet. Das erste Experiment beschäftigt sich mit einer erhöhten Steifigkeit und Festigkeit des Papiers, in dem man ein Papier zunächst auseinander reißt und anschließend ein anderes zu einer Kugel zusammendrückt und ebenfalls zerreißt. Der erste Versuch ist vorgegeben und lässt keinen Freiraum beim Experimentieren, weil er einen wichtigen Impuls für die gesamte Unterrichtseinheit darstellt. Ziel für die Lernenden ist es also zu begreifen, dass durch Verformung des Papiers eine Erhöhung der Steifigkeit und Festigkeit vollzogen werden kann. Dies ist auch Grundlage für den nächsten Versuch. Auf Arbeitsblatt zwei sollen die Lernenden ein Blatt Papier als Brückenträger auf zwei Bücherstapel, die als Stützen dienen, legen und belasten. Auch hier wird vorher wieder eine Hypothese zum Verhalten des Papiers gebildet. Danach sollen die Lernenden frei Experimentieren, wie sie das Papier verändern könnten, sodass es mehr Last tragen kann und an Stabilität gewinnt. Kommunikation untereinander in Partner- und Gruppenarbeit ist erlaubt und sogar erwünscht. Die Kompetenzen werden hierbei besonders im Bereich der DAH TE 1 *Technik konstruieren und herstellen*, DAH TE 4 *Technik bewerten* und DAH TE 5 *Technik kommunizieren*¹¹⁰ gefördert. Die Lernenden konstruieren Formen und bewerten diese kritisch. Sie kommunizieren mit anderen Lernenden ergänzen und verändern ihre Konstruktionen. Die unterstützten Kompetenzen in den Experimenten in Bezug auf die perspektivenbezogene Themenbereiche sind TB TE 1 *Stabilität bei technischen Gebilden* und TB TE 5 *Technische Erfindungen*.¹¹¹ Die Lernenden erschließen sich Prinzipien des stabilen Bauens unter Berücksichtigung der einwirkenden Kräfte. Die Konstruktionen können mit eigenen Gegenständen aus dem Mäppchen belastet werden. Es werden auch Becher und Murmeln bereitgestellt, die zur Belastung der Konstruktionen genutzt werden können. Die Kompetenz TB TE 5 *Technische Erfindungen* wird nur in Ansätzen angebahnt. Es werden Ideen der Lernenden umgesetzt, aber noch nicht präzise dokumentiert und Pläne erstellt. Dies soll in den

¹¹⁰ Vgl. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013), S. 64 ff.

¹¹¹ Vgl. ebd., S. 69 ff.

folgenden Stunden vertieft werden. Dennoch bauen die Lernenden eigene Erfindungen und bewerten dies aufgrund ihrer Stabilität. Die Erfahrung der Lernenden wird auf den Arbeitsblättern schriftlich festgehalten.



Mögliche Ergebnisse der Lernenden

Anschließend finden eine Ergebnissicherung, eine Reflexion und ein Ausblick auf die nächste Stunde im Gesprächskreis statt. In dieser Phase ist der Lehrende wieder Moderator hält die Erfahrungen der Lernenden fest, hebt wichtige Begriffe wie veränderte Form, Profil, Stabilität, Steifigkeit und das geringe Eigengewicht des Papieres hervor. Die Hausaufgabe ist mit dem Foto oder dem Mal Block in der Umwelt nach Profilen Ausschau zu halten. Diese sollen je nach den verfügbaren Mitteln dokumentiert werden.

Zweite Doppelstunde – Die Sandwichkonstruktion

Die zweite Doppelstunde beginnt wieder im Gesprächskreis. Erfahrungen und Eindrücke der letzten Stunde werden besprochen. Die Ergebnisse der verschieden angefertigten Profile werden aufgegriffen und das Ziel der Stunde, diese Art von Konstruktionen zu verbessern und noch belastbarer zu machen, vorgestellt. Zusätzlich werden die in der Umwelt entdeckten Profile der Lernenden besprochen. Sie werden an die Tafel gehängt, um den Lernenden als Inspiration und Hilfe beim Anfertigen geeigneter Profile zu sein. Der Lehrende bringt auch anschauliche Profile mit (Arbeitsblatt Profile in unserer Umwelt), um für den Fall, dass nur wenige Profile mitgebracht wurden ergänzen zu können.

Die Arbeitsphase beinhaltet Experimente zum Thema Profile auf dem Arbeitsblatt „Papier - Profil und Bauweise“. Profile werden mit Papier

hergestellt, verglichen und bewertet. Anregung finden die Lernenden an der Tafel anhand der Bilder. Ziel bei diesen Experimenten, soll die Entdeckung der Sandwich-Konstruktionsbauweise sein. Die Lernenden stellen in den Experimenten fest, dass auch die Fächer oder andere Profile für größere Lasten zu instabil sind und gerade durch Zug und Druckkräfte durchhängen. Diese Krafteinwirkung kann mit einem Schaumstoffquader (auch größere Schwämme sind dafür geeignet siehe Abb. 40) im Gesprächskreis verdeutlicht werden.

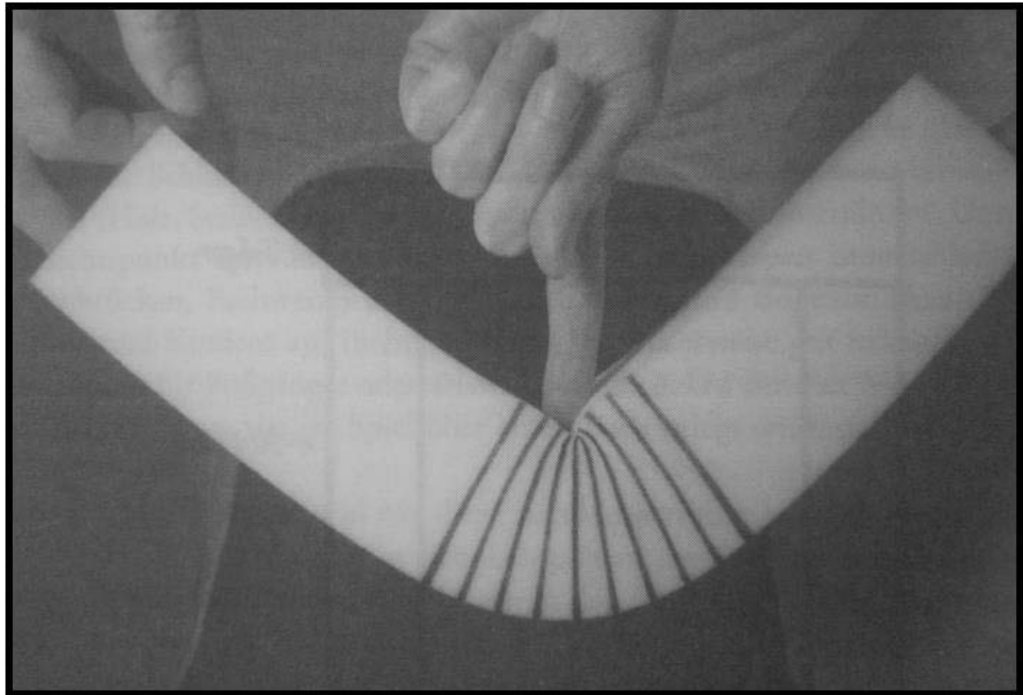


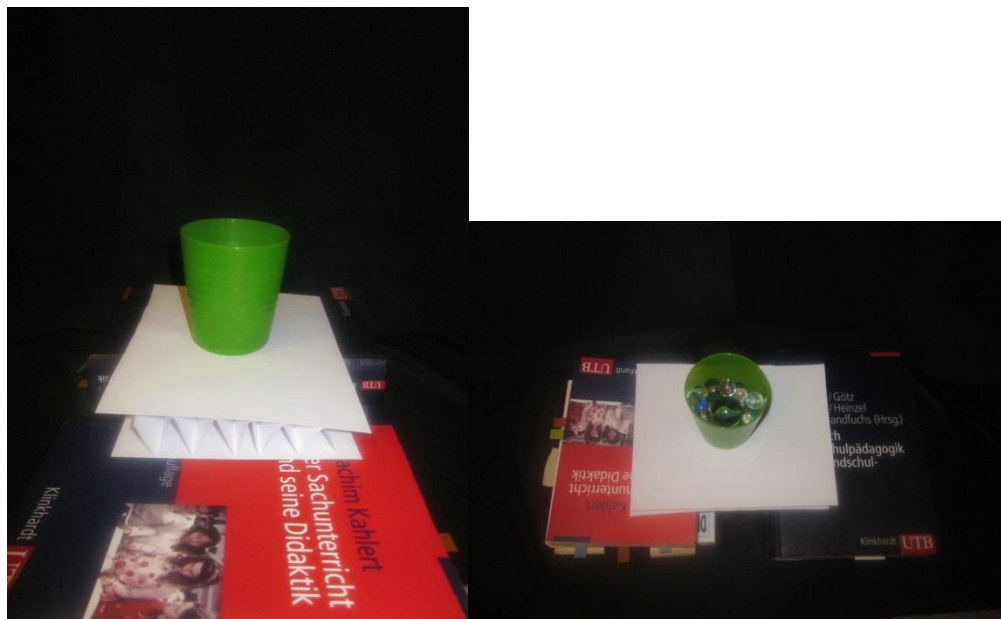
Abb. 40 Belastungen darstellen mithilfe von Schaumstoffquader¹¹²

Es werden Decklagen mit den Profilen verklebt, um den Kern (das Profil) zu stabilisieren. Es gibt eine Differenzierung bei diesem Arbeitsblatt, da es in zweifacher Ausführung A und B konzipiert wurde. Zum einen können die Lernenden frei Profile entwickeln und entdecken, zum anderen sind Profile vorgegeben, die getestet werden.

