

Wissenschaftliche Hausarbeit
im Rahmen der Ersten Staatsprüfung
für das Lehramt an Gymnasien im Fach Physik,
eingereicht der Hessischen Lehrkräfteakademie
– Prüfungsstelle Frankfurt am Main –

Entwicklung eines Schülerlabors zur Baubionik

Verfasserin:

Yasmin Gärtner

Gutachter:

Prof. Dr. Thomas Wilhelm

Sollten im Verlauf dieser Arbeit bei Abbildungen oder Fotografien keine weiteren Quellen angegeben sein, wurden diese von mir (Yasmin Gärtner) erstellt.

Darüber hinaus werden die Begriffe „Experiment“ und „Versuch“ in der vorliegenden Arbeit synonym verwendet.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
Teil 1: Theoretische Grundlagen.....	5
2. Bionik	5
2.1 Begriffsherkunft & Definition	5
2.2 Arbeitsweisen in der Bionik.....	6
2.3 Eigenschaften bionischer Produkte	8
2.4 Forschungsgebiete der Bionik.....	8
3. Baubionik.....	10
Teil 2: Entwicklung des Schülerlabors	11
4. Physikalische & baubionische Grundlagen	11
4.1 Wasser-/ schmutzabweisende & lufteinschließende Oberflächen	12
4.2 Energieautarke Gebäude & textile Solarthermie	18
4.3 Bionisch optimierte & an Belastung angepasste Bauteile	23
4.4 Leichte & stabile Konstruktionen	28
5. Didaktische & methodische Überlegungen	31
5.1 Legitimation & Potenzial der Baubionik für ein Schülerlabor	31
5.2 Lernvoraussetzungen	34
5.3 Überlegungen zu inhaltlichen Schwerpunktsetzungen	35
5.3.1 Auswahl der Stationsthemen.....	35
5.3.2 Inhaltliche Kontexte & mögliche Erkenntnisgewinne	36
5.4 Potenzial von Vielfalt	39
5.5 Bezeichnung der Stationen.....	40
5.6 Überlegungen zum Ablauf & zur Organisation	41
5.6.1 Institutionelle & organisatorische Rahmenbedingungen	41
5.6.2 Überlegungen zum Ablauf	43
5.7 Curriculare Bezüge	44
5.7.1 Angestrebte Kompetenzen	44
5.7.2 Inhaltsfelder.....	48
5.8 Methodischer Schwerpunkt	49
5.9 Sozialformen	51
5.10 Das Erklärvideo	53
5.11 Die QR Codes	54
5.12 Die LearningApps	55

5.13 Die einzelnen Stationen	56
5.13.1 Station „Lotus und Salvinia“	56
5.13.2 Station „Eisbär“	61
5.13.3 Station „Baumstamm und Astgabel“	66
5.13.4 Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“	71
6. Fazit & Ausblick.....	76
Literaturverzeichnis	78
Abbildungsverzeichnis	82
Anhang.....	85
Eigenständigkeitserklärung.....	184

1. Einleitung

„Der menschliche Schöpfergeist kann verschiedene Erfindungen machen (...), doch nie wird ihm eine gelingen, die schöner, ökonomischer und geradliniger wäre als die der Natur, denn in ihren Erfindungen fehlt nichts, und nichts ist zu viel.“ – Leonardo da Vinci, „Vater“ der Bionik (BIOKON Bionik Kompetenz Netz)

Die Erwärmung und die zunehmende Schadstoffbelastung unseres Planeten nehmen uns in die Pflicht, unsere Beziehung zur Natur grundlegend zu überdenken. Wollen wir die Lebensgrundlage zukünftiger Generationen nicht zerstören, muss ein Umdenken stattfinden. In diesem Zusammenhang nehmen das „Bauen und Wohnen“ einen besonderen Stellenwert ein. Sie dienen dem Zweck, die menschlichen Grundbedürfnisse zu befriedigen, sind zugleich jedoch für einen Großteil der Schadstoffemission und des Ressourcenverbrauchs verantwortlich. So sind 30 % der weltweiten Kohlenstoffdioxid-Emissionen, 40 % des weltweiten Energieverbrauchs und 40 % des Müllaufkommens auf die globale Bautätigkeit zurückzuführen (Knippers et al. 2017, S. 6). Hinzu kommt, dass uns das rapide Bevölkerungswachstum abverlangt, die Bautätigkeit noch weiter zu intensivieren, um dem Anspruch, ausreichend menschenwürdigen Wohnraum zu schaffen, gerecht werden zu können.

Dabei kann ein einfacher Blick in die Natur genügen, um Lösungsansätze zu finden, anhand derer den Anforderungen an den Bau und die Architektur von morgen Rechnung getragen werden kann (Knippers et al. 2017, S. 6–7). Indem Architekten und Ingenieure eine Disziplin wie die Biologie in die Architektur miteinbeziehen, können neue Ideen gewonnen werden und daran anknüpfend zumeist zukunftssträchtigere Lösungsmöglichkeiten erzielt werden. Jenes Vorgehen geht außerdem mit einer großen Zeitersparnis einher, da es anhand „natürlicher“ Erfahrungen oft innerhalb kürzester Zeit möglich ist, eine Verbesserungsstrategie zu entwickeln (Schäfer et al. 2005). Werner Nachtigall, einer der Begründer der Bionik, findet dazu folgende Worte: „Bionik ist ein Werkzeug, um Wissen zu gewinnen. Und es ist ungeschickt, bewusst Wissensverzicht zu betreiben“ (Schultz 2011, S. 15).

Im Sinne der Erkenntnistheorie besteht folglich die Notwendigkeit, sich der Natur als Ideengeber zu bedienen, um neue bautechnische Anwendungen hervorzubringen.

Nichtsdestotrotz würde die Art und Weise, wie die Bionik ihren größten Beitrag zur Technik leisten kann, nicht auf der Lösung spezifischer Probleme beruhen, *„rather it is through the revolutionary impact of a whole new set of concepts, a fresh point of view“* (Nachtigall 2003b, S. 6). Daran knüpft auch die Entwicklung eines Schülerlabors zur Baubionik an. Den Schülerinnen und Schülern sollen nicht nur innovative baubionische Produkte präsentiert werden; vielmehr soll das Schülerlabor einen geeigneten Rahmen herstellen, der es den Lernenden am Beispiel verschiedener Phänomene in und aus der Natur ermöglicht, ein Bewusstsein für das besondere Potenzial, welches in der Natur für zukünftige Entwicklungen zu sehen ist, zu entwickeln. Das Schülerlabor bietet Gelegenheit, die Natur aus einem anderen Blickwinkel zu betrachten und die Relevanz „natürlicher“ Inspirationen für den Bau zu erkennen. Im Zuge dessen werden auch Verständnisprozesse bezüglich bionischer Arbeitsweisen bzw. Entwicklungsprozesse auf einer Metaebene initiiert, indem die Lernenden konkrete baubionische Beispiele mit der übergeordneten Theorie zur Bionik vernetzen.

An den Aspekt der „Vernetzung“ knüpft auch der allgemeine interdisziplinäre Charakter der Bionik an. Als eine Wissenschaft, die eine Reihe verschiedener Disziplinen in sich vereint, ist die Bionik geradezu prädestiniert, der Forderung, fächerübergreifendes und fächerverbindendes Lernen in das Zentrum der neuen Lehr- und Lernkultur zu rücken, gerecht zu werden. Daran knüpfen auch die Förderung des vernetzten Denkens und der Kompetenzerwerb auf anderweitig fachlicher und überfachlicher Ebene an (Hessisches Kultusministerium 2011b, S. 3). Auf Grundlage der interdisziplinären Ausrichtung der Bionik wird es leicht möglich, die naturwissenschaftlichen Fächer Biologie und Physik mit der schulfremden Technikdisziplin im Rahmen des Schülerlabors in Einklang zu bringen. So bilden biologische Phänomene, denen physikalische Inhalte zu Grunde liegen, die Basis für technische Innovationen im Baubereich.

In diesem Zusammenhang wird den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit geboten, sich im Zuge der Durchführung verschiedener Schülerversuche experimentell mit der Baubionik auseinanderzusetzen. Dabei stehen das selbstständige

Arbeiten und Forschen während der Stationsarbeit besonderes im Fokus, womit den seitens des Hessischen Kultusministeriums formulierten Ansprüchen, die in Verbindung mit dem Grundgedanken, das Experiment in den unterrichtlichen Mittelpunkt zu stellen, Folge geleistet werden kann (Hessisches Kultusministerium 2011b, S. 3). Zu Gunsten einer möglichst hohen Schüleraktivität liegt den Stationen eine Vielfalt baubionischer Inhalte und methodischer Vorgehensweisen zu Grunde, womit angestrebt wird, die verschiedenen Interessen der Lernenden anzusprechen.

Daran anknüpfend kann das Interesse geweckt werden, sich vertiefend mit den Inhalten der Baubionik oder anderen Teilbereichen der Bionik auseinanderzusetzen. Dies erscheint besonders in Anbetracht des Aspekts der Nachwuchsgenerierung für technische und naturwissenschaftliche Berufsfelder erstrebenswert. Insofern besitzt die Bionik und speziell die Baubionik als einer ihrer Teilbereiche großes Potenzial, an die Interessen der Schülerinnen und Schüler anzuknüpfen und neue Interessen zu schaffen.

Den Inhalt dieser Arbeit bildet die Entwicklung eines Schülerlabors zur Baubionik, das sich an Schülerinnen und Schüler der 9. Jahrgangsstufe nach G8 oder 10. Jahrgangsstufe nach G9 richtet. Das Schülerlabor beinhaltet vier verschiedene Stationen, die jeweils unterschiedliche thematische Schwerpunkte setzen, die jedoch alle dem Teilbereich der Baubionik zuzuordnen sind.

Zu Gunsten einer besseren Übersicht wurde die Arbeit in zwei Teile gegliedert.

Während der erste Teil verhältnismäßig wenig Raum einnimmt, da er lediglich die theoretischen Grundlagen zur (Bau)bionik beinhaltet, die nichtsdestotrotz den Grundstein für die Konzeption des Schülerlabors legen, umfasst der zweite Teil den Großteil der Arbeit.

Teil zwei widmet sich der konkreten Entwicklung des Schülerlabors, die im Fokus dieser Arbeit stehen soll. Zunächst erfolgt eine isolierte Betrachtung der baubionischen und insbesondere physikalischen Inhalte, die den verschiedenen Themenkomplexen, die den Stationen übergeordnet sind, zu Grunde liegen. Anschließend erfolgt die Überleitung zu den didaktisch-methodischen Überlegungen, wobei die einzelnen Stationen in gesonderter Form beleuchtet werden. Das Arbeitsheft, mit dessen Hilfe die Schülerinnen und Schüler den Schülerlabortag

bestreiten, kann dem Anhang der Arbeit entnommen werden. Gleiches gilt für das Lösungsheft, das für Lehrkräfte oder Betreuerinnen und Betreuer erstellt wurde. Ebenso zu entnehmen sind der Videolink zum einführenden Erklärvideo, Ausschnitte der entwickelten *LearningApp*-Aufgaben, Hilfe- und Lernkarten wie auch jegliche anderen Inhalte im Bild-, Video- oder Textformat, die anhand von QR Codes abgerufen werden können und im Zuge einer Durchführung des Schülerlabortages zur Nutzung bereitstehen.

Teil 1: Theoretische Grundlagen

Im ersten Teil dieser Arbeit sollen die theoretischen Grundlagen zur Bionik allgemein und zur Baubionik im Konkreten dargestellt werden. Diese sind grundlegend für die Entwicklung des Schülerlabors, die im Zuge des zweiten Teils dieser Arbeit näher beleuchtet werden soll.

2. Bionik

Bevor zur Baubionik, deren Behandlung anlässlich des Schülerlabors stattfinden soll, übergeleitet werden kann, muss zunächst geklärt werden, was unter dem Begriff „Bionik“ zu verstehen ist.

2.1 Begriffsherkunft & Definition

Die Herkunft des Begriffs „Bionik“ (*bionics*) ist nicht eindeutig geklärt. Erstmals gebraucht wurde der Terminus 1960 von dem Luftwaffenmajor J.E. Steele während des Kongresses „*Bionics-Symposium. Living prototypes – the key to new technology*“ in Ohio. Eine dem Kongress vorangestellte Diskussion sei ausschlaggebend für die Entstehung des Begriffs gewesen. Dabei diene der Ausdruck als „Schlagwort für Methoden, die sich mit belebten Systemen beschäftigen, d.h. eine Verbindung zwischen der Biologie und der Technik herstellen“ (Schäfer et al. 2005, S. 124).

Werden zwei Begriffe verglichen, werden immer auch zwei Vergleichsrichtungen vorgegeben. So kann bei der Gegenüberstellung von Biologie und Technik entweder die Biologie als zentraler Topos betrachtet werden, auf den die Technik projiziert wird, d.h. die Frage gestellt wird, welchen Nutzen Technik und Physik für die Biologie erbringt; oder die Technik wird ins Zentrum gerückt und es werden Überlegungen angestellt, welche Inspirationsquellen die Biologie für die Technik bietet. Aus ersterer Betrachtungsweise hat sich die Disziplin entwickelt, welche als *Technische Biologie* bezeichnet wird, während letztere den Namen *Bionik* trägt (Nachtigall 2003b, S. 5). Insofern bedeutet Technische Biologie nichts anderes als „Natur verstehen mit Hilfe von Technik“, während Bionik das „Lernen von der Natur für die Technik“ beschreibt (Nachtigall 2003b, S. 8).

2.2 Arbeitsweisen in der Bionik

Die Anfänge der Bionik im Sinne des „Lernen[s] von der lebenden Natur für technische Lösungen“ liegen in der Neuzeit mit Leonardo da Vinci (1452 bis 1519) (Knippers et al. 2017, S. 138). Zu seiner Zeit führte er das Wissen und die Erkenntnisse der unterschiedlichsten Fachdisziplinen zusammen und konnte so den Voraussetzungen für einen erfolgreichen Bioniker – wie man ihn heute nennen könnte – gerecht werden. Heute schreiben wir das 21. Jahrhundert und an der Entwicklung eines bionischen Produkts sind gleichzeitig Wissenschaftlicher und Wissenschaftlerinnen verschiedener Disziplinen wie Physik, Chemie, Biologie, Mathematik, Materialwissenschaften, Ingenieurwissenschaften, Architektur und Design beteiligt (Knippers et al. 2017, S. 138). Dies belegt den interdisziplinären Charakter der Bionik. In diesem Zusammenhang hat sich in den letzten Jahren eine Unterscheidung zwischen zwei grundlegenden Vorgehensweisen durchgesetzt, wovon eine als *Bottom-Up-Prozess* der Bionik (*Biology Push*) und die andere als *Top-Down-Prozess* der Bionik (*Technology Pull*) bezeichnet wird (Knippers et al. 2017, S. 7).

Beim *Bottom-Up-Prozess* bildet die biologische Grundlagenforschung, d.h. die Entdeckung der Biologinnen und Biologen, den Ausgangspunkt eines bionischen Projekts. Als interessant hervorstechende biologische Strukturen und Funktionen werden unter Zuhilfenahme verschiedener Methoden, die häufig den Ingenieur- und Materialwissenschaften, der Chemie oder der Physik entliehen sind, untersucht. Jene Analyse des Form-Struktur-Funktions-Zusammenhangs eines biologischen Vorbilds soll anschließend zu einem Verständnis des aufgefundenen Prinzips führen, welches seinerseits wiederum grundlegend für die Phase ist, in der die Abstraktion und Loslösung vom biologischen Ideal stattfindet. Den bevorstehenden Abschluss bildet die technische Umsetzung in Form des Baus von Prototypen. Nach erfolgreicher Testung der Prototypen kann der Einsatz der bionischen Entwicklung im Bauwesen erfolgen und ein neues von der Biologie inspiriertes Produkt wurde geschaffen (Knippers et al. 2017, S. 7–8).

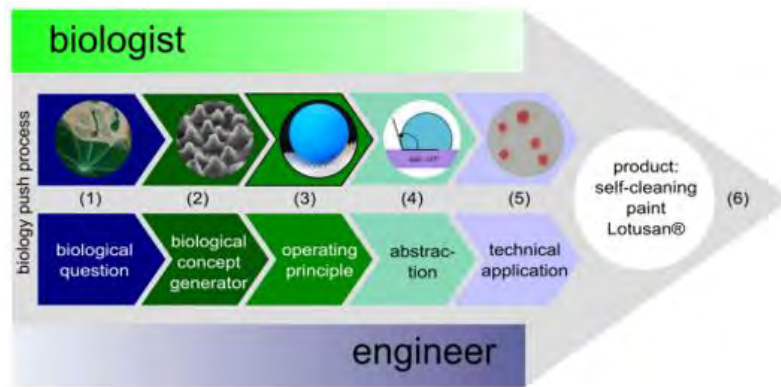


Abbildung 1: Bottom-Up-Prozess am Beispiel der selbstreinigenden Fassadenfarbe „Lotusan“. (1) Biologische Frage; (2) Biologisches Vorbild; (3) Funktionsprinzip; (4) Abstraktion; (5) Technische Umsetzung; (6) Produkt: selbstreinigende Fassadenfarbe „Lotusan“ (Speck et al. 2017, S. 7)

Demgegenüber steht der *Top-Down-Prozess*, an dessen Anfang eine konkrete anwendungsorientierte Fragestellung aus dem Bereich der Industrie, der Architektur oder den Ingenieur- und Materialwissenschaften steht. Nachdem Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen in Zusammenarbeit eine spezifische technische Fragestellung formuliert haben, kann mit der Suche nach biologischen Vorbildern begonnen werden. Diese sollen geeignete Lösungen für die technische Problemstellung bieten. Nach Identifikation zukunftssträchtiger Wirkprinzipien erfolgt die quantitative Charakterisierung der auserkorenen biologischen Vorbildstrukturen. Wie auch beim *Bottom-Up-Prozess* schließt sich an das Verständnis des Prinzips im nächsten Schritt die Abstraktion und Loslösung vom Vorbild aus der Natur an. Auch der weitere Prozess bis hin zum Endprodukt gestaltet sich in analoger Weise zum *Bottom-Up-Prozess* (Knippers et al. 2017, S. 8).

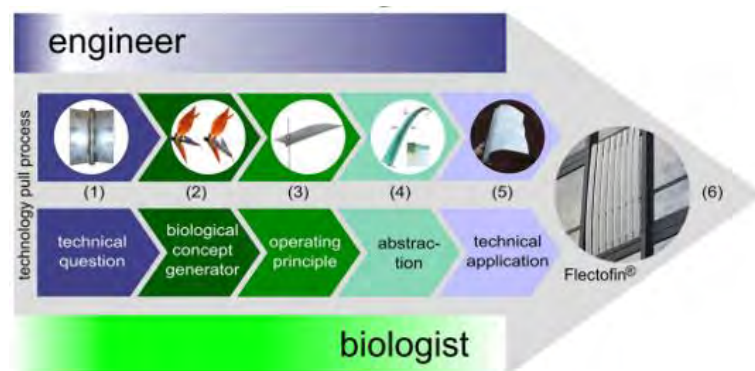


Abbildung 2: Top-Down-Prozess am Beispiel des Fassadenverschattungssystems „Flectofin“. (1) Technische Frage; (2) Biologisches Vorbild; (3) Wirkprinzip; (4) Abstraktion; (5) Technische Umsetzung; (6) Produkt: Fassadenverschattungssystem „Flectofin“ (Speck et al. 2017, S. 7)

Kurzum lässt sich die Arbeitsweise in der Bionik wie folgt beschreiben:

„Ausgehend von einer biologischen Frage (Bottom-Up-Prozess = biology push) oder von einer technischen Herausforderung (Top-Down-Prozess = technology pull) werden evolutionär optimierte biologische Lösungen auf technische Anwendungen übertragen“ (Knippers et al. 2017, S. 138–139).

2.3 Eigenschaften bionischer Produkte

Eine Entscheidung darüber, ob ein Produkt bionisch ist oder nicht, setzt letztendlich immer voraus, die Entwicklungsgeschichte des jeweiligen Produkts zu kennen. Eine Identifikation auf den ersten Blick ist folglich nicht möglich. In der Literatur werden drei notwendige Kriterien benannt, die bei der Beurteilung helfen sollen. Diese lauten gemäß der Richtlinie des Verbands Deutscher Ingenieure (VDI 6220) wie folgt (Wawers 2020, S. 16):

1. Die technische Anwendung muss ein biologisches Vorbild haben.
2. Das biologische Vorbild muss abstrahiert worden sein.
3. Die Übertragung in eine zumindest prototypische Anwendung muss erfolgt sein.

Nur wenn alle drei Kriterien erfüllt werden, darf von einem bionischen Produkt gesprochen werden. Ergänzend zu den Kriterien kann Folgendes festgehalten werden:

„Wenn es ein biologisches Vorbild gibt, dessen Prinzip in ausreichender Tiefe analysiert und in ausreichender Höhe abstrahiert wurde, kann ein daraus entstandenes Produkt oder ein daraus entstandener Prototyp gemäß den Norm- und Regelwerken als bionisch eingestuft werden“ (Wawers 2020, S. 22).

2.4 Forschungsgebiete der Bionik

Die Bionik umfasst ein breites Spektrum verschiedener Disziplinen, die nicht immer trennscharf voneinander zu behandeln sind. Eine allgemeingültige und allgemein anerkannte Einteilung der Teil- bzw. Forschungsgebiete der Bionik ist nicht existent (Wawers 2020, S. 22). Im deutschsprachigen Raum wird sich zumeist auf die Kategorisierung von Werner Nachtigall berufen, der als einer der Begründer der Bionik gilt. In seiner beispielhaften Gliederung grenzt er zehn Unterdisziplinen voneinander ab, denen derzeit existierende Forschungsgebiete

der Bionik gegenübergestellt werden können. Zu finden sind diese beispielsweise in den nach thematischem Schwerpunkt eingeteilten Fachgruppen des Bionik-Kompetenznetzes BIOKON, das eines der wichtigsten Bionik-Netzwerke Deutschlands repräsentiert. Dabei setzen sich neun der zehn Fachgruppen mit bionischen Forschungsfeldern auseinander (Wawers 2020, S. 22).

Teilgebiete nach Nachtigall 1992:	Fachgruppen BIOKON 2019:
▪ Materialien und Strukturen	FG1 Architektur und Design
▪ Formgestaltung und Design	FG2 Leichtbau und Materialien
▪ Konstruktion und Geräte	FG3 Oberflächen und Grenzflächen
▪ Bau und Klimatisierung	FG4 Fluiddynamik
▪ Robotik und Lokomotion	FG5 Robotik und Produktionstechnik
▪ Sensoren und neuronale Steuerung	FG6 Sensorik und Informationsverarbeitung
▪ Anthro- und biomediz. Technik	FG7 Bionische Optimierungsmethoden
▪ Verfahren und Abläufe	FG8 Organisation und Management
▪ Evolution und Optimierung	FG10 Bionische Medizintechnik
▪ Systematik und Organisation	

Abbildung 3: Übersicht der Bionik-Teilgebiete nach Nachtigall 1992 und Fachgruppen der BIOKON 2019 (Wawers 2020, S. 23)

Eine andere Einteilung der bionischen Teil- und Forschungsgebiete kann aus den Themen der aktuellen Bionik-Richtlinien des VDI abgeleitet werden.

Richtlinien des VDI zur Bionik
▪ VDI 6221: Bionische Oberflächen
▪ VDI 6222: Bionische Roboter
▪ VDI 6223: Bionische Materialien, Strukturen und Bauteile
▪ VDI 6224: Bionische Optimierung - Evolutionäre Algorithmen in der Anwendung
▪ VDI 6224: Bionische Strukturoptimierung im Rahmen eines ganzheitlichen Produktentstehungsprozesses
▪ VDI 6225: Bionische Informationsverarbeitung
▪ VDI 6226: Architektur, Ingenieurbau, Industriedesign – Grundlagen

Abbildung 4: Übersicht der Richtlinien des VDI zur Bionik (Wawers 2020, S. 23)

Darüber hinaus können die Gegenstände der Bionik im Rahmen der drei Grunddisziplinen Konstruktionsbionik, Entwicklungs- und Evolutionsbionik sowie Verfahrensbionik zusammengefasst werden (Nachtigall und Pohl 2013). Während erstgenannte Disziplin beispielsweise bionische Aspekte im Hinblick auf Konstruktion, Prothetik, Robotik, Materialien und Werkstoffe, Leichtbau und Struktur sowie Oberflächen enthält, umfasst die Entwicklungs- und Evolutionsbionik neben Teilen der Neurophysiologie zum Beispiel auch Aspekte biologischer Evolution oder Gesichtspunkte von Systematik, Organisation und Prozessen. Zuletzt ist die Verfahrensbionik zu nennen, deren Inhalte sich grob unter

den Aspekten Klima, Energetik, Sensorik, Kinematik und Dynamik im Maschinenbau wie auch Architektur und Bau zusammenfassen lassen (Wawers 2020, S. 25).

Eine Einordnung der Bau- und Architekturbionik in das bionische Beziehungsgefüge ist insofern zwar gegeben, jedoch „lassen sich diese Unterdisziplinen nicht streng unter dem Überbegriff der ‚Verfahrensbionik‘ halten, wenngleich sie dort ihren Hauptplatz haben, denn Bauen und Gestalten sind Verfahren“ (Nachtigall und Pohl 2013). So greifen sie beispielsweise im Hinblick auf Bau- und Dämmstoffe in die Konstruktionsbionik über oder schneiden das Feld der Entwicklungsbionik, wenn es darum geht, eine Baukonstruktion in immer wieder neu modifizierten Versuchs-Irrtums-Prozessen im Computer durchzuspielen (Nachtigall und Pohl 2013).

3. Baubionik

„Die Natur liefert zwar keine Blaupausen für Bau und Architektur; sie lässt sich nicht 1:1 kopieren. Doch bereichert die vergleichende Betrachtung die Sichtweisen. Und sie mag dazu ermutigen, im technischen Bereich Unkonventionelles zu wagen und sowohl frühe Bauformen als auch natürliche Konstruktionen auf ihr Anregungspotential für Konstruktion und Gestaltung in unserer Zeit abzuklopfen“ (Nachtigall 2003a).

Die Baubionik gebraucht die Bionik als Kreativitätswerkzeug (Schultz 2011, S. 15). Als ein wichtiges Teilgebiet der Bionik macht sie sich Materialien, Strukturen und Funktionen aus der Natur als Inspiration zu Nutze, um darauf aufbauend Lösungen für technische Herausforderungen im Bauwesen zu entwickeln. Sie bietet zwar keine Verfahren, nach denen Architekten, Bauingenieure und Designer direkt bauen könnten, jedoch lässt das breite Spektrum natürlicher Entwicklungen eine Vielfalt an Möglichkeiten für das Finden neuer Ideen zu (Nachtigall und Pohl 2013). In diesem Zusammenhang würde die Besonderheit der Ideengenerierung im Bereich der Baubionik vor allem darin liegen, dass sie zum einen der Quelle natürlicher Vorbilder und somit losgelöst vom technischen Weg entspringen kann, zum anderen aber auch zu Konzepten führen kann, die künstlich-technisch basiert sind. Zumeist werden beide Vorgehensweisen im Endprodukt vermischt (Nachtigall und Pohl 2013). Daher fällt es auch schwer, ein rein

„bionisches“ Bauwerk ausfindig zu machen, da häufig nur Teile des Bauwerks von der Natur inspiriert und damit bionisch sind. Nur wenn die *prägenden* Bestandteile eines Bauteils oder eines Gebäudes biologisch inspiriert sind, darf dieses insgesamt mit dem Zusatz „bionisch“ versehen werden (Nachtigall und Pohl 2013).

Während eines von Brigitte Schultz geführten Interviews mit Werner Nachtigall (Biologe) und Göran Pohl (Architekt), in dem u.a. die Verbindung ihrer Disziplinen thematisiert wurde, äußerte Pohl Folgendes:

„Es gibt Fälle, bei denen bionische Prinzipien integrative Bestandteile der Architektur sind – das können konstruktive Systeme sein oder Lüftungssysteme, Ideen für Materialien, für Oberflächen, für Fassadenelemente, für Verschattungen. Aber oft findet man unter dem Begriff auch biomorphe Gebäude, die rein gar nichts mit Bionik zu tun haben“ (Schultz 2011, S. 15).

Eine Untermauerung dessen findet sich auch in den Worten Nachtigalls wieder:

„Die Natur hat ihre eigenen Formen. Es ist dem Architekten überlassen, ob er diese nachahmt oder nicht. Bionik beruht ausschließlich auf Funktionsanalogie. Wenn ich eine Form habe, in der eine Funktion verkappt ist, und die Funktion nur ablaufen kann, wenn die Form die Hülle darstellt, dann ist die Form bionisch. Wenn ich aber eine Form nachbaue, weil sie hübsch ist, hat das mit Bionik nichts zu tun“ (Schultz 2011, S. 17).

Teil 2: Entwicklung des Schülerlabors

Im Rahmen des zweiten Teils dieser Hausarbeit sollen die Ideen zur Entwicklung und möglichen Umsetzung des Schülerlabors näher erläutert werden. Zunächst werden die physikalischen und baubionischen Grundlagen ausgeführt, welche das Fundament der inhaltlichen Schwerpunktsetzung des Schülerlabors bilden, bevor anschließend zu den didaktisch-methodischen Überlegungen übergeleitet wird.

4. Physikalische & baubionische Grundlagen

Das Schülerlabor beinhaltet vier verschiedene Stationen, die jeweils unterschiedliche baubionische Themenkomplexe behandeln. Im Folgenden sollen die

baubionischen Grundlagen – unter besonderer Hervorhebung der physikalischen Aspekte – für jeden Themenkomplex in gesonderter Form dargelegt werden.

4.1 Wasser-/ schmutzabweisende & lufteinschließende Oberflächen

Der Lotus-Effekt

Zu einer der größten bionischen Entdeckungen zählt der heute mittlerweile patentierte „Lotus-Effekt“. Allgemein wird darunter die Fähigkeit einer Oberfläche verstanden, sich selbst von Schmutz zu reinigen. Entdecker dieser Eigenschaft ist der Pflanzensystematiker Prof. Dr. Wilhelm Barthlott der Universität Bonn. Bei genauerer Untersuchung des Lotusblatts (*Nelumbo*) anhand eines Elektronenmikroskops konnte Barthlott Mitte der 1980er Jahre das Rätsel um die Lotospflanze, die in schlammigen Gewässern wächst, deren Blätter jedoch stets makellos sauber bleiben, lösen (Österreichisches Portal für Nanotechnologie 2021).

Grund für den selbstreinigenden Effekt ist die noppenartige und mit Wachs überzogene Feinstruktur der Pflanzenblätter. Diese bewirkt das Abperlen der Wassertropfen, an denen gleichzeitig Schmutzpartikel haften bleiben (Bappert et al. 2013, S. 15). Das Prinzip basiert darauf, dass die Auflagefläche eines Schmutz- oder Wassertropfens auf der Blattoberfläche sehr klein ist, wenn der Tropfen lediglich mit den Noppenspitzen des Blatts in Berührung kommt. Gleichermäßen gering fallen dadurch auch die Anziehungskräfte zwischen den Schmutzpartikeln und dem Blatt aus, sodass die Partikel an der Oberfläche des Wassertropfens haften bleiben und mit ihm abrollen (Wunderlich und Schulte 2012, S. 12).

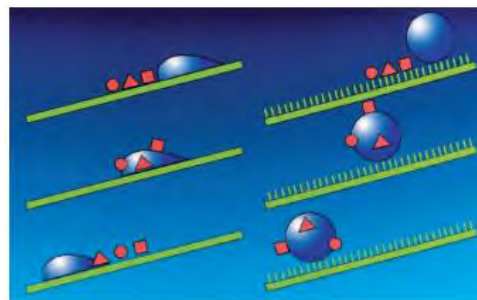


Abbildung 5: Die Funktionsweise des Lotus-Effekts – Schmutzpartikel werden von der Oberfläche gewaschen (Wunderlich und Schulte 2012, S. 12)

Die für den Effekt grundlegenden physikalischen Aspekte sollen im Folgenden genauer erklärt werden:

Zwischen Molekülen in einer Flüssigkeit herrschen allseitig gleichmäßige Anziehungskräfte, die sich aufgrund des Kräftegleichgewichts aufheben. An der Oberfläche jedoch sind diese Kräfte nicht mehr ausgeglichen, da keine Anziehungskräfte nach oben wirksam werden können, was zur Folge hat, dass an der Oberfläche der Flüssigkeit eine resultierende Kraft verbleibt, die in das Flüssigkeitsinnere hinein gerichtet ist (Krellner 2015, S. 1).