Auch hier stehen, um die Verbesserung der Belastbarkeit deutlich und sichtbar zu machen, Becher mit Murmeln bereit. Hier können die Lernenden sehr gut das steigende Gewicht anhand der steigenden Anzahl der Murmeln sehen. Zudem sind Murmeln unter den Lernenden bekannt und stellen kein neues Material da, was den Fokus auf sich ziehen könnte. Auch hier strukturieren die

¹¹² Vgl. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013), S. 128

Lernenden in gewohnter Reihenfolge ihre Arbeitsweise nach Hypothese, Versuchsdurchführung, Beobachtung und Argumentation. In dieser Stunde werden neben DAH TE 1 *Technik konstruieren und herstellen*, DAH TE 4 *Technik bewerten* und DAH TE 5 *Technik kommunizieren* besonders die DAH TE 2 *Technik und Arbeit erkunden und analysieren*¹¹³ gefördert. Denn bei diesen Experimenten zur Herstellung von Sandwich-Konstrukten nutzen die Lernenden das Wissen zur Versteifung von Papier aus den vorigen Stunden zum Verwirklichen von Ideen. Sie haben das Wissen, was für Profile sich eignen oder auch nicht eignen. Auch das Analysieren und Testen ihre Konstruktionen hilft beim Erkunden von geeigneten Formen und Bauweisen. Kommunikation zwischen den Lernenden hilft beim Entwicklungsprozess der Konstruktion. Auch gemeinsames Konstruieren ist denkbar. Hier werden wieder die TB TE 1 *Stabilität bei technischen Gebilden* und TB TE 5 *Technische Erfindungen*¹¹⁴ als perspektivbezogenen Themenbereiche gefördert. Die Aufgabe des Lehrenden ist vor allem als Berater zur Seite zu stehen und auch bei Frustration zu unterstützen.



Mögliche Ergebnisse der Lernenden

Anschließend findet wieder das Gruppengespräch statt. Die Lernenden bringen ihre Konstruktionen mit in den Gesprächskreis. Hier ist es wichtig, dass gute,

¹¹³ Vgl. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013), S. 69 ff.

¹¹⁴ Vgl. ebd., S. 65 ff.

wie schlechte Konstruktionen gezeigt werden. Auch das Thematisieren, des Scheiterns eine Konstruktion, also eine Fehlkonstruktion, soll als normaler Aspekt in einem Herstellungsprozess angenommen werden. An diesen Konstruktionen soll das Potential der Verbesserung gesehen werden. Alle Produkte haben ihren Verschleiß und gehen irgendwann kaputt. Dies kann im Herstellungsprozess passieren, sowie nach Jahrzehnte langer Nutzung. Dabei wird auch der Austausch der Lernenden stattfinden. Aufgabe des Lehrenden ist es zu moderieren und Impulse zu geben, wie das Fragen nach ähnlicher Probleme der anderen. Wichtig ist auch zu erwähnen, dass die Profile die zu Anfang der Unterrichtseinheit in der Umwelt fotografiert worden sind, zum größten Teil maschinell hergestellt sind. Dabei soll deutlich werden, dass in Handarbeit und mit wenig Übung nicht so präzise gebaut werden kann. Dadurch können natürlich auch Schwachstellen entstehen, wie etwa, wenn ein Profil nicht gleichmäßig geformt ist oder die Decklagen nicht überall ausreichend geklebt bzw. fixiert sind. Wichtige Begriffe zur Sandwichbauweise werden festgehalten. Die Decklagen müssen fest genug sein, also eine entsprechende Dicke aufweisen. Der Kern muss gleichmäßig geformt und gleichmäßig hoch sein, damit alle Druck-, Biege- und Zugkräfte gut aufgenommen werden können. Die Ergebnisse werden von den Lernenden schriftlich festgehalten. Es wird ein Ausblick auf die nächste Stunde gegeben, dass maschinell gefertigte Papiererzeugnisse betrachtet und bewertet werden.

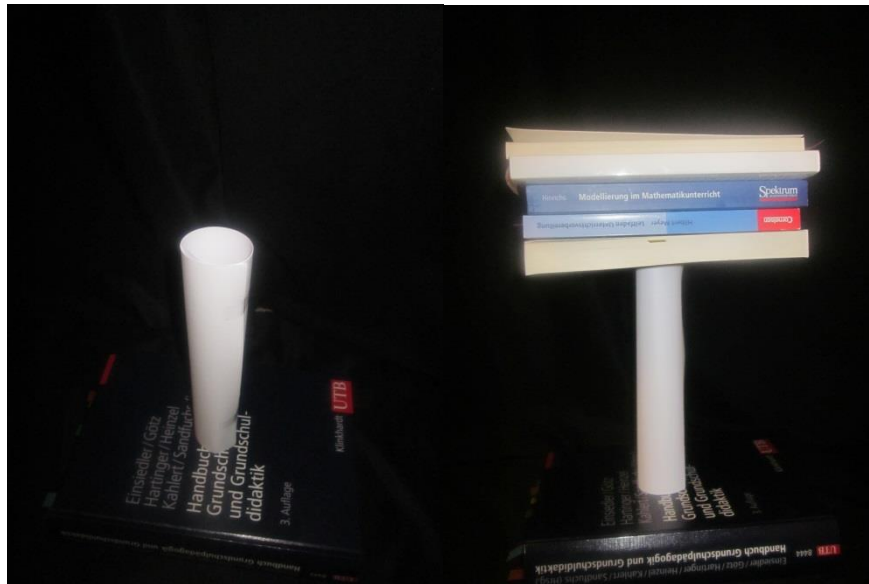
Dritte Doppelstunde – Wir bringen Papier an seine Grenzen und belasten es mit unserem eigenen Körpergewicht

Die dritte Stunde wird durch den Gesprächskreis eröffnet. Der Lehrende breitet die mitgebrachten Papiererzeugnisse aus. Die Lernenden haben nun die Möglichkeiten die Papierrollen (Klo-Rollen und Küchentücher-Rollen), Wellpappe und Pappe zu betrachten. Hier soll deutlich werden, dass Wellpappe auf den gleichen Prinzipien, die die Lernenden sich an ihren Sandwich-Konstruktionen erarbeitet haben, aufgebaut ist. Auch wird deutlich werden, dass die Decklagen durch das maschinelle Verfahren sehr fest auf dem Kern angebracht sind und das Wellenprofil sehr gleichmäßig ist. Ein guter Vergleich, um Festigkeit zu erfahren, ist auch die Betrachtung von Pappe neben einem Papiertaschentuch. Das Prinzip, das mit zunehmender dicke des

Papieres, das Material fester und stabiler ist, wird deutlich bei diesem Vergleich. Der Lehrende stellt das Ziel dieser Stunde vor. Die Lernenden sollen das Papier „an seine Grenzen“ bringen und es mit dem eigenen Körpergewicht belasten. Dazu steht die Verwendung von fester Pappe und Rollen zur Verfügung. Es wird nochmal an das Ergebnis von letzter Stunde erinnert, dass die Decklagen fest genug sein müssen und das Profil gleichmäßig geformt und an allen Stellen gleich hoch. Damit keine Unfälle passieren, sollen die Sandwich-Konstruktionen auf dem Boden getestet werden. Auch das vorsichtige darauf setzen soll beherzigt werden.

In der Arbeitsphase wird ein weiteres Arbeitsblatt „Wir bringen Papier an seine Grenzen!“ das freie Experimentieren strukturieren und wieder werden Hypothese, Versuchsdurchführung, Beobachtung und Argumentation dokumentiert. Ziel ist es, dass die Lernenden den Festigkeitsunterschied zwischen Papier und Pappe als positiv beim Konstruieren und belasten erkennen. Die Lernenden sollen auch die Rollen nochmal einzeln belasten und untersuchen, wo ihre Stärken und Schwächen unter Belastung liegen. Die stabilste Konstruktion wird sich als Sandwich mit Tubus-Kern herausstellen. Für die Lernenden ist diese Konstruktion gut herzustellen, da die Rollen gleichmäßig groß sind und somit der Herstellungsprozess einfacher gestaltet werden kann. Die Lernenden leisten einen Transfer von ihren bisherigen Bauweisen auf die Bauweisen mit dem festeren Papier (Pappe). Wichtig ist, dass sie die bisher erarbeiteten Prinzipien für eine stabile Konstruktion mit einbeziehen. Auch bei dieser Aufgabe können die Lernenden wieder mit Partnern oder in Gruppen arbeiten. Durch die Aufgabe der Belastung der Konstruktion mit dem eigenen Körpergewicht soll ein Impuls gegeben werden, die Konstruktionen noch mehr zu optimieren. Genaue Beobachtung und präzises Arbeiten sind hierbei die Herausforderungen. Darüber hinaus werden die Lernenden weiter in ihrer Kompetenz DAH TE 1 *Technik konstruieren und herstellen* und DAH TE 4 und 5 *Technik bewerten und Technik kommunizieren gefördert*.¹¹⁵

¹¹⁵ Vgl. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013), S. 65 ff.



Mögliche Ergebnisse der Lernenden

Im Gesprächskreis sollen die neuen Erkenntnisse zu den festen Materialien gesammelt werden. Vor- und Nachteile der Verwendung fester Papiere werden thematisiert. Falls es nicht von den Lernenden hervorgebracht wird, soll der Lehrende Impulse geben, die Vorteile eines zuvor aufgestellten Konstruktionsplans aufgreifen. Beim Konstruieren wird es öfter zu Fehlkonstruktionen kommen, da ein wichtiges Prinzip vergessen worden ist. Dies kann durch einen genauen Konstruktionsplan, der versucht die gesamte Konstruktion zu analysieren und zu optimieren, vermieden werden. Die Lernenden tauschen sich über die neuen Materialien und den Konstruktionsplan aus. Weiterhin wird vom Lehrenden das Vorhaben für die nächsten Stunden vorgestellt. Die Lernenden sollen in den kommenden Stunden einen Hocker in dreier Gruppen gestalten und konstruieren. Hierbei wird noch einmal festgehalten, wie sinnvoll bei diesem Vorhaben ein Konstruktionsplan ist. Es werden Vorschläge gemacht welche Aspekte der Konstruktion in diesem Plan festgehalten werden sollen.

Vierte Doppelstunde – Wir bauen einen Hocker in Leichtbauweise

Die vierte Stunde wird mit dem Gruppengespräch eröffnet. Die gewonnen Erkenntnisse aus der vorhergehenden Stunde werden wiederholt und an der Tafel eventuell neu entdeckte Prinzipien und Tipps für das Konstruieren festgehalten, wie der zuvor besprochene Konstruktionsplan. Im Anschluss

findet die Gruppenfindung zu Dreier-Gruppen statt. Hierbei soll es keine Vorgaben seitens des Lehrenden geben. Wenn es, von der Leistung her gesehen, gemischte Gruppen gibt, so ist dies sehr gut. Gibt es leistungsschwache Gruppen, so muss sich der Lehrende Ihnen öfter zuwenden und Unterstützung bereitstellen. Die Lerngruppen werden nochmal daran erinnert, dass sie kreativ und frei in der Gestaltung und Umsetzung des Hockers arbeiten dürfen, sich jedoch an den die vorige Dokumentation in Form eines Konstruktionsplanes halten sollen. Bevor die Gruppen mit ihrer Bauphase beginnen, schaut der Lehrende über den Konstruktionsplan, ob es Auffälligkeiten gibt, bei denen die zusammen erarbeitenden Prinzipien und Tipps außer Acht gelassen worden sind.

In der Phase der Fertigung des Konstruktionsplanes wird in besonderer Weise die DAH TE 1 *Technik konstruieren und herstellen*¹¹⁶ gefördert. Das Arbeitsblatt „Wir bauen einen Hocker in Leichtbauweise!“ wird die Lernenden durch diese Aufgabe begleiten. Die vorigen Experimente und Aufgabenstellungen umfassten, das Verstehen eines Problems und das Entwerfen einer Lösung direkt am Material. Nun wird vor allem die Kompetenz zur Planung des Fertigungsprozesses gefördert. Hierbei können die Lernenden ihre Erfahrungen der vorangegangenen Stunden Revue passieren lassen. Sie sind nun schon gewissermaßen Experten in stabilen Gebilden aus Papier. Eine Herausforderung wird das Anfertigen von Stützen bzw. Hockerbeinen, die den Hocker stützen und hoch genug sein lassen. Wenn es hierbei vermehrt zu Problemen kommen sollte, kann vom Lehrenden nochmal ein Gesprächskreis zusammen berufen werden. Dort können Vorschläge gesammelt werden. Wenn die Lerngruppe nicht genügend Ideen hervorbringen kann, dann werden vom Lehrenden zusätzlich zwei Vorschläge zur Umsetzung bereitgestellt. Diese sollten schon vorbereitet sein und so dargestellt sein, dass sie als zusätzlicher Punkt bei den Prinzipien und Tipps für eine Leichtbaukonstruktion angeheftet werden können. Eine weitere Kompetenz, die vertieft gefördert wird sind die DAH TE 5 *Technik kommunizieren*.¹¹⁷ Da sie diesmal im Team arbeiten müssen, ist das Argumentieren der eigenen Ideen eine große Herausforderung. Dies liegt vor allem daran, dass die technische

¹¹⁶ Vgl. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013), S. 65 ff.

¹¹⁷ Vgl. ebd., S. 68

Sprache zur vollständigen Erklärung und Darstellung anderer Lernenden gegenüber oft nicht ausreicht. Anhand von Zeichnungen, Beschriftungen oder Demonstrationen am Material können den Teammitgliedern Ideen vorgestellt werden. Die DAH TE 4 *Technik bewerten*¹¹⁸ sind in dem Planungsprozess ebenfalls gefordert. Die Lernenden bewerten ihre Lösungsansätze immer wieder neu anhand ihres erworbenen Wissens aus den vorangegangenen Stunden. Sie bewerten nicht nur ihre eigenen Problemlösenden Konzepte, sondern auch ihrer Gruppenmitglieder. Hierbei werden die perspektivübergreifenden Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen gefördert. Die Lernenden müssen ihre Ideen kommunizieren und zusammenarbeiten, sowie ihren Ideen Gestalt geben und sie umsetzen.

Im anschließenden Gesprächskreis wird besprochen, wie weit die Lerngruppen gekommen sind. Zudem wird gefragt, was für Herausforderungen und Probleme es gab. Die wichtigsten Punkte werden gesammelt, um in der nächsten Stunde geklärt zu werden. Der Gesprächskreis bietet hierbei einen angemessenen Rahmen, in dem die Lernenden ihre Leistung und Arbeitsvorgehen lernen zu reflektieren. Dies stellt wiederum eine perspektivenübergreifende Kompetenz dar.

Fünfte Doppelstunde – Wir bauen einen Hocker in Leichtbauweise

Die Stunde beginnt mit dem Gesprächskreis die zuvor besprochenen wichtigen Punkte, die die Arbeitsweise verbessern und optimieren sollen, werden gemeinsam besprochen. Dies könnten Materialfragen, Fragen zu den Stuhlbeinen und viele weitere Fragen sein, die jedoch von Lerngruppe zu Lerngruppe individuell ausgeprägt sind. Die Lernenden sollen den Konstruktionsplan in dieser Stunde fertigstellen.

In der Arbeitsphase finden weiterhin die Anfertigung des Konstruktionsplanes statt, sowie der Bau des Hockers. Die Tipps und Prinzipien zur Leichtbauweise hängen immer noch an der Tafel und stehen den Lernenden zur Verfügung. Durch den Bau des Hockers werden besonders die DAH TE 1 *Technik konstruieren und herstellen* mit dem TB TE 5 *Technische Erfindungen*¹¹⁹

¹¹⁸ Vgl. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013), S. 67

¹¹⁹ Vgl. ebd., S. 67 ff.

vernetzt und gefördert. Da es hier um selbstentwickelte Lösungsentwürfe geht, gehört der Bau des Hockers schon zu einer komplexeren Aufgabenstellung. Durch das Planen und Konstruieren entwickeln die Lernenden die Kompetenz technische Zusammenhänge zu erkennen und verstehen. Sie müssen ihr Material auswählen, Fertigungsschritte planen, den Arbeitsplatz einrichten, den Plan in die Tat umsetzen und vielleicht auf auftretende Schwierigkeiten reagieren. Es stellt also nicht nur im Thema Leichtbau ein komplexes Projekt dar, sondern fördert auch stark selbstreguliertes Lernen in einem kooperativen Rahmen durch die Lerngruppe. Der entstehende Hocker kann als eigene Erfindung der Lerngruppe gesehen. Diese Leistung, unabhängig von der letzten Endes ausgehenden Stabilität, muss honoriert werden.