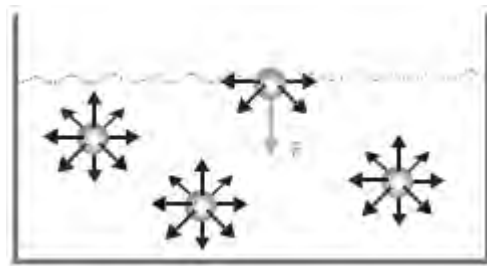


Abbildung 6: Entstehung der Oberflächenspannung (Bappert et al. 2013, S. 51)

Diese Kraft stellt die Ursache der Entstehung der Oberflächenspannung σ dar. Aufgrund dieser Oberflächenspannung ist Wasser bestrebt, seine Oberfläche möglichst gering zu halten. Da geometrisch gesehen die Form mit dem kleinsten Verhältnis von Oberfläche und Volumen eine Kugel ist, nehmen Regentropfen Kugelform an – zumindest näherungsweise unter Vernachlässigung des Luftwiderstands (Krellner 2015, S. 1).

Kräfte, die zwischen Molekülen der gleichen Phase wirken, werden Kohäsionskräfte und solche, die zwischen unterschiedlichen Phasen wirken, wie bei Wasser und Glas, werden Adhäsionskräfte genannt (Krellner 2015, S. 2).

Für den Fall, dass die Adhäsionskräfte bei weitem stärker sind als die Kohäsionskräfte, was in der Kombination Wasser und Glas zutreffen würde, würde sich der Wassertropfen auf der Glasoberfläche vollständig ausbreiten. Mit anderen Worten gesagt, er würde diese gänzlich benetzen. Dominieren hingegen die zwischenmolekularen Kräfte der Wassermoleküle, ist die Benetzung nur gering. Dies wird am Beispiel eines Wassertropfens, der auf einem Lotusblatt aufliegt, deutlich. Der Wassertropfen nimmt annähernd Kugelform an und perlt bei Neigung des Blatts von der Blattoberfläche ab (Bappert et al. 2013, S. 16).

Ein Maß für Stärke der Benetzung einer Oberfläche mit einer Flüssigkeit ist der Kontaktwinkel Θ zwischen der Flüssigkeit und der angrenzenden Oberfläche. Liegt der Wert des Winkels bei „ $\Theta = 0^\circ$ “ ist die Oberfläche vollständig benetzt,

bei $\Theta < 90^\circ$ ist die Oberfläche hydrophil, bei $\Theta > 90^\circ$ hydrophob, und bei Winkeln von $\Theta \geq 160^\circ$ spricht man von einer Superhydrophobie“ (Wawers 2020, S. 102).

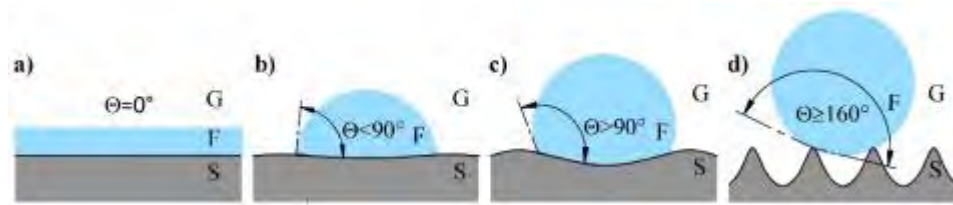


Abbildung 7: Schematische Darstellung unterschiedlicher Kontaktwinkel Θ zwischen Wassertropfen und Oberfläche; von a) nach d): vollständige Benetzung, hydrophile Oberfläche, hydrophobe Oberfläche, superhydrophobe Oberfläche; G: Gas, F: Flüssigkeit, S: Festkörper (Solid) (Wawers 2020, S. 102)

Im Fall des Lotusblatts ist der Kontaktwinkel zwischen Wassertropfen und Oberfläche größer als 160° , womit die Fläche als superhydrophob bezeichnet werden kann. Andere Blätter, wie das Ahornblatt, sind ebenfalls mit einer Wachsschicht überzogen und besitzen hydrophobe Eigenschaften, die durch ihre chemische Zusammensetzung bedingt werden. Allerdings sind die Blätter nur hydrophob und nicht superhydrophob wie das Lotusblatt (Bappert et al. 2013, S. 16). Neben den Lotusblumen nutzen auch andere Pflanzen wie der Kohl (*Brassica*) oder die Kapuzinerkresse (*Topaeolum*) die Kombination aus superhydrophoben Eigenschaften von wachsartigen Substanzen und einer mikrostrukturierten Oberfläche – wie es die Versuchsdurchführung im Schülerlabor zeigen wird. Dabei handelt es sich um circa $5\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$ hohe Noppen, die im Abstand von etwa $15\text{ }\mu\text{m}$ zueinanderstehen. Die Noppen sind wiederum von Nanostrukturen in Form von auf den Noppen gelagerten Wachskristallen eines Durchmessers von 110 nm überzogen. Aufgrund dieser Struktur wird die Kontaktfläche zwischen Wassertropfen und Blattoberfläche deutlich verringert und beträgt nur noch 2-3 Prozent. Das Rollen bzw. „Roll-rutschen“ der Tropfen über die Blätter, wobei gleichzeitig kontaminierende Partikel wie Pilzsporen, Pathogene und Schmutzteilchen mitgeführt werden, ist auf die geringen Adhäsionskräfte zurückzuführen, die durch die geringe Kontaktfläche bedingt werden. In diesem Zusammenhang lässt sich der Transport der Schmutzpartikel damit erklären, dass die Adhäsionskräfte zwischen Partikel und Wasser gegenüber den Adhäsionskräften, die zwischen Partikel und Blatt herrschen, größer sind (Wawers 2020, S. 102–103).

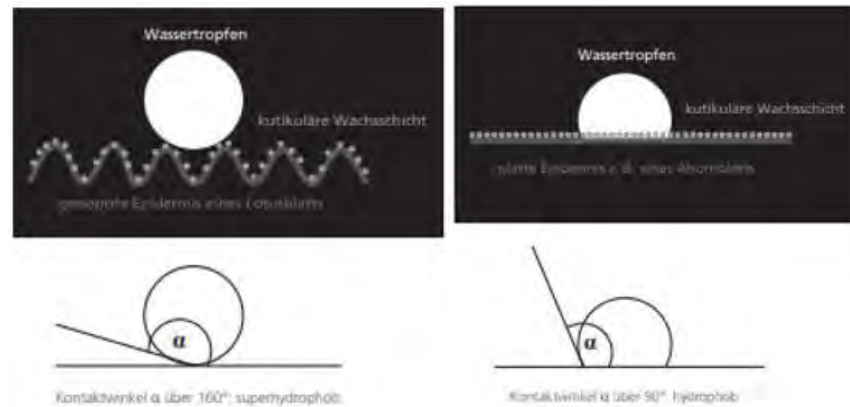


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen Blattoberfläche, Kontaktwinkel und Benetzung mit Wasser; links: superhydrophobe Oberfläche, rechts: hydrophobe Oberfläche (Bappert et al. 2013, S. 17)

Technische Anwendung

„Für die Umwelt bedeutet der ‚Lotus-Effekt‘ eine große Entlastung – man benötigt weniger Wasser, Energie und Reinigungsmittel, um Oberflächen sauber zu halten“ (Wunderlich und Schulte 2012, S. 12). Anwendung findet das Selbstreinigungs-Prinzip mittlerweile in Sprays, Lacken, Wandfarben oder auf Dachziegeln. Nach dem Vorbild selbstreinigender Blattoberflächen wurde zum Beispiel die Fassadenfarbe „Lotusan“ entwickelt, die ähnlich wie das Lotusblatt über eine mikrostrukturierte, superhydrophobe Oberfläche verfügt, an der Wasser und damit auch Schutzpartikel abperlen. Von besonderem Vorteil ist dabei, dass der Selbstreinigungseffekt dazu führt, dass zum einen Hauswände durch auftreffenden Regen länger sauber bleiben und zum anderen Algenbewuchs und Pilzbefall verhindert werden (Bappert et al. 2013, S. 17). Dadurch kann nicht nur die Lebensdauer erhöht werden, sondern es werden auch zeitgleich Kosten gespart.

Der Salvinia-Effekt

Nach Aufklärung des Selbstreinigungsprinzips beim Lotusblatt vor 30 Jahren konnten Nanowissenschaftler aus Rostock, Bonn und Karlsruhe ein neues Kapitel im Gebiet biomimetischer Oberflächenstrukturen schreiben (Rauhe 2010, S. 1). So folgte auf die Entdeckung des selbstreinigenden Effekts des Lotusblatts die Entdeckung der selbstreinigenden und lufthaltenden Oberfläche des Schwimmfarns (*Salvinia molesta*). Im Zentrum des neuen Interesses stand fortan der sogenannte *Salvinia-Effekt*. Das ursprünglich in den Tropen Mittel- und Südamerikas beheimatete Farngewächs ist in der Lage, unter Wasser eine

Luftschicht auf seiner Oberfläche zu halten und dabei gänzlich trocken zu bleiben (Rauhe 2010, S. 1). In diesem Zusammenhang waren Thomas Schimmel, Forscher des Instituts für Angewandte Physik und des Instituts für Nanotechnologie des KIT (Karlsruhe Institute of Technology) sowie Prof. Dr. Wilhelm Barthlott, der Entdecker des Lotuseffekts, maßgeblich an der Aufklärung des Effekts beteiligt.

Worauf der Salvinia-Effekt, der unter Wasser lufthaltende Oberflächen bezeichnet, basiert, soll im Folgenden genauer dargestellt werden:



Abbildung 9: Schwimmpfarn „*Salvinia molesta*“ (Podbregar 2016)

Der Schwimmpfarn *Salvinia molesta* besitzt feine schneebesenförmige Haare.



Abbildung 10: Schneebesenförmige Haare des Schwimmpfarns „*Salvinia molesta*“ (YES YOU CAN! GREEN UP YOUR FUTURE)

Diese haben die Eigenschaft, superhydrophob zu sein. Ähnlich wie beim Lotuseffekt verhindern Nanostrukturen in Form von winzigen Wachskristallen eine Benetzung der Blattoberfläche des Schwimmpfarns (Rauhe 2010, S. 2). Die Spitzen der Härchen sind allerdings hydrophil, d.h. Wasser liebend, und fixieren die Luft-Wasser-Grenzfläche. Dieser Mechanismus, der die Stabilisierung der

Luftschicht unter Wasser herbeiführt, wird als *Salvinia-Paradox* bezeichnet (Nees-Institut für Biodiversität der Pflanzen 2016, S. 1).

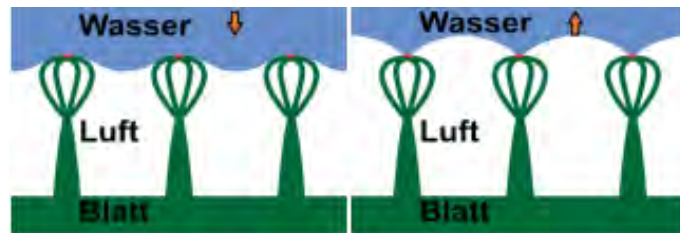


Abbildung 11: links: unter Normalbedingungen liegt das Wasser auf den hydrophoben Haaren des Schwimmfarns auf, rechts: bei Unterdruck wird das Wasser von den hydrophilen Spitzen festgehalten und somit ein Ablösen von Luftblasen verhindert (Nees-Institut für Biodiversität der Pflanzen 2016, S. 1)



Abbildung 12: Schwimmblatt des Schwimmfarns „*Salvinia molesta*“ mit auf den Trichomen aufliegendem Wassertropfen (Barthlott 2019)

Ein ähnlicher Effekt tritt auch an Bärlappgewächsen (*Lycopodiaceae*) auf – wie es die Versuchsführung im Schülerlabor zeigen soll.

Darüber hinaus gibt es auch im Tierreich einige Vertreterinnen und Vertreter, die sich eine Luftschicht unter Wasser zu Nutze machen, wie die Wasserspinne (*Argyroneta aquatica*), die Wasserjagdspinne (*Ancylometes bogotensis*) oder der Rückenschwimmer (*Notonectidae*) (Wawers 2020, S. 105–106). Dabei wird der lufthaltende Effekt des Rückenschwimmers am silbrigen Glanz seiner Deckflügel deutlich (Nees-Institut für Biodiversität der Pflanzen 2016, S. 1). Dieser silbrige Glanz entsteht durch Reflektion an der Luft-Wasser-Grenzfläche.



Abbildung 13: Silbriger Glanz auf den Deckflügeln des Rückenschwimmers, der das Vorhandensein einer Luftschicht zeigt (Nees-Institut für Biodiversität der Pflanzen 2016, S. 1)

Technische Anwendung

Besonderes Potenzial birgt die Entdeckung der Bonner und Karlsruher Wissenschaftler für die Lösung von Klima- und Umweltproblemen. Technisch, dauerhaft lufthaltende Oberflächen könnten beispielsweise für den Schifffahrtsbereich von hohem Interesse sein. So könnte eine an den Schwimmfarn angelehnte Beschichtung der Oberfläche von Schiffsrümpfen zu einer Minimierung der Reibung zwischen Rumpf und Wasser führen. In diesem Zusammenhang würde die Luftschicht zwischen der Rumpfoberfläche und dem darüber strömenden Wasser als Gleitfilm fungieren. Durch die Reduktion der Reibung durch die Luftschicht kann nicht nur Treibstoff eingespart werden, gleichzeitig wird auch der CO_2 -Ausstoß gesenkt (Nees-Institut für Biodiversität der Pflanzen 2016, S. 1). Schimmel äußert sich dazu mit folgenden Worten:

„Wenn es etwa gelänge, den Energieverbrauch der Schiffe um den Faktor zwei zu verringern, hätte man mehr Energie gespart, als wenn man alle Flugzeuge dieser Welt treibstofffrei fliegen lassen könnte“ (Rauhe 2010, S. 3).

4.2 Energieautarke Gebäude & textile Solarthermie

Der „Eisbärfell-Effekt“

Die Arktis ist der natürliche Lebensraum des Eisbären (*Ursus maritimus*). Obwohl die Temperaturen auf bis zu -50 °C fallen, fühlt sich der Eisbär selbst bei arktischer Kälte wohl. Mit einer Kombination aus dichtem, weißen Fell, schwarzer Epidermis und dicker Fettschicht hat der Eisbär seinen Energiehaushalt perfektioniert und kann sich so auch optimal vor Minusgraden schützen (Bappert et al. 2013, S. 21).

Die transparenten Haare des Eisbären sind im Inneren hohl, wobei lange Zeit darüber diskutiert wurde, ob sie die Funktion eines Lichtleiters erfüllen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler waren der Auffassung, „dass das auf das Fell einfallende Sonnenlicht durch Totalreflexion im Inneren der einzelnen Haare direkt zu der dunklen Haut geleitet wird und diese erwärmt. Neuere Forschungsergebnisse besagen jedoch, dass die Eisbärenhaare keine spezielle Lichtleiterfunktion ausüben (Bappert et al. 2013, S. 21). Nichtsdestotrotz besteht Einigkeit darüber, dass zwischen den einzelnen Eisbärenhaaren – wie auch in den Haaren

selbst – Luft eingeschlossen wird. Der Lufteinschluss zwischen Haut und Haaren trägt zur Wärmeisolation bei und hält den Eisbären warm. Darüber hinaus absorbiert die schwarze Haut das Sonnenlicht, welches in Form von Wärme in der Fettschicht gespeichert wird (3N Kompetenzzentrum 2021).

Physikalische Grundlagen

Auf Grundlage des Eisbärenfells wurde die sogenannte transparente Wärmedämmung (kurz: TWD) entwickelt. Kennzeichnend für transparente Wärmedämmmaterialien ist, dass sie in sich die Funktion hoher Lichtdurchlässigkeit (im Spektralbereich der Solarstrahlung) für die solare Energiegewinnung wie auch die Funktion eines guten Wärmeschutzes vereint (Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V. 2000, S. 1). Dabei werden die Begriffe der transparenten und transluzenten Wärmedämmung häufig als Synonym füreinander verwendet. Transluzenz ist mit einer partiellen Lichtdurchlässigkeit eines Körpers gleichzusetzen. Das bedeutet, dass ein Teil des auf den Körper auftreffenden Lichts in die Materie eindringt, während der andere Teil an der Oberfläche reflektiert wird. Anders als transluzente Körper reflektieren transparente Körper das auftreffende Licht nicht. Insofern müsste korrekterweise von transluzenter Wärmedämmung und nicht von transparenter Wärmedämmung gesprochen werden. Der Begriff „Transparente Wärmedämmung“ hat sich im allgemeinen Sprachgebrauch jedoch durchgesetzt, da dieser die hohe Lichtdurchlässigkeit der TWD-Dämmmaterialien besser zum Ausdruck bringen würde (energie-experten.org 2016).

Im Folgenden werden zunächst wesentliche Grundlagen aus dem Bereich der Absorption von Solarstrahlung an Festkörpern näher beschrieben, bevor zum Einsatz und zur Funktionsweise der TWD an Gebäudehüllen übergeleitet wird.

Energiebilanz eines der Solarstrahlung ausgesetzten Körpers

Die transparente Wärmedämmung gehört zu den passiven Nutzungsformen der Solarthermie. Hierbei macht sie sich die Absorption elektromagnetischer Strahlung (genauer: die kurzwellige Solarstrahlung) an Festkörpern sowie deren anschließende Speicherung in Form von Wärme zu Nutze (Kaltschmitt 2013, S. 140). Dieser Energiewandlungsvorgang wird auch als fothermische Wandlung bezeichnet. Die Energie einer elektromagnetischen Welle wird durch Absorption

an der Oberfläche des Körpers in innere Energie des Körpers umgewandelt. Dies ist mit einem Temperaturanstieg an der Oberfläche des Körpers verbunden. Daraufhin wird die absorbierte Wärme durch Wärmeleitung im Körper verteilt und gleichzeitig gespeichert. Das Ansteigen der Temperatur des Körpers über die Umgebungstemperatur hinaus führt wiederum dazu, dass dieser die zuvor aufgenommene Wärme über Wärmestrahlung, Wärmeströmung (Konvektion) und Wärmeleitung wieder an die Umgebung abgibt (Kaltschmitt 2013, S. 140). Der Temperaturanstieg eines Körpers kommt erst dann zum Erliegen, wenn Wärmeaufnahme durch Absorption und Wärmeabgabe betragsgleich sind. Folgende Abbildung soll die Energieströme eines bestrahlten Körpers zeigen.

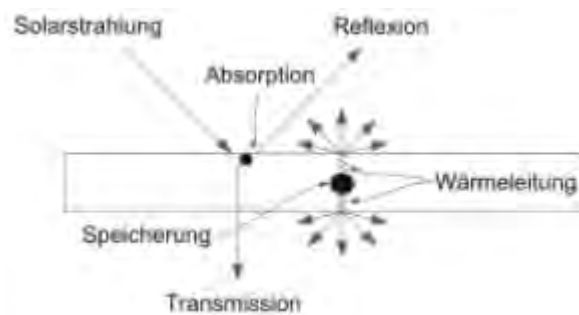


Abbildung 14: Energieströme eines bestrahlten Körpers (Kaltschmitt 2013, S. 140)

Absorption, Reflexion und Transmission

Wenn elektromagnetische Strahlung auf die Oberfläche eines Körpers trifft, erfolgt eine Aufspaltung in drei Anteile: den absorbierten, den transmittierten und den reflektierten Anteil. Die Berechnung des jeweiligen Anteils kann anhand nachfolgender Koeffizienten erfolgen (Kaltschmitt 2013, S. 141).

Der Absorptionskoeffizient α wird definiert als das Verhältnis der Strahlung, die von einem Körper oder Material absorbiert wird (\dot{G}_α), zur Strahlung, die auf den Körper oder das Material einfällt (\dot{G}_G). Er berechnet sich wie folgt:

$$\alpha = \frac{\dot{G}_\alpha}{\dot{G}_G}$$

Der Transmissionskoeffizient τ ist festgelegt als das Verhältnis der den Körper durchstrahlten Strahlung (\dot{G}_τ) zur Gesamtsolareinstrahlung (\dot{G}_G) und kann nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$\tau = \frac{\dot{G}_\tau}{\dot{G}_G}$$

Der Reflexionskoeffizient ρ beschreibt das Verhältnis der von dem Körper reflektierten Strahlung (\dot{G}_ρ) zur auf den Körper einfallenden Gesamtsolarstrahlung (\dot{G}_G). Es gilt:

$$\rho = \frac{\dot{G}_\rho}{\dot{G}_G}$$

Gemäß den Gesetzen der Energieerhaltung ist die Summe des Absorptions-, des Transmissions- und des Reflexionskoeffizienten immer eins.

$$\alpha + \tau + \rho = 1$$

Technische Anwendung

Ein technisches Produkt, das auf Grundlage der Erkenntnisse über die Funktion des Eisbärenfells entwickelt wurde und im Rahmen des Schülerlabors behandelt werden soll, ist die sogenannte Transparente Wärmedämmung (TWD), die u.a. für Häuser eingesetzt wird (Wunderlich und Schulte 2012, S. 18). Im Prinzip soll eine geeignete Hauswandverkleidung dafür sorgen, dass die verfügbare Sonnenenergie zum Heizen der Wohnungen genutzt werden kann. Das Sonnenlicht passiert eine transparente Dämmschicht und fällt auf eine dunkle Fassade, die sich dadurch erwärmt. Dabei breitet sich die Wärme ausschließlich in eine Richtung aus, nämlich ausgehend von der Außenseite der Hauswand in Richtung des Hausinneren, was mit dem vorgelagerten Dämmmaterial und dem isolierenden „Luftpolster“ zu begründen ist. Ein großer Vorteil dieses Systems liegt darin, dass Heizöl eingespart werden kann, womit auch gleichzeitig die Umwelt geschont wird (Bappert et al. 2013, S. 21).

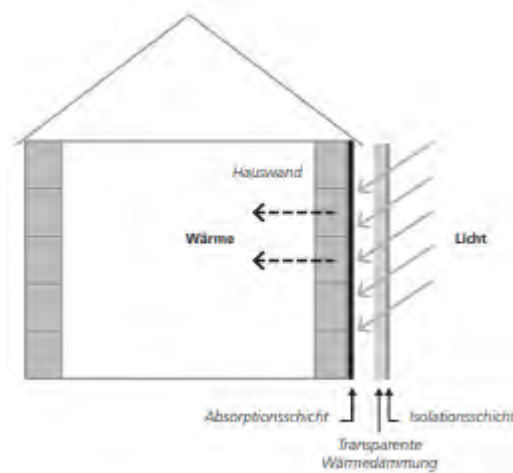


Abbildung 15: Prinzip der transparenten Wärmedämmung (Bappert et al. 2013, S. 21)

Eine besonders innovative technische Umsetzung des „Eisbärfell-Effekts“ zeigt sich am Beispiel des Muster-Eisbärhauses in Denkendorf bei Stuttgart, das unter Federführung des Instituts für Textil- und Verfahrenstechnik (ITV) mit Zuschüssen des Landes Baden-Württemberg und der Europäischen Union gebaut wurde. Die Besonderheit des Eisbärhauses liegt im Einsatz neuartiger textiler Solarkollektoren, die mehrere Membranschichten mit hoher Wärmeisolation aufweisen. Das einfallende Sonnenlicht trifft auf ein Textilgewebe, das schwarz beschichtet ist, und auf eine stark poröse Membran mit einer Wärmetransportschicht. Auf diesem Weg wird die Erwärmung der durchströmenden Luft herbeigeführt. Die Speicherung der in den Sommertagen gewonnenen Energie erfolgt bis in die Winterzeit hinein in Langzeitspeichern mit Silikagel. Die hohe Wärmedämmung nach außen im Sinne des Fernhaltens der Winterkälte wird anhand einer weiteren Schicht in der Gebäudehülle sichergestellt (BIOKON - Forschungsgemeinschaft Bionik-Kompetenznetz e.V. 2014).

Allgemein wird in dem futuristisch anmutenden Hightech-Bau mit textiler Gebäudehülle großes Potenzial gesehen: „Energieautarke Gebäude unter Benutzung des textilbionischen ‚Eisbärfell-Effekts‘ könnten die Bauweise in der Zukunft revolutionieren. Im Sommer kühlen, im Winter wärmen und das alles nur mit Sonnenenergie“ (BIOKON - Forschungsgemeinschaft Bionik-Kompetenznetz e.V. 2014). In diesem Zusammenhang wird das wirtschaftliche Interesse am Muster-Eisbärhaus nicht nur mit dem neuen energieeffizienten Lösungsansatz auf Grundlage textiler Materialien begründet, sondern auch mit der Einsparung von Rohstoffen. Anhand von Textilbeton werden Fassaden nahezu

grenzenloser Formgebung realisierbar, ohne dabei an Festigkeit einbüßen zu müssen. Dabei glänzen die Fassaden nicht nur mit extremer Festigkeit, sondern gleichzeitig auch mit Korrosionsbeständigkeit und hoher Leichtigkeit (BIOKON - Forschungsgemeinschaft Bionik-Kompetenznetz e.V. 2014).

4.3 Bionisch optimierte & an Belastung angepasste Bauteile

Astgabeln als Wegbereiter bionisch optimierter Bauteile

„Der Aufbau von Pflanzen und Tierskeletten gilt als meisterliche Konstruktion der Natur. Die nötige Festigkeit wird bei kleinstmöglichem Gewicht und geringstem Materialaufwand realisiert“ (Bappert et al. 2013, S. 11). Im bionischen Bauteil-Design wird dies in technische Leichtbau-Konstruktionen überführt. Damit in Verbindung stehende Vorteile sind eine kostengünstigere Herstellung, ein verminderter Rohstoffverbrauch sowie eine später folgende einfachere Entsorgung (Bappert et al. 2013, S. 11).

Bei stürmischen Witterungsverhältnissen werden Bäume hohen Belastungen ausgesetzt. Nichtsdestotrotz halten sie diesen Belastungen zumeist stand und überstehen Stürme auch ohne größere Beschädigungen. Dies lässt sich nicht nur mit der biegeelastischen Holzstruktur begründen, sondern ist auch in hohem Maß auf die optimale Formgebung der Astgabeln und Astansätze zurückzuführen (Bappert et al. 2013, S. 50).

Wie die Natur das Auftreten lokaler Spannungen umgeht, stellt Prof. Claus Mattheck des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) sehr anschaulich anhand des von ihm entwickelten Denkwerkzeugs der Zugdreiecke dar. Dieses Denkwerkzeug soll den Lernenden auch im Rahmen des Schülerlabors nähergebracht werden.

Physikalische Grundlagen

In der Mechanik wird Spannung σ als eine Kraft F definiert, die auf eine Fläche A wirkt. Es gilt:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Im Fall einer senkrecht auf die Fläche wirkenden Spannung wird in Abhängigkeit der Richtung von Zug- oder Druckspannung gesprochen. Spannungen, die

hingegen tangential zur Fläche verlaufen, werden Schubspannungen genannt (Bappert et al. 2013, S. 50).

Im Folgenden soll das von C. Mattheck entwickelte „Denkwerkzeug: Zugdreiecke“, das als Methode dient, „mit der man gefährliche Kerbspannungen abbauen, aber auch unnütze Faulpelzecken im Bauteil wegknabbern kann“, näher erläutert werden (Mattheck 2010, S. 55). Zur besseren Nachvollziehbarkeit eignet sich in diesem Zusammenhang die Erklärung am Beispiel einer Baumwurzel, die die Vermeidungsstrategie der Natur für das Auftreten lokaler Spannungsspitzen offenbar werden lässt.

Zusammen mit der Erdoberfläche bildet ein Baumstamm eine scharfeckige Kerbe. Zur Überbrückung und Entschärfung dieser Ecke dient der Wurzelanlauf, dessen Ausprägung windseitig am stärksten ist und dessen Wirkweise dem eines Zugdreiecks gleicht, das symmetrisch zur Kerbe angebracht wird (Mattheck 2010, S. 56).

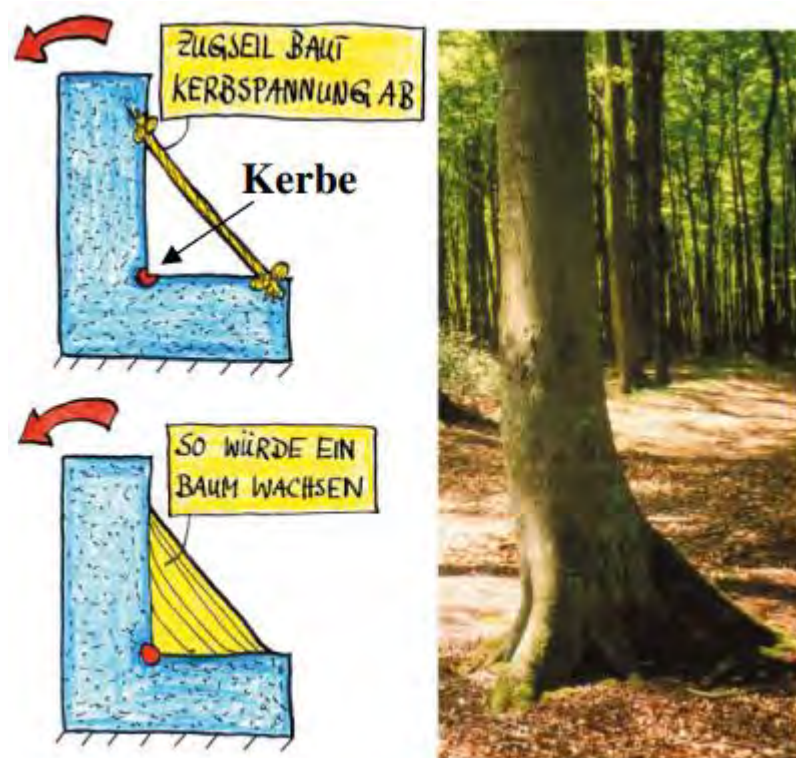


Abbildung 16: Kerbe, die der Baumstamm mit einem Wurzelanlauf überbrückt, der wie ein „Zugdreieck“ wirkt (Mattheck 2010, S. 56)

Das in Abbildung 17 eingezeichnete Rechteck veranschaulicht, dass die Wurzelaufläufe nicht im rechten Winkel zum Baum wachsen. Vielmehr lässt sich die Krümmung der Wurzel mit drei gleichschenkligen Dreiecken annähern. Dabei

ist das größte und an den Boden angrenzende Dreieck rechtwinklig. Im Zentrum seiner Basis fußt das darüberliegende Dreieck. Der Basiswinkel beträgt $22,5^\circ$. Das dritte und letzte Dreieck wird ebenfalls von der Mitte der Basis des darunterliegenden Dreiecks aus konstruiert, wobei der Basiswinkel hier den Wert $11,25^\circ$ annimmt. Als Resultat erhält man den formoptimierten Wurzelansatz, bei dem lediglich an Stellen, die besonderen Spannungen unterliegen, zusätzliches Holz angelagert wird (Bappert et al. 2013, S. 50). Meist reichen drei Zugdreiecke aus, um eine Kerbe zu entschärfen (Mattheck 2010, S. 57).

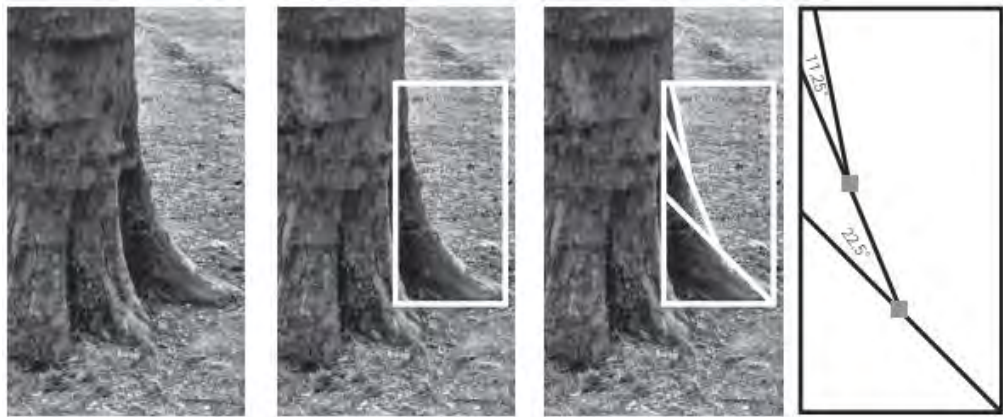


Abbildung 17: Methode der Zugdreiecke am Beispiel einer Baumwurzel (Bappert et al. 2013, S. 50)

Insofern ist die Stabilisierung auf die „Ausrundung“ des 90° -Winkels zurückzuführen, die das Auftreten von Spannungsspitzen verhindert. Für Ingenieurinnen und Ingenieure, die sich vor diesen Erkenntnissen nur mit einer Konstruktion eines Viertelkreises zwischen zwei 90° -Schenkeln weiter zu helfen wussten, eröffnet das Prinzip der Zugdreiecke, das an den Blick in die Natur gekoppelt ist, eine ganz neue Perspektive (Lautenschläger 2011, S. 80).