Zum Ende der Stunde werden im Gesprächskreis die Stände der Konstruktionsprozesse verglichen. Zudem wird angekündigt, dass die ersten Präsentationen in der nächsten Stunde beginnen. Wenn keine der Lerngruppen zum Ende der nächsten Stunde zur Präsentation bereit ist, so muss den Lernenden mehr Zeit gegeben werden.

Sechste Doppelstunde

Das hinführende Ritual des Einstieges mit einem Gesprächskreis findet auch in der sechsten Doppelstunde statt. Es wird nochmal thematisiert, welche Gruppe welchen Stand beim Anfertigen ihres Leichtbau-Hockers hat. Und offen gebliebene und entstandene Fragen geklärt. Vorab wird angekündigt, dass fertige Gruppen sich aufteilen sollen und als Experten, die noch arbeitenden Gruppen unterstützen sollen. Anschließend geht es direkt in die Arbeitsphase über.

In der Arbeitsphase steht weiterhin das Anfertigen des Hockers im Fokus. Es kann bei Anfertigungen zu Fehlplanungen kommen. Werden diese erkannt, so können die Lernenden, den Konstruktionsplan korrigieren und die Änderung bei der Anfertigung verwirklichen. Wichtig ist, dass auch dies dokumentiert wird. Es werden weiterhin besonders die Kompetenzen im Bereich DAH TE 1 *Technik konstruieren und herstellen* gefördert und mit dem perspektivenbezogenen Bereich TB TE 5 *Technische Erfindungen*¹²⁰ vernetzt.

¹²⁰ Vgl. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013), S. 65 ff.

Eine zunehmende Besonderheit in dieser Stunde ist auch der Lernende in der Rolle des Experten und Beraters. Hierbei muss der Lernende arbeiten der Lernende intensiv mit perspektivübergreifenden und perspektivbezogenen Kompetenzen. Er hat nicht nur die Aufgabe zu erkennen, wie eine Lerngruppe ihre Konstruktion, den Hocker aufgebaut hat, sondern auch der Konstruktion interessiert begegnen. Zudem ist beim Beraten das kommunikative Zusammenarbeiten gefragt. Um einer Lerngruppe weiterhelfen zu können, bedient sich der Lernende seiner Erfahrung und seinem während der Unterrichtseinheit angeeigneten Wissen. Die ersten Präsentationen der fertiggestellten Hocker beginnen ebenfalls in dieser Unterrichtsstunde. Da davon ausgegangen wird, dass die Lernenden mit kleineren Präsentationen schon Erfahrungen gesammelt haben, wird nur kurz vorab besprochen, dass man während einer Präsentation langsam, deutlich und laut genug spricht. Außerdem wird gemeinsam festgelegt, was wichtig bei dieser Präsentation zu benennen ist. Ein Beispiel wäre:

1. Kurze Erläuterung des Konstruktionsplanes/der Vorgehensweise,
2. Umsetzung gerne anhand des Hockers zeigen (konnte der Plan umgesetzt werden, Herausforderungen)
3. Gruppenarbeit (Teamarbeit positiv/negativ)
4. Hocker demonstrieren und belasten (eines der Gruppenmitglieder setzt sich darauf)

Die Präsentationen stellt in hohem Maße auch eine Förderung der Kompetenz des Reflektierens da. Bei der Präsentation soll es, wie schon erwähnt, nicht nur um die Stabilität des Hockers gehen. Wenn er bei der Belastung kaputt geht, soll das zum Anregen einer Diskussion und zum Austausch führen. Diese Vermittlung muss den Lernenden unbedingt nahe gelegt werden. Sie sollen stolz auf ihre Konstruktion sein und dies wird seitens der anderen Lernenden und des Lehrenden honoriert. Die Präsentation Gruppe kann zudem ein Feedback geben, was sie besonders gut und was sie als nicht gut empfunden hat. Die Lerngruppe soll den Lernenden ebenfalls positive, wie auch negativ anfallende Kritik ehrlich und angemessen sagen. Dies kann Lernenden einer vierten Klasse durchaus schwer fallen, weshalb der Lehrende einfühlsam moderieren muss.

Im Anschluss wird in den Gesprächskreis übergegangen und ein Ausblick auf die letzte Stunde der Leichtbau-Einheit gegeben.

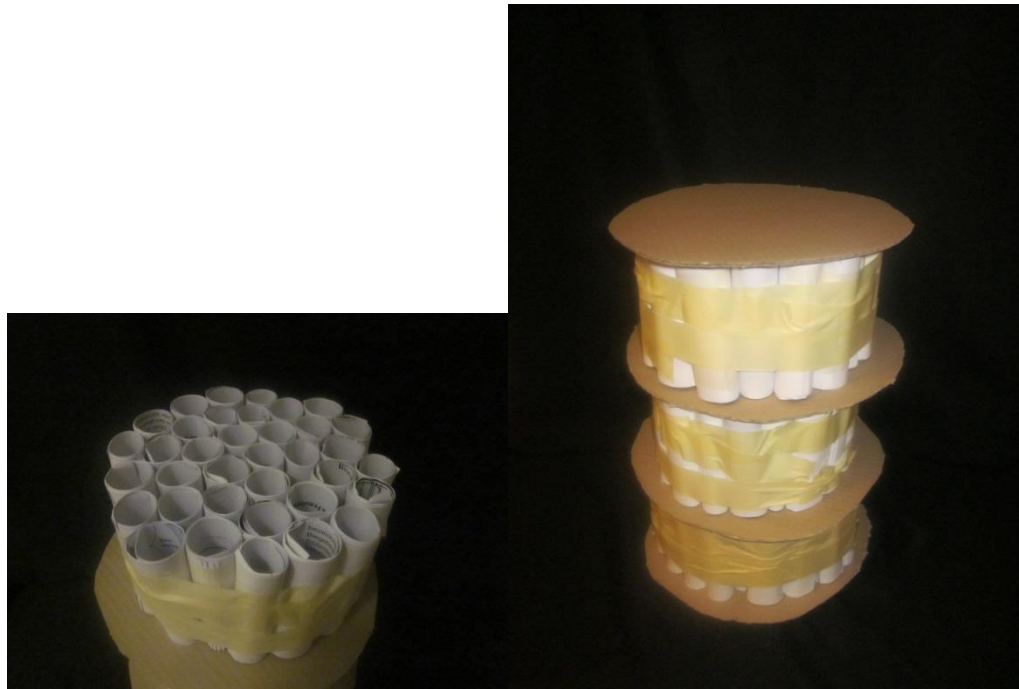
Siebte Doppelstunde

Die siebte Doppelstunde beginnt mit einem Gesprächskreis. Lerngruppen, die ihre Konstruktion noch nicht fertig gebaut haben, sollen intensiv von den Experten unterstützt werden. Zudem wird angekündigt, dass nach den Präsentationen wieder über das allgemeine Feld Leichtbau gesprochen wird und gemeinsam Produkte aus anderen Materialien und Bauweisen auf Bildern betrachtet werden.

In der Arbeitsphase beenden die Lerngruppen mit der Unterstützung der Experten ihre Leichtbau-Konstruktion. Die Arbeitsphase gestaltet sich kürzer in der letzten Stunde. Dies hat den Vorteil, dass genug Zeit für die Präsentationen und Reflexion bleibt. Es ist wichtig für den Lernprozess, dass die Lernenden der Gruppe erklären, wie sie vorgegangen sind und welche Erfahrungen als positiv und negativ empfunden wurden. Sie überdenken ihren Lernprozess und bewerten ihn. Dies ist beim selbstregulierten Lernen unabdingbar. Man nennt dies Metakognition. Besonders Gespräche über den Lernstand dienen als Instrument zur Metakognition. Hierbei sollen die Lernenden eine Reflexions-, Gesprächs- und Feedbackkultur unter den Lernenden entfalten.¹²¹

Im Anschluss findet die Präsentationsphase statt. Die restlichen Lerngruppen stellen ihre Hocker vor. Das in der letzten Stunde erstellte Plakat, das Tipps für eine Präsentation auflistet, hängt für die Referenten sichtbar an der Wand und dient als roter Faden und Unterstützung beim Vortrag. Zudem kann der Hocker gewogen werden und mit der Last, die er tragen kann, verglichen werden.

¹²¹ Meyer, H. (2012) S. 151 ff.



Mögliche Ergebnisse der Lernenden, auch andere Konstruktionen sind denkbar.

Bevor in vom themenspezifischen Thema Leichtbau mit Papier wieder ein allgemeiner Blick auf das Feld Leichtbau geworfen wird, fasst der Lehrende den Kompetenzzuwachs der Lernenden nochmal zusammen. Die Lernenden verfügen über das Wissen, dass leichtes Material mit der richtigen Aussteifung und Bauweise sehr stabil sein kann. Sie können beurteilen, welche Profile sich mit Papier besonders eignen. Sie kennen Formen und Profile aus dem Alltag, dessen Form sie sich beim Konstruieren zu Nutze machen können. Sie sind in der Lage problemorientierte Aufgaben zu lösen. Sie können in der Lerngruppe gemeinsam arbeiten und ihren Lernprozess und die Arbeitsweise strukturieren (Konstruktionsplan). Sie können Hypothesen aufstellen und diese überprüfen. Sie sind in der Lage selbstständig zu arbeiten und können sich metakognitiv mit ihrem Lernprozess auseinander setzen (Gruppengespräche und Präsentationen).

Der Abschluss der Unterrichtseinheit soll ein Blick auf das große Feld des Leichtbaus sein mit dem gleichnamigen Arbeitsblatt „Das große Feld des Leichtbaus“, ähnlich wie zu Beginn der Unterrichtsreihe. Diesmal jedoch mit geschulterem Blick. Den Lernenden sollte vermittelt werden, dass in der Industrie, die Herstellung von Bauteilen mithilfe von Maschinen viel präziser und einfacher gestaltet werden können. Das Feld des Leichtbaus ist groß und es gibt jede Menge zu entdecken. Verschiedene Materialien- und

Materialienzusammensetzungen (Faserverbund) sind zu erwähnen und können anhand des Beispiels Pappmache gut deutlich gemacht werden. Dann werden vor allem Beispiele aus der Industrie, die mit Papier gefertigt wurden aufgezeigt, wie das Welt-Haus von Gerd Niemöller (siehe 3.2.2). Hier fühlen sich die Lernenden besonders gestärkt, da das Haus ebenso zum größten Teil aus Papier bzw. Altpapier besteht und die Paneele in Sandwich-Bauweise hergestellt sind. Dadurch können sie sich besonders mit diesem Beispiel identifizieren. Es werden auch Beispiele begutachtet bei denen das Material Papier im Vordergrund steht, wie ein Fahrrad-Sattel und ein Papier-Fahrrad. Für Beispiele in Sandwichbauweise eignen sich Produkte, wie Surfbretter, Züge, Flugzeuge und vieles mehr. Wichtig ist es nochmal die Schlüsselbegriffe geringes Gewicht bei hoher Stabilität, geeignete Materialauswahl, Bauweise & Herstellung und Nachhaltigkeit & Kosten festzuhalten. Die Lernenden bekommen dadurch von ihrer Einzelerfahrung mit dem Leichtbaumaterial Papier und der Sandwichbauweise einen größeren Blickwinkel auf das Thema Leichtbau. Es wird deutlich, dass die Unterrichtseinheit ein kleiner, aber wichtiger Ausschnitt von Leichtbau war. Für Interessierte gibt es noch jede Menge zum Thema Leichtbau zu wissen und zu erfahren. Leichtbau ist in vielen Bereichen wichtig und in der Gegenwart überall anzutreffen. Die Lernenden können mit ihrem Wissen nun die Dinge zusätzlich mit einem technischen Blick betrachten und darüber hinaus ihr Wissen erweitern und vertiefen. Die Ergebnisse der Lernenden, insbesondere der Hocker, sollten mit einem Foto als Erinnerung festgehalten werden.

3.4.6 Fächerübergreifendes

Das Thema Leichtbau lässt sich fächerübergreifend behandeln. Es sind sowohl Gedichte und Geschichten im Deutschunterricht möglich, wie auch in Kunst das Anfertigen eines Leichtbaukunstwerkes. In Kunst können die unterschiedlichsten Gebilde in Leichtbauweise angefertigt werden. Zudem ist in diesem Fach mehr Zeit für die ästhetische Komponente vorhanden. Auch ist eine Weiterführung in Richtung einer anderen Bauweise möglich, wie Faserverbund. Hier können die Kinder mithilfe von Pappmache stabile leichte Konstruktionen erstellen. Dies kann sowohl im Sachunterricht, als auch im Kunstunterricht erfolgen. In Mathe kann Ende der vierten Klasse zusätzlich ein

Gewichtverhältnis/Auslastungsverhältnis rechnerisch dargestellt werden, beispielsweise mittels Prozentrechnung. Es kann auch im Sachunterricht in der sozialwissenschaftlichen Perspektive weiter gearbeitet werden, indem umweltschutzbezogene Aspekte in das Thema Leichtbau mit einfließen lässt. Auch die historische Perspektive, seit wann es Leichtbau gibt, ist denkbar von Steinböcken aus der römischen Zeit, bis in den Luftraum lässt sich vieles mit einbringen.

Heute muss es einmal her, ein Loblied für den Ingenieur.

Vieles was wir heut verwenden, kommt aus schlauen Köpfens Händen.

Wie wär es ohne all die Technik, so wär der Mensch nicht ganz so mächtig.

Drum danken wir ihm heute sehr, unsrem fleißgen Ingenieur.¹²²

¹²² Quelle leider unbekannt

4. Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war es, eine Unterrichtseinheit zum Thema Leichtbau für die vierte Klasse einer Grundschule zu entwerfen und um einen Zuwachs an physikalisch-technischen Themen im Sachunterricht der Grundschule zu bewirken. Dies beinhaltete, das Thema fachwissenschaftlich aufzubereiten, didaktisch zu reduzieren und Materialien zu erstellen.

Das Thema Leichtbau ist zunächst schwierig für Lehrende aufzubereiten, die noch keinen Kontakt zu dieser Thematik hatten. Dies liegt vor allem daran, dass es keine Technologie ist, die durch eine bestimmte Definition oder Verfahren eindeutig darstellbar ist. Sie ist ständig im Wandel und es werden immer mehr und weitere Verfahren und Materialien entwickelt. Dies hat zu Folge, dass man sich als Lehrender einen Teil bestimmen muss, der für die Lernenden einen kleinen Ausschnitt aus dem Gebiet Leichtbau gibt. Wichtig ist, dass man den Bogen vom speziellen wieder zum allgemeinen schlägt, um somit ein Konzept für die Lernenden erstellt, das tragfähig, transferfähig und erweiterbar ist. Das positive bei einem auch für Lehrende neu zu erarbeitenden Thema ist, dass man sich langsamer durch die Theorie des Gegenstands bewegt. Man muss sich auch Stück für Stück die Thematik erarbeiten und ist den Lernenden somit näher. Dies liegt daran, dass man bei einer bereits vor vielen Jahren erworbenen Thematik sich in die Lernenden, die womöglich noch nicht oder nur in Ansätzen damit vertraut sind. Man kann vergleichen, an welchen Punkten Verständnisprobleme entstanden sind und unter dieser Berücksichtigung die didaktische Reduktion des Gegenstandes für die Lerngruppe vornehmen.

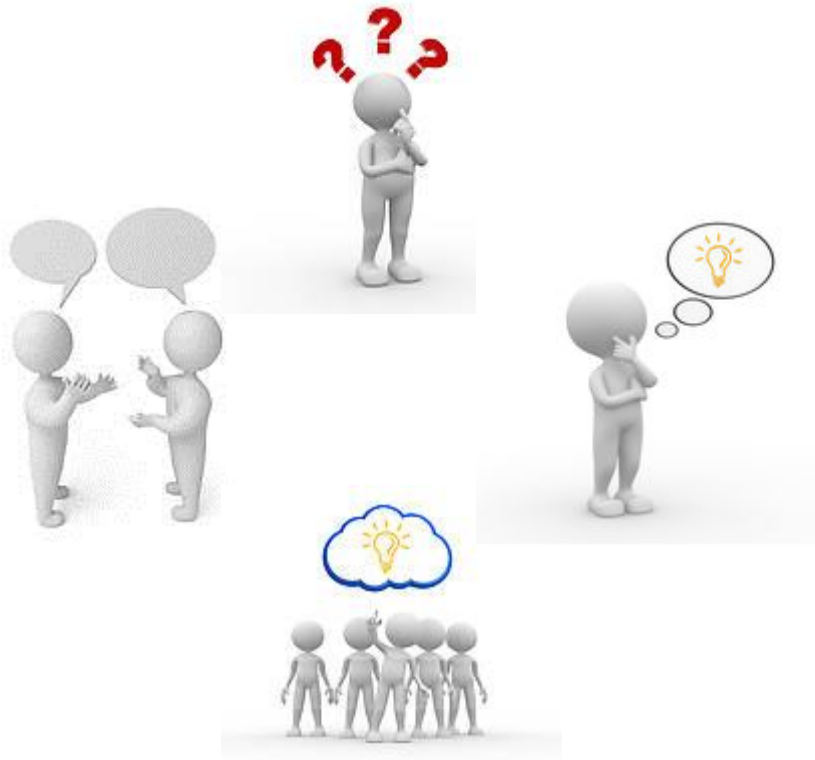
Für die Lernenden einer vierten Grundschulklasse eignet sich dieses Thema aus theoretischer Sicht in Besonderer Weise. Sie können ihre Ergebnisse sehr kreativ gestalten und sich aktiv miteinander austauschen. Das Unterrichtsgeschehen ist überwiegend aktiv, da es wenig lehrerzentrierte Momente gibt. Das eigenständige Erarbeiten und Erfahren fördert die Festigung des Wissens, da die Lernenden nicht nur passive Rezipienten sind, sondern ihren Lernprozess überwiegend selbst steuern. Das kooperative Lernen in Form von Partner- und Gruppenarbeit bereitet die Lernenden auf den Unterricht der Sekundarstufe I vor. Da mit zunehmendem Alter die heutige