Technische Anwendung

Die Erkenntnis über die Funktion der Zugdreiecke in Form „einer rein graphischen Methode zum Abbau von Kerbspannungen [und] zur Entschärfung von potenziellen Bruchstellen“ lässt sich auf zahlreiche technische Bereiche anwenden (Mattheck 2010, S. 56). Anhand der Methode der Zugdreiecke lassen sich beispielsweise die Ecken von Bauteilen modifizieren (Bappert et al. 2013, S. 50). Gleiches gilt auch für bionische Schrauben, die nicht nur im Bereich der Medizin angewendet werden, sondern auch im Bau (Lautenschläger 2011, S. 81).

Folgende Abbildung zeigt eine Schraube, die bei der Errichtung von Strohballenhäusern genutzt wird.



Abbildung 18: Bionisch optimierte und für Strohballenbauten entwickelte Schraube bestehend aus einem Biokunststoff auf Basis von Lignin (GrAT - Gruppe Angepasste Technologie 2018, S. 1)

Am höchsten ist die Spannung in Kerben, weswegen das Material genau an dieser Stelle am schnellsten versagt (Lautenschläger 2011, S. 81). Das optimierte Schraubendesign verbindet maximale Festigkeit mit minimalem Materialverbrauch. Dank der bionischen Anpassung des Gewindes können die Spannungen im Bauteil um ein Drittel herabgesetzt werden. Als Resultat erhält man eine Schraube mit deutlich verbesserten Festigkeitseigenschaften (GrAT - Gruppe Angepasste Technologie 2018, S. 1). So wie eine bionisch optimierte Schraube verglichen mit einer herkömmlichen Schraube erst bei höherer Belastung zu Bruch geht, soll auch der im Rahmen des Schülerlabors anzustellende Belastungstest unterschiedlicher Kerbstrukturen zur Erkenntnis führen, dass die Spannung durch verschiedene Materialanlagerungen herabgesetzt werden kann.

Funktionsweise eines Polariskops

Dem Belastungstest soll anschließend eine qualitative spannungsoptische Untersuchung nachgestellt werden. Hierbei kommt es zum Einsatz eines sogenannten Polariskops, welches eine optische Anordnung von Polarisationsfiltern darstellt.



Abbildung 19: Durchlicht-Polariskop (Tiedemann Instruments)

Anhand eines Polariskops kann die Spannungsverteilung in lichtdurchlässigen Körpern unter Verwendung von polarisiertem Licht sichtbar gemacht werden (Tiedemann Instruments). Dafür grundlegend ist die Eigenschaft zahlreicher optisch isotroper Materialien, doppelbrechend zu wirken, wenn mechanische Spannungen auf sie einwirken. Dies führt dazu, dass die Polarisations Ebene des einfallenden Lichts gedreht wird, wodurch zirkular oder elliptisch polarisiertes Licht entsteht (physik.cosmos-indirekt.de).

Polariskope werden u.a. eingesetzt, um Spannungsspitzen und Kerbwirkungen zu verdeutlichen, womit sie dem Zweck dienen, Spannungszustände eines Bauteils zu überprüfen und Spannungszustände im Bauteil besser verstehen zu können (Tiedemann Instruments). Darin liegt auch der Einsatz des kleinformatigen Polariskops im Zuge des Schülerlabors begründet. Hierfür werden durchsichtige Modelle aus doppelbrechendem Material (z.B. Plexiglas) in das Polariskop gestellt und anschließend belastet.

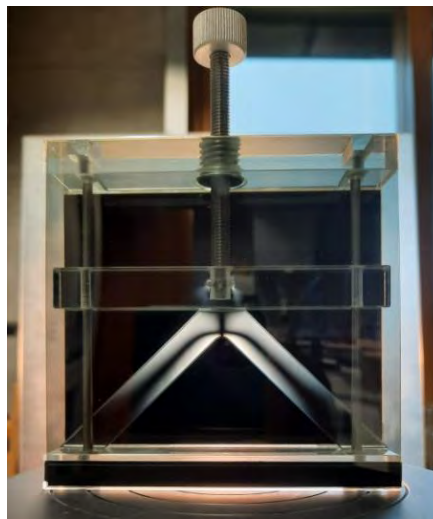


Abbildung 20: Polariskop mit belastetem Plexiglasgrundmodell

Genauer wird das zu untersuchende Modell zwischen gekreuzte Polarisationsfilter gesetzt, woraufhin bei Belastung durch Doppelbrechung zwei Systeme von Linien erscheinen. Wird monochromatisches Licht verwendet, entsteht ein System aus hellen und dunklen Linien, die Rückschlüsse auf die Spannungsverteilung im Modell erlauben.

Wird nicht monochromatisches, sondern polychromatisches Licht verwendet, ergibt sich ein Farbmuster, da für jede Farbe verschiedene Hell-Dunkel-Muster entstehen (physik.cosmos-indirekt.de).

In diesem Zusammenhang werden zwei Arten von dunklen Linien sichtbar. Während die Linien gleicher Farbe (also Wellenlänge oder Frequenz) als Isochromaten bezeichnet werden und ein Maß für die Hauptspannungsdifferenz sind, hängen die sogenannten Isoklinen von der Richtung der Spannung ab. Die Richtung einer Hauptspannung fällt an den Isoklinen mit der Polarisationsrichtung des einfallenden Lichts zusammen, womit die Isoklinen die Spannungstrajektorien des Modells bei gegebener Belastung repräsentieren (physik.cosmos-indirekt.de).

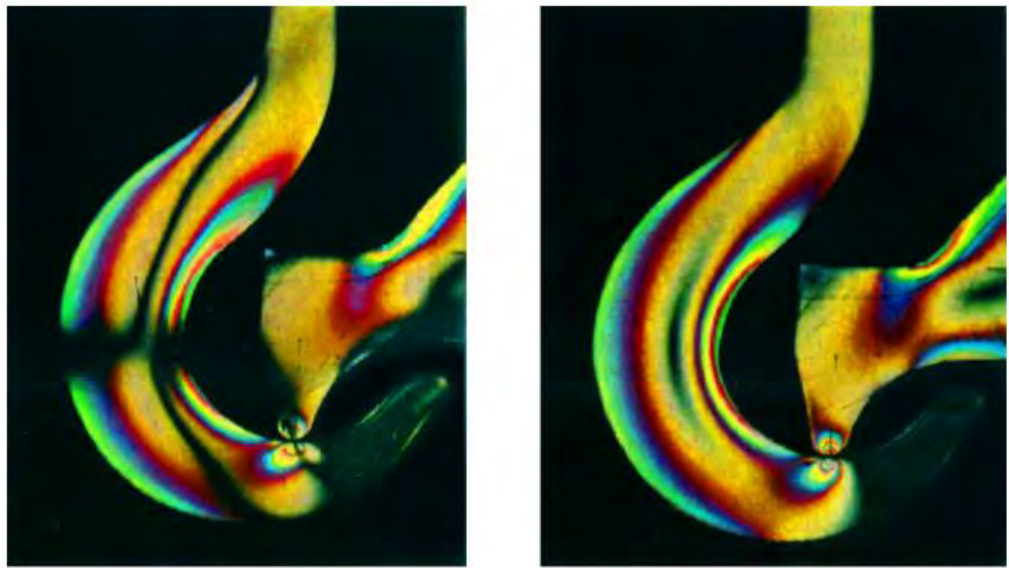


Abbildung 21: Links: Krankhaken im linear polarisierten polychromatischen Licht; rechts: Krankhaken im zirkular polarisierten polychromatischen Licht (Tiedemann Instruments)

Da die Isoklinen häufig störend für das Isochromatenbild sind, besteht die Möglichkeit, die Isoklinen für das Auge „auszulöschen“, indem anstelle von linear polarisiertem Licht zirkular polarisiertes Licht verwendet wird. Hierfür muss dem zu untersuchenden Modell, das sich im Strahlengang des Polariskops befindet, lediglich je eine Viertelwellenlängenplatte vor- und nachgeschaltet werden (Tiedemann Instruments).

4.4 Leichte & stabile Konstruktionen

Leonardo-Brücke

Die Leonardo-Brücke wurde von Leonardo da Vinci (1452-1519), der auch Vater der Bionik genannt wird, entwickelt und bezeichnet eine Brückenkonstruktion, die ohne Verbindungselemente, Klebstoff oder Nägel zusammenhält und

große Lasten trägt (Bürger 1994). Die ausschließlich aus Holzbrettern und Holzbalken bestehende Brücke wurde ursprünglich für militärische Zwecke entworfen, da sie als transportable Konstruktion geeignet ist, einfach und schnell Hindernisse zu überwinden (Möller 2020).

Das Bauprinzip basiert auf dem sogenannten „Selbsthemmungsmechanismus“. Da Vinci verschachtelte zwei Quer- und vier Längsbretter zu einem Brückenelement, welches sich bei Belastung nach dem Prinzip der Selbsthemmung verfestigt (Bürger 1994). Die Holzbretter hemmen sich bei Belastung gegenseitig und versteifen sich.

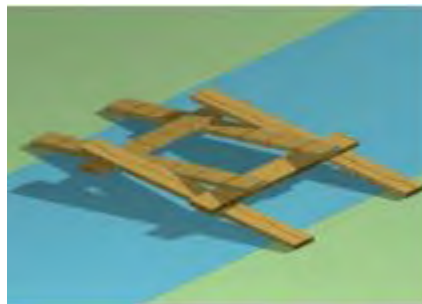


Abbildung 22: Leonardo-Brücke mit sechs Hölzern (Blümel 2009, S. 3)

Die Stabilität der Brücke resultiert aus der Reibung zwischen den verkeilten Bauelementen. Wird Druck auf die Brücke ausgeübt, steigen auch die Reibungskräfte und die Stabilität der Brücke nimmt zu (Rodesch und Glesener 2014).

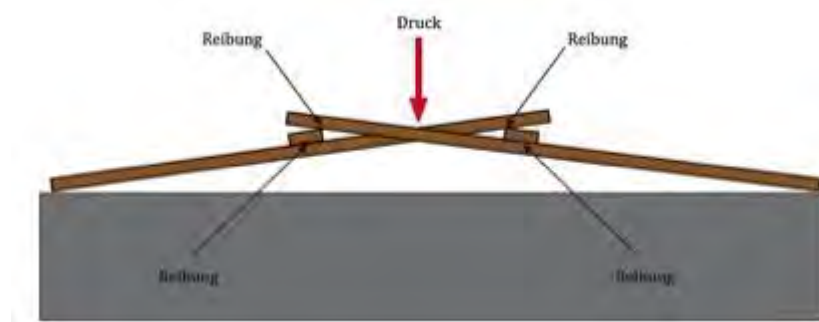


Abbildung 23: Funktionsprinzip der Leonardo-Brücke (Rodesch und Glesener 2014)

Fügt man mehrere Brückenelemente zusammen, können Brücken noch größerer Spannweite gebaut werden – wie es auch im Rahmen des Schülerlabors geschehen soll.

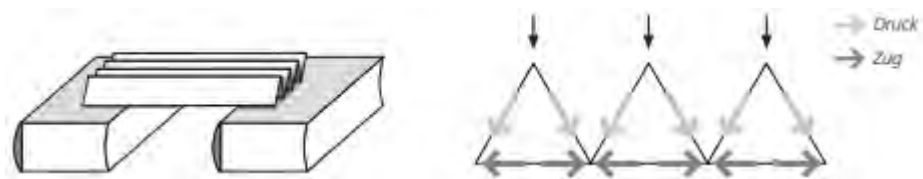
Der stabilisierende Effekt von Falten

„Für leichtgewichtige und stabile Konstruktionen nutzen Natur und Technik Faltstrukturen wegen ihrer festigkeitssteigernden Wirkung. [...] Es lässt sich damit nicht nur Gewicht sparen, sondern auch Material und Energie“ (Bappert et al. 2013, S. 13).

Das wohl bekannteste Beispiel für Faltstrukturen aus der Natur sind die Palmwedel von Fächerpalmen. Einerseits bewirken die Falten die Stabilisierung der Palmblätter, andererseits ermöglichen sie das Zusammenfallen der Blätter bei großer Trockenheit, um Verdunstungsverluste über die Blattoberfläche zu minimieren (Bappert et al. 2013, S. 61).

Der stabilisierende Effekt von Falten kann beim Bau von Papierbrücken sehr anschaulich und eindrucksvoll gezeigt werden.

Schon kleine Verformungen und Falten im Papier haben hohe Auswirkungen auf dessen Tragkraft. Dabei ist die erhöhte Tragkraft eines Blatt Papiers mit der Erhöhung der Stabilität des Papiers gleichzusetzen (Bappert et al. 2013, S. 62). Wird das Papier beispielsweise ziehharmonikaartig gefaltet, kann eine Maximierung der Tragkraft herbeigeführt werden. Etwas abstrahiert gedacht entstehen dabei viele aneinandergrenzende Dreiecke. Solche Dreiecksstrukturen werden im Bauwesen für besonders stabile Konstruktionen genutzt, da „die an der Spitze wirkenden Kräfte in seitliche Druckkräfte und schließlich an der Basis des Dreiecks in Zugkräfte ‚umgewandelt‘ werden“ (Bappert et al. 2013, S. 62).



*Abbildung 24: Falten, die eine Stabilisierung von Papierbrücken bewirken
(Bappert et al. 2013, S. 62)*

Neben Falten können aber auch andere Verformungsmöglichkeiten zur Erhöhung der Tragfähigkeit und Stabilisierung einer Papierbrücke beitragen. Entscheidend ist dabei die Veränderung der geometrischen Eigenschaften wie auch die Veränderung der Größe. So lässt sich die Größe biegsamer Konstruktionen etwa durch Rollen oder Biegen der Komponenten verändern (Matini 2008, S. 12–13).

Darüber hinaus findet der schützende, stabilisierende und platzsparende Effekt von Falten, wie sie in der Natur zu finden sind, nicht nur im Brückenbau Anwendung. Den stabilisierenden Effekt machen sich auch Wellblechdächer mit Wellstruktur oder dünnwandige Rohre, bei welchen Faltmanschetten das Knicken verhindern sollen, zu Nutze (Bappert et al. 2013, S. 61).

5. Didaktische & methodische Überlegungen

Im Folgenden sollen die didaktischen und methodischen Überlegungen, die im Zuge der Konzeption des Schülerlabors angestellt wurden, näher dargelegt werden.

5.1 Legitimation & Potenzial der Baubionik für ein Schülerlabor

Verknüpfung der Bionik-Eigenschaften mit den Schülerlabor-Eigenschaften

Mit der Definition der Bionik als „Methode, um technische Probleme zu lösen oder neue, innovative Technik zu entwickeln“, treten vor allem die Merkmale „Nutzung von Optimierungsprozessen der Evolution“ und „Nutzung von Lösungsansätzen, die unabhängig vom menschlichen Denken entstanden sind“, deutlich hervor (BIONIK-SIGMA Education 2021). Nichtsdestotrotz sind auch die Eigenschaften „Interdisziplinarität“, „Kommunikation“ und „Kreativität“ nicht weniger bedeutsam, sondern kennzeichnen die Besonderheit der Disziplin gleichermaßen. In diesen Wesensmerkmalen äußert sich auch die Eignung für eine Behandlung des Themas im Kontext des Goethe-Schülerlabors Physik als außerschulisches Lernangebot für Schulen in und um Frankfurt, in dessen Rahmen Schulklassen aufbauend auf den Physikunterricht selbstständig experimentieren können (Institut für Didaktik der Physik 2021).

Als außerschulischer Lernort ist das Schülerlabor weniger stark an curriculare Vorgaben gebunden. Damit bleibt auch mehr Spielraum für die Behandlung von Themen, die über die unterrichtlichen Inhalte hinaus gehen, die aber dennoch an das Schulwissen anknüpfen. Der positive Effekt außerschulischen Unterrichts auf die Wissensvermittlung und die affektive Dimension wird durch eine Vielzahl empirischer Studien belegt (Gropengießer et al. 2018, S. 432).

Das Schülerlabor ist insofern hervorragend geeignet, um den Schülerinnen und Schülern den interdisziplinären Charakter der Bionik näher zu bringen, als dass die verschiedenen Stationen unterschiedliche Schülerversuche beinhalten,

welche die Übernahme der Rolle des Biologen/ der Biologin, des Physikers/ der Physikerin, des Chemikers/ der Chemikerin als auch die des Technikers/ der Technikerin ermöglichen. Zwar gehört eine intensive Nutzung der Technik mittlerweile zum Alltag der Jugendlichen, allerdings besteht oft nur geringfügiges Interesse am Verständnis der technischen Hintergründe von Funktion und Konstruktion (Hill und Hild 2017, S. 5). Die interdisziplinäre Eigenschaft der Bionik kann dazu führen, dass sich Lernende mit vorrangig technischen Interessen und Lernende mit stärker biologischen Interessen gleichermaßen angesprochen fühlen. Insofern birgt die Bionik großes Potenzial, Schülerinnen und Schüler für Technik und Naturwissenschaft zu begeistern sowie ihr Interesse an fachlichen Inhalten zu wecken (Hill und Hild 2017, S. 5). In Anbetracht dessen wird die Zusammenarbeit der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unterschiedlicher Fachbereiche nicht nur auf theoretischer Ebene behandelt, sondern kann auch praktisch nachempfunden werden. Die Ausgestaltung der Stationen schafft die Möglichkeit eines Bewusstwerdungsprozesses darüber, dass „durch die unterschiedlichen Wissenshorizonte der jeweiligen Fachwissenschaftler [...] die Chance groß [ist], dass sich neue innovative Lösungsansätze ergeben“ (BIONIK-SIGMA Education 2021).

Garant einer guten interdisziplinären Zusammenarbeit ist immer auch ein hohes Maß an Kommunikation. So sind „das Finden einer gemeinsamen Sprache und [der] Austausch ‚über den eigenen Tellerrand hinaus‘“ für ein erfolgreiches Bionik-Projekt unabdinglich (BIONIK-SIGMA Education 2021). Gleichermäßen erfordert auch die Bearbeitung der Arbeitsaufträge des Baubionik-Schülerlabors einen verstärkten Austausch zwischen den Lernenden, da ein Großteil der Aufgaben in Gruppenarbeit zu bewältigen ist. So bieten der Bruchversuch der Station „Baumstamm und Astgabel“ oder der Papierbrückenbau der Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“ ausreichend Raum, den Lernenden die Relevanz einer guten Kommunikation vor Augen zu führen.

Darüber hinaus ist unumstritten, dass Bionik das Potenzial birgt, kreativitätsfördernde und kreativitätsfördernde Wirkungen zu erzielen (BIONIK-SIGMA Education 2021). Kreativität ist „sowohl bei der Suche nach geeigneten biologischen Vorbildern für ein technisches Problem erforderlich als auch bei der Suche nach einer geeigneten technischen Übertragung des biologischen Prinzips“

(BIONIK-SIGMA Education 2021). Eine Berücksichtigung dieser Eigenschaft der Bionik im Rahmen des Schülerlabors gestaltet sich wenig kompliziert, da die Arbeit an Stationen Freiräume in vielfältiger Weise schafft und selbstgesteuertes Arbeiten ermöglicht. In diesem Zusammenhang nimmt das entdeckende Lernen eine zentrale Rolle ein. So werden Kreativität und Ideenreichtum als wesentliche Bestandteile des entdeckenden Lernens im Zuge der Stationsarbeit des Schülerlabors vor allem dann benötigt, wenn sich die Lernenden biologischer Vorbilder bedienen, um technische Probleme zu lösen, oder Überlegungen anstellen, wie in der Natur auftretende Phänomene für technische Anwendungen nutzbar gemacht werden können. So werden Inhalte nicht nur präsentiert, sondern in großen Teilen von den Lernenden selbst erschlossen. Nicht selten findet dabei auch eine Transformation des entdeckenden Lernens in ein erfindendes Lernen statt (Rüter 2015). Die Lernenden werden nicht nur zum Nachvollzug bereits gemachter Erfindungen aufgerufen, sondern erhalten im Rahmen der Stationsarbeit ebenso Gelegenheit, an der Erfindung und Entwicklung neuer Lösungen für ein technisches Problem mitzuwirken (vgl. Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“, Bau einer Leonardo-Brücke und Bau von Papierbrücken). Die eigenständige Gestaltung des Weges ausgehend von einer Problemstellung bis hin zum fertigen Modell oder Produkt wird von Seiten der Schülerinnen und Schüler häufig als Erfolg wahrgenommen (Hill und Hild 2017, S. 5). Die Verbindung von Technik mit positiven Erfahrungen, die im Rahmen des Schülerlabors zur Bau-bionik möglich wird, könnte der Entstehung negativer Assoziationen entgegenwirken und das Interesse an Technik und Naturwissenschaften nachhaltig positiv beeinflussen.

Förderung fächerübergreifenden Denkens durch naturorientiertes Lernen

Viele Naturvorgänge werden für Schülerinnen und Schüler verständlicher, wenn die Naturphänomene selbst entdeckt und beobachtet werden. Die Lernschritte „beobachten, anfassen, ausprobieren und verstehen“, die das naturorientierte Lernen kennzeichnen, lassen ein umfassendes praxisorientiertes Arbeiten erkennen (Rüter 2015). Hierbei wird das Interesse der Schülerinnen und Schüler für biologische Phänomene zunächst auf Grundlage einer experimentellen Herangehensweise an technische Fragestellungen geweckt. Das anschließende Finden und Entschlüsseln der Prinzipien, die dem biologischen Phänomen zu Grunde

liegen, kann einen positiven Beitrag zur Problemlösefähigkeit der Lernenden leisten und die Experimentierfreude fördern. Gleichmaßen fördert das naturorientierte Lernen die Analogiebildung zwischen biologischen und technischen Systemen (Rüter 2015). Dadurch, dass technisch-naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten für zahlreiche Lebensbereiche relevant ist, und die Bionik den Anspruch der Übertragung von Erkenntnissen aus der Natur in die Technik hervorragend bedient, kann den Bildungsstandards der Schulen zweifelsohne Rechnung getragen werden (Rüter 2015). In Anbetracht dessen erscheint auch die Entwicklung eines Schülerlabors zum Thema Baubionik legitimiert.

5.2 Lernvoraussetzungen

Das Schülerlabor richtet sich an Schülerinnen und Schüler der 9. Jahrgangsstufe nach G8 oder der 10. Jahrgangsstufe nach G9. Die Entscheidung für die Auswahl der Zielgruppe rührt daher, dass die Bionik inhaltlich komplexe Themen behandelt. Wenn auch in etwas abgeschwächter Form, trifft dies ebenso auf den Teilbereich der Baubionik zu. Zwar ist das Schülerlabor derart konzipiert, dass nur wenige fachspezifische Vorkenntnisse zur Bewältigung der Arbeitsaufträge zwingend notwendig sind, jedoch ist stark davon auszugehen, dass die in den vorherigen Jahrgangsstufen geschaffenen Grundlagen verständnis- und arbeits-erleichternd wirken. So bedienen die Stationen nicht nur verschiedene biologische Vorbilder mitsamt unterschiedlichen technischen Anwendungen, sondern decken zugleich auch eine relativ große Bandbreite an physikalischen Inhalten ab. Es werden Themen aus den Bereichen Mechanik, Wärmelehre und Optik behandelt, die im Lehrplan Physik des Landes Hessen als verbindliche Inhalte aufgeführt werden (Hessisches Kultusministerium 2011b, S. 5). Da davon auszugehen ist, dass die Lernenden nur wenig bis keine Vorkenntnisse in Bezug auf das Thema Bionik besitzen, würden sich grundlegende Kenntnisse in den Bereichen Mechanik, Wärmelehre und Optik als hilfreich erweisen. Würde sich die Einführung neuer Inhalte nicht nur über den Bionik-Themenkomplex erstrecken, sondern zusätzlich über die physikalischen Grundlagen, könnte die Stofffülle als zu groß wahrgenommen werden und zu Überforderung führen. In diesem Zusammenhang sollte berücksichtigt werden, dass das Thema Baubionik den Lernenden an für sich bereits hohe gedankliche Leistungen im Hinblick auf das Herstellen von Zusammenhängen – etwa zwischen biologischen Vorbildern, Funktions- und Wirkprinzipien sowie technischen Anwendungen – abverlangt. Dabei

wird auch deutlich, dass sich die in den vorherigen Jahrgangsstufen geschaffenen Grundlagen, die eine das Verständnis erleichternde Funktion einnehmen sollen, nicht nur auf konkrete fachliche Inhalte beschränken, sondern gleichzeitig auch fachliche und überfachliche Kompetenzen miteinschließen. So setzt der verstärkte Einsatz von Gruppenarbeit ein gewisses Maß an Sozialkompetenz voraus. Für das erfolgreiche gemeinsame Arbeiten sind Teamfähigkeit und Kooperation von zentraler Bedeutung. Grundlegende Arbeits- und Problemlösekompetenzen, an die angeknüpft werden kann, wären einem reibungslosen Ablauf der Stationsarbeit ebenso zuträglich. Dies gilt auch für fachliche Kompetenzen in den Bereichen „Erkenntnisgewinnung“, „Nutzung fachlicher Konzepte“ und „Kommunikation“, deren Ausbau angestrebt wird, worauf zu späterer Zeit unter Punkt 5.7 noch genauer eingegangen werden soll.

5.3 Überlegungen zu inhaltlichen Schwerpunktsetzungen

Im Folgenden soll erläutert werden, welche Überlegungen grundlegend für die Auswahl der Stationsthemen waren, welche inhaltlichen Kontexte daran anknüpfend geschaffen werden und welches Potenzial diese für mögliche Erkenntnisgewinne bergen.

5.3.1 Auswahl der Stationsthemen

Das Schülerlabor beinhaltet vier verschiedene Stationen, die jeweils unterschiedliche baubionische Schwerpunkte setzen. Die folgende Tabelle soll eine kurze Übersicht über die thematischen Inhalte und deren konkrete Benennung im Arbeitsheft geben.

Themenblock	Stationsbezeichnung
Wasser-/ schmutzabweisende und lufteinschließende Oberflächen	Lotus und Salvinia
Energieautarke Gebäude und textile Solarthermie	Eisbär
Bionisch optimierte und an Belastung angepasste Bauteile	Baumstamm und Astgabel
Leichte und stabile Konstruktionen	Palmblatt, Schilf und Bienenwabe

Das Thema Baubionik beschreibt ein weites Feld und umfasst ein breites Spektrum an verschiedenen Inhalten. In Anbetracht dessen wird es zwar nicht möglich sein, die gesamte Bandbreite an Themen im Rahmen des Schülerlabors abzudecken; nichtsdestotrotz soll die Auswahl der konkreten Inhalte darauf abzielen, den Schülerinnen und Schülern die Weite des Feldes aufzuzeigen. So reichen die Inhalte, die erschlossen werden, von der Struktur und Form eines bionischen Bauteils, über den Einsatz des Bauteils im Sinne bionischer Konstruktions- und Bauweisen, bis hin zu bionischen Gebäudehüllen und Beschichtungen von Gebäudefassaden.

Im Rahmen jeder Station wird ein anderer baubionischer Kontext geschaffen. Die Stationen bauen nicht aufeinander auf, sondern können unabhängig voneinander in beliebiger Reihenfolge bearbeitet werden. Dabei beinhaltet jede Station mindestens ein biologisches Vorbild, auf dessen Grundlage zumindest ein baubionisches Produkt entwickelt wurde. Meist werden jedoch mehrere biologische Vorbilder aufgegriffen, um daran anknüpfend mehrere bautechnische Anwendungsbereiche offenzulegen.

Die Auswahl der biologischen Vorbilder erstreckt sich über den Bereich von Flora und Fauna. Es wird jedoch vorrangig auf Beispiele aus dem Bereich der Pflanzenwelt zurückgegriffen. Während die Stationen „Lotus und Salvinia“ sowie „Baumstamm und Astgabel“ Vorbilder der Pflanzenwelt heranziehen, knüpft die Station „Eisbär“ am Bereich der Tierwelt an. Die Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“ behandelt primär bionische Anwendungen, die auf Pflanzenvorbilder zurückzuführen sind, thematisiert im Zuge der Wabenstruktur jedoch auch eine Bauweise, die sich Bienen beim Bau ihres Bienenstocks zu Nutze machen. Insofern beleuchtet die Station Phänomene aus beiden Bereichen.

5.3.2 Inhaltliche Kontexte & mögliche Erkenntnisgewinne

Kontexte sollen Lernende zur Aufnahme, Diskussion und Bearbeitung von Fragestellungen motivieren. Das kontextbezogene Lernen trägt dazu bei,

„träges Wissen zu vermeiden und stattdessen Wissen in Anwendungszusammenhängen zu aktivieren, denn der Erwerb von Wissen wird dann als besonders nachhaltig angesehen, wenn er in komplexen, realitätsnahen und möglichst authentischen Problemstellungen seinen Ausgangspunkt nimmt“ (Lautenschläger 2011, S. 45).

Das Ergebnis einer Untersuchung von Göth et al. (2007) zeigt, dass Aufgaben von Schülerinnen und Schülern umso besser bewertet werden, je explorierender und kontextintegrierter die Aufgaben ausgestaltet sind (Göth et al. 2007, S. 10). Darüber hinaus birgt die Herstellung von Alltagsbezügen großes Potenzial im Hinblick auf die Erhöhung der intrinsischen Motivation – besonders, wenn die Möglichkeit besteht, sie im fächerverbindenden Unterricht übergreifend zu behandeln (Berck 1999, S. 224). An diese Aspekte lässt sich in der Ausgestaltung des Schülerlabors basierend auf dem interdisziplinären Charakter der Bionik gut anknüpfen.

In den folgenden Abschnitten werden die jeweiligen Kontexte, die im Zuge der Stationen geschaffen werden, etwas näher beschrieben. Dabei soll auch kurz beleuchtet werden, inwiefern und in welchem Maß Erkenntniszuwächse anhand der jeweiligen Kontexte herbeigeführt werden können.

Station „Lotus und Salvinia“

Die Station „Lotus und Salvinia“ zentriert den Selbstreinigungseffekt, der auf der Oberfläche verschiedener Pflanzen zu beobachten ist. Das Phänomen „Selbstreinigung“ wird den Schülerinnen und Schülern am Beispiel der Lotus-pflanze und am Beispiel des Salvinia-Schwimmfarns nähergebracht. Dabei sollen die Freihandversuche, die sich auf den Einsatz des Lotusblatts und lotusähnlicher Blätter stützen, zum Erkenntnisgewinn in Bezug auf wasser- und schmutzabweisende Oberflächen führen. Darauf aufbauend soll eine Erweiterung der Erkenntnisse am Pflanzenvorbild des Salvinia-Schwimmfarns stattfinden, indem der Aspekt lufteinschließender Oberflächen im Gebrauch von Bärlappsporen zusätzlich aufgegriffen wird. An die Beobachtung und Entschlüsselung der Phänomene schließen sich die Anwendungsmöglichkeiten des Selbstreinigungsprinzips an, die von Wandfarben, über Dachziegelbeschichtungen bis hin zu im Schifffahrtsbereich genutzten Lacken reichen.

Station „Eisbär“

Im Zuge der Station „Eisbär“ soll das Thema „Energieautarke Gebäude“ am Beispiel textiler Solarthermie im Eisbärhaus in den Fokus treten. Wissenszuwächse bezüglich des Aufbaus und der Wirkweise des Eisbärenfells und der darunter

liegenden Haut und Fettschicht, eröffnen die Möglichkeit neuen Erkenntnisgewinns im Hinblick auf das Potenzial, welches im biologischen Vorbild „Eisbär“ für die Entwicklung technischer Anwendungen zu sehen ist. Der gegenüberstellende Vergleich von transparenter Wärmedämmung und opaker Wärmedämmung soll den Bewusstwerdungsprozess über die Relevanz und Erfordernis neuer und zukunftssträchtiger Bauweisen initiieren.

Station „Baumstamm und Astgabel“

Die Station „Baumstamm und Astgabel“ widmet sich dem Thema „Bionisch optimierte und an Belastung angepasste Bauteile“. Im Zentrum steht das effiziente Bauen, womit in gewisser Weise an die Leichtbauweise angeknüpft wird. Allgemein bezeichnet Leichtbau „eine Schlüsseltechnologie, um Herausforderungen der Energie- und Materialeffizienz zu begegnen und zugleich die Leistungsfähigkeit und Produktivität [...] zu erhöhen“ (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA 2021). In diesem Zusammenhang zielt der Leichtbau nicht nur darauf ab, einzelne Faktoren wie etwa die Gewichtsreduzierung zu berücksichtigen, vielmehr strebt er das Erreichen des Gesamtoptimums an, indem ökologische, ökonomische und technologische Aspekte in Einklang gebracht werden (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA 2021). Auf Grundlage des Bruchversuchs sollen die Schülerinnen und Schüler zur Erkenntnis kommen, dass viel Material nicht immer auch „viel hilft“. Für die Stabilität eines Bauteils ist vielmehr von Bedeutung, wie und an welchen Stellen das zusätzliche Material angelagert wird. Hierbei fungiert der Wuchs eines Baums als gute Orientierung, um Material im Sinne möglichst effizienten Bauens anzulagern, was den Lernenden anschaulich vor Augen geführt werden soll.

Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“

Ähnlich wie die Station „Baumstamm und Astgabel“ orientiert sich auch die Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“ am Leichtbau, setzt jedoch einen anderen Schwerpunkt. Auf Grundlage eines Papierbrückenbauwettbewerbs sollen die Schülerinnen und Schüler selbst entdecken, dass der Leichtbau Anforderungen erfüllen kann, die sich auf den ersten Blick ausschließen, nämlich „hohe Stabilität trotz geringem Materialeinsatz durch möglichst leichte, aber auch stabile und sichere Bauteile“ (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und

Automatisierung IPA 2021). Im Zuge des Themas „Leichte und stabile Konstruktionen“ am Beispiel Brückenbau treten die Aspekte Ressourcenschonung und Effizienz in gepaarter Weise auf. Die Schülerinnen und Schüler dies durch möglichst selbstgesteuertes Handeln eigenständig erschließen zu lassen, bildet ein großes Anliegen der Station.

Stationsübergreifender Bionik-Kontext

Die verschiedenen Kontexte, die im Rahmen der Stationen geschaffen werden, sind darüber hinaus in hervorragender Weise geeignet, Verständnisprozesse in Bezug auf bionische Arbeitsweisen bzw. Entwicklungsprozesse auf einer Metaebene zu initiieren. Der Bottom-Up- und Top-Down-Prozess als Entwicklungsprozesse oder Arbeitsweisen der Bionik sowie die Kriterien zur Bestimmung, ob ein Produkt bionisch ist oder nicht, bilden Inhalte, die allen Stationen übergeordnet sind. Anhand der ausgewählten Stationen ist es gut möglich, an diese theoretischen Grundlagen der Bionik anzuknüpfen. So geben die Stationen nicht nur Anlass, die Grundlagen der Bionik auf theoretischer Ebene aufzugreifen, gleichzeitig bieten sie Gelegenheit, die übergeordnete Theorie in der Praxis nachzuvollziehen. Indem die Schülerinnen und Schüler aufgerufen werden, die an den Stationen behandelten Inhalte mit den übergeordneten Inhalten zur Bionik zu verknüpfen, können Erkenntniszuwächse auf einer Metaebene herbeigeführt werden. In diesem Zusammenhang ist der methodischen Ausgestaltung der Stationen besondere Bedeutung beizumessen, worauf zu späterer Zeit unter Punkt 5.12 allerdings noch genauer eingegangen werden soll.

5.4 Potenzial von Vielfalt

Wie bereits erwähnt zielt das Schülerlabor darauf ab, den Lernenden die Weite des Baubionik-Feldes aufzuzeigen. Dahingehend stellt das Schülerlabor ein breites Angebot an verschiedenen Stationen, die jeweils unterschiedliche baubionische Schwerpunkte setzen. Dies ermöglicht das Sammeln vielfältiger Eindrücke und kann zur Ausweitung fachlicher Kompetenzen beitragen, worauf unter Punkt 5.7 noch genauer eingegangen wird. Dabei beschränkt sich der Aspekt der Vielfalt nicht nur auf die baubionischen Inhalte, sondern betrifft auch die physikalischen Grundlagen, die elementar für das Verständnis der bionischen Inhalte sind. So werden Inhalte aus den Bereichen Mechanik, Optik und Wärmelehre

behandelt. Ein derart breit gefächertes Angebot birgt den Vorteil, den verschiedenen Interessen der Schülerinnen und Schüler besser gerecht werden zu können. Je mehr Angebote geschaffen werden, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass sich jeder Schüler und jede Schülerin von zumindest einem Teilinhalt angesprochen fühlt. Daran knüpft auch die Bereitstellung von Versuchen an, die sowohl Phänomene aus dem Bereich der Pflanzenwelt als auch Phänomene aus dem Bereich der Tierwelt beleuchten. Laut den Ergebnissen der 2004 durchgeführten ROSE-Erhebung sind Mädchen außerdem interessierter an Phänomenen, während sich Jungen interessierter an technischen Errungenschaften und modernen Technologien zeigen (Sjøberg und Schreiner 2019). Insofern kann auf Grundlage der im Schülerlabor aufgegriffenen Naturphänomene, die in technische Anwendungen transferiert werden, an die Interessensbereiche von Jungen und Mädchen angeknüpft werden. Anhand der Bionik gelingt es nicht nur, Lernende mit verstärkt technischen Interessen und Lernende mit verstärkt biologischen Interessen in gleichem Maß zu berücksichtigen; gleichzeitig birgt das Thema auch das Potenzial, ein tiefergehendes Interesse an den fachlichen Inhalten zu wecken (Hill und Hild 2017, S. 5), was bereits im Zuge der Beschreibung der interdisziplinären Eigenschaft der Bionik näher ausgeführt wurde (vgl. Kapitel 5.1). Im Sinne des gleichrangigen Einfließens der Fach- und Schülerperspektive in die Kontextformulierung, betrachtet das Schülerlabor die inhaltliche und lebensweltliche Dimension und versucht, der Vielfalt an Interessen in Schulklassen mit einer Vielfalt an fachlichen Inhalten zu begegnen.

5.5 Bezeichnung der Stationen

Auf eine fachsystematische Bezeichnung der Stationen, die sich an der Formulierung der oben aufgeführten Themenblöcke orientiert, wurde bewusst verzichtet. Stattdessen wurden die Stationen nach den biologischen Vorbildern benannt, um den Schülerinnen und Schülern eine direkte Verknüpfung mit ihrer Lebens- und Alltagswelt zu ermöglichen. Der Zugang zu den baubionischen Inhalten orientiert sich somit an den Lernenden und kann gleichzeitig zur nachhaltigen Vernetzung von neuen und bekannten Wissensinhalten beitragen. Darüber hinaus wurde die Entscheidung, die Stationen nach biologischen Vorbildern zu benennen, nicht nur auf Grundlage des der Bezeichnung anhaftenden Potenzials, eine die Gedanken ordnende und die Gedanken stützende Funktion einzunehmen, getroffen; genauso rührt die Entscheidung daher, dass erst zu entdeckende Inhalte

nicht bereits durch den Titel der Station vorweggenommen werden sollen. Primär geht es darum, dass die Bezeichnungen das Interesse der Lernenden wecken und dabei eine gewisse Spannung erzeugen. Erst im Laufe der Bearbeitung der Stationen entdecken die Schülerinnen und Schüler, welche Phänomene, Funktions- und Wirkprinzipien an die Pflanzen- und Tiervorbilder gekoppelt sind und welche technischen Neuerungen und Optimierungsmöglichkeiten sich daraus ergeben.

5.6 Überlegungen zum Ablauf & zur Organisation

Im Folgenden werden die institutionellen und organisatorischen Rahmenbedingungen, deren Berücksichtigung für eine mögliche Durchführung des Schülerlabors von Relevanz sind, näher beschrieben. Daran anschließend erfolgt die Überleitung zu den Überlegungen bezüglich des konkreten Ablaufs des Schülerlabors.

5.6.1 Institutionelle & organisatorische Rahmenbedingungen

Grundsätzlich ist das Schülerlabor für eine Durchführung in den Räumlichkeiten des Instituts für Didaktik der Physik am Campus Riedberg entwickelt. Dennoch wäre eine Durchführung auch außerhalb des Universitätsgeländes mit nur relativ geringem Mehraufwand möglich, da nur wenige Mittel und Apparaturen der Physiksammlung des Instituts benötigt werden. So beinhaltet die Stationsarbeit unter anderem eine Reihe an Freihandexperimenten, für deren Durchführung lediglich Alltagsmaterialien oder Materialien, die sich in der Physiksammlung einer jeden Schule finden lassen sollten, benötigt werden. Darüber hinaus werden selbst gefertigte Modelle genutzt, für deren Nachbau nur wenig Material erforderlich ist. In diesem Zusammenhang können die Modelle auf Grundlage der Maße, die im Anhang dieser Arbeit angegeben werden, beliebig oft reproduziert werden. Im Hinblick auf eine Durchführung des Schülerlabors wäre es sinnvoll, die Stationen jeweils doppelt anzubieten. Dies würde bedeuten, dass sich immer zwei Schülergruppen parallel mit denselben Inhalten auseinandersetzen, jedoch an verschiedenen Stationstischen arbeiten. Ein Austausch zwischen den Gruppen wäre dabei nicht zwangsläufig zu unterbinden. Vielmehr könnte er sich sogar als hilfreich erweisen. Indem Anlass geboten wird, sich zunächst gegenseitig zu helfen, wenn Unklarheiten auftreten, anstelle sich direkt an die Betreuerinnen und Betreuer des Schülerlabors zu wenden, werden die Lernenden aufgerufen,

Probleme selbstständig zu lösen, wodurch mitunter größere Erfolgserlebnisse erzielt werden können. Ganz im Sinne bionischen Arbeitens würde dabei auch der Kommunikationsaspekt sehr deutlich in den Vordergrund treten. Hauptanliegen sollte immer sein, jedem Schüler und jeder Schülerin genug Raum zu bieten, Dinge auszuprobieren, zu experimentieren und umfassende praxisbezogene Erfahrungen zu sammeln. Dies wird erschwert, wenn die Gruppe eine gewisse Größe, die sich wiederum nach der Anzahl der Stationen richtet, überschreitet. Eine Gruppengröße von drei bis vier Schülerinnen und Schülern wäre für die Bearbeitung der Aufgaben des Schülerlabors zur Baubionik ideal. Etwas Spielraum nach oben besteht, allerdings unter Berücksichtigung der oben genannten möglichen Einbußen.

Vorzugsweise sollte das Schülerlabor in Räumlichkeiten des Erdgeschosses stattfinden oder zumindest in Räumen, die nicht weit entfernt zum Ausgang liegen, sodass die Schülerinnen und Schüler ohne große Umwege ins Freie gelangen können. Dieses Erfordernis liegt darin begründet, dass die Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“ den Bau einer Leonardo-Brücke mit Holzleisten von 2,40 Metern Länge vorsieht. Entsprechend wird die Konstruktion etwas mehr Raum in Anspruch nehmen. Zudem ist eine Wiese hervorragend als Untergrund für den Bau geeignet. Die Raumaufteilung könnte derart gestaltet werden, dass immer zwei Baubionik-Themen in einem Raum behandelt werden. Das Baubionik-Schülerlabor stellt vier verschiedene Stationen, weswegen (mindestens) zwei Räume zur Verfügung stehen sollten. Da jede Station in doppelter Ausführung angeboten wird, würden sich jeweils vier Stationstische in den Räumen befinden. In diesem Zusammenhang wäre es aufgrund theoretischer Grundlagen aus dem Bereich der Mechanik (konkreter: aus dem Bereich des Leichtbaus) sinnvoll, die Station „Baumstamm und Astgabel“ mit der Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“ und die Station „Lotus und Salvinia“ mit der Station „Eisbär“ zu koppeln. Dabei sollten die Tische, an denen dasselbe Baubionik-Thema behandelt wird, bestmöglich nebeneinander liegen. Nach der angedachten Mittagspause können die Lernenden den Raum wechseln und die noch ausstehenden Stationen bearbeiten. Da die Stationen stets mehrere Versuche oder Teilversuche beinhalten, sollten die jeweiligen Bezeichnungen der Arbeitsaufträge auf den Tisch geklebt werden (z.B. Arbeitsauftrag 1, Arbeitsauftrag 2, usw.). Dadurch wird sichergestellt, dass sich die Lernenden besser orientieren

und leichter zurechtfinden können. Für die Bearbeitung der Aufgaben benötigen die Schülerinnen und Schüler lediglich ihr Arbeitsheft und einen Stift. Alle weiteren Materialien wie bunte Stifte oder Tablets, um die QR Codes abzurufen, stehen an den Stationen zur Verfügung. Die Tablets werden eingesetzt, um das einführende Erklärvideo anzuschauen, die Aufgaben der *LearningApps* zu bearbeiten, Hilfekarten zu öffnen, vertiefende Informationen abzurufen oder Online-Recherchen zu betreiben. Wenn vorhanden, können die Schülerinnen und Schüler auch ihr eigenes Smartphone nutzen, um die QR Codes abzurufen. Da jedoch nicht vorausgesetzt werden kann, dass jeder Lernende über ein digitales Endgerät verfügt, werden Tablets gestellt.

5.6.2 Überlegungen zum Ablauf

Grundlegend ist geplant, das Schülerlabor als „Schülerlabortag“ stattfinden zu lassen. Der Besuch ist für Schulklassen geeignet, die nicht nur einen Vor- oder Nachmittag am Institutsgelände verbringen möchten, sondern daran interessiert sind, sich auch über einen Tag hinweg mit den Inhalten der Baubionik auseinanderzusetzen. In diesem Zusammenhang wäre der Besuch des Labors anlässlich eines Projekttages denkbar. Auf Grundlage welcher Überlegungen diese Entscheidung getroffen wurde, soll im Folgenden näher erläutert werden.

Das Schülerlabor beinhaltet vier verschiedene Stationen für deren Bearbeitung jeweils 90 Minuten anberaumt werden. Die Zeit zur Bearbeitung der Stationen beläuft sich in Summe auf 360 Minuten, was acht Schulstunden entspricht. Hinzu kommt die Zeit, die benötigt wird, um den Schülerinnen und Schülern einen kurzen Überblick über den allgemeinen Ablauf des Schülerlabortages zu geben. Die organisatorisch zu klärenden Inhalte betreffen die Dauer der Stationen, die Stationswechsel und die kleinen Pausen zwischen den Stationen wie auch die eingeplante Mittagspause. Darüber hinaus nimmt der Einstieg in das Thema Baubionik und der geplante Abschluss des Labortages zusätzliche Zeit in Anspruch. Grundlage für die Einführung in das Thema bildet ein fünfminütiges Erklärvideo, auf dessen Inhalte im Rahmen der verschiedenen Stationen erneut zurückgegriffen werden soll. Für einen gemeinsamen Abschluss des Labortages ist angedacht, alle Gruppen nach fertiger Bearbeitung der jeweils letzten Station zusammenkommen zu lassen. Am Ende des Tages soll der zuvor angekündigte gruppenübergreifende Wettbewerb stehen, bei dem ein Belastungstest

der Papierbrückenmodelle erfolgt. Diese wurden im Rahmen der Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“ gefertigt. Abrundend soll eine kleine Siegerehrung stattfinden, in der die Leistungen jedes Schülers und jeder Schülerin mitberücksichtigt werden. Das Zusammenfinden im Plenum bietet außerdem Gelegenheit, den allgemeinen Ablauf des Tages, das Arbeiten an den Stationen und die Inhalte der Stationen zu reflektieren. Anhand der Frage, ob und inwiefern das Schülerlabor Spaß gemacht hat, kann ein zusammenfassendes und abschließendes Feedback eingeholt werden.

5.7 Curriculare Bezüge

Dieses Unterkapitel widmet sich der näheren Ausführung des angestrebten Kompetenzerwerbs in Bezug auf überfachliche wie auch fachliche Kompetenzen. Anschließend wird der Zusammenhang zu den Inhaltsfeldern hergestellt.

5.7.1 Angestrebte Kompetenzen

Im Zuge der interdisziplinären Ausrichtung der Bionik besteht die Möglichkeit, die in den Fächern Physik, Chemie und Biologie ausgewiesenen Kompetenzen zu vertiefen. Im Rahmen des Schülerlabors zur Baubionik wird der Schwerpunkt auf die Ausbildung der für das Fach Physik vorgesehenen Kompetenzen gelegt. Im Folgenden werden die überfachlichen sowie fachlichen Kompetenzen aufgeführt, die erworben und erweitert werden können. Die Darstellung erfolgt auf Grundlage der im hessischen Kerncurriculum formulierten Kompetenzen für die Sekundarstufe I des Gymnasiums.

Überfachliche Kompetenzen

Im Hinblick auf die überfachlichen Kompetenzen grenzt das Kerncurriculum des Landes Hessen vier verschiedene Kompetenzbereiche voneinander ab: die „Personale Kompetenz“, die „Sozialkompetenz“, die „Lernkompetenz“ und die „Sprachkompetenz“ (Hessisches Kultusministerium 2011a, S. 8). Das Baubionik-Schülerlabor richtet die Aufmerksamkeit vorrangig auf den Kompetenzerwerb in den Bereichen der Sozial- und Lernkompetenz.

Dem Anspruch des Erwerbs von Sozialkompetenz trägt das Schülerlabor Rechnung (Hessisches Kultusministerium 2011a, S. 9–10), indem verstärkt Gruppenarbeiten als Sozialform eingesetzt werden. Die Bereitschaft, kooperativ zu handeln, einander zu unterstützen, aufeinander Rücksicht zu nehmen und sich

solidarisch zu verhalten, ist dabei grundlegend für eine erfolgreiche Zusammenarbeit. Dazu zählt auch die Fähigkeit, sich in Entscheidungssituationen gemeinsam auf einen Lösungsweg zu verständigen. Der respektvolle Umgang miteinander sollte dabei stets gewahrt werden. Indem die Lernenden ihre Ideen austauschen, gemeinsam Lösungsansätze entwickeln, Modelle entwerfen oder testen und Aufgaben in Gruppen bearbeiten, entwickeln sie ihre Teamfähigkeit weiter.

Die Lernkompetenz, welche allgemein die Dimensionen „Problemlösekompetenz“, „Arbeitskompetenz“ und „Medienkompetenz“ beinhaltet (Hessisches Kultusministerium 2011a, S. 10), kann im Rahmen des Schülerlabors gefördert werden, indem die Lernenden aufgefordert werden, ihre Arbeitsprozesse selbst zu planen wie auch selbst zu steuern. Auf Grundlage der Vorgaben und Mittel, die ihnen für die Bearbeitung der verschiedenen Stationsaufgaben zur Verfügung gestellt werden, werden sie veranlasst, die verfügbaren Mittel im Hinblick auf ihre Funktionsweisen und Einsatzmöglichkeiten zu analysieren. Das hessische Kerncurriculum formuliert es wie folgt: „Sie übertragen im Arbeitsprozess gewonnene Erkenntnisse durch Analogiebildungen sowie kombinatorisches und schlussfolgerndes Denken auf andere Anwendungssituationen“ (Hessisches Kultusministerium 2011a, S. 10). Dahingehend werden im Schülerlabor konkrete problemlösende Ansätze geschaffen, indem biologische Phänomene beobachtet und entschlüsselt werden, um sie darauffolgend für technische Anwendungen im Bereich von Architektur und Bau in abstrahierter Form nutzbar zu machen. Beiträge zur Erweiterung der Arbeitskompetenz leistet die kritische Reflexion des eigenen Lernprozesses basierend auf der sachgerechten Durchführung der Versuche, dem Einsatz möglicher Hilfsmittel, den Ergebnisdokumentationen im Arbeitsheft, dem Gebrauch der *LearningApps* und dem Lösen der „Überprüfe dein Wissen – Aufgaben“ in der App oder im Heft selbst. In diesem Zusammenhang kann auch die Medienkompetenz gefördert werden. Nicht nur werden die Tablets oder Smartphones als Informationsbeschaffungsmittel genutzt, um etwa Videos und Zusatzinformationen abzurufen oder Online-Recherchen zu betreiben, gleichzeitig eröffnet die Nutzung der *LearningApps* einen für die Lernenden vermutlich neuen Zugang.

Fachliche Kompetenzen

Das Hessische Kerncurriculum formuliert vier Kompetenzbereiche für die fachlichen Kompetenzen, die wie folgt benannt werden: „Erkenntnisgewinnung“, „Kommunikation“, „Bewertung“ und „Nutzung fachlicher Konzepte“ (Hessisches Kultusministerium 2011a, S. 14). Inwiefern der Ausbau der fachlichen Kompetenzen im Schülerlabor gelingen kann, soll im nächsten Abschnitt näher dargestellt werden. Vorab ist lediglich anzumerken, dass das Baubionik-Schülerlabor die Ausweitung der Kompetenzen im Bereich der „Erkenntnisgewinnung“ vorrangig anstrebt und den Kompetenzerwerb in den Bereichen „Kommunikation“ und „Nutzung fachlicher Konzepte“ an zweite Stelle setzt. Ein Ausbau der Kompetenzen im Bereich „Bewertung“ ist nicht vorgesehen.

Für die Entwicklung von Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung ist ein Schülerlabor zur Baubionik geradezu prädestiniert (Hessisches Kultusministerium 2011a, S. 14), da ausgehend von biologischen Vorbildern oder Phänomenen technische Produkte verbessert oder von Grund auf neu entwickelt werden. Für den Erkenntnisgewinn in Bezug auf naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen eignet sich der Nachvollzug des Bottom-Up- und Top-Down-Prozesses als Entwicklungsprozesse oder Arbeitsweisen der Bionik in hervorragender Weise. Die bionischen Arbeitsweisen werden den Lernenden in diesem Zusammenhang nicht nur auf theoretischer Ebene nähergebracht, sondern können ebenso in praktischer Weise erfahren werden. So orientiert sich das schrittweise Arbeiten an der Station „Lotus und Salvinia“ am Aufbau des Bottom-Up-Prozesses, während das Arbeiten an der Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“ dem Top-Down-Prozess folgt. Die Schülerinnen und Schüler bekommen Gelegenheit, Experimente durchzuführen, Phänomene zu beobachten, zu beschreiben und gezielt zu analysieren. Die Analyse führt wiederum zur Entschlüsselung der Funktionsweisen und Wirkprinzipien, die ihrerseits wiederum grundlegend für die Übertragung in technische Anwendungen ist. Dabei arbeiten die Lernenden nicht nur mit bereits vorgefertigten Modellen (vgl. Station „Baumstamm und Astgabel, Kerbstrukturmodelle aus Styropor oder Plexiglas; Station „Eisbär“, Modelle zum Eisbärenfell), sondern werden auch zum Nachbasteln und Nachbau animiert (vgl. Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“, Miura-Faltung, Leonardo-Brücke) oder entwickeln selbst bionische Modelle

(vgl. Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“, Papierbrückenbau), wobei letztgenannter Aspekt in besonderem Maße zur Förderung des eigenständigen und selbstgesteuerten Arbeitens beiträgt.

Eine Erweiterung der Kompetenz im Bereich der Kommunikation kann erfolgen (Hessisches Kultusministerium 2011a, S. 15), indem die Lernenden in direkten Austausch mit ihren Gruppenmitgliedern treten, während sie beispielsweise Versuche in Zusammenarbeit durchführen oder Ergebnisse gemeinsam auswerten. Eine aktive Mitgestaltung des Arbeitsprozesses setzt voraus, dass die Schülerinnen und Schüler ihre Ideen und Vorstellungen in Diskussionen einbringen und Entscheidungen im gemeinsamen Austausch treffen. Dafür erforderlich ist die Fähigkeit, sich klar und verständlich äußern zu können, sowie Hypothesen, Beobachtungen und Erkenntnisse verbalisieren zu können – bestenfalls unter Verwendung der richtigen Fachsprache. Dazu zählt nicht nur das Beschreiben und Erklären in mündlicher Form, sondern ebenso das Dokumentieren von Arbeitsschritten und Erkenntnisprozessen in Schriftform, indem beispielsweise Erklärungen oder auf biologischen Prinzipien basierende Anwendungsmöglichkeiten notiert werden, Ergebnisse tabellarisch oder graphisch dargestellt oder in Form einer Zeichnung festgehalten werden.

Für den Kompetenzbereich „Nutzung fachlicher Konzepte“ sieht das hessische Kerncurriculum eine Auffächerung in drei Teilbereiche vor, die wie folgt benannt werden: „Konzeptbezogenes Strukturieren von Sachverhalten“, „Vernetzen von Sachverhalten und Konzepten“, „Problemorientiertes und konzeptbezogenes Erschließen von Sachverhalten“ (Hessisches Kultusministerium 2011a, S. 21). Naturphänomene am Beispiel von Flora und Fauna bilden den Kontext, der alle Stationen des Schülerlabors übergreift. Sie legen den Grundstein für das Erschließen, Strukturieren und Vernetzen der Sachverhalte. Ausgehend von biologischen Vorbildern erfolgt der Erwerb neuen Wissens in Bezug auf das Prinzipienverständnis, das den jeweiligen Naturphänomenen zu Grunde liegt, sowie in Bezug auf technische Anwendungen im Bereich Architektur und Bau, die sich aus dem Wissen um diese Prinzipien ergeben. Das Verständnis der beiden Arbeitsweisen der Bionik und die Kenntnis der Kriterien zur Bestimmung eines bionischen Produkts lassen eine Strukturierung der bionischen Inhalte zu. Die Erweiterung der Kompetenz „Nutzung fachlicher Konzepte“ kann jedoch nicht

nur herbeigeführt werden, indem die verschiedenen bionischen Sachverhalte dem übergeordneten Bottom-Up- oder Top-Down-Prozess zugeordnet werden, gleichermaßen müssen biologische Vorbilder immer wieder aufs Neue mit technischen Anwendungen verknüpft werden. Der Prinzipientransfer von biologischen Systemen auf technische Systeme wird initiiert. Die Fähigkeit, neu generiertes Wissen zu vernetzen und neu gewonnene Kenntnisse zur Lösung von technischen Problemen anzuwenden, kann insofern gefördert werden.

5.7.2 Inhaltsfelder

Der Kompetenzerwerb ist nicht nur an Kompetenzbereiche gebunden, sondern richtet sich ebenso nach konkreten fachlichen Inhalten. Hierfür werden im Kerncurriculum Inhaltsfelder benannt, die klassische Themengebiete der Physik umfassen und dem Aufbau physikalischer Grundkenntnisse dienen (Hessisches Kultusministerium 2011a, S. 17). Sie ermöglichen den Schülerinnen und Schülern eine intensive Auseinandersetzung mit den Inhalten der Physik und tragen zur Entwicklung anwendungsorientierten Wissens und Könnens bei (Hessisches Kultusministerium 2011a, S. 22). Anhand der vier Basiskonzepte „Energie“, „Materie“, „Systeme“ und „Wechselwirkung“ kann das Fachwissen, das auf Grundlage der Inhaltsfelder erworben wurde, strukturiert werden. Insofern dienen die Inhaltsfelder der inhaltlichen Gliederung, während „die Basiskonzepte quer dazu vernetzende Perspektiven auf die Sachverhalte“ liefern (Hessisches Kultusministerium 2011a, S. 17).

Das hessische Kerncurriculum führt neun verschiedene Inhaltsfelder auf (Hessisches Kultusministerium 2011a, S. 22–27), wobei sich das Thema „Baubionik“ dem Inhaltsfeld „Haus der Naturwissenschaften“ am besten zuordnen lässt. Zwar beinhaltet das Schülerlabor auch Aspekte, die sich den Inhaltsfeldern „Erweiterung der Sinne“ (vgl. Einsatz des Polariskops als optisches Hilfsmittel, um Spannungen sichtbar zu machen und eine Erweiterung der menschlichen Wahrnehmungsfähigkeit herbeizuführen), „Technik im Dienst des Menschen“ (vgl. Verständnis des Nutzens physikalischer bzw. biologischer Phänomene für bautechnische Anwendungen) oder „Energie in Umwelt und Technik“ und „Zukunftssichere Energieversorgung“ (vgl. Transparente Wärmedämmung auf Grundlage des Eisbärenfells) zuordnen ließen; allerdings lässt es das Inhaltsfeld „Haus der Naturwissenschaften“ in hervorragender Weise zu, umfassende

Bezüge zu den angestrebten Kompetenzen in den Bereichen „Erkenntnisgewinnung“, „Kommunikation“ und „Nutzung fachlicher Konzepte“ herzustellen. Darüber hinaus stehen „die grundsätzlichen Rahmenbedingungen naturwissenschaftlichen Arbeitens sowie die Einordnung der Physik in die Naturwissenschaften“ im Zentrum des Inhaltsfeldes (Hessisches Kultusministerium 2011a, S. 22), woran die Behandlung des Themas Baubionik gut anknüpfen kann. Indem verschiedene bionische Entwicklungen aufgegriffen werden, kann dem Erfolg naturwissenschaftlicher Vorgehensweisen am Beispiel der bionischen Entwicklungsprozesse Ausdruck verliehen werden. Die Baubionik schafft den Rahmen, ausgehend von in der Natur beobachtbaren Phänomenen und den ihnen zu Grunde liegenden physikalischen Grundlagen, Probleme und Fragestellungen zu formulieren, Hypothesen aufzustellen und diese anhand von Versuchen zu prüfen sowie Brücken von biologischen Vorbildern hin zu technischen Anwendungen zu schlagen. Weiterhin formuliert das Kerncurriculum, dass das Wissen über die Naturwissenschaften – und damit auch das Wissen über die Bionik als interdisziplinäre Wissenschaft – „den Erwerb naturwissenschaftlichen Wissens unterstützen [kann]“ (Hessisches Kultusministerium 2011a, S. 22).

5.8 Methodischer Schwerpunkt

Für das Schülerlabor zum Thema Baubionik bilden „Schülerexperimente“ den methodischen Schwerpunkt.

Beim Experimentieren im Physikunterricht müssen Demonstrationsexperimente und Schülerexperimente zunächst voneinander abgegrenzt werden. Die aktuelle Forschungsgrundlage im Hinblick darauf, welchen Einfluss das Experimentieren auf die fachlichen Leistungen der Lernenden nimmt, gestaltet sich zwar umfangreich, allerdings nur wenig eindeutig (Muth und Erb 2016, S. 1). So attestieren einige Studien, dass Demonstrationsexperimente eine für den Lernerfolg dienlichere Funktion einnehmen, während andere Studien belegen, dass bessere Lernerfolge durch Schülerexperimente erzielt werden können (Winkelmann und Erb 2018, S. 1). Es ist davon auszugehen, dass diese Erkenntnisse nicht nur für den schulischen Physikunterricht von Bedeutung sind, sondern genauso gut auf das Lernen in außerschulischen Lernorten übertragen werden können, woran auch das Experimentieren im Rahmen des Baubionik-Schülerlabors anknüpft.

In den vergangenen Jahren wurde die Forderung, die didaktische Ausrichtung und Gestaltung des naturwissenschaftlichen Unterrichts zu optimieren, immer lauter. Die Absicht, die

„[...] Neigung zum fragend-entwickelnden und fachspezifisch orientierten Unterricht zu überwinden und durch Anwendungsbezug, Problemorientierung sowie Betonung mentaler Modelle das Interesse an den Naturwissenschaften und die Entwicklung eines tiefergehenden Verständnisses und flexibel anwendbaren Wissens zu fördern“, stünde im Aufmerksamkeitszentrum (Prenzel 2002, S. 245).

In diesem Zusammenhang sehen Experten Schülerexperimente in besonderem Maße dafür geeignet, den Ansprüchen gerecht zu werden, was mitunter auf den hohen Beliebtheitsgrad und den allgemein hohen Stellenwert der Lehrmethode zurückzuführen ist (Wirth 2008, S. 361).

Des Weiteren lässt sich eine Reihe didaktisch-methodischer wie auch pädagogischer und psychologischer Ziele und Funktionen anführen, die maßgeblichen Einfluss auf die Wahl des Schülerexperiments als methodischen Schwerpunkt dieses Schülerlabors genommen haben. In Anlehnung an Muckenfuß' Ausführungen in „Lernen im sinnstiftenden Kontext“ werden einige dieser Ziele und Funktionen im Folgenden kurz erläutert (Muckenfuß 1995).

Aus didaktisch-methodischer Sicht bietet die Durchführung von Schülerexperimenten Gelegenheit, die auf Phänomenen basierenden bionischen Konzepte in anschaulicher Weise darzustellen und gleichzeitig physikalische Gesetze, Fakten und Modelle zu prüfen. Darüber hinaus erfüllen die Experimente die Funktion, die Naturwissenschaften und dabei insbesondere die Physik in Alltag und Technik aufzuzeigen. Daran knüpft auch das Potenzial der Schülerversuche an, eine Erhöhung der Motivation der Lernenden herbeizuführen, ihr Interesse an fachlichen Inhalten zu wecken und nachhaltige Eindrücke zu vermitteln.