Unterrichtspraxis öfter durch schülerzentriertes Lernen verwirklicht wird, ist dies eine Erfahrungsbereicherung und unterstützt selbstständiges Lernen. Biologiebegeisterten Kindern kann man das Buch „Denkwerkzeuge nach der Natur“ und „Warum alles kaputt geht“ von Claus Mattheck empfehlen. Es erklärt auf spielerische Weise mechanische und physikalische Aspekte vom Aufbau der Natur und was sie stabil und instabil macht. Auch für Lehrende sind diese Bücher eine Bereicherung, vor allem unter dem Aspekt, dass nicht jeder Sachunterrichtslehrende in seiner Ausbildung in Kontakt mit physikalischen oder mechanischen Themen gekommen ist.

Die Aufbereitung von einer Unterrichtseinheit Leichtbau für die vierte Klasse einer Grundschule ist durch diese Arbeit erfolgt und das Ziel somit erreicht. Eine weitere wichtige Aufgabe wäre, die in dieser Arbeit erstellten Materialien und Unterrichtsvorschläge zu erproben, um ihren praktischen Nutzen zu analysieren. Auch die didaktischen Überlegungen und gewünschten Lernziele können durch eine praktische Umsetzung überprüft werden.

Mein Forscherbuch

zum Thema Leichtbau



Name.....

Klasse.....

Was ist Leichtbau?



Mein erster Eindruck:

Wie stark ist Papier?

Material:

Zwei DIN A4 Papierblätter

Aufgabe:

1. Zerreiße das erste Papier.
2. Zerknülle das zweite Papier zu einer Papierkugel und versuche es zu zerreißen.



Vermutung - Was wird passieren?



Beobachtung:



Aha! - Erkenntnis:

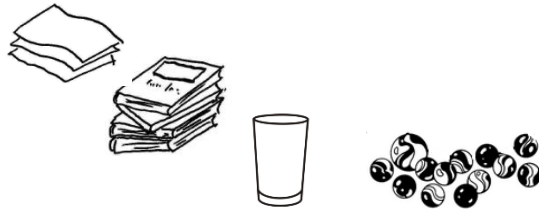
Papier mit Muskeln - Stabil durch Profil

Material:

DIN A4 Papier

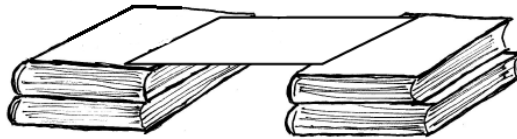
Bücher

Becher und Murmeln



Aufgabe:

Stapel die Bücher zu zwei Türmen. Schiebe sie soweit zusammen, dass du das Papier darüber legen kannst. Wie kann man das Papier verändern, sodass es den Becher mit ein paar Murmeln trägt?



Vermutung - So können wir es machen:



Beobachtung:



Aha! - Erkenntnis:

Mein/Unser Papier konnte ____ Murmeln tragen!

Papier-Profil und Bauweise A

Material:

DIN A4 Papierblätter, eventuell Tesafilm oder Klebstift

Aufgabe:

1. Stelle verschiedene Profile her und belaste sie wieder mit Becher und Murmeln und nimm die Bücherstapel zur Hilfe.
2. Irgendwann ist die Anzahl der Murmeln zu hoch. Wie kann man das Profil noch stabiler machen?



Vermutung

- Diese Profile probiere ich aus...
- Ich vermute am stabilsten wird sein...



Beobachtung:



Aha! - Erkenntnis:

Mein/Unser Papier konnte _____ Murmeln tragen!

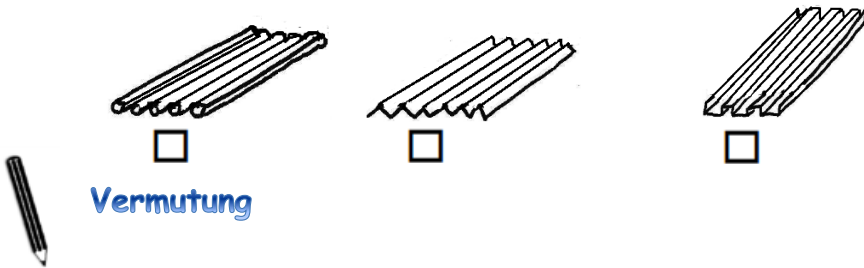
Papier-Profil und Bauweise B

Material:

DIN A4 Papierblätter, Tesafilm, Klebeband oder Klebstift

Aufgabe:

1. Betrachte die verschiedenen Profile, welches ist am stärksten?
2. Stelle die Profile her und überprüfe deine Vermutung? Ab einer bestimmten Anzahl der Murmeln hängt auch das stabilste Profil durch, wie kann man es noch belastbarer machen?



Vermutung

Beobachtung:





Aha! - Erkenntnis:

Mein/Unser Papier konnte _____ Murmeln tragen!

Wir bringen Papier an seine Grenzen!

Material:

DIN A4 Papierblätter, Klorollen, Küchentücher-Rollen, Pappe, Tesafilm, Klebeband, Klebestift

Aufgabe:

1. Beschreibe oder zeichne Sandwich-Bauweisen, von denen du vermutest, dass sie stark belastbar sind. Überprüfe deine Vermutungen im Experiment. Benutze zunächst schwere Bücher und danach mithilfe deiner Mitschüler dein eigenes Gewicht.



Vermutung - deine stabilsten Sandwich-Bauweisen



Beobachtung:



Aha! - Erkenntnis:

Wir bauen einen Hocker in Leichtbauweise!

Material:

Sucht euch euer Material aus: DIN A4 Papierblätter, Küchenrollen, Klopapierrollen, Pappe, Tesafilm, Klebestift, Wellpappe

Aufgabe:

1. Ihr baut einen Hocker. Plant euren Bau mithilfe des Konstruktionsplanes. Den Konstruktionsplan zeigt ihr vor und danach beginnt ihr zu bauen.

Konstruktionsplan:



1. Skizze vom Hocker: (Gerne kann erst auf Schmierblättern vorgezeichnet werden)

2. Wahl des Materials: (Kann auch an euer Skizze beschrieben werden)

3. Fertigungsschritte (Bauschritte):

4. Bauphase

5. Ergebnis - Was war gut, was nicht so gut?

Profile in unserer Umwelt



Das große Feld des Leichtbaus



Schlüsselwörter:

Abbildungsquellen zu AB „Mein Forscherbuch zum Thema Leichtbau“

1. Zwei Männchen

<http://sr.photos2.fotosearch.com/bthumb/CSP/CSP992/k13701504.jpg>

2. Männchen mit Glühbirne

<http://cdn.xl.thumbs.canstockphoto.de/canstock15101675.jpg>

3. Männchen mit Fragezeichen

<http://sr.photos3.fotosearch.com/bthumb/CSP/CSP992/k14669743.jpg>

4. Männchen in Gruppe

<http://sr.photos3.fotosearch.com/bthumb/CSP/CSP993/k14914987.jpg>

Abbildungsquellen zu AB „Was ist Leichtbau?“

1. Zwei Männchen

[<http://sr.photos2.fotosearch.com/bthumb/CSP/CSP992/k13701504.jpg>]

2. Männchen mit Glühbirne

[<http://cdn.xl.thumbs.canstockphoto.de/canstock15101675.jpg>]

3. Männchen mit Fragezeichen

[<http://sr.photos3.fotosearch.com/bthumb/CSP/CSP992/k14669743.jpg>]

4. Männchen in Gruppe

[<http://sr.photos3.fotosearch.com/bthumb/CSP/CSP993/k14914987.jpg>]

5. Bienenwaben

[http://media.kunst-fuer-alle.de/img/37/m/37_53727.jpg]

6. Eierkarton

[http://maxattachments.prod.hlpstr.de/attachments/articles/icons/000/169/306/featured/iStock_000022913312XSmall.jpg]

7. Fahrradhelm

[<http://www.fahrrad.de/fileadmin/mediapool/fde/fahrradhelm.jpg>]

8. Styropor

[<http://www.energieheld.de/files/daemmung-styropor-polystyrol-daemmstoff.jpg>]

9. Rennrad

[<http://einfachgefragt.com.dd20604.kasserver.com/wp-content/uploads/2013/11/Rennrad-500x375.jpg>]

10. Umzugskartons

[http://kmu-marketing-blog.ch/wp-content/uploads/stabile_verpackungen_fotolia_46081341_S.jpg]

11. Stehordner

[<http://www.office-netshop.de/cat/stehsammler.jpg>]

12. Rennauto

[http://www.duden.de/_media_/full/R/Rennauto-201020455408.jpg]

Abbildungsquelle zu AB „Profile in unserer Umwelt“

1. Palmblatt

<http://images.fotocommunity.de/bilder/pflanzen-pilze-flechten/kakteen-sukkulenten/palmblatt-3b0ade8c-aa63-45f5-a33c-b04d5239999a.jpg>

2. Wellblechdach

http://www.bosshard-metallbau.ch/domains/bosshard-metallbau_ch/data/free_docs/Carport_lindau_zuerich_gr.jpg

3. Bienenwaben

http://media.kunst-fuer-alle.de/img/37/m/37_53727.jpg

4. Wellpappe

http://wellpappen-industrie.de/data/03_Wellpappe/_Bildleiste/Wellpappe_breit.jpg

Abbildungsquellen zu AB „Das große Feld des Leichtbaus“

1. Luftballon mit Pappmache

[http://www.primolo.de/archiv/reporterkids/hp_bilder/pappmache-luftballon-mittel.jpg; Zugriff: 01.11.2015]

2. Papierblechverbundmaterial für den Karosseriebau eines Autos

[[<http://www.haute-innovation.com/de/magazin/leichtbau/papier-blech-verbundmaterial-mit-schwingungsdaempfenden-eigenschaften.html>; Zugriff: 23.10.2015]

3. Fahrrad aus Altpapier

MILETZK, DR. FRANK (2013): Chance-Leichtbau Zukunftsfähige Anwendungen von Papier. In: Wochenblatt für Papierfabrikationen 4/2013 . Papiertechnischen Stiftung. München/Heidenau. S.249

4. Welt-Häuser

LUBOWSKI, KARIN (2009): Abendblatt. Nicht von Pappe: Welt-Häuser aus Altpapier

[<http://www.abendblatt.de/ratgeber/wissen/umwelt/article106740944/Nicht-von-Pappe-Welt-Haeuser-aus-Altpapier.html>; Zugriff: 02.11.2015]

5. Surfbrett Sandwichbauweise

[<http://surfgalerie.oase.com/data/500/BalsaKernUnten.JPG>; Zugriff 05.11.2015]

6. Rumpf-Bau in Kohlefaser-Sandwichbauweise des Elektrofliegers „e-Genius“ vom Stuttgarter Institut für Flugzeugbau -

[http://zwomp.de1.biz/wp-content/uploads/2011/06/eGenius_Rumpfbau.jpg; Zugriff: 05.11.2015]

Tipps und Ergebnisse an der Tafel oder Wand

Umformung

Je höher die Aufkantung oder umso mehr Zickzackknicke, umso belastbarer ist die Konstruktion. Diese Umformung nennt man Profile.

Profile reduzieren die Menge des Materials und sorgen für Stabilität.

Profile gleichmäßig anfertigen:



Decklagen sind zug- und schubfest mit dem Profil verbunden und wirken einer Biegung und Instabilität des Profils entgegen. Es entsteht eine Konstruktion in sogenannter Sandwich-Bauweise.

Decklagen gut befestigen:



Die Decklagen müssen dick genug im Vergleich zum Kern sein.

Erst Vermutungen und Konstruktionsüberlegungen anstellen, dann umsetzen und bauen.

6. Literaturverzeichnis

BAAR, DIPL.-ING. ALEXANDER (2005): Modellierung der Werkstoffeigenschaften von Papierfaserprodukten als Grundlage für deren konstruktive Gestaltung. Von der Fakultät Maschinenbau der Universität Dortmund zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Dissertation. Dortmund.

KUNST FÜR ALLE: Bienenwaben [http://media.kunst-fuer-alle.de/img/37/m/37_53727.jpg; Zugriff: 04.10.2015]

BOHL, T. (2009): Prüfen und Bewerten im offenen Unterricht. 4., neu ausgestattete Auflage. Beltz Verlag. Weinheim und Basel.

DEUTSCHLAND IM MITTELALTER: Kölner Dom [<http://deutschland-im-mittelalter.de/bilder/handwerk/koelner-dom-innen.jpg>; Zugriff: 04.10.2015]

DRECHSLER, B. & GERLACH (2001): Naturwissenschaftliche Bildung im Sachunterricht – Problembereich bei Grundschullehrkräften. In: Kahlert, J., Inckemann, E. (Hrsg.) Wissen, Können und Verstehen – über die Herstellung ihrer Zusammenhänge im Sachunterricht. Klinkhardt. Bad Heilbrunn. 215-226

DRECHSLER, PROF. DR.-ING. K. (2007): Leichtbau – Entwicklung, Bedeutung und Disziplinen. In: Universität Stuttgart und Autorenkollektiv: Bansemir / Drechsler / Friedrich / Gadow / Karb / Kehrle / Kern / Knippers / Kopp / Kröplin / von Niessen / Schöll / Sobek / Wenzelburger / Witzel (Hrsg.) (2007): Themenheft Forschung Nr. 7 „Leichtbau“.

DRECHSLER, PROF. DR.-ING. K. / KARB I. / KEHRLE R. / WITZEL, V. (2007): Faserverbundstrukturen – Leichtbau in Natur und Technik. In: Universität Stuttgart und Autorenkollektiv: Bansemir / Drechsler / Friedrich / Gadow / Karb / Kehrle / Kern / Knippers / Kopp / Kröplin / von Niessen / Schöll / Sobek / Wenzelburger / Witzel (Hrsg.) (2007): Themenheft Forschung Nr. 7 „Leichtbau“.

UNIVERSITÄT STUTTGART INSTITUT FÜR FLUGZEUGBAU: Faserverbundleichtbau für Flugzeugstrukturen [http://www.swiss-aerospace-cluster.ch/upload/cms/user/Busse_Uni_Stuttgart.pdf; Zugriff:02.10.2015]

GESELLSCHAFT FÜR DIDAKTIK DES SACHUNTERRICHTS (Hrsg.) (2013): Perspektivrahmen Sachunterricht. Vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe. Julius Klinkhardt Verlag. Regensburg.

HALLER, SASCHA (2013): Gestaltfindung. Untersuchungen zur Kraftkegelmethode. Schriftreihe des Instituts für angewandte Materialien. Band 27. KIT Scientific Publishing. Print in Demand.

HAUTE-INNOVATION. Stichwort: Papier-Blechverbundmaterial für den Karosseriebau Ausgabe 47/2014 Magazin [<http://www.haute-innovation.com/de/magazin/leichtbau/papier-blech-verbundmaterial-mit-schwingungsdaempfen-eigenschaften.html>; Zugriff: 23.10.2015]

HARTINGER A., LOHRMANN, K. (2011a): Kontextualisierung und Dekontextualisierung In: Einsiedler / Götz / Hartinger / Heinzel / Kahlert / Sandfuchs (Hrsg.) (2011): Handbuch Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik. 3., vollständig überarbeitete Auflage. Julius Klinkhardt. Bad Heilbrunn. S. 397-401

HARTINGER A., LOHRMANN, K. (2011b): Entdeckendes Lernen. In: Einsiedler / Götz / Hartinger / Heinzel / Kahlert / Sandfuchs (Hrsg.) (2011): Handbuch Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik. 3., vollständig überarbeitete Auflage. Julius Klinkhardt. Bad Heilbrunn. S. 367-371

HENNING F./ MOELLER, E. (2011): Handbuch Leichtbau. Methoden, Werkstoffe, Fertigung. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. München.

HESSISCHES KERNCURRICULUM (2011). Kerncurriculum für die Primar- und Sekundarstufe I. Sachunterricht.

JÜRGEN BLECHSCHMIDT (2013): Taschenbuch der Papiertechnik. 2., aktualisierte Auflage. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG. München.

KAHLERT J. (2009): Der Sachunterricht und seine Didaktik. 3., aktualisierte Auflage. Julius Klinkhardt Verlag. Bad Heilbrunn.

KAHLERT, J. (2011): Sachunterricht – ein fachlich vielseitiger Lernbereich. In: Einsiedler / Götz / Hartinger / Heinzel / Kahlert / Sandfuchs (Hrsg.) (2011): Handbuch Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik. 3., vollständig überarbeitete Auflage. Julius Klinkhardt. Bad Heilbrunn. S. 487-493

KAMMER, C. (2014): Aluminium-Taschenbuch. 17. Auflage vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe. Beuth Verlag GmbH. Berlin Wien Zürich.