Im Kontext der pädagogischen Ziele und Funktionen sind primär die Entwicklung der Kooperationsfähigkeit und der Ausbau anderer sozialer Kompetenzen, wie Rücksichtnahme, Dialogfähigkeit und Arbeitsteilung zu nennen. Der verstärkte Einsatz von Gruppenarbeiten im Zuge der Experimentierphasen macht einen dahingehenden Kompetenzerwerb möglich, worauf unter Punkt 5.9 noch genauer eingegangen werden soll. Von ebenso großer Bedeutung ist auch die Entwicklung der Kommunikationsfähigkeit, welche neben der sprachlichen

Ausdrucksfähigkeit auch die Darstellungsfähigkeit anhand schriftlicher und bildlicher Mittel miteinschließt.

Zu den bedeutsamsten psychologischen Zielen und Funktionen zählen die Selbstständigkeit und Eigenverantwortlichkeit der Lernenden während der Experimentierphasen sowie das „Lernen mit Kopf, Herz und Hand“ und das „Lernen durch Tun“, das auf die praktischen Anforderungen der Schülerversuche zurückzuführen ist. Grundsätzlich zielen diese auf die Maximierung der Lerneffektivität und Motivation ab. In diesem Zusammenhang ist die Förderung des Vertrauens bezüglich der eigenen Fähigkeiten ein zentrales Ziel, das auf Grundlage der Erfolgserlebnisse, die während der Experimentierphasen generiert werden können, erreicht werden soll.

5.9 Sozialformen

Für den gemeinsamen Start in den Schülerlabortag wird die Sozialform des Plenums gewählt. Zunächst werden die Schülerinnen und Schüler über den geplanten Ablauf des Tages informiert und über zu beachtende Regeln in Kenntnis gesetzt. Vor dem Hintergrund, dass die Aufmerksamkeit nach vorne gerichtet ist, Informationen schnell und gebündelt vermittelt werden können, und Rückfragen auf direktem Weg möglich sind, erscheint die Wahl dieser Sozialform als sinnvollste Variante.

Der darauffolgende Einstieg in das Thema Bionik erfolgt ebenfalls im Plenum. Mithilfe des Beamers wird ein einführendes Erklärvideo an die Wand projiziert, das dem Einstieg in die Bionik und Baubionik dient und die theoretischen Grundlagen für die Arbeit an den Stationen legt. In diesem Zusammenhang wurde sich bewusst dafür entschieden, das Video nicht über die Tablets oder Smartphones abrufen zu lassen, sondern stattdessen gemeinsam im Großformat zu schauen. Die Entscheidung basiert auf der Annahme, dass das Vorgehen einen reibungslosen Ablauf garantiert und eine hohe Aufmerksamkeit von Seiten der Schülerinnen und Schüler erwarten lässt.

In Anbetracht der bionischen Eigenschaften „Interdisziplinarität“ und „Kommunikation“ bildet die Gruppenarbeit die vorherrschende Sozialform während der Stationsarbeit. Die Interaktion und der Austausch zwischen den Lernenden stehen im Zentrum. Die Schülerinnen und Schüler werden veranlasst, Versuche

kooperativ durchzuführen, ihre Beobachtungen auszutauschen, Erklärungen gemeinsam zu finden und zu formulieren sowie Lösungswege in Zusammenarbeit zu erschließen. Sie können sich gegenseitig helfen, wenn Unklarheiten oder Probleme auftreten, und haben gleichzeitig die Möglichkeit, von den Ideen ihrer Mitschülerinnen und Mitschüler zu profitieren. Insofern können nicht nur produktivitäts- und kreativitätssteigernde Wirkungen erzielt werden, gleichzeitig wird auch auf die Heterogenität in der Schulklasse reagiert. Leistungsstärkere Schülerinnen und Schüler erhalten die Möglichkeit, ihr Potenzial voll auszuschöpfen, indem sie ihre Ideen und Vorschläge einbringen und die Mitglieder ihrer Gruppe von ihrem Wissen profitieren lassen. Im Zuge dessen erweitern sie die eigene Kommunikationskompetenz und festigen Inhalte. Leistungsschwächere Schülerinnen und Schüler profitieren von der Gruppenarbeit dahingehend, dass sie sich mit möglicherweise auftretenden Problemen weniger allein gelassen fühlen, da jederzeit die Möglichkeit besteht, Gruppenmitglieder bei Verständnisschwierigkeiten um Hilfe zu bitten. Besonders der Umstand, dass sich die Lernenden in einem ungewohnten Umfeld befinden, könnte dazu führen, dass sie sich besonderem Stress ausgesetzt fühlen, weswegen die Sozialform der Gruppenarbeit eine entlastende Funktion einnehmen kann. So soll das Schülerlabor eine möglichst angenehme Arbeitsatmosphäre schaffen und hervorheben, dass gegenseitige Unterstützung nicht nur erlaubt, sondern sogar erwünscht ist. Alle Lernenden erhalten die Möglichkeit, am Arbeitsprozess zu partizipieren, sich und ihre Ideen einzubringen und sich zur Gruppe zugehörig zu fühlen. Insofern schafft die Gruppenarbeitsform einen Rahmen, der die Berücksichtigung aller Dimensionen der Teilhabe im Sinne der Teilnahme, der Teilgabe und des Teilseins gestattet. In diesem Zusammenhang kann nicht nur die fachliche Kommunikationskompetenz gefördert werden; gleichermaßen können auch positive Effekte im Hinblick auf eine Steigerung der überfachlichen Sozialkompetenz erzielt werden. So bilden Teamfähigkeit und Kooperation einen zentralen Bestandteil der Gruppenarbeit. Auf der Suche nach gemeinsamen Lösungsstrategien werden die Lernenden aufgerufen, andere Ideen nachzuvollziehen, andere Meinungen zu akzeptieren und üben sich im respektvollen und wertschätzenden Umgang miteinander. Da das Lernen durch soziale Interaktion gewährleistet wird, folgen die Überlegungen zur Gruppenarbeit dem sozio-konstruktivistischen Lernansatz nach Vygostky.

Zwar ist der Großteil der Stationsarbeit in Gruppenarbeit zu bewältigen; nichtsdestotrotz ist für einen Teil der Arbeitsaufträge auch eine Bearbeitung in Einzelarbeit vorgesehen. Den Lernenden soll Raum gegeben werden, Überlegungen selbst anzustellen, die eigenen Ideen und Gedanken zu ordnen wie auch eigenständig zu Papier zu bringen. Außerdem soll der für manche Schülerinnen und Schüler vielleicht bestehenden Verlockung entgegengewirkt werden, sich aus Gründen der Bequemlichkeit nicht zu beteiligen und nicht mitzudenken, sondern stattdessen die anderen die Arbeit erledigen zu lassen. Demnach schaffen die Einzelarbeitsphasen eine gewisse Verbindlichkeit, sich am Arbeitsprozess zu beteiligen, da der darauf aufbauende Austausch mit den anderen Mitgliedern der Gruppe andernfalls nicht möglich wird. Nichtsdestotrotz wird allgemein davon ausgegangen, dass die Schülerinnen und Schüler mit einer hohen Motivation in den Schülerlabortag starten und der Arbeit an den Stationen mit Freude und Spaß nachgehen.

Anlässlich des stationsübergreifenden Papierbrückenbauwettbewerbs erfolgt der Abschluss des Schülerlabortages im Plenum. Die Schülerinnen und Schüler erhalten Gelegenheit, ihre Ergebnisse vor den anderen Gruppen zu präsentieren, womit ihre Modelle angemessen gewürdigt und wertgeschätzt werden können. Daran knüpft auch die Siegerehrung an, die dem Belastungstest nachgestellt wird. Nachdem das Siegerteam gekürt wurde, bietet der abschließende Austausch im Plenum die Möglichkeit, den Schülerlabortag zu reflektieren und auf die gemachten Erfahrungen und die neu gewonnenen Erkenntnisse zurückzublicken.

Idealerweise erfolgt die Gruppenbildung bereits im Vorfeld durch die Lehrkraft. Dadurch kann Zeit eingespart, ein reibungsloser Ablauf gewährleistet und schnell zur Experimentierphase übergeleitet werden. Darüber hinaus kann die Lehrkraft besser abschätzen, welche Gruppenzusammensetzungen für die Stationsarbeit geeignet sind. Sie hat den besten Überblick über ihre Lerngruppe und weiß, wer gut zusammenarbeiten kann, und ist entsprechend am besten in der Lage, heterogene Teams zu bilden.

5.10 Das Erklärvideo

Das Erklärvideo erfüllt den Zweck, die Stationen in einen allumfassenden Rahmen einzubetten. Es dient dem Einstieg in die Stationsarbeit und führt den

Schülerinnen und Schülern grundlegende Inhalte zur Bionik und Baubionik vor Augen. Den Lernenden wird anschaulich vermittelt, was unter dem Begriff „Bionik“ zu verstehen ist und welche Merkmale und Besonderheiten der Disziplin zu Grunde liegen. Dabei werden der interdisziplinäre Charakter der Bionik, der Bottom-Up- und Top-Down-Prozess als bionische Entwicklungsprozesse und die Kriterien zur Bestimmung eines bionischen Produkts in besonderer Weise hervorgehoben. Am Ende des Videos wird der Bogen zur Baubionik als ein Teilbereich der Bionik gespannt, woran anknüpfend die Überleitung zur Stationsarbeit, in der verschiedene baubionische Kontexte geschaffen werden, erfolgt.

Darüber hinaus fungiert das Video nicht nur als Einstieg und Überleitung; Gleichzeitig ermöglicht es, Verständnisprozesse auf einer Metaebene zu initiieren, indem die verschiedenen Stationen jeweils unterschiedliche Rückbezüge zu Teilinhalten des Erklärvideos herstellen. So wird im Arbeitsheft erneut auf das Einführungsvideo verwiesen und die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert, die theoretischen Grundlagen zur Bionik mit konkreten Stationsinhalten oder konkreten Stationsabläufen zu verknüpfen. In Anbetracht dessen besteht die Möglichkeit eines erweiterten Erkenntnisgewinns.

Ein weiterer Vorteil des Erklärvideos gegenüber einem Einführungsvortrag ist in der permanenten Verfügbarkeit zu sehen. So kann das Video nicht nur im Zuge der Stationsarbeit anhand des Smartphones oder des Tablets wiederholt abgerufen werden – wenn etwa Unklarheiten auftreten oder Inhalte erneut ins Gedächtnis gerufen werden müssen. Genauso kann das Video in der Schule oder von zu Hause aus erneut angeschaut werden – sollte das Schülerlabor das Interesse an einer tiefergehenden, auch über den schulischen Kontext hinaus reichenden Auseinandersetzung geweckt haben.

5.11 Die QR Codes

An den Aspekt der permanenten Verfügbarkeit knüpft auch der Einsatz von QR Codes an. Anhand der im Arbeitsheft abgedruckten QR Codes können Informationen im Video-, Text- oder Bildformat leicht und schnell abgerufen werden. Im Schülerlabor werden die Codes genutzt, um Videos, allgemeine und vertiefende Erklärungen oder Hilfekarten zu öffnen. Den Schülerinnen und Schülern wird selbst überlassen, ob und wann sie die Codes abrufen – wenn anderes nicht explizit gefordert wird, womit ihnen ein Großteil der Verantwortung in Bezug

auf die Steuerung ihres Arbeits- und Lernprozesses selbst übertragen wird. Sie entscheiden eigenmächtig, ob sie Lernhilfen in Anspruch nehmen möchten, oder ob sie sich vertiefende Informationen aneignen möchten. In Anbetracht dessen stellen die QR Codes auch ein geeignetes Mittel zur Differenzierung dar. Hinzu kommt, dass der Abruf der QR Codes anhand der Scanfunktion des Smartphones oder Tablets einen motivationssteigernden Effekt auf Seiten der Lernenden bewirken kann, da die Codes eine gewisse Spannung hervorrufen und die Neugier wecken, was sich hinter ihnen verbirgt. Neben dem Abruf der Video-, Bild- und Textinformationen dienen die QR Codes außerdem der Weiterleitung zu den *LearningApps*, worauf im Folgenden Abschnitt näher eingegangen wird.

5.12 Die LearningApps

LearningApps.org stellt eine kostenlose Online-Plattform dar, die der Unterstützung von Lernprozessen dient (LearningApps). Per Mausklick ist es möglich, multimediale und interaktive Lernbausteine (*Apps*) wie etwa Multiple-Choice-Aufgaben, Lückentexte oder Templates für Zuordnungsübungen zu erstellen (Interaktive Lernmodule mit "LearningApps"). Dabei können bereits bestehende Lernbausteine direkt in Lerninhalte eingebunden werden oder es können neue Lernbausteine selbst erstellt oder verändert werden. Anschließend besteht die Möglichkeit, die Apps über einen QR Code abzurufen und online zu nutzen.

Der Einsatz der *LearningsApps* im Schülerlabor dient vorrangig der Prüfung des eigenen Kenntnisstands. Sie beinhalten allgemeine Verständnisaufgaben, Reproduktionsaufgaben, Multiple-Choice-Tests sowie Transferaufgaben. Der Einsatz der Lernbausteine wird den Versuchen entweder voran- oder nachgestellt und bietet den Lernenden die Möglichkeit, vorhandenes Wissen zu aktivieren oder neu gewonnene Erkenntnisse in einem neuen Kontext anzuwenden. Die Schülerinnen und Schüler können sich sowohl versichern, dass sie im Besitz der für den jeweiligen Versuch notwendigen Kenntnisse sind, als auch prüfen, ob und inwiefern das Arbeiten an den Stationen zu einer Erweiterung ihres Kenntnisstands beitragen konnte. Es ist davon auszugehen, dass die Schülerinnen und Schüler Freude und Spaß am Umgang mit den Lernbausteinen empfinden, womit auch die Attraktivität des Themas Baubionik potenziell steigen dürfte. Darüber hinaus bietet die Nutzung der Apps die Möglichkeit, Erfolgserlebnisse zu generieren, indem Aufgaben korrekt gelöst werden und die Lernenden positives

Feedback erhalten. Gleichzeitig werden ihnen aber auch möglicherweise noch bestehende Lücken aufgezeigt, derer sie sich selbst bewusstwerden können. In diesem Zusammenhang bilden die Lernbausteine auch eine gute Orientierung, um zu schauen, welche Inhalte im Schulunterricht erneut aufgegriffen werden sollten, oder woran der Schulunterricht aufbauend auf dem Besuch des Schülerlabors vielleicht noch anknüpfen kann.

5.13 Die einzelnen Stationen

Im Folgenden wird eine gesonderte Betrachtung der Ausgestaltung der verschiedenen Stationen vorgenommen. Dabei werden grundlegende methodische Überlegungen näher ausgeführt, Entwicklungsprozesse dargestellt und alternative Umsetzungsmöglichkeiten aufgezeigt. Die entsprechenden Arbeitsblätter für das Arbeitsheft befinden sich im Anhang dieser Arbeit.

5.13.1 Station „Lotus und Salvinia“

Die Ausgestaltung des Stationsteils zum Lotus-Effekt orientiert sich am Unterrichtsmaterial, das vom Bodensee-Naturmuseum und der Universität Konstanz zur Verfügung gestellt wird (Bodensee-Naturmuseum und Universität Konstanz 2009). Für die Planung grundlegend war darüber hinaus das Unterrichtsmaterial, das von Seiten des TECHNOSEUMS (Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim) für Schulen bereitgestellt wird (Bappert et al. 2013, S. 22–23). Daran anknüpfend wurden neue Versuchsteile entwickelt und Arbeitsaufträge ergänzt.

Die Behandlung des Salvinia-Effekts im zweiten Teil der Station bietet die Möglichkeit, in hervorragender Weise an die Erkenntnisse, die im Zuge der Bearbeitung der Arbeitsaufträge zum Lotus-Effekt gewonnen werden konnten, anzuknüpfen. Gleichzeitig werden Inhalte vertiefend behandelt und Erkenntnisse können anlässlich des neu geschaffenen bionischen Kontexts erweitert werden.

Hinsichtlich des Aufbaus und der konkreten Ausgestaltung folgen die beiden Stationsteile dem gleichen Schema. Zunächst wird der jeweilige Effekt entdeckt, wobei zusätzlich die Zerstörung des aufgefundenen Effekts herbeigeführt wird, dann wird das grundlegende Funktionsprinzip entschlüsselt und zuletzt erfolgt der Transfer auf bautechnische Anwendungen. Dabei erfüllt der ähnliche

strukturelle Aufbau mitunter den Zweck, den Lernenden das Arbeiten an der Station zu erleichtern.

Die Station setzt sich aus einer Reihe von Freihandversuchen zusammen, denen ein überschaubarer und übersichtlicher Versuchsaufbau zu Grunde liegt. Die Durchführung der Versuche ist schnell und einfach möglich, sodass die Schülerinnen und Schüler keinerlei Probleme haben sollten, die Arbeitsanweisungen zu befolgen und die daran anknüpfenden Aufgaben im Arbeitsheft zu bearbeiten. Außerdem können die Freihandversuche Anreiz geben, sich über den Kontext Schule und Schülerlabor hinaus auch zu Hause mit den Inhalten der Station auseinanderzusetzen. Da die verwendeten Materialien und Gegenstände in fast jedem Haushalt zu finden sein sollten oder einfach und kostengünstig beschafft werden können, laden die Freihandversuche zur erneuten Durchführung ein. Die Lernenden können erforschen und entdecken, welche Pflanzen in der Wohnung, im Haus oder im Garten hydrophobe oder hydrophile Oberflächen aufweisen.

Darüber hinaus birgt die Station großes Potenzial, die Schülerinnen und Schüler ins Staunen zu versetzen, womit die affektiven Lernziele „Freude“, „Begeisterung“ und „Interesse“ in den Mittelpunkt rücken sollen (Hilger 2010, S. 69). Der Station liegt eine Vielfalt an Versuchen zu Grunde, die auf Phänomenen der Natur basieren und Überraschungseffekte hervorrufen.

So könnte ein kugelförmig abperlender Wassertropfen auf einem Pflanzenblatt, der gleichzeitig auch noch Mehl von der Oberfläche abträgt, zur Verblüffung der Lernenden führen.

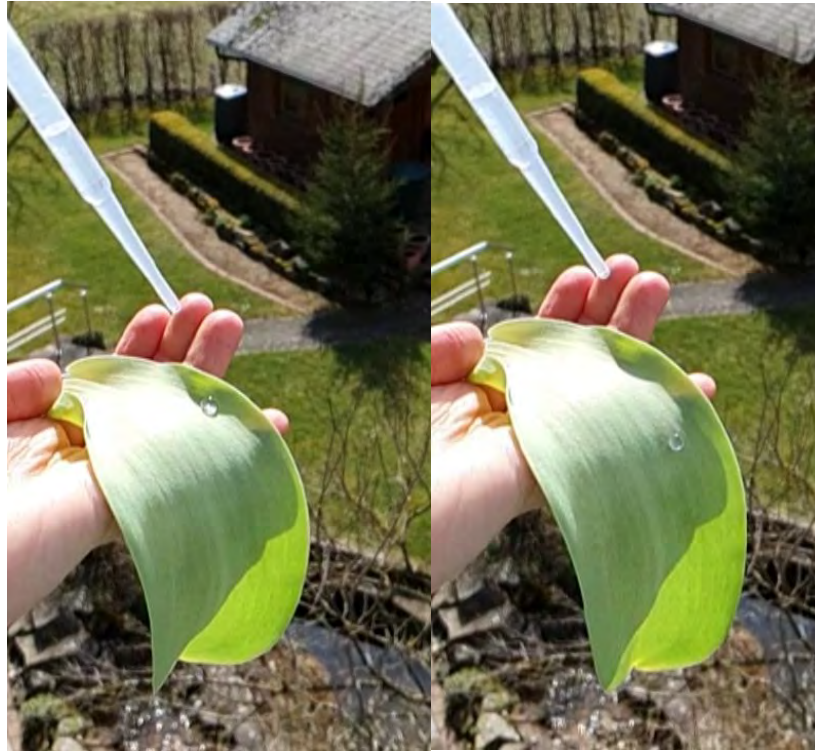


Abbildung 25: Wassertropfen, der von einem Tulpenblatt abperlt

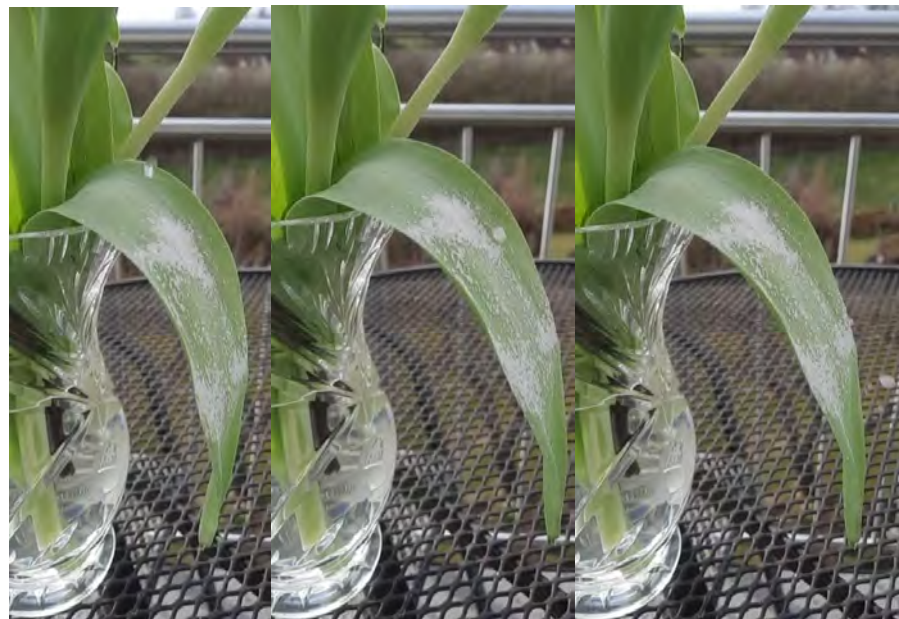


Abbildung 26: Abperlender Wassertropfen, der Mehl mit sich trägt

Darüber hinaus könnten sie darüber erstaunt sein, dass ihr Finger, den sie in ein mit Bärlappsporen übersätes Wasserglas tauchen, silbrig glänzt.



Abbildung 27: Mit Bärlappsporen ummantelter und silbrig glänzender Finger

Genauso könnte die Tatsache, dass ihr Finger spürbar trocken geblieben ist, nachdem sie ihn wieder aus dem Wasserglas gehoben haben, große Begeisterung hervorrufen.

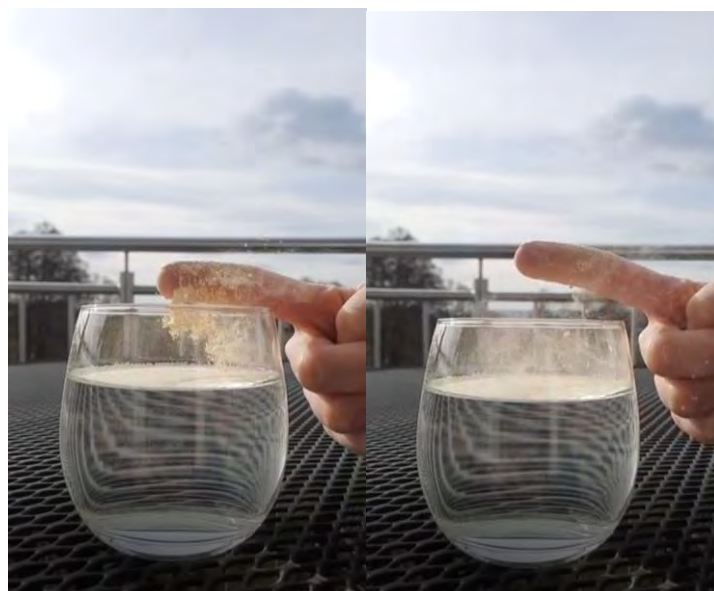


Abbildung 28: Nach Abklopfen der Bärlappsporen trocken gebliebener Finger

Alternativ lässt sich der Versuch auch mit Zimt durchführen. Diese Variante ist sogar kostengünstiger, birgt aber den Nachteil, dass die optische Komponente wegfällt. Das Vorhandensein der Luftschicht kann nicht am silbrigen Glanz erkannt werden, sondern beschränkt sich auf den Effekt, dass der Finger trocken

geblieben ist, nachdem er aus dem Wasser gehoben wurde. Insofern ist der Gebrauch der Bärlappsporen an den Anspruch des Schülerlabors geknüpft, den Lernenden möglichst umfangreiche Eindrücke zu vermitteln. Für eine erneute Versuchsdurchführung zu Hause kann der Rückgriff auf Zimt genügen.

In diesem Zusammenhang wird der Vielschichtigkeit der Station Ausdruck verliehen, da den Lernenden die Gelegenheit geboten wird, vielfältige Erfahrungen zu sammeln und Phänomene auf verschiedenen Wahrnehmungsebenen zu entdecken – sei es durch Sehen oder Erfühlen.

Es tritt deutlich hervor, dass die Entdeckung und genaue Beobachtung der Phänomene im Zuge der Stationsarbeit einen besonderen Stellenwert einnehmen. Daran knüpft auch der verstärkte Einsatz des Operators „Beschreibe“ im Arbeitsheft an. Erst anschließend wird zur Entschlüsselung der den Phänomenen zu Grunde liegenden Prinzipien übergeleitet, worauf aufbauend die technischen Umsetzungsmöglichkeiten erschlossen werden. Dabei zielt die Wahl der Operatoren darauf ab, die Schülerinnen und Schüler zur Transferbildung zu veranlassen und eigene Überlegungen in Bezug auf baubionische Anwendungen anzustellen. So erfolgt der Abstraktionsschritt vom biologischen Vorbild zur technischen Anwendung entweder auf Grundlage eigener Ideen (vgl. Arbeitsauftrag 2 zum Lotus-Effekt, Aufgabe 3) oder im Zuge einer Online-Recherche (vgl. Arbeitsauftrag 2 zum Salvinia-Effekt, Aufgabe 3).

Die eher geschlossene Arbeitsweise an der Station, die sich in den genauen Vorgaben und konkreten Anweisungen in Bezug auf das experimentelle Vorgehen äußert, wird durch die Einbettung der Versuche in die Arbeitsweise des Bottom-Up-Prozesses legitimiert. So ist die Station derart aufbereitet, dass den Schülerinnen und Schülern nicht nur biologische Vorbilder und darauf gründende bionische Anwendungen nähergebracht werden; darüber hinaus wurde die Abfolge der Arbeitsaufträge so gewählt, dass die Lernenden implizit auch selbst nach der bionischen Arbeitsweise des Bottom-Up-Prozesses geforscht haben.

Dies soll den Lernenden abschließend anhand der Bearbeitung des folgenden Lernbausteins bewusst gemacht werden.



Bildrang	Bezeichnung des Arbeitsschritts	Beschreibung der Arbeitsweise
	Entdecken	Meist durch Zufall entdeckt der Forscher ein interessantes biologisches Phänomen.
	Entschlüsseln	Das Funktionsprinzip wird entschlüsselt, vom biologischen Beispiel losgelöst und abstrahiert.
	Übertragen	Modelle werden entwickelt und getestet. Das Prinzip wird auf die Technik übertragen und es zeigt sich, ob Anwendungen realisierbar sind.
	Anwenden	Das funktionstüchtige Modell wird produziert und kommt auf den Markt. Über die Marktfähigkeit des Produkts entscheidet der Verbraucher.

Abbildung 29: Lernbaustein zur Verknüpfung des Bottom-Up-Prozesses mit dem eigenen Vorgehen

5.13.2 Station „Eisbär“

Der Einstieg in das Thema „Transparente Wärmedämmung“ erfolgt anhand des Einsatzes einer Wärmebildkamera und erfüllt den Zweck, den Lernenden zunächst die verschiedenen Temperaturverteilungen ihrer Umgebung bildlich aufzuzeigen. In diesem Zusammenhang kann das forschende Arbeiten mit dem technischen Gerät, auf das Schülerinnen und Schüler eher selten Zugriff haben, einen motivationssteigernden Effekt bewirken. Darüber hinaus bildet das Verständnis über die Funktionsweise der Kamera eine hervorragende Grundlage für die anschließenden Versuche. Eine Überleitung vom Stationsteil, der sich der Arbeit mit der Wärmebildkamera widmet, zum Stationshauptteil, der sich der Analyse der Funktionsweise des Eisbärenfells annimmt, gelingt anhand des Wärmebildes von Eisbär Knut aus dem Berliner Zoo (vgl. Arbeitsauftrag 1, Aufgabe 3). Damit wird zugleich ein Bezug zur Lebenswelt der Schülerinnen und

Schüler hergestellt. Im Zuge der Erklärung der unterschiedlichen Farben des Bildes wenden die Lernenden ihr neu gewonnenes Wissen an und kommen zur Erkenntnis, dass der Eisbär den Großteil der Wärme über Augen, Ohren, Nase und Maul abstrahlt, während am Rest des Körpers nahezu keine Wärme abgestrahlt wird. Anlässlich dieser Erkenntnis widmen sich die Versuche des Hauptteils der näheren Analyse der Haut und des Fells des Eisbären.

Der erste Teilversuch zielt darauf ab, die Lernenden auf Grundlage zweier Modelle (eine schwarze und eine weiße Filmdose) selbst herausfinden zu lassen, warum die Haut des Eisbären schwarz und nicht weiß ist. Der Versuchsaufbau gestaltet sich wie folgt:



Abbildung 30: Versuchsaufbau (Teilversuch 1) zur Bestrahlung der Modelle mit einer Wärmelampe

Während der Durchführung des Versuchs werden die Lernenden vor die Herausforderung gestellt, ihre Zusammenarbeit gut zu organisieren und arbeitsteilig vorzugehen. Die Messung des Temperaturanstiegs, die alle zehn Sekunden vorzunehmen ist, setzt ein kooperatives und strukturiertes Arbeiten voraus, da auf die Zeit geachtet werden muss, Temperaturmesswerte abgelesen und in der Tabelle notiert werden müssen.

Die Messung des jeweiligen Temperaturanstiegs der Luft im Doseninneren sollte zu folgendem Ergebnis führen:

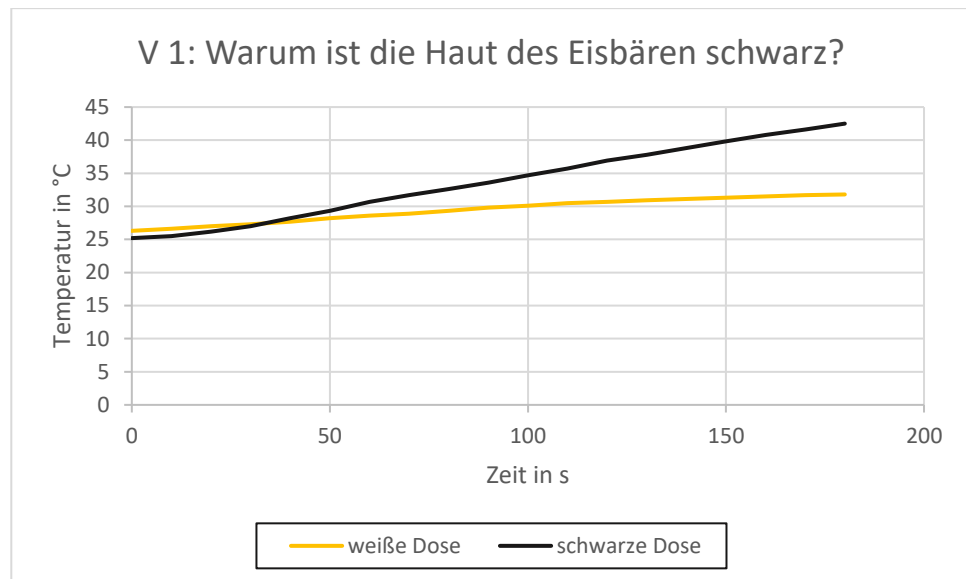


Abbildung 31: Ergebnisdarstellung (Teilversuch 1) „Warum ist die Haut des Eisbären schwarz?“

Erwartungsgemäß erreicht die Luft in der schwarzen Dose höhere Temperaturwerte als die Luft in der weißen Dose. Dieses Ergebnis sollte für die Schülerinnen und Schülern nicht überraschend sein, da es bekannte Inhalte aus dem Physikunterricht aufgreift. Womit allerdings Verwunderung ausgelöst werden soll, ist die Frage, die anknüpfend an die Ergebniszusammenfassung aufgeworfen wird. Diese lautet wie folgt:

Warum hat der Eisbär kein schwarzes Fell?

Der damit herbeigeführte kognitive Konflikt lässt das weitere Vorgehen dem problemorientierten Ansatz folgen und schafft einen kleinen Methodenwechsel.

Das Vorgehen während Teilversuch 2, das die Lernenden herausfinden lassen soll, warum das Eisbärenfell transparent und nicht schwarz ist, gestaltet sich analog zu Teilversuch 1. Der Versuchsaufbau wird beibehalten.