KLEIN, B. (2009): Leichtbau-Konstruktion. Berechnungsgrundlagen und Gestaltung. 8. Auflage. Wiesbaden.

KIRCHER, GIRWIDZ, HÄUSSLER (Hrsg.) (2009): Physikdidaktik. Theorie und Praxis. Springer-Verlag. Berlin und Heidelberg.

KÖHNLEIN, W. (2011): Aufgaben und Ziele des Sachunterrichts. In: Einsiedler / Götz / Hartinger / Heinzel / Kahlert / Sandfuchs (Hrsg.) (2011): Handbuch Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik. 3., vollständig überarbeitete Auflage. Julius Klinkhardt. Bad Heilbrunn. S. 494-503

KOERBER, S. (2011): Entwicklungspsychologie des Kindes. In: Einsiedler / Götz / Hartinger / Heinzel / Kahlert / Sandfuchs (Hrsg.) (2011): Handbuch Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik. 3., vollständig überarbeitete Auflage. Julius Klinkhardt. Bad Heilbrunn. S. 154-161

K-ZEITUNG: Papier im Duroplast: Sättel und Möbel für morgen?
[http://images.google.de/imgres?imgurl=http://www.k-zeitung.de/files/smthumbnaildata/lightboxdetail/3/8/4/6/3/1/mg_1413_LBF2.jpg&imgrefurl=http://www.k-zeitung.de/papier-im-duroplast-saettel-und-moebel-fuer-morgen/150/4343/80050/&h=496&w=800&tbnid=09JIPrucnoW_9M:&zoom=1&docid=00jOrrD-ciDeOM&ei=nmeAVd6QNKWpyQOE54DADQ&tbm=isch&iact=rc&uact=3&page=26&start=600&ndsp=26&ved=0CBQQRQMwBTjYBGoVChMI3tf-6OiUxgIVpVRyCh2EMwDY; Zugriff: 02.11.2015]

LANDWEHR, B. (2001): Die Distanz von Sachunterrichtslehrkräften zur Physik. Dissertation im Fachbereich Erziehungswissenschaften der Universität Lüneburg.

LUBOWSKI, KARIN (2009): Abendblatt. Nicht von Pappe: Welt-Häuser aus Altpapier

[<http://www.abendblatt.de/ratgeber/wissen/umwelt/article106740944/Nicht-von-Pappe-Welt-Haeuser-aus-Altpapier.html>; Zugriff: 02.11.2015]

LÜFTL, S./ DEGISCHER, H. P. (2009): Leichtbau. Prinzipien, Werkstoffauswahl und Fertigungsvarianten. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim.

MATTHEK, C. (2010): Denkwerkzeuge nach der Natur. Hervorgegangen aus dem Zusammenschluss des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH und der Universität Karlsruhe (TH). KS Druck GmbH. Kronau.

MEYER, H. (2012): Leitfaden Unterrichtsvorbereitung. 6. Auflage. Cornelsen Verlag Scriptor GmbH und Co. KG. Berlin.

MILETZK, DR. FRANK (2013): Chance-Leichtbau Zukunftsfähige Anwendungen von Papier. In: Wochenblatt für Papierfabrikationen 4/2013 . Papiertechnischen Stiftung. München/Heidenau.

MÖLLER, K. & TENBERGE, C. (2000): Entwicklung von Professionalität – Ein Beitrag zu einer biografieorientierten Lehrerbildung. In: Jaumann-Graumann, O./Köhnlein, W. (Hrsg.): Lehrerprofessionalität – Lehrerprofessionalisierung. Klinkhardt. Bad Heilbrunn. 99-109

MÖLLER, K. (2004a): Naturwissenschaftliches Lernen in der Grundschule – Welche Kompetenzen brauchen Grundschullehrkräfte? In: Merken, H. (Hrsg.): Lehrerbildung: IGLU und die Folgen. Leske & Budrich. Opladen. 65-84

MÖLLER, K. (2004b): Verstehen durch Handeln beim Lernen naturwissenschaftlicher und technikbezogener Sachverhalte. In: Köhnlein, W. & Lauterbach, R. (Hrsg.): Verstehen und begründetes Handeln. Klinkhardt. Bad Heilbrunn. 147-165

MÜLLER, K. (2006): „Hilf mir es selbst zu tun“ – Freiarbeit nach Montessori. Grin Verlag.

MUNSER-KIEFER, M. (2011): Formen und Qualitätsmerkmale offenen Unterricht. In: Einsiedler / Götz / Hartinger / Heinzel / Kahlert / Sandfuchs (Hrsg.) (2011): Handbuch Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik. 3., vollständig überarbeitete Auflage. Julius Klinkhardt. Bad Heilbrunn. S. 351-355

NACHTIGALL, W. (1982): Werkstoffe und Leichtbauweisen in der Natur. in Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde in der Kunststofftechnik. VDI-Verlag. Düsseldorf.

NACHTIGALL, W. (1985): Warum die Vögel fliegen. Rasch und Röhring. Hamburg.

NEITZEL, M./ MITSCHANG, P./ BREUER, U. (2014): Handbuch Verbundwerkstoffe. Werkstoffe, Verarbeitung, Anwendung. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage. Carl Hanser Verlag. München.

NIEMANN, G. / WINTER, H. / HÖHN, B.-R. (2013): Maschinenelemente. Band 1: Konstruktion und Berechnungen von Verbindungen, Lagern, Wellen. 4. Auflage. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.

RIEG, F./ STEINHILPER, R. (2012): Handbuch Konstruktion. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, München.

ROSSBERGER, E./HARTINGER, A. (2000): Interesse an Technik. Geschlechtsunterschiede in der Grundschule. In: Grundschule (6). 15-17

SCHÜRMAN, H. (2005) : Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden. Berlin Heidelberg.

SIRICHA, TORSAKUL (2007): Modellierung und Simulation eines Verbunds von Sandwichplatten zur Entwicklung einer mechanischen Verbindungstechnik. Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation. 26. März

SOBEK, PROF. DR.-ING. WERNER (2007): Entwerfen im Leichtbau. In: Universität Stuttgart und Autorenkollektiv: Bansemir / Drechsler / Friedrich / Gadow / Karb / Kehrle / Kern / Knippers / Kopp / Kröplin / von Niessen / Schöll / Sobek / Wenzelburger / Witzel (Hrsg.) (2007): Themenheft Forschung Nr. 7 „Leichtbau“.

STAATSLNSTITUT FÜR SCHULQUALITÄT UND BILDUNGSFORSCHUNG MÜNCHEN. Heimat- und Sachunterricht 3/4 2015. Lernbereich 6 Technik und Kultur. 6.2 Bauen und Konstruieren.

SVIRIDOV, DIPL.-ING. ALEXANDER (2011): Leichtbau mit Aluminiumschaumsandwich Prozessketten zur Herstellung von Bauteilen. Von der Fakultät für Maschinenbau, Elektrotechnik und

Wirtschaftsingenieurwesen der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation. Cottbus.

THOMAS, B. (2011): Differenzierung. In: Einsiedler / Götz / Hartinger / Heinzel / Kahlert / Sandfuchs (Hrsg.) (2011): Handbuch Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik. 3., vollständig überarbeitete Auflage. Julius Klinkhardt. Bad Heilbrunn. S. 360-367

VDW – DIE WELLPAPPENINDUSTRIE. WELLPAPPE-WISSEN.
[wellpappe-wissen.de; Zugriff 20.10.2015]

WIEDEMANN, J. (2007) : Leichtbau. Elemente und Konstruktion. 3. Auflage. Berlin Heidelberg.

WIKIPEDIA: Teufelsbrücke bei Tarragona Abbildung
[https://de.wikipedia.org/wiki/Aq%C3%BCeducte_de_les_Ferreres]

7. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. rer. nat. habil. Thomas Wilhelm für die Betreuung dieser Arbeit und für alle Anregungen bedanken. Auch für die Empfehlung des bisher unerforschten Themas Leichtbau in der Grundschule möchte ich einen Dank aussprechen.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Andreas Büter vom Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Kranichstein möchte ich mich für das ausführliche Gespräch, die von ihm bereitgestellten Materialien und den roten Faden für das Thema Leichtbau bedanken.

Ein großer Dank allen, die mich während der Arbeit unterstützt und begleitet haben.

8. Plagiatserklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen, als die angegebenen Hilfsmittel verwandt und die Stellen, die anderen benutzten Druck- und digitalisierten Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, mit Quellenangaben kenntlich gemacht habe.

(In die Versicherung sind gegebenenfalls auch Zeichnungen, Skizzen sowie bildliche und sonstige Darstellungen sowie Ton- und Datenträger einzuschließen.)

(Unterschrift des Verfassers)