Abbildung 32: Versuchsaufbau (Teilversuch 2) zur Bestrahlung der Modelle mit einer Wärmelampe

Der einzige Unterschied besteht in den Modellen, die genutzt werden. Für die Entwicklung der Modelle wurde nach geeigneten Lösungen gesucht, die der Optik des Eisbärenfells möglichst nahekommen sollen. Die Schülerinnen und Schüler sollten leicht vom Modell auf den Eisbären schließen können. Webpelze kämen dem Eisbärenfell vermutlich am nächsten, allerdings konnte der Literatur entnommen werden, dass anhand des Materials keine reproduzierbaren Ergebnisse erzielt werden können (Colicchia et al. 2005, S. 2). Alternativ wurden die Filmdosen zunächst mit großporiger Luftpolsterfolie umkleidet, um den Aspekt des Lufteinschlusses in deutlicher Weise hervorzuheben. Leider konnte der gewünschte Effekt anhand der Modelle nicht gezeigt werden – zumindest nicht in dem Maß, dass sichergestellt werden kann, dass die Ergebnisse im Rahmen des Schülerlabors problemlos reproduziert werden können. Daher wurden die Modelle erneut abgewandelt, indem die schwarzen Filmdosen mehrfach mit einer dünnen Folie, die sehr kleine Lufteinschlüsse hat, umwickelt wurde. Zwar wird der Lufteinschluss nun weniger stark betont, jedoch kommt die dünne Folie mit den kleinen Lufteinschlüssen dem Eisbärenfell vielleicht sogar etwas näher.



Abbildung 33: Links: die Modelle mit großporiger Luftpolsterfolie, rechts: die Modelle mit mehrlagiger Folie und kleinen Lufteinschlüssen

Die Temperaturmessung anhand der neuen Modelle führt zu folgendem Ergebnis:

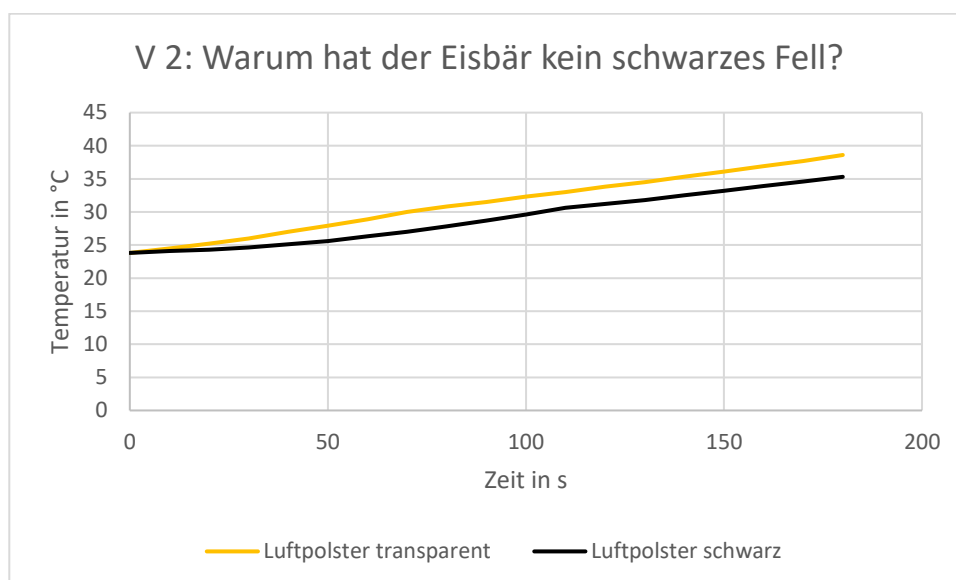


Abbildung 34: Ergebnisdarstellung (Teilversuch 2) „Warum hat der Eisbär kein schwarzes Fell?“

In ähnlicher Weise werden auch die Lernenden zur Protokollierung ihrer Ergebnisse aufgerufen. Dabei erfüllt das Überführen der tabellarischen Messwertdarstellung in eine grafische Darstellung im Koordinatensystem den Zweck, die Temperaturunterschiede für die Lernenden deutlicher erkennbar zu machen.

Anknüpfend an das Ergebnis und die schematische Darstellung des Sachverhalts, die der Sicherung und Zusammenfassung der neu gewonnenen Erkenntnisse dient, erfolgt die Überleitung zu den bionischen Anwendungen, die auf dem Prinzip des Eisbärenfells basieren. Um die Schülerinnen und Schüler den Schritt der Abstraktion selbst vollziehen zu lassen, werden sie zunächst gebeten, eigene Ideen bezüglich bautechnischer Anwendungen zu sammeln. Erst auf der

Folgende Seite wird die transparente Wärmedämmung am Beispiel des Muster-Eisbärhauses in Denkendorf vertiefend behandelt. Der Kreis wird geschlossen und gleichzeitig wird die Weite des Anwendungsbereichs transparenter Wärmedämmungssysteme aufgezeigt, die großes Potenzial für zukünftige Entwicklungen bergen.

5.13.3 Station „Baumstamm und Astgabel“

Die Ausgestaltung der Arbeitsaufträge 1 und 2 der Station „Baumstamm und Astgabel“ orientiert sich am Arbeitsmaterial von Thea Lautenschläger, das im Zuge ihrer Dissertation „Bionik – Experimentierset für den Schulunterricht im Kontext fächerverbindenden Lernens“ entwickelt wurde (Lautenschläger 2011). Aus der Fülle des Arbeitsmaterials wurden geeignete Teilversuche ausgewählt und dahingehend abgewandelt, dass eine Versuchsdurchführung im Rahmen des Schülerlabors möglich wird.

Die Schablonen für die Modelle, die im Zuge des Belastungstests genutzt werden (vgl. Arbeitsauftrag 1), wurden eigenständig mit der Geometrie-Software GeoGebra entwickelt.

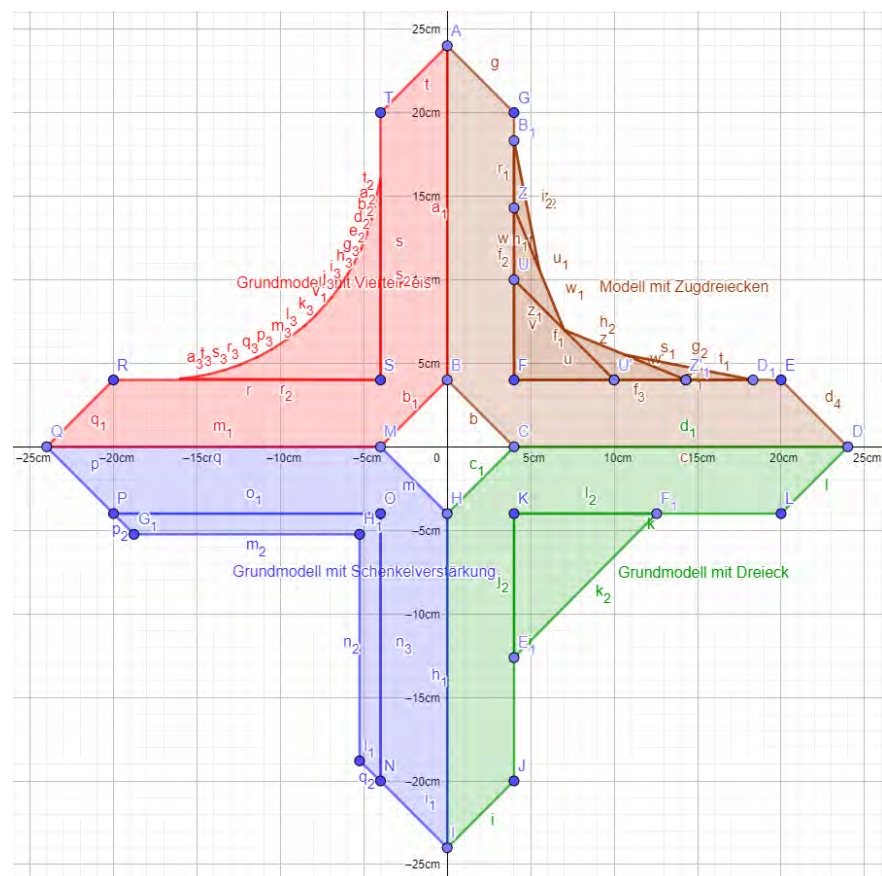


Abbildung 35: Schablone mit Maßen für die Styropormodelle

Anschließend wurden die Modelle unter Einsatz des Styroporschneiders aus 3,3 cm dicken Styroporplatten gefertigt.



Abbildung 36: Styropormodelle

Der ursprüngliche Plan, die Modelle aus Styrodur zu fertigen, wurde verworfen, da Belastungstests gezeigt haben, dass der Dammstoff deutlich höhere Lasten tragen kann als zuvor angenommen. Mit dem alternativen Rückgriff auf das weniger stabile Styropor konnte das Brechen der Modelle an den gewünschten Stellen mit weniger schweren Massestücken herbeigeführt werden.

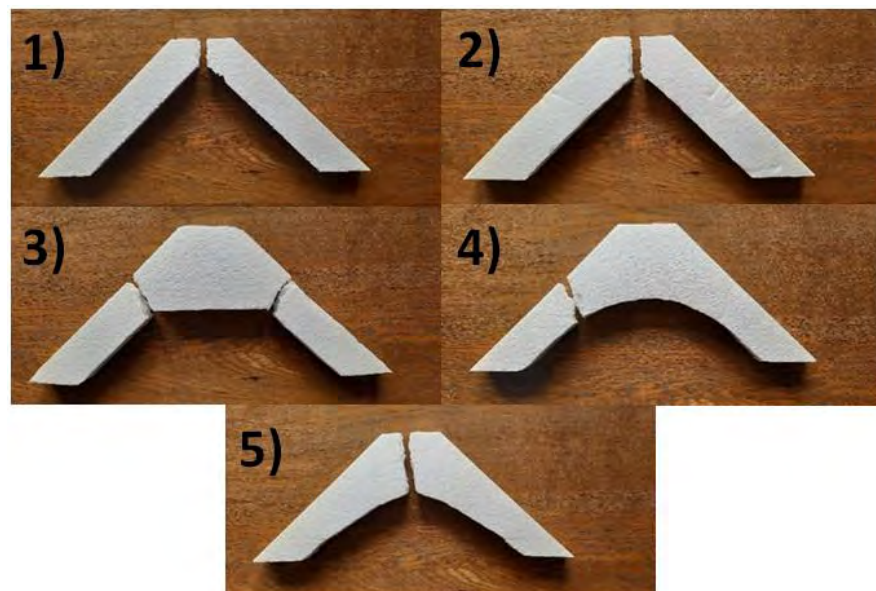


Abbildung 37: Gebrochene Modelle; sortiert nach der Tragfähigkeit in aufsteigender Reihenfolge

Auch in Anbetracht der Vermeidung von Gefahrensituationen erscheint Styropor als das geeignetere Material für die Versuchsdurchführung im Schülerlabor,

da die Verletzungsgefahr beim Zusammenbrechen der Modelle bei Belastung mit leichteren Massестücken als gering einzustufen ist.

Darüber hinaus wurde bewusst darauf verzichtet, die Lernenden die Styropormodelle selbst anfertigen zu lassen. Zwar haben auch zeitliche Gründe Einfluss auf diese Entscheidung genommen, ausschlaggebend war jedoch der Umstand, dass das Zurechtschneiden der Styroporplatten mit dem Heißdraht etwas Übung bedarf. Schon geringfügige Ungenauigkeiten beim Zurechtschneiden können dazu führen, dass der Versuch nicht mehr die Ergebnisse zeigt, die er zeigen soll. Besonders bedeutsam wird das genaue Bearbeiten bei der Fertigung des Modells mit Zugdreiecken und des Modells mit Viertelkreis, da die Tragfähigkeiten der Modelle nicht weit auseinander liegen. Dies gestaltet sich weniger leicht, da auch Kurven geschnitten werden müssen. Nichtsdestotrotz wäre es denkbar, die Schülerinnen und Schüler eines der Kerbstrukturmodelle exemplarisch anfertigen zu lassen. So könnte man dem Versuch eine Schablone beilegen und den Lernenden die Möglichkeit geben, mit dem Heißschneidegerät zu hantieren und ein Modell selbst auszuschneiden. In diesem Zusammenhang würde sich die Fertigung des Grundmodells besonders anbieten, da lediglich gerade geschnitten werden muss. Hinzu kommt, dass das Modell die geringste Tragfähigkeit besitzt, weswegen es auch nicht schlimm wäre, wenn etwas ungenau gearbeitet wird und zu viel Material weggeschnitten wird. Allgemein ist davon auszugehen, dass das handwerkliche Arbeiten mit Spaß verbunden ist und sich positiv auf die Motivation der Lernenden auswirkt. Ebenso dürfte die Motivation größer sein, einen Belastungstest durchzuführen, dem ein selbst produziertes Modell zu Teil wird.

Auch die Schablonen für die Miniaturmodelle aus Plexiglas, die im Zuge von Arbeitsauftrag 3 in das Polariskop eingespannt werden, wurden anhand von GeoGebra erstellt. Anschließend wurden die Modelle am Institut gefertigt. Die Schablonen mit den entsprechenden Maßen können dem Anhang entnommen werden.

Bevor die Schülerinnen und Schüler mit der Durchführung des Bruchversuchs beginnen, werden sie zuerst beauftragt, einen Lernbaustein zu bearbeiten. Die Bearbeitung der Aufgabe dient der Aktivierung ihres Vorwissens und schafft die theoretischen Grundlagen für das weitere Vorgehen. In diesem Zusammenhang steuern die Schülerinnen und Schüler ihren Lernprozess eigenständig und

entscheiden selbst, wann sie zur Versuchsdurchführung, die bewusst erst auf der Folgeseite beschrieben wird, übergehen. Falls der Lernbaustein nicht erfolgreich bearbeitet werden konnte und Inhalte noch unklar sind oder Interesse besteht, Inhalte zu vertiefen, können Zusatzinformationen zur Zug- und Druckspannung, Schubspannung, Kerbspannung und zum Biegemoment per Scan des jeweiligen QR Codes abgerufen werden. Der den Lernenden freigestellte Abruf der Erklärungen kann gleichzeitig als Mittel zur Differenzierung angesehen werden. Folgende Abbildung zeigt ein Beispiel einer solchen Lernkarte:



Abbildung 38: Lernkarte zur Zug- und Druckspannung

Alle weiteren Lernkarten wurden dem Angang dieser Arbeit beigelegt.

Es wird angenommen, dass die Durchführung eines Bruchversuchs bei den Schülerinnen und Schülern grundsätzlich auf Begeisterung stößt. Anknüpfend an die Bearbeitung des Lernbausteins werden die Lernenden zur Hypothesenbildung angeregt und gebeten, die Sollbruchstellen auf den Modellen zu markieren und eine Reihenfolge festzulegen, in der die Modelle ihren Erwartungen nach brechen werden. Im Zuge des anschließenden Belastungstests erfolgt das Prüfen ihrer Hypothesen. Im Rahmen der Tabelle können Hypothese und Ergebnis gegenübergestellt und Beobachtungen notiert werden. Die Belastung der Modelle, die auch anhand von Milchkartons, Kaffeepackungen oder anderen Haushaltsgegenständen möglich ist, soll die Schülerinnen und Schüler zu folgendem Ergebnis führen.



Abbildung 39: Belastung des Grundmodells anhand von Milchkartons und Kaffeepackungen (Bruch nach etwa 4 kg Belastung)



Abbildung 40: Belastung des Modells mit Zugdreiecken anhand von Milchkartons (Bruch nach etwa 21 kg Belastung)

Anhand der Bildfolgen, die den Belastungstest zwei exemplarisch ausgewählter Modelle darstellen, werden die unterschiedlichen Tragfähigkeiten ersichtlich. Während das Grundmodell nur eine Traglast von etwa vier Kilogramm hält, geht das Modell mit Zugdreiecken erst bei einer mehr als fünffachen Belastung zu Bruch. Die Bilder führen auch vor Augen, dass das Auftürmen der Kartons ein gewisses Maß an Geschick und Fingerspitzengefühl erfordert und eine gute Kooperation innerhalb der Gruppe voraussetzt. Insofern kann auch dem Anspruch des Erwerbs sozialer Kompetenzen Rechnung getragen werden.

Anhand des Versuchsausgangs gelingt darauffolgend die Überleitung zum Methodenwerkzeug der Zugdreiecke, das von C. Mattheck auf Grundlage der

Beobachtung des Stamms und der Astgabeln eines Baums entwickelt wurde. Im Zuge des Belastungsversuchs haben die Schülerinnen und Schüler bereits feststellen können, dass das Modell mit Zugdreiecken die höchste Stabilität aufweist, allerdings waren sie bis dato noch nicht im Bilde über die Hintergründe des Modells. Dem soll sich im Folgenden angenommen werden, indem den Schülerinnen und Schülern das biologische Vorbild aufgezeigt wird und sie darüber hinaus veranlasst werden, ein tiefergehendes Verständnis über die Kerbstruktur im Baum zu entwickeln. Dazu erhalten die Lernenden den Auftrag, sich dem Werkzeug der Zugdreiecke zu bedienen, um die Kerbe zwischen Boden und Baumstamm in der Abbildung geometrisch zu überbrücken. Dahingehend ermöglicht die Anfertigung der Zeichnung den besseren Nachvollzug der grafischen Zugdreiecke-Methode.

Arbeitsauftrag 3 zielt darauf ab, die in den Modellen wirkenden Spannungen für die Schülerinnen und Schüler sichtbar zu machen. Dabei soll es weniger darum gehen, ein genaues Verständnis der komplexen Inhalte der Spannungsoptik herzustellen; vielmehr dient der Einsatz des Polariskops dem Zweck, den Schülerinnen und Schülern in verblüffender Weise vor Augen zu führen, wie sich der ausgeübte Druck auf Bauteil auswirkt. Insofern dient der Versuch primär der Untermauerung der Erkenntnisse aus den vorangestellten Arbeitsaufträgen, was die starke didaktische Reduktion der spannungsoptischen Inhalte rechtfertigt. Während im Belastungstest lediglich an der Verformung und am Bruch der Styropormodelle sichtbar werden konnte, dass Spannungen wirken, erweitert das Polariskop die Beobachtung um eine weitere visuelle Komponente, indem es anhand des Geräts möglich wird, in das Modell „hineinzuschauen“.

Um den Lernenden eine konkrete technische Anwendung aufzuzeigen, erhalten sie abschließend einen kurzen Informationstext zur bionisch optimierten Schraube, die für Strohballenbauten entwickelt wurde.

5.13.4 Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“

Grundlegend wird das Arbeiten an der Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“ teiloffen gestaltet. Die Selbstständigkeit und Eigenorganisation des Arbeits- und Lernprozesses sollen im Vordergrund stehen.

Darüber hinaus ist die Station verglichen mit den anderen Stationen inhaltlich weniger anspruchsvoll, womit bewusst Raum für kleine „Gedankenpausen“

geschaffen werden soll. Es soll vermieden werden, dass sich die Lernenden von einer Informationsfülle überflutet fühlen und dadurch überfordert werden. Stattdessen bietet das handlungsorientierte Arbeiten an der Station die Möglichkeit, die eigenen Gedanken zu sammeln und zu ordnen sowie die im Laufe des Tages gewonnenen Erkenntnisse zu reflektieren. Die Lernenden werden weniger stark kognitiv gefordert, sondern anlässlich des Bastelns und Bauens zum Handeln animiert. Die Freude und der Spaß bilden das zentrale Anliegen.

Der Einstieg erfolgt anhand des Baus einer Leonardo-Brücke und soll vorrangig motivierend wirken.



Abbildung 41: Links: Leonardo-Brücke, rechts: Leonardo-Brücke, die eine Wassertonne hält

Der Nachbau der Bogenkonstruktion soll Verblüffung hervorrufen und die Lernenden darüber ins Staunen versetzen, dass die Konstruktion derart stabil ist, dass sie sogar ihr eigenes Gewicht hält. Die konkrete Formulierung des Arbeitsauftrages folgt dem problemorientierten Ansatz. Indem die Lernenden vor die Herausforderung gestellt werden, eine Leonardo-Brücke zu bauen, um über den „Fluss“ zur Papierbrückenbau-Station zu gelangen, wird die Möglichkeit geschaffen, ein erstes Erfolgserlebnis zu erzielen. Neben der Bauanleitung im Arbeitsheft kann außerdem der Abruf des Videos Hilfestellung bieten, indem es den Lernenden besondere, den Aufbau erleichternde „Kniffe“ vor Augen führt. Diese werden insbesondere ab Schritt drei relevant, da das Verkeilen der Stäbe ab diesem Punkt etwas schwieriger wird (vgl. Arbeitsauftrag 1). Zusätzlich initiiert es den Bewusstwerdungsprozess darüber, dass die Bewältigung der Aufgabe nur in kooperativer Zusammenarbeit möglich ist.

Für den Bau der Brücke werden sowohl Holzleisten als auch Holzstäbe genutzt. Alternativ hätte man sich auch auf den Einsatz von Holzleisten beschränken können, jedoch erfüllt der Gebrauch von Leisten und Stäben verständnis- und umsetzungserleichternde Zwecke. So werden die Stäbe für Querverstrebungen und die Leisten für Längsverstrebungen genutzt. Darüber hinaus ist die Nachjustierung der Konstruktion mit weniger Krafteinsatz möglich, da die Stäbe leicht hineingedreht werden können, um Leisten und Stäbe besser zu verkeilen. Dies ist von großer Bedeutung, um eine hohe Stabilität der Brücke erreichen zu können. Nur so kann auch garantiert werden, dass die Schülerinnen und Schüler beim Betreten der Brücke keiner Gefahr ausgesetzt werden. An die Berücksichtigung der Sicherheitsaspekte knüpft auch die Beschränkung auf zehn Leisten und fünf Holzstäbe an. Im Sinne der Minimierung des Verletzungsrisikos soll vermieden werden, dass die Brücke zu hoch wird.

Anknüpfend an die Überquerung der Leonardo-Brücke erfolgt die Überleitung zu Arbeitsauftrag 2, der sich dem Papierbrückenbau widmet und hervorheben soll, dass Konstruktionen gleichzeitig stabil und leicht sein können. Um einen kleinen Ansporn zu schaffen, wird der Papierbrückenbau als Wettbewerb zwischen den Gruppen ausgestaltet, wobei die Ergebnispräsentation und Siegerehrung am Ende des Schülerlabortages stattfinden soll. Dies erfüllt den Zweck, dass die Endergebnisse angemessen gewürdigt werden und eine gewisse Spannung bis zum Ende des Tages aufrechterhalten bleibt.

Kennzeichen der Gruppenarbeit ist die Produkt- und Handlungsorientierung, die sich in der hohen Selbsttätigkeit und in der ausgeprägten Eigenaktivität in Bezug auf die Steuerung des eigenen Arbeitsprozesses äußert, die wiederum der Hervorbringung eines finalen Endprodukts dient. Die Schülerinnen und Schüler haben die Gelegenheit, ihre handwerklichen Fähigkeiten unter Beweis zu stellen. Hinzu kommt, dass der Arbeitsauftrag derart ausgestaltet ist, dass die Arbeitsweise des Top-Down-Prozesses nachempfunden werden soll, womit dem problemorientierten und lösungssuchenden Ansatz auch im Weiteren noch Folge geleistet wird. Anhand einer Bildfolge wird den Schülerinnen und Schülern ein Beispiel für eine minimalistische Papierbrücke aufgezeigt, die nicht einmal in der Lage ist, das Gewicht eines Tischtennisballs zu halten. Daran anknüpfend werden die Lernenden veranlasst, die Papierbrücke zu verbessern, indem sie

nach geeigneten Lösungen für das technische Problem suchen und sich der Herausforderung stellen, eine Brücke zu entwerfen, die eine möglichst hohe Last trägt und dennoch leicht ist. Auf Lösungssuche begeben sich die Lernenden, indem sie sich die verschiedenen Materialien und Gegenstände, die auf dem Sammelstisch drapiert wurden (z.B. Bambus, Schilfstrauß, Palmblätter, Honigglas mit Wabenstück, etc.), genau anschauen. Sie dienen der Inspiration, sollen Gedankenprozesse in Gang setzen und Ideen in Bezug auf Lösungsmöglichkeiten hervorgerufen. Darüber hinaus können die Hilfekarten, die wahlweise über die QR Codes geöffnet werden können, die Ideenfindung unterstützen. Sie stellen zugleich auch ein geeignetes Mittel zur Differenzierung dar, da den Lernenden selbst überlassen wird, ob und inwiefern sie zusätzliche Hilfestellungen in Anspruch nehmen möchten. Folgende Abbildung zeigt ein Beispiel einer solchen Hilfekarte.

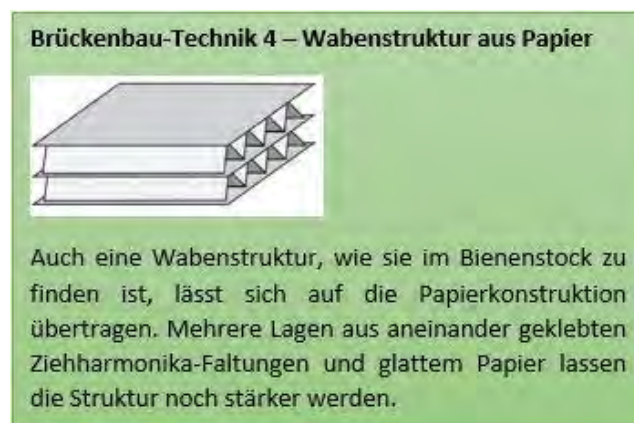


Abbildung 42: Hilfekarte, Brückenbau-Technik 4 – Wabenstruktur aus Papier

Alle weiteren Hilfekarten wurden dem Anfang dieser Arbeit beigelegt.

Produkte der Lernenden könnten wie folgt aussehen:



Abbildung 43: Belastung von Papierbrücken mit Tischtennisschlägern

Arbeitsauftrag 3 zur „Miura-Faltung“ dient als didaktische Reserve, falls die Schülerinnen und Schüler sehr schnell mit dem Bau ihrer Papierbrücken zum Ende gekommen sein sollten. Da die Schülerinnen und Schüler das Arbeitsheft mit nach Hause nehmen können, besteht darüber hinaus die Möglichkeit, den Stationsteil zur Miura-Faltung in den eigenen vier Wänden zu bearbeiten – vorausgesetzt die Station hat das Interesse geweckt, sich tiefergehend mit der Bau-bionik auseinanderzusetzen. So wird zum Nachfalten lediglich ein Blatt Papier benötigt. Der Einstieg erfolgt anhand eines Videos, das das Aufblühen von Mohnknospen und das langsame Entfalten ihrer Blätter zeigt. Anhand des Nachfaltens der Miura-Faltung sollen die Schülerinnen und Schüler zur Erkenntnis kommen, dass Falten nicht nur stabilisierend wirken, sondern auch helfen, Platz zu sparen. Abrundend wird der Bezug zu bionischen Entwicklungen hergestellt, die die Falttechnik anwenden.

6. Fazit & Ausblick

Im Zentrum dieser Arbeit stand die Entwicklung eines Schülerlabors zur Baubionik. Anknüpfend an das Ziel, die Schülerinnen und Schüler für Naturwissenschaften und Technik zu begeistern, wurde ein Schülerlabor entwickelt, das den Lernenden die Möglichkeit bieten soll, sich experimentell mit der Baubionik auseinanderzusetzen. Angesichts der Fülle an (bau)bionischen Themen, die das Schülerlabor aufgreift, um den Schülerinnen und Schülern die Breite des Spektrums der Baubionik aufzuzeigen, ist die Durchführung des Schülerlabors auf einen ganzen Tag ausgelegt. Den Lernenden werden vielfältige Eindrücke und Erkenntnisgewinne ermöglicht und gleichzeitig kann an die unterschiedlichen Interessen der Schülerinnen und Schüler angeknüpft werden. Basierend auf der Betrachtung der Bionik als Kreativitätstraining und Analogieforschung sollen die Schülerinnen und Schüler im Zuge des Schülerlabortags zum forschend-entdeckenden Lernen veranlasst werden. Daran schließt auch die methodisch abwechslungsreiche Ausgestaltung der Stationen an. Diese erfüllt jedoch nicht nur den Zweck, die verschiedenen Vorlieben der Lernenden anzusprechen, sondern initiiert ebenso die gedankliche Verknüpfung der Theorie zu bionischen Arbeitsweisen, die den Lernenden anhand des einführenden Erklärvideos nähergebracht werden, mit dem eigenen Arbeitsprozess während der Stationsarbeit. Vertiefende Bewusstwerdungsprozesse können herbeigeführt werden und Erkenntniszuwächse in Bezug auf bionische Arbeitsweisen, den interdisziplinären Charakter der Bionik sowie Kriterien, die erfüllt sein müssen, damit ein bionisches Produkt auch als Solches benannt werden darf, generiert werden. Mit Hilfe der verschiedenen Stationen des Schülerlabors, die jeweils unterschiedliche baubionische Themenkomplexe abdecken, sollen die Lernenden Phänomene entdecken, die ihnen zu Grunde liegenden physikalischen Inhalte verstehen, und zum Transfer auf baubionische Anwendungen befähigt werden. Um dabei der Heterogenität in Schulklassen Rechnung tragen zu können, soll das Schülerlabor Raum geben, Lernprozesse selbst zu steuern. So können die Lernenden beispielsweise selbst entscheiden, ob sie das Angebot, auf Hilfe- oder Lernkarten zurückzugreifen, in Anspruch nehmen. Daran knüpft auch der verstärkte Einsatz der Sozialform der Gruppenarbeit an, bei dem die Schülerinnen und Schüler voneinander profitieren und gemeinsam zum Ziel kommen. Im Einsatz der *LearningApps* wird nicht nur Potenzial gesehen, das eigene Wissen zu prüfen und eine

Steigerung der Motivation während des Schülerlabortages herbeiführen zu können; ebenso fassen die Aufgaben die wesentlichen Grundlagen zusammen und sind daher geeignet, Inhalte zu Hause oder in der Schule erneut abzurufen und „aufzufrischen“.

Im schulischen Kontext kann es sich aufbauend auf das Schülerlabor anbieten, einen kritischen Blick auf die Bionik zu werfen. Es könnte der grundlegenden Frage nachgegangen werden, wo Potenziale, aber auch Grenzen der (Bau)bionik für eine nachhaltige Entwicklung liegen. So wird bionischen Produkten zwar immer nachgesagt, über besondere Qualitäten wie Umweltverträglichkeit, Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit zu verfügen, jedoch wäre es falsch, bionische Produkte unreflektiert mit Nachhaltigkeit gleichzusetzen (Knippers et al. 2017, S. 138). Zwar bietet die Bionik eine Vielzahl an Ansätzen für eine Entwicklung der Technik zu mehr Nachhaltigkeit, jedoch sind Einzelfallbetrachtungen notwendig, um entscheiden zu können, ob bionische Lösungen auch wirklich nachhaltig sind. Während etwa die bionische – vom inneren Aufbau eines Knochens inspirierte – Leichtbaudecke des ehemaligen Zoologie-Hörsaals der Universität Freiburg trotz einer vergleichbar guten Ökobilanz und guter Ergebnisse bezüglich sozialer Aspekte vermutlich ein Unikat bleiben wird, da sie gegenüber einer Spannbetondecke deutlich kostenintensiver ist, ist die Fassadenfarbe „Lotusan“ einer konventionellen Farbe beispielsweise vorzuziehen, da sie laut Nachhaltigkeitsbewertungen zugleich ressourcenschonender und kosteneffektiver ist (Knippers et al. 2017, S. 145).

Anknüpfend an den Schülerlabortag könnten den Lernenden beispielsweise Modelle zur Nachhaltigkeit nähergebracht werden, auf deren Grundlage geprüft werden soll, ob und inwiefern konkrete bionische Produkte den Zusatz „nachhaltig“ tragen dürfen. Den Ausgangspunkt könnte dabei die Analyse der Fassadenfarbe „Lotusan“ bilden, womit in direkter Weise Inhalte des Schülerlabors erneut aufgegriffen und vertiefend behandelt werden können.

Literaturverzeichnis

- 3N Kompetenzzentrum (Hg.) (2021): Bionik. Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe und Bauökonomie e.V. Online verfügbar unter <https://www.3-n.info/themenfelder/biooekonomie/bionik.html>.
- Bappert, Reiner; Kayers, Antje; Neuhaus, Anke; Schnellhammer, Irene (2013): Bionik. Unterrichtsmaterialien für Schulen. Hg. v. TECHNOSEUM Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim. Mannheim. Online verfügbar unter https://www.technoseum.de/fileadmin/media/pdf/mupaed-material/Lehrerheft_Bionik.pdf.
- Barthlott, Wilhelm (2019): Der Schwimmpflanz Salvinia molesta kleidet sich unter Wasser in eine dünne Luftschicht, die er wochenlang festhalten kann. Online verfügbar unter <https://biooekonomie.de/nachrichten/neues-aus-der-biooekonomie/wenn-oeltanker-wie-schwimmpflanzen-gleiten>.
- Berck, Karl-Heinz (1999): Biologiedidaktik. Grundlagen und Methoden. Wiesbaden: Quelle & Meyer (UTB für Wissenschaft Große Reihe Biologiedidaktik, 8175).
- BIOKON - Forschungsgemeinschaft Bionik-Kompetenznetz e.V. (Hg.) (2014): Die Bauweise der Zukunft: Textile Solarthermie im Eisbärhaus. Online verfügbar unter <https://www.biokon.de/die-bauweise-der-zukunft-textile-solarthermie-im-eisbaerhaus/>.
- BIOKON Bionik Kompetenz Netz: Faszination Bionik. Online verfügbar unter <https://www.biokon.de/bionik/was-ist-bionik/>.
- BIONIK-SIGMA Education (2021): Wissen macht Spaß - Bildungsangebote rund um die Bionik. Vertiefende Informationen zu Bionik. Online verfügbar unter <http://education.bionik-sigma.de/startseite/was-ist-bionik/vertiefende-informationen-zur-bionik/>, zuletzt geprüft am 23.04.2021.
- Blümel, Marianne (2009): Die Leonardo-Brücke. Online verfügbar unter https://www.mathematik.de/images/Blog/Dokumente/Mathe_im_Leben/LeonardobrueckeUniGraz2009.pdf.
- Bodensee-Naturmuseum und Universität Konstanz (2009): Selbstreinigende Oberflächen - Der Lotus-Effekt. Unterrichtsmaterial Lotus-Effekt: Lösungen. Online verfügbar unter <https://docplayer.org/23885371-Selbstreinigende-oberflaechen-der-lotus-effekt.html>.
- Bürger, Wolfgang (1994): Leonardos Brücke. Hg. v. NZZ Folio. Online verfügbar unter <https://folio.nzz.ch/1994/oktober/leonardos-bruecke>.
- Colicchia, G.; Wiesner, H.; Hopf, M.; Mauch, C. (2005): Könnte der Eisbär mit einem schwarzen Pelz die Wärmestrahlung der Sonne besser nutzen? Online verfügbar unter https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialien/phy_med_waerme/eisbaeren_niu_2005.pdf.
- energie-experten.org (Hg.) (2016): Transparente und transluzente Wärmedämmung. Greenhouse Media GmbH. Online verfügbar unter <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/aussendaemmung/transparen-te-waermedaemmung>, zuletzt aktualisiert am 03.04.2016.

- Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V. (Hg.) (2000): Transparente Wärmedämmung. Eigenschaften und Funktionen. Informationsmappe 2. Online verfügbar unter <https://docplayer.org/15109912-Transparente-waermedaemmung-eigenschaften-und-funktionen.html>.
- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA (2021): Leichtbau. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. Online verfügbar unter https://www.ipa.fraunhofer.de/de/ueber_uns/Leitthemen/leichtbau.html.
- Göth, Christoph; Froberg, Dirk; Schwabe, Gerhard (2007): Vom passiven zum aktiven Mobile Learning. DOI: 10.5167/uzh-61311.
- GrAT - Gruppe Angepasste Technologie (Hg.) (2018): Treeplast-Strohschraube für wärmebrückenfreie Strohbauten. TU Wien. Online verfügbar unter https://www.grat.at/wp-content/uploads/2018/10/Treeplast-Infofolder_V2.pdf.
- Gropengießer, Harald; Harms, Ute; Kattmann, Ulrich (Hg.) (2018): Fachdidaktik Biologie. Die Biologiedidaktik. 11. Auflage. Seelze: Aulis Verlag. Online verfügbar unter <http://www.aulis.de/files/A302868-Literaturliste.pdf>.
- Hessisches Kultusministerium (2011a): Kerncurriculum Hessen. Sekundarstufe 1 - Gymnasium - Physik. Hg. v. Hessisches Kultusministerium. Wiesbaden. Online verfügbar unter https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/kerncurriculum_physik_gymnasium.pdf.
- Hessisches Kultusministerium (2011b): Lehrplan Physik - Gymnasialer Bildungsgang. Jahrgangsstufen 7 bis 13. Hg. v. Hessisches Kultusministerium. Online verfügbar unter <https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/g9-physik.pdf>.
- Hilger, S. (2010): Skript zur Vorlesung - Einführung in die Fachdidaktik Physik (HS). Online verfügbar unter <https://www.ku.de/fileadmin/150109/Hilger/DID.pdf>.
- Hill, Bernd; Hild, Sabine (2017): Bionik in der Schule. von biologischen Systemen zu technischen Lösungen. Köthen: druckhaus köthen.
- Institut für Didaktik der Physik (2021): Goethe-Schülerlabor Physik, finanziert durch die gemeinnützige STIFTUNG GIERSCHE. Hg. v. Goethe Universität Frankfurt am Main. Online verfügbar unter https://www.uni-frankfurt.de/49209600/Goethe_Sch%C3%BClerlabor_Physik, zuletzt geprüft am 23.04.2021.
- Interaktive Lernmodule mit "LearningApps". Generische Software-Werkzeuge für den Unterricht. Online verfügbar unter <https://www.smz-karlsruhe.de/unterricht-und-lernen/online-workshops/interaktive-lernmodule-mit-learningapps/>.
- Kaltschmitt, Martin (Hg.) (2013): Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 5., erw. Aufl. Berlin: Springer Vieweg. Online verfügbar unter <http://www.vlb.de/GetBlob.aspx?strDisposition=a&strIsbn=9783642032486>.
- Knippers, Jan; Schmid, Ulrich; Speck, Thomas (2017): Baubionik : Biologie beflügelt Architektur. Stuttgart (Band 82 (2017)).

- Krellner, Cornelius (2015): M3 Oberflächenspannung. Anleitungen für die Versuche des AP1. Hg. v. Physikalisches Institut. Goethe-Universität Frankfurt am Main. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter <https://www.uni-frankfurt.de/58497121/Anleitungen>.
- Laumann, Daniel; Hergemöller, Timo (2017): Von der Natur lernen. Experimente zur Untersuchung bionischer Phänomene mit dem Smartphone. In: *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*.
- Lautenschläger, Thea (2011): Bionik - Experimentierset für den Schulunterricht im Kontext fächerverbindenden Lernens. Hg. v. Technische Universität Dresden. Dresden. Online verfügbar unter <https://d-nb.info/106772916X/34>.
- LearningApps. interactive learning modules. Online verfügbar unter <https://learningapps.org/impressum.php>.
- Matini, Mohammad (2008): Biegsame Konstruktionen in der Architektur auf der Basis bionischer Prinzipien.
- Mattheck, Claus (2010): Denkwerkzeuge nach der Natur. 1., unveränd. Nachdr. Karlsruhe: Karlsruher Inst. für Technologie Campus Nord.
- Möller, Dieter (2020): Was ist die Leonardo-Brücke? Hg. v. P.M. Fragen & Antworten. Online verfügbar unter <https://www.pm-wissen.com/was-ist-die-leonardo-bruecke/>.
- Muckenfuß, Heinz (1995): Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts. Zugl.: Kurzfassung von: Weingarten, Pädag. Hochsch., Diss., 1995. 1. Aufl. Berlin: Cornelsen.
- Muth, Laura; Erb, Roger (2016): Einfluss der Auswertephase von Experimenten im Physikunterricht auf den Fachwissenszuwachs und die experimentelle Kompetenz von Schülerinnen und Schülern. Online verfügbar unter <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/viewFile/667/811>.
- Nachtigall, Werner (Hg.) (2003a): Bau-Bionik. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Nachtigall, Werner (2003b): Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Nachtigall, Werner; Pohl, Göran (Hg.) (2013): Bau-Bionik Natur Analogien Technik. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Nees-Institut für Biodiversität der Pflanzen (Hg.) (2016): Der Salvinia -Effekt. Luftschichten für Reibungsreduktion und Sensorik. Universität Bonn. Online verfügbar unter <http://lotus-effekt.de/joomla/images/wdub.pdf>.
- Österreichisches Portal für Nanotechnologie (Hg.) (2021): Der "Lotus-Effekt". Online verfügbar unter <https://nanoinformation.at/bereiche/grundlagen/lotus-effekt/>.
- physik.cosmos-indirekt.de: Spannungsoptik. Online verfügbar unter <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Spannungsoptik>.
- Podbregar, Nadja (2016): Wasserfarn als Ölreiniger. Hg. v. natur.de. Online verfügbar unter <https://www.wissenschaft.de/umwelt-natur/wasserfarn-als-oel-reiniger/>.

- Prenzel, Manfred (2002): Der PISA-Naturwissenschaftstest: Lassen sich die Aufgabenschwierigkeiten vorhersagen? The PISA Science Test: Can we Predict the Item Difficulties. Weinheim: Beltz Juventa.
- Rauhe, Michael (2010): Salvinia-Effekt. Gute Luft unter Wasser. Hg. v. LookKIT. Karlsruhe Institute of technology. Online verfügbar unter https://aph-ags.webarchiv.kit.edu/Texte/Salvinia_LookKIT.pdf.
- Rodesch, Joseph; Glesener, Liza (2014): Baue eine Leonardo-Brücke! Hg. v. science.lu. Online verfügbar unter <https://www.science.lu/de/historisches-experiment/baue-eine-leonardo-bruecke>.
- Rüter, Martina (2015): Bionik in der Schule. Online verfügbar unter <https://www.xn--martina-rter-llb.de/text-fachtexte-naturwissenschaften/bionik/bionik-in-der-schule/>.
- Schäfer, Stefan; Briegert, Björn; Menzel, Stefan (2005): Bionik im Bauwesen. In: Torsten Rossmann und Cameron Tropea (Hg.): Bionik. Aktuelle Forschungsergebnisse in Natur-, Ingenieur- und Geisteswissenschaft. Berlin: Springer, S. 123–143.
- Schultz, Brigitte (2011): Die Natur zu kopieren ist völlig sinnlos. Hg. v. Bauwelt. Online verfügbar unter https://www.bauwelt.de/dl/755383/bw_2011_31_0012-0017.pdf, zuletzt geprüft am 12.03.2021.
- Sjøberg, Svein; Schreiner, Camilla (2019): ROSE (The Relevance of Science Education). The development, key findings and impacts of an international low cost comparative project. Final Report, Part 1 (of 2).
- Speck, Olga; Speck, David; Horn, Rafael; Gantner, Johannes; Sedlbauer, Klaus Peter (2017): Biomimetic bio-inspired biomorph sustainable? An attempt to classify and clarify biology-derived technical developments. In: *Bioinspiration & Biomimetics* 12 (1), S. 11004. DOI: 10.1088/1748-3190/12/1/011004.
- Tiedemann Instruments: Spannungsoptik. Geräte zur Prüfung von Spannungen in Bauteilen. Online verfügbar unter <https://tiedemann-instruments.de/spannungsoptik/>.
- Wawers, Welf (2020): Bionik. Bionisches Konstruieren verstehen und anwenden. 1st ed. 2020. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Vieweg.
- Winkelmann, Jan; Erb, Roger (2018): Der Einfluss von Schüler- und Demonstrationsexperimenten auf den Lernzuwachs in Physik. Online verfügbar unter <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid/article/viewFile/812/961>.
- Wirth, Joachim (2008): Das Schülerexperiment im naturwissenschaftlichen Unterricht. Bedingungen der Lernförderlichkeit einer verbreiteten Lehrmethode aus instruktionspsychologischer Sicht. Weinheim: Beltz.
- Wunderlich, Meike; Schulte, Kerstin (2012): Inspiration Natur - Patentwerkstatt Bionik. Wanderausstellung. Hg. v. Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU. Osnabrück. Online verfügbar unter <https://www.dbu.de/phpTemplates/publikationen/pdf/281112114415c232.pdf>.

YES YOU CAN! GREEN UP YOUR FUTURE: Ein Nanopelz holt das Öl aus dem Wasser. Online verfügbar unter <https://green-up-your-future.de/01-2-salvinia-effekt/>.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bottom-Up-Prozess am Beispiel der selbstreinigenden Fassadenfarbe „Lotusan“. (1) Biologische Frage; (2) Biologisches Vorbild; (3) Funktionsprinzip; (4) Abstraktion; (5) Technische Umsetzung; (6) Produkt: selbstreinigende Fassadenfarbe „Lotusan“ (Speck et al. 2017, S. 7).....7

Abbildung 2: Top-Down-Prozess am Beispiel des Fassadenverschattungssystems „Flectofin“. (1) Technische Frage; (2) Biologisches Vorbild; (3) Wirkprinzip; (4) Abstraktion; (5) Technische Umsetzung; (6) Produkt: Fassadenverschattungssystem „Flectofin“ (Speck et al. 2017, S. 7).....7

Abbildung 3: Übersicht der Bionik-Teilgebiete nach Nachtigall 1992 und Fachgruppen der BIONIK 2019 (Wawers 2020, S. 23).....9

Abbildung 4: Übersicht der Richtlinien des VDI zur Bionik (Wawers 2020, S. 23).....9

Abbildung 5: Die Funktionsweise des Lotus-Effekts – Schmutzpartikel werden von der Oberfläche gewaschen (Wunderlich und Schulte 2012, S. 12).....12

Abbildung 6: Entstehung der Oberflächenspannung (Bappert et al. 2013, S. 51).....13

Abbildung 7: Schematische Darstellung unterschiedlicher Kontaktwinkel Θ zwischen Wassertropfen und Oberfläche; von a) nach d): vollständige Benetzung, hydrophile Oberfläche, hydrophobe Oberfläche, superhydrophobe Oberfläche; G: Gas, F: Flüssigkeit, S: Festkörper (Solid) (Wawers 2020, S. 102).....14

Abbildung 8: Zusammenhang zwischen Blattoberfläche, Kontaktwinkel und Benetzung mit Wasser; links: superhydrophobe Oberfläche, rechts: hydrophobe Oberfläche (Bappert et al. 2013, S. 17).....15

Abbildung 9: Schwimmpflanze „*Salvinia molesta*“ (Podbregar 2016).....16

Abbildung 10: Schneebesenförmige Haare des Schwimmpflanzens „*Salvinia molesta*“ (YES YOU CAN! GREEN UP YOUR FUTURE).....16

Abbildung 11: Links: unter Normalbedingungen liegt das Wasser auf den hydrophoben Haaren des Schwimmpflanzens auf, rechts: bei Unterdruck wird das Wasser von den hydrophilen Spitzen festgehalten und somit ein Ablösen von Luftblasen verhindert (Nees-Institut für Biodiversität der Pflanzen 2016, S. 1).....17

Abbildung 12: Schwimmblatt des Schwimmpflanzens „*Salvinia molesta*“ mit auf den Trichomen aufliegendem Wassertropfen (Barthlott 2019).....17

Abbildung 13: Silbriger Glanz auf den Deckflügeln des Rückenschwimmers, der das Vorhandensein einer Luftschicht zeigt (Nees-Institut für Biodiversität der Pflanzen 2016, S. 1).....	17
Abbildung 14: Energieströme eines bestrahlten Körpers (Kaltschmitt 2013, S. 140).....	20
Abbildung 15: Prinzip der transparenten Wärmedämmung (Bappert et al. 2013, S. 21).....	22
Abbildung 16: Kerbe, die der Baumstamm mit einem Wurzelanlauf überbrückt, der wie ein „Zugdreieck“ wirkt (Mattheck 2010, S. 56).....	24
Abbildung 17: Methode der Zugdreiecke am Beispiel einer Baumwurzel (Bappert et al. 2013, S. 50).....	25
Abbildung 18: Bionisch optimierte und für Strohballenbauten entwickelte Schraube bestehend aus einem Biokunststoff auf Basis von Lignin (GrAT - Gruppe Angepasste Technologie 2018, S. 1).....	26
Abbildung 19: Durchlicht-Polariskop (Tiedemann Instruments).....	26
Abbildung 20: Polariskop mit belastetem Plexiglasgrundmodell.....	27
Abbildung 21: Links: Krankhaken im linear polarisierten polychromatischen Licht; rechts: Krankhaken im zirkular polarisierten polychromatischen Licht (Tiedemann Instruments).....	28
Abbildung 22: Leonardo-Brücke mit sechs Hölzern (Blümel 2009, S. 3).....	29
Abbildung 23: Funktionsprinzip der Leonardo-Brücke (Rodesch und Glesener 2014).....	29
Abbildung 24: Falten, die eine Stabilisierung von Papierbrücken bewirken (Bappert et al. 2013, S. 62).....	30
Abbildung 25: Wassertropfen, der von einem Tulpenblatt abperlt.....	58
Abbildung 26: Abperlender Wassertropfen, der Mehl mit sich trägt.....	58
Abbildung 27: Mit Bärlappsporen ummantelter und silbrig glänzender Finger.....	59
Abbildung 28: Nach Abklopfen der Bärlappsporen trocken gebliebener Finger.....	59
Abbildung 29: Lernbaustein zur Verknüpfung des Bottom-Up-Prozesses mit dem eigenen Vorgehen.....	61
Abbildung 30: Versuchsaufbau (Teilversuch 1) zur Bestrahlung der Modelle mit einer Wärmelampe.....	62

Abbildung 31: Ergebnisdarstellung (Teilversuch 1) „Warum ist die Haut des Eisbären schwarz?“	63
Abbildung 32: Versuchsaufbau (Teilversuch 2) zur Bestrahlung der Modelle mit einer Wärmelampe.....	64
Abbildung 33: Links: die Modelle mit großporiger Luftpolsterfolie, rechts: die Modelle mit mehrlagiger Folie und kleinen Lufteinschlüssen.....	65
Abbildung 34: Ergebnisdarstellung (Teilversuch 2) „Warum hat der Eisbär kein schwarzes Fell?“.....	65
Abbildung 35: Schablone mit Maßen für die Styropormodelle.....	66
Abbildung 36: Styropormodelle.....	67
Abbildung 37: Gebrochene Modelle; sortiert nach der Tragfähigkeit in aufsteigender Reihenfolge.....	67
Abbildung 38: Lernkarte zur Zug- und Druckspannung.....	69
Abbildung 39: Belastung des Grundmodells anhand von Milchkartons und Kaffeepackungen (Bruch nach etwa 4 kg Belastung).....	70
Abbildung 40: Belastung des Modells mit Zugdreiecken anhand von Milchkartons (Bruch nach etwa 21 kg Belastung).....	70
Abbildung 41: Links: Leonardo-Brücke, rechts: Leonardo-Brücke, die eine Wassertonne hält.....	72
Abbildung 42: Hilfekarte, Brückenbau-Technik 4 – Wabenstruktur aus Papier.....	74
Abbildung 43: Belastung von Papierbrücken mit Tischtennisschlägern.....	75

Anhang

Schülerarbeitsheft

Arbeitsheft

für das Goethe-Schülerlabor zum Thema

„Baubionik“

Dieses Heft gehört: _____

Herzlich Willkommen im Goethe-Schülerlabor!

Im Rahmen des heutigen Tages bekommst du die Möglichkeit, wie ein Bioniker/ eine Bionikerin zu forschen. Das Schülerlabor stellt vier Stationen zum Thema „Baubionik“ bereit. Für die Bearbeitung der Stationen stehen dir jeweils 90 Minuten zur Verfügung.

Stationsübersicht

Station „Lotus und Salvinia“

Station „Eisbär“

Station „Baumstamm und Astgabel“

Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“

Für einen reibungslosen Ablauf des Tages bitten wir dich, den folgenden Ablaufplan zu beachten:

Ablaufplan

Begrüßung und Einführung

Forschen an der ersten Station

Kleine Pause

Forschen an der zweiten Station

Mittagspause mit anschließendem Raumwechsel

Forschen an der dritten Station

Kleine Pause

Forschen an der vierten Station

Belastungstest, Siegerehrung und Abschlussrunde

Wenn Fragen du haben solltest, kannst du dich jederzeit an die Betreuerinnen und Betreuer des Schülerlabors wenden.

Viel Spaß!

Station „Lotus und Salvinia“

Station

„Lotus und Salvinia“

Der Lotus-Effekt

Schon seit Jahrtausenden gilt die Lotus-Pflanze (*Nelumbo nucifera*) im Buddhismus als Symbol für absolute Reinheit. Begründet liegt dies in dem besonderen Effekt, der auf der Oberfläche der Pflanzenblätter zu beobachten ist. Das Phänomen trägt den Namen „Lotus-Effekt“.



Abbildung 1: Lotuspflanze

Arbeitsauftrag 1

Entdecke selbst, was sich hinter dem Lotus-Effekt verbirgt. Untersuche hierfür die Blattoberfläche verschiedener Pflanzen.

Materialien

Frische Blätter (Lotus, Tulpen, Kapuzinerkresse, Kohl sowie Salat und Löwenzahn)

Wasser

Pipette

Mehl

Wattestäbchen

Durchführung/ Aufgaben

1. Nimm die Pipette und tropfe Wasser auf die verschiedenen Blätter. Beschreibe genau, was du beobachten kannst.

2. Bestreue die Blätter mit etwas Mehl und lasse erneut Wasser mit Hilfe der Pipette über die Blattoberfläche laufen. Beschreibe deine Beobachtung!

3. Suche dir ein Blatt mit Lotusoberfläche aus und reibe mit dem Wattestäbchen über das Blatt. Tropfe erneut Wasser darüber. Was stellst du fest? Beschreibe!

Erklärung

Grund für den selbstreinigenden Effekt ist die noppenartige und mit Wachs überzogene Feinstruktur der Pflanzenblätter. Diese bewirkt das Abperlen der Wassertropfen, an denen gleichzeitig Schmutzpartikel (hier das Mehl) haften bleiben. Das Prinzip basiert darauf, dass die Auflagefläche eines Schmutz- oder Wassertropfens auf der Blattoberfläche sehr klein ist, wenn der Tropfen lediglich mit den Noppenspitzen des Blatts in Berührung kommt. Gleichermaßen gering fallen dadurch auch die Anziehungskräfte zwischen den Schmutzpartikeln und dem Blatt aus, sodass die Partikel an der Oberfläche des Wassertropfens haften bleiben und mit ihm abrollen.



Abbildung 2: Computergrafik der Oberfläche eines Lotusblattes

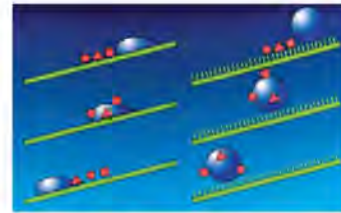


Abbildung 3: Die Funktionsweise des Lotus-Effekts - Schmutz wird durch eine Flüssigkeit von der Oberfläche gewaschen

Die Anziehungskräfte zwischen dem Wassertropfen und der Blattoberfläche (Adhäsionskräfte) sind klein. Die Anziehungskräfte zwischen den Wasserteilchen (Kohäsionskräfte) sind hingegen groß. Letztgenannte zwischenmolekulare Kräfte sind auch Ursache der hohen Oberflächenspannung des Wassers. Aufgrund dieser Oberflächenspannung ist das Wasser bestrebt, seine Oberfläche möglichst gering zu halten. Da geometrisch gesehen die Form mit dem kleinsten Verhältnis von Oberfläche und Volumen eine Kugel ist, kugelt sich der Wassertropfen ein.

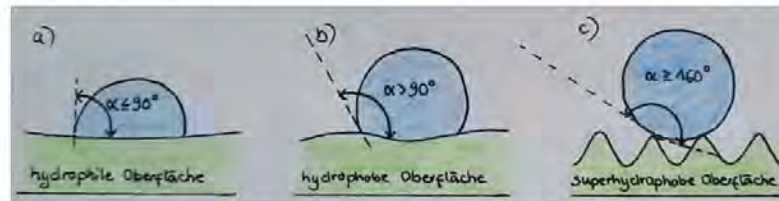


Abbildung 4: Schematische Darstellung unterschiedlicher Kontaktwinkel α zwischen Wassertropfen und Blattoberfläche in Abhängigkeit der Oberflächenstrukturierung: a) Ist die Benetzung groß (der Wassertropfen breitet sich stark auf der Oberfläche aus), ist der Kontaktwinkel α klein, d.h. $\leq 90^\circ$. Man spricht von „hydrophilen“ (wasserliebenden) Oberflächen; b) Liegt der Kontaktwinkel α zwischen 90° und 160° nennt man die Oberfläche „hydrophob“. Sie ist zwar auch wasserabweisend, aber nicht ganz so stark wie „superhydrophobe“ Oberflächen; c) Bei Pflanzen mit Lotus-Effekt ist der Kontaktwinkel α zwischen Wassertropfen und Oberfläche $\geq 160^\circ$. Die Benetzung ist sehr klein. Oberflächen mit derart stark wasserabweisenden Eigenschaften werden „superhydrophob“ bezeichnet.

4. Ordne die vorliegenden Pflanzenblätter folgenden Kategorien zu.

Superhydrophobe Oberfläche: _____

Hydrophile Oberfläche: _____

Arbeitsauftrag 2

Erzeuge selbst einen künstlichen Lotus-Effekt.

Kerze

Streichhölzer

2 kleine Glasplatten

Eine kleine Zange

Pipette

Eine Schüssel mit Wasser

Tulpenblatt

Salatblatt



Abbildung 5: rußgeschwärzte Glasplatte

Durchführung

Zünde die Kerze an. Halte eine der Glasplatten mit der Zange so lange in die Kerzenflamme, bis sie rußgeschwärzt ist. Warte kurz bis sich die Glasplatte wieder abgekühlt hat. Tropfe nun mit der Pipette jeweils einen Wassertropfen auf die Glasplatten und lass ihn abrollen.

Aufgaben

1. Analysiere das Verhalten der Wassertropfen auf den beiden unterschiedlichen Glasplatten.

2. Welche Glasplatte symbolisiert das Tulpenblatt, welche das Salatblatt?

3. Überlegt gemeinsam, inwiefern man sich den Lotus-Effekt im Bereich baubionischer Technik zu Nutze machen könnte.

Wo könnte der Effekt bei Gebäuden angewendet werden? Welche Vorteile würden die technischen Anwendungen mit sich bringen? Vielleicht fallen dir auch noch andere Anwendungsbereiche ein.

Erklärung

Der Lotus-Effekt stellt für die Umwelt in vielfältiger Weise eine Art Entlastung dar. Um Oberflächen sauber halten zu können, werden weniger Reinigungsmittel, weniger Wasser und weniger Energie benötigt. Anwendung findet das Selbstreinigungsprinzip in Wandfarben, auf Dachziegeln, in Lacken oder in Sprays.

Die Fassadenfarbe „Lotusan“ macht sich den Lotus-Effekt dahingehend zu Nutze, dass Schmutz mit dem Regen abperlt, wodurch die Fassaden länger sauber bleiben. Hinzu kommt, dass der Befall durch Pilze und Algen nachhaltig gehemmt wird.

Wenn du dich für weitere technische Anwendungsbereiche des Lotus-Effekts interessierst, scanne den nebenstehenden QR Code.

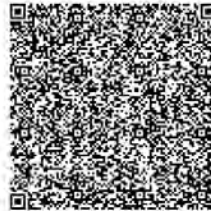


Abbildung 6: Fassadenfarbe Lotusan

4. Aus dem Einführungsvideo sind dir bereits die beiden Arbeitsweisen der bionischen Forschung bekannt. Man unterscheidet zwischen dem *Bottom-Up-Prozess* und dem *Top-Down-Prozess* der Bionik. Solltest du dich nicht mehr an den Unterschied zwischen den beiden Vorgehensweisen erinnern, schaue dir das Einführungsvideo erneut an.

Hier geht's nochmal zum Einführungsvideo:



Bearbeite die Aufgabe unter folgendem QR Code:



5. a) Nach welcher der beiden Arbeitsweisen hast du während der Stationsarbeit geforscht? Kreuze an.
- ☐ Top-Down-Prozess
- ☐ Bottom-Up-Prozess
- b) Begründe deine Entscheidung.

Der Salvinia-Effekt

Auf die Entdeckung des selbstreinigenden Effekts des Lotusblatts folgte wenige Jahre später die Entdeckung des sogenannten Salvinia-Effekts, der nach den besonderen Eigenschaften des Schwimmfarns (*Salvinia molesta*) benannt wurde.



Abbildung 7: Schwimmfarn (*Salvinia molesta*)



Abbildung 8: Bärlapp (*Lycopodium*)

Doch nicht nur der Schwimmfarn, sondern auch andere Pflanzen wie der Bärlapp (*Lycopodium*) weisen den Effekt auf.

Arbeitsauftrag 1

Finde selbst heraus, was sich hinter dem Salvinia-Effekt verbirgt. Anhand der beigelegten Bärlappsporen, die sich aus Sporen verschiedener Bärlapp-Arten zusammensetzen, kannst du den Effekt sichtbar machen.

Materialien

Glasschüssel

Wasser

Bärlappsporen

Spülmittel

Durchführung/ Aufgaben

1. Fülle die Glasschüssel mit Wasser und streue eine dünne Schicht Bärlappsporen auf die Wasseroberfläche. Tauche anschließend deinen Finger in Schüssel.

Beschreibe, was du beobachtest, während du deinen Finger unter Wasser tauchst.

2. Was stellst du fest, wenn du deinen Finger wieder aus der Wasserschüssel hebst?

Erklärung - Bärlappversuch

Bärlappsporen sind kugelförmig und besitzen eine wabenartige Oberfläche, die unter dem Mikroskop erkennbar wird.

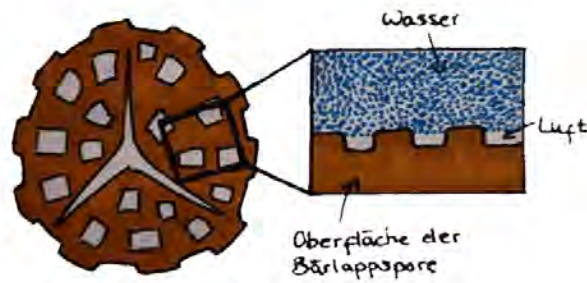


Abbildung 9: Bärlappspore unter dem Lichtmikroskop

Unter folgendem QR Code findest du eine Erklärung in Form eines Lückentextes:



3. Tropfe etwas Spülmittel auf die mit Bärlappsporen bedeckte Wasseroberfläche. Ein Tropfen genügt. Beschreibe kurz, was du feststellst. Versuche zu erklären, was passiert ist.

Erklärung - Salvinia-Effekt

Anknüpfend an den Bärlappversuch sollte es nun leichter fallen, den Salvinia-Effekt am Beispiel des Schwimmfarns *Salvinia molesta*, der für den Effekt namensgebend war, nachzuvollziehen.

Der Schwimmfarn besitzt feine schneebesenförmige Haare.



Abbildung 10: Schneebesenförmige Haare des Schwimmfarns (*Salvinia molesta*)

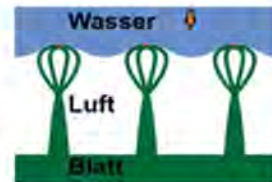


Abbildung 11: Unter Normalbedingungen liegt das Wasser auf den hydrophoben Haaren des Schwimmfarns auf

Diese haben die Eigenschaft, superhydrophob (stark wasserabweisend) zu sein. Ähnlich wie beim Lotuseffekt verhindern Nanostrukturen in Form von winzigen Wachskristallen eine Benetzung der Blattoberfläche des Schwimmfarns. Die Spitzen der Härchen sind allerdings hydrophil (wasserliebend), und fixieren die Luft-Wasser-Grenzfläche. Dieser Mechanismus, der die Stabilisierung der Luftschicht unter Wasser herbeiführt, bezeichnet den Salvinia-Effekt. Deutlich sichtbar wird der Effekt am silbrigen Glanz der untergetauchten Oberflächen. Das Schimmern entsteht aufgrund der Lichtreflexion an der Luft-Wasser-Grenzfläche.

Gleichem Prinzip gehorcht auch der unter Wasser getauchte Finger, der von den Bärlappsporen ummantelt werden. Werden die Bärlappsporen auf die Wasseroberfläche gestreut, spreiten sie, d.h. sie verteilen sich gleichmäßig aufgrund der Oberflächenspannung des Wassers. Die kleinen Partikel des Bärlapps haften am Finger und schließen Luft ein. Durch den Lufteinschluss bleibt der Finger auch unter Wasser trocken.

Arbeitsauftrag 2

Materialien

Glasschüssel

Wasser

Stab mit rußgeschwärztem Ei

Durchführung

Fülle die Glasschüssel mit Wasser und halte den Stab mit dem rußgeschwärzten Ei hinein.

Aufgaben

1. Beschreibe deine Beobachtung.

2. Formuliere eine kurze Erklärung für deine Beobachtung.

3. Stelle eine Internet-Recherche an. Suche mindestens ein Beispiel, bei dem der Salvinia-Effekt auf eine technische Anwendung übertragen würde und beschreibe kurz, welchen Vorteil die technische Anwendung mit sich bringt. Tausche dich anschließend mit Gruppenmitgliedern aus.

Überprüfe dein Wissen!

Aufgabe 1



Aufgabe 2

Unter folgendem QR Code findest du einen Lückentext, der alle wesentlichen Inhalte zum Lotus-Effekt zusammenfasst.



Aufgabe 3

Die Abbildung zeigt den Rückenschwimmer (*Notonectidae*):



Abbildung 12: Rückenschwimmer (*Notonectidae*)

1. Benenne das Phänomen, das sich das Insekt zu Nutze macht. Begründe, woran du erkannt hast, dass es sich um dieses Phänomen handelt.

2. Erkläre das Phänomen und nenne eine technische Anwendung, auf die das in der Natur gefundene Prinzip übertragen wurde.

Station „Eisbär“

Station

„Eisbär“

Der Eisbär

Die Arktis ist der natürliche Lebensraum des Eisbären (*Ursus maritimus*). Obwohl die Temperaturen dort bis zu $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ fallen, fühlt sich der Eisbär selbst bei arktischer Kälte wohl. Mit einer Kombination aus dichtem, weißem Fell, schwarzer Haut und einer dicken Fettschicht hat der Eisbär seinen Energiehaushalt perfektioniert und kann sich so auch optimal vor Minusgraden schützen.



Abbildung 1: Eisbär in der Arktis

Die Wärmebildkamera



Abbildung 2: Wärmebildkamera

Eine Wärmebildkamera ist ein Gerät zur bildlichen Darstellung von Infrarotstrahlung. Die Infrarotstrahlung ist der Teil des Lichts, der maßgeblich für die Wärmestrahlung verantwortlich ist. Dies macht man sich bei der Bildaufnahme mit Infrarotkameras zu Nutze. Die Infrarotkamera zeichnet die Temperaturverteilung verschiedener Objekte auf und fertigt daraufhin ein Bild an, das die Wärmestrahlung unterschiedlicher Bereiche visualisiert. Üblicherweise wird das entstehende Bild in Graustufen, d.h. in unterschiedlichen Grautönen, dargestellt. Zur besseren Veranschaulichung färbt man die verschiedenen Graustufen jedoch farblich ein. Generell lässt sich sagen, dass je dunkler/blauer die Darstellung ist, desto kälter ist die mit der Kamera aufgenommene Region. Umgekehrt stellen helle/gelbe Bereiche des Bildes besonders warme Objekte dar.

Hinweise zur Arbeit mit der Wärmebildkamera

Um die Kamera nicht zu beschädigen, solltest du behutsam damit umgehen.

Achte ebenfalls darauf, dass du nicht auf die Linse fasst, um diese nicht zu verkratzen.

Das Scharfstellen des Bildes erreichst du durch das Drehen am Objektiv.

Objekte können mithilfe des auf dem Display dargestellten Fadenkreuzes anvisiert werden.

Oben links auf dem Display wird die Temperatur des anvisierten Objektes (in $^{\circ}\text{C}$) angezeigt.

Arbeitsauftrag 1

Macht euch selbst mit der Wärmebildkamera vertraut und überzeugt euch von ihrer Funktionsweise. Seht euch zunächst im Raum um und beobachtet, in welchen Farben die verschiedenen Objekte erscheinen.

Materialien

Wärmebildkamera

Verschiedenfarbige Buntstifte

Aufgaben

1. Richtet die Wärmebildkamera auf eine Mitschülerin oder einen Mitschüler. Übertrag die auf der Wärmebildkamera dargestellte Farbverteilung auf einen der untenstehenden Körperumrisse.

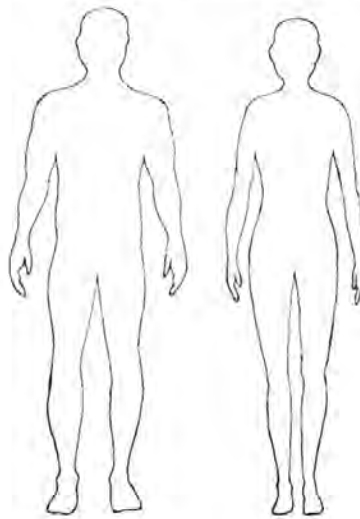


Abbildung 3: Körpersilhouetten

2. Nennt die Körperregionen, die besonders viel Wärme abstrahlen und nennt diejenigen, die besonders wenig Wärme abstrahlen.

Starke Wärmeabstrahlung: _____

Schwache Wärmeabstrahlung: _____

3. Die nebenstehende Abbildung zeigt das Wärmebild von Eisbär Knut aus dem Berliner Zoo.

Erklärt die unterschiedlichen Farben.

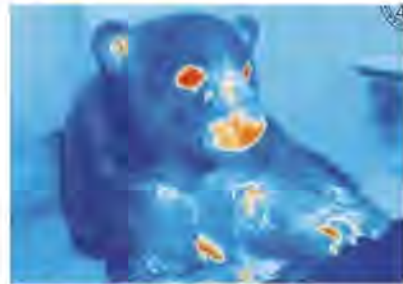


Abbildung 4: Wärmebild von Eisbär Knut aus dem Berliner Zoo

Arbeitsauftrag 2

Findet selbst heraus, warum die Eisbärhaut schwarz ist. Beleuchtet hierfür eine schwarze und eine weiße Filmdose und misst die Temperatur im Doseninneren. Die schwarze Filmdose symbolisiert den Eisbären mit schwarzer Haut, die weiße Dose steht stellvertretend für den Eisbären mit weißer Haut.

Materialien

Schwarze und weiße Filmdose

2 Messfühler

Wärmelampe

Stoppuhr

Durchführung

Stellt die schwarze und weiße Filmdose nebeneinander vor die Wärmelampe, sodass beide Dosen gleichmäßig beleuchtet werden. Dosen und Wärmelampe sollten etwa im Abstand von 30 cm zueinander stehen. Beachtet, dass die Wärmelampe und die Umgebung sehr heiß werden. Anhand der Temperaturfühler könnt ihr die Temperatur der Luft im Doseninneren messen. Steckt hierfür die Temperaturfühler in das jeweilig vorgesehene Löchlein an der Seite der Dosen.

Aufgabe

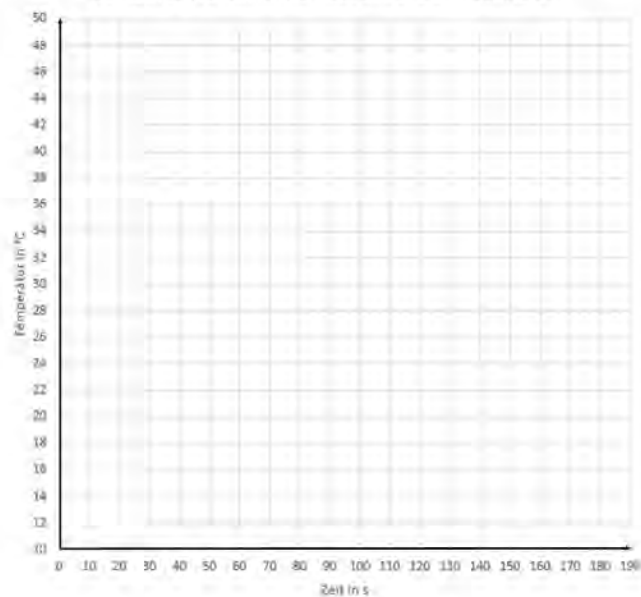
Misst den Temperaturanstieg der Luft im Doseninneren, indem ihr alle 10 Sekunden die auf dem Temperaturfühler angezeigte Temperatur ablest. Beendet die Messung nach 3 Minuten. Notiert die Temperaturmesswerte in der Tabelle auf der Folgeseite.

Eisbär

Zeit in s	Temperatur in °C (Schwarze Dose)	Temperatur in °C (Weiße Dose)
0		
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		
80		
90		
100		
110		
120		
130		
140		
150		
160		
170		
180		

2. Stellt die Ergebnisse graphisch dar. Tragt die Messpunkte in das Koordinatensystem ein. Verbindet die Punkte und zeichnet die Graphen für den jeweiligen Temperaturverlauf in den Dosen.

Versuch 1: Warum ist die Haut des Eisbären schwarz?



3. Fasst das Ergebnis des Versuchs kurz zusammen.

Mit diesem Ergebnis wirft sich eine Frage auf: Warum hat der Eisbär kein schwarzes Fell?

Wäre es aus energetischen Gründen nicht besser, wenn Eisbären schwarzes hätten, um mehr Sonnenstrahlung absorbieren zu können? Bevor ihr der Frage im nächsten Versuch genauer nachgeht, solltet ihr noch wissen, dass das Eisbärenfell im Grunde genommen nicht weiß, sondern durchsichtig ist. Durch Lichtreflexion erscheint das Fell zwar weiß, die einzelnen Fellhaare besitzen jedoch keine Farbpigmente und sind daher transparent.

Arbeitsauftrag 3

Findet heraus, warum das Eisbärenfell transparent und nicht schwarz ist. Beleuchtet hierfür die umwickelten Fotodosen. Die schwarze Fotodose, die mit durchsichtiger Luftpolsterfolie umwickelt ist, soll den Eisbären mit transparentem Fell darstellen. Die andere schwarze Fotodose ist ebenfalls mit transparenter Luftpolsterfolie umwickelt; ihre äußere Schicht ist jedoch schwarz gefärbt. Die Dose symbolisiert den Eisbären mit schwarzem Fell.

Materialien

Fotodose mit durchsichtiger Luftpolsterfolie und Fotodose mit schwarz gefärbter Luftpolsterfolie

2 Messfühler

Wärmelampe

Stoppuhr

Durchführung

Geht vor wie in Versuch 1. Stellt die Dosen nebeneinander vor die Wärmelampe, sodass sie gleichmäßig beleuchtet werden. Behaltet den Abstand von 30 cm zwischen Dose und Wärmelampe bei. Steckt die Temperaturfühler in die Dosen und beginnt mit der Temperaturmessung.

Aufgaben

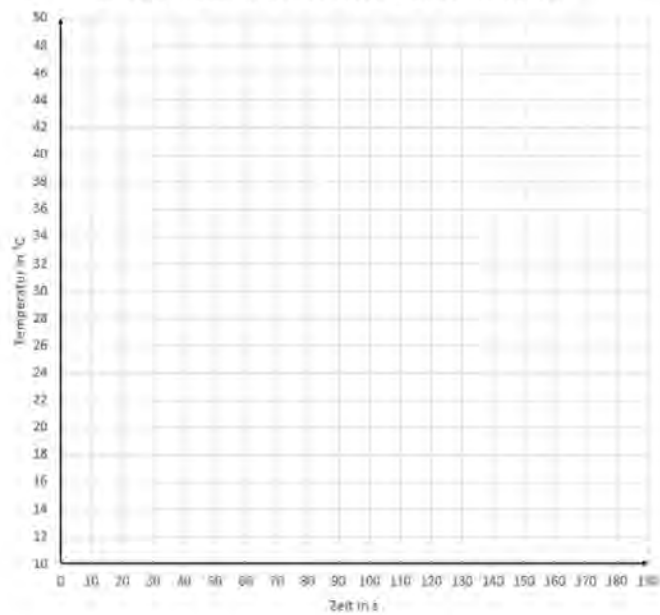
1. Messt den Temperaturanstieg der Luft im Doseninneren, indem ihr alle 10 Sekunden die auf dem Temperaturfühler angezeigte Temperatur ablest. Beendet die Messung nach 3 Minuten. Notiert die Temperaturmesswerte in der Tabelle auf der Folgeseite.

Eisbär

Zeit in s	Temperatur in °C (schwarzes Luftpolster)	Temperatur in °C (transparentes Luftpolster)
0		
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		
80		
90		
100		
110		
120		
130		
140		
150		
160		
170		
180		

- Stellt die Ergebnisse graphisch dar. Tragt die Messpunkte in das Koordinatensystem ein. Verbindet die Punkte und zeichnet die Graphen für den jeweiligen Temperaturverlauf in den Dosen.

Versuch 2: Warum hat der Eisbär kein schwarzes Fell?



3. Fasst das Ergebnis des Versuchs kurz zusammen.

4. Der Sachverhalt wird anhand der folgenden schematischen Darstellung verdeutlicht.
Füllt die roten Kästen mit folgenden Begriffen: Reflexion, Transmission, Absorption (2x)

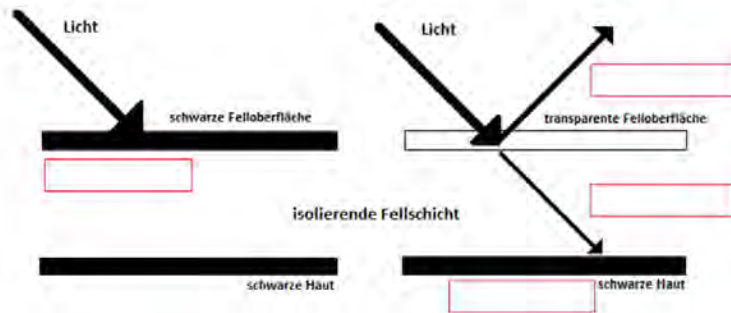


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Eisbären mit schwarzen und transparentem Fell.

Technische Anwendung

Ihr habt feststellen können, dass das Eisbärenfell wie ein transparenter Isolierstoff wirkt, der Wärmestrahlung hindurchlässt. Die Strahlung wird von der schwarzen Haut absorbiert und hält den Eisbären warm. Zugleich wirkt das Fell wärmedämmend nach außen.

1. Überlegt, wo ein solches Isoliermaterial in der Bautechnik Anwendung finden könnte. Notiert eure Ideen.

Hier findest du eine vertiefende Erklärung zum Eisbärenfell:



Technische Anwendung

Ein technisches Produkt, das auf Grundlage der Erkenntnisse über die Funktion des Eisbärenfells entwickelt wurde, ist die sogenannte transparente Wärmedämmung (TWD), die u.a. für Häuser eingesetzt wird. Der Einsatz transparenter Wärmedämmung beschränkt sich jedoch nicht nur auf Hauswandverkleidungen. Auch textile

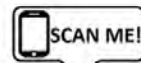


Abbildung 6: Muster-Eisbärhaus mit textilen Solarkollektoren in Denkendorf

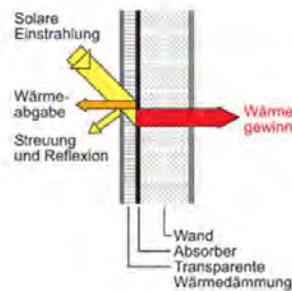
Abdeckungen auf Solarkollektoren nutzen das Prinzip. Einsatz finden die neuartigen Solarkollektoren beispielsweise im Muster-Eisbärenhaus in Denkendorf bei Stuttgart. Der Eispavillon wurde 2013 fertiggestellt.

2. Schaut euch folgende Abbildung an und benennt die Vorteile der transparenten Wärmedämmung (TWD) gegenüber einer opaken (lichtundurchlässigen/ undurchsichtigen) Wärmedämmung.

Hier findest du eine vertiefende Erklärung zu technischen Anwendungen:



Transparente Wärmedämmung



Opake Wärmedämmung

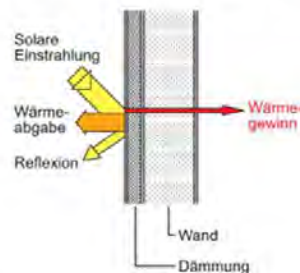


Abbildung 9: Funktionsprinzip einer TWD-Wand im Vergleich zu einer Wand mit opaker Wärmedämmung

Überprüfe dein Wissen!**Aufgabe 1**

Unter nebenstehendem QR Code findest du einen Lückentext, der alle wesentlichen Inhalte zum Eisbären zusammenfasst.

**Aufgabe 2**

Begründe, warum es sich bei der transparenten Wärmedämmung um ein bionisches Produkt handelt. Fällt dir die Begründung schwer, schau dir das Einführungsvideo erneut an.

Hier geht's noch einmal zum Einführungsvideo:



Station

„Baumstamm und Astgabel“

Mechanische Spannung

Mechanische Spannung – Was war das nochmal?

In der Mechanik wird Spannung σ als eine Kraft F definiert, die auf eine Fläche A wirkt. Es gilt:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Senkrecht auf eine Fläche wirkende Spannungen werden in Abhängigkeit der Richtung als Zug- oder Druckspannungen bezeichnet. Spannungen, die hingegen tangential zur Fläche verlaufen, werden Schubspannungen genannt.

Aktiviere dein Vorwissen

Unter dem nebenstehenden QR Code kannst du prüfen, ob du grundlegend verstanden hast, wie Kräfte und Spannungen wirken.



Bist du dir unsicher, ob du das Schaubild richtig verstanden hast?

Oder möchtest du dein Verständnis vertiefen?

Dann kannst du unter folgenden QR Codes noch einmal genauer nachlesen.



Zug- und Druckspannung



Biegemoment



Schubspannung



Kerbspannung

Arbeitsauftrag 1

Ermittelt die Belastbarkeit verschiedener Kerbstrukturen!

Bearbeitet begleitend die untenstehenden Aufgaben.

Materialien

Gewichte bis 21 kg

Plastik-Petrischale

Stift

Kerbstrukturmodelle aus Styropor:

Grundmodell

Modell mit Viertelkreiskerbe

Modell mit Dreieckkerbe

Modell mit Schenkelverstärkung

Modell mit gerundeten Zugdreiecken



Abbildung 6: Styropormodelle

Durchführung

Belastet die verschiedenen Kerbstrukturmodelle mit Gewichten! Geht schrittweise vor und legt nacheinander Gewichtstück für Gewichtstück auf, bis das jeweilige Modell bricht. Die Plastik-Petrischale könnt ihr als Untersetzer auf den Sockel stellen, um die Gewichtstücke besser platzieren zu können. Bevor ihr mit dem Belastungsversuch startet, bearbeitet zunächst Aufgaben 1 und 2.

Aufgaben

1. Stellen, an denen die meisten Spannungen auf ein Bauteil wirken, werden Sollbruchstellen genannt. Markiert die Stellen, an denen die Modelle eurer Vermutung nach brechen werden, mit einem Stift!
2. Überlegt euch, in welcher Reihenfolge die verschiedenen Modelle brechen werden. Legt eine Reihenfolge fest und notiert die geschätzte Maximallast in der Tabelle auf der nächsten Seite. Beginnt mit dem Modell, das eurer Vermutung nach als erstes brechen wird.
3. Belaste die Modelle wie zuvor beschrieben und notiere die jeweilige Maximallast in der Tabelle.
4. Haben sich eure Vermutungen im Hinblick auf die Sollbruchstellen bestätigt? Beschreibt kurz in welcher Weise und an welcher Stelle die jeweiligen Modelle versagen.

Modell	Geschätzte max. Last [g]	Gemessene max. Last [g]	Beobachtung

Erklärung

Am höchsten ist die Spannung in Kerben, weswegen das Material genau an diesen Stellen am schnellsten versagt – die Modelle brechen. Ein Herabsetzen der Spannung an diesen Stellen ist durch gezielte Materialanlagerungen möglich. Im Versuch wurde dies mit den unterschiedlichen Ausformungen der Kerben realisiert. Die Vergleichbarkeit der Kerbstrukturmodelle ist durch den jeweils identischen Volumeneinschluss zwischen den Schenkeln sichergestellt.

Beim Modell mit gerundeten Zugdreiecken handelt es sich um eine optimierte Struktur, die in Bäumen entdeckt wurde. Durch Materialanlagerung in der Kerbe – entweder zwischen Baumstamm und Erboberfläche oder zwischen den Armen einer Astgabel selbst – wird das Abbrechen an der Kerbe weitestgehend verhindert. Während die meisten Ingenieure zwischen zwei Schenkeln, die im 90°-Winkel zueinander stehen, einen Vierteilkreis konstruieren würden, macht sich der Baum ein ganz anderes Prinzip zur Materialanlagerung zu Nutze: das Zugdreiecke-Prinzip.



Abbildung 7: Kerbe, die der Baumstamm mit einem Wurzelanlauf überbrückt, der wie ein Zugdreieck wirkt

Abbildung 8: Kerbe zwischen den Armen einer Astgabel

Arbeitsauftrag 2

In der Natur hängt die Stärke der Ausprägung der Zugdreieckstruktur von der wirkenden Belastung ab. Die Methode der Zugdreiecke kannst du leicht mit Stift, Zirkel und Geodreieck nachvollziehen. Konstruiere die bionisch optimierte Form selbst. Überbrücke die Kerbe zwischen Baumstamm und Boden und zeichne Zugdreiecke in die untenstehende Abbildung ein. Gehe wie folgt vor:

1. Zeichne zuerst ein gleichschenkliges Dreieck in die rechtwinklige Kerbe ein. Die Seitenlänge soll 4 cm betragen. Eine neue, etwas stumpfere Kerbe entsteht, die mit einem weiteren Zugdreieck entschärft werden soll.
2. Die Schenkellänge des zweiten Zugdreiecks entspricht genau der Hälfte der Hypotenuse des ersten Zugdreiecks. Eine noch stumpfere Kerbe entsteht.
3. Überbrücke die Kerbe mit einem dritten Zugdreieck, dessen Schenkellänge der Hälfte der Basis des zweiten Dreiecks entspricht.
4. Runde die verbleibenden stumpfen Ecken aus.



Abbildung 9: Vorgehen beim Einzeichnen der Zugdreiecke

Prinzipiell könnten unendlich viele Zugdreiecke aneinandergesetzt werden. Untersuchungen zeigen jedoch, dass drei Zugdreiecke für die Entschärfung einer Kerbe meist ausreichend sind. Liegt eine doppel-seitige Belastung vor, wie in Astgabeln oder den Kerbstrukturmodellen, werden die Zugdreiecke in beide Richtungen eingefügt.

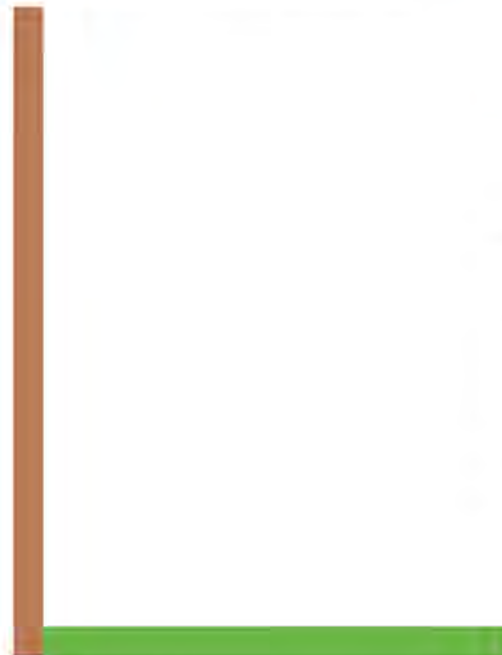


Abbildung 10: Kerbe zwischen Baumstamm und Boden

Arbeitsauftrag 3

Im Belastungstest habt ihr lediglich an der Verformung und am Bruch der Kerbstrukturmodelle feststellen können, dass Spannungen wirken. Um die Spannungszustände in den Modellen besser verstehen zu können, folgt nun der Einsatz eines sogenannten Polariskops, das eine optische Anordnung von Polarisationsfiltern darstellt.

Anhand des Geräts ist es möglich, die Spannungsverteilung in lichtdurchlässigen Körpern sichtbar zu machen. Die Grundlage des Versuchs bilden Kerbstrukturmodelle aus doppelbrechendem Plexiglas. Diese stellen eine Nachbildung der Styropormodelle im Kleinformat dar.

Materialien

Polariskop

Plexiglasmodelle;

Grundmodell

Modell mit Viertelkreiskerbe

Modell mit Dreieckkerbe

Modell mit Schenkelverstärkung

Modell mit gerundeten Zugdreiecken



Abbildung 11: Plexiglasmodelle

Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus einer optischen Bank, auf der mit Hilfe von Reitern eine Lichtquelle, ein Schirm und ein Tisch angebracht werden. Der Rahmen, in dem die Modelle befestigt und belastet werden, beinhaltet zwei Polarisationsfilter. Das jeweilige Plexiglasmodell befindet sich zwischen den Polarisationsfiltern. Die Belastungsvorrichtung steht auf dem Tisch.



Abbildung 12: Versuchsaufbau

Durchführung

Baut den Versuch entsprechend der obigen Abbildung auf. Befestigt die Modelle nacheinander im Rahmen und stellt diesen anschließend auf den Tisch. Führt euch die Spannungsspitzen und Kerbwirkungen der verschiedenen Modelle vor Augen, indem ihr am Schraubchen der Belastungsvorrichtung dreht und Druckbelastung auf die Modelle ausübt.

Aufgabe

1. Beschreibt eure Beobachtung.

Technische Anwendung

Im technischen Bereich ist die Anwendbarkeit des Prinzips der Zugdreiecke zur Entschärfung möglicher Bruchstellen groß. Nicht nur die Ecken verschiedener Bauteile – wie im Versuch gezeigt – lassen sich anhand der Methode modifizieren; gleichermaßen machen sich auch bionische Schrauben das Prinzip zu Nutze. Der Einsatz der Schrauben beschränkt sich dabei nicht nur auf den Bereich der Medizin – etwa für orthopädische Schrauben zur Befestigung eines Implantats am Knochen –, sondern erfüllt auch im Bauwesen seine Zwecke. Folgende Abbildung zeigt eine bionisch optimierte Schraube, die bei der Errichtung von Strohballenhäusern genutzt wird.



Abbildung 13: Bionisch optimierte und für Strohballenbauten entwickelte Schraube



Abbildung 14: Strohballenhaus in Bad Belzig

Überprüfe dein Wissen!**Aufgabe 1**

Unter dem nebenstehenden Link findest du ein Quiz zu den Inhalten dieser Station.

**Aufgabe 2**

Formuliere die bionischen Entwicklungsschritte ausgehend vom biologischen Vorbild bis hin zur technischen Anwendung. Rufe dir die Inhalte der Station erneut ins Gedächtnis und fülle die Tabelle aus.

Vorbild aus der Natur	Prinzip	Technische Anwendung

Station

„Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“

Brückenbau

Leonardo da Vinci (1452-1519) wird auch Vater der Bionik genannt. Zahlreiche bionische Errungenschaften gehen auf ihn zurück. Nicht nur revolutionierte er die Entwicklung von Flugmaschinen, indem er den Vogelflug studierte, gleichzeitig brachte sein Schaffen auch eine Brückenkonstruktion hervor, die allseits unter dem Namen Leonardo-Brücke bekannt ist – ein Art Meisterwerk, das ohne Klebstoff oder Nägel zusammenhält und große Lasten tragen kann.



Abbildung 1: Leonardo da Vinci



Abbildung 2: Da Vincis Brückenentwurf

Die ausschließlich aus Holzbrettern und Holzbalken bestehende Brücke wurde ursprünglich für militärische Zwecke entworfen. Als leicht transportable Konstruktion ist sie gut geeignet, um Hindernisse schnell zu überwinden.

Das Bauprinzip beruht auf dem sogenannten Selbsthemmungsmechanismus, denn die Konstruktion verfestigt sich bei Belastung selbst. Die Stabilität der Brücke resultiert aus der Reibung zwischen den verkeilten Bauelementen. Wird Druck auf die Brücke ausgeübt, steigen auch die Reibungskräfte und die Stabilität der Brücke nimmt zu.

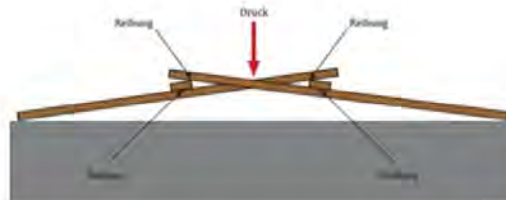


Abbildung 3: Funktionsprinzip der Leonardo-Brücke

Arbeitsauftrag 1

Ihr habt weder Schrauben, Nägel, noch Kleber zu Hand und möchtet trotzdem über den Fluss zur Station „Papierbrückenbau“ gelangen. Schaut euch die Anleitung auf der Folgeseite an und baut die Leonardo-Brücke selbst nach.

Materialien

10 Holzleisten und 5 Holzstäbe

Durchführung

Geht nach Anleitung vor und baut die Leonardo-Brücke nach. Holzstäbe werden für die Querverstrebungen genutzt, Holzleisten für die Längsverstrebungen.





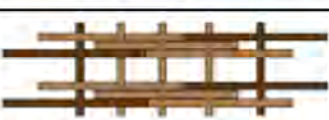
	1. Legt zwei Holzstäbe parallel zueinander auf den Boden. Legt anschließend zwei Holzleisten im rechten Winkel auf die Stäbe.
	2. Platziert nun mittig auf den Längsverstrebungen (Holzleisten) eine dritte Querverstrebung (Holzstab). Achtet darauf, dass diese parallel zu den anderen Querverstrebungen liegt.
	3. Der nächste Schritt wird etwas schwieriger. Baut auf der rechten Seite zwei Holzleisten parallel zueinander ein, so dass sie über der mittleren Querverstrebung und unter der seitlichen Querverstrebung verkeilt festsitzen.
	4. Wiederholt die Prozedur aus Schritt 3 auf der linken Seite, indem ihr nach gleichem Schema zwei Längsverstrebungen hinzufügt. Theoretisch könntet ihr den Brückenbau an dieser Stelle beenden, denn eine kleine Brücke steht bereits.
	5. Für eine größere Brücke baut links und/ oder rechts weitere Elemente an. Legt hierfür einen Holzstab unter die seitlich gelegenen Längsverstrebungen und fügt zwei weitere Längsverstrebungen hinzu. Achtet darauf, dass die Holzleisten unter dem neu hinzugefügten Holzstab und über dem danebengelegenen Holzstab festsitzen. Wiederholt den Schritt bis das Baumaterial ausgeht.

Abbildung 4: Anordnung der Längs- und Querverstrebungen

Unter dem nebenstehenden QR Code findet ihr ein Video, das euch beim Aufbau zusätzlich helfen kann:



Am Beispiel der Leonardo-Brücke habt ihr bereits feststellen dürfen, dass wenig Gewicht und hohe Stabilität einander nicht zwangsläufig ausschließen. Brücken können stabil und trotzdem leicht sein.

Wettbewerb: Papierbrückenbau

Arbeitsauftrag 2

1. Schau dir folgende Abbildung an und benenne das Problem der Brückenkonstruktion. Fülle die Lücke.



Abbildung 5: Belastung einer Papierbrücke mit einem Tischtennisball

Technisches Problem: Die Papierbrücke ist zwar leicht, aber ihr mangelt es an _____.

2. Überlegt, wie man die Papierbrücke verändern könnte, damit sie eine möglichst hohe Traglast aushält. Schaut euch das Material auf dem Sammelstisch genau an. Begeht euch auf die Suche nach Lösungen und werdet selbst zu Brückenbauern, denen die Natur zum Vorbild ist.

Arbeitet als Gruppe zusammen und entwickelt eine leichte und zugleich stabile Brücke aus Papier.

Am Ende des Schülerlabortags tretet ihr mit euren Modellen gegen eure Mitschüler und Mitschülerinnen der anderen Gruppen an. Auf den Belastungstest folgt eine kleine Siegerehrung.

Vorgaben/ Wettbewerbsbestimmungen

Als Baumaterial ist nur Papier zulässig. Das Papier darf geschnitten und geklebt werden, weitere Materialien wie Kordel oder Ähnliches sind nicht gestattet.

Die Brücke wird mittig belastet und muss durchgängig „befahrbar“ sein.

Siegerfeststellung

Ziel ist das Erreichen einer möglichst hohen Effizienz der Brückenkonstruktion. Entscheidend für die Feststellung des Siegerteams ist daher das Verhältnis von Traglast zu Eigenlast.

Hilfekarten

Falls euch Ideen für die Umsetzung fehlen, findet ihr kleine Inspirationshilfen unter folgenden QR Codes. Hinter jedem Code verbirgt sich eine Brückenbau-Technik, die sich der Mensch von der Natur abgeschaut hat.



Viel Spaß!

Miura-Faltung

Der Papierbrückenbau hat dir gezeigt, dass sich mit Falten leichte und stabile Konstruktionen möglich sind. Ein weiterer Vorteil von Falten besteht darin, dass sie helfen, Platz zu sparen. Was damit genau gemeint ist, wirst du im Folgenden herausfinden.

Arbeitsauftrag 3

1. Falte ein DIN A4 Blatt so klein wie möglich.
2. Lässt sich das Papier in anderer Weise vielleicht noch besser falten?

Ein kurzer Blick in die Natur kann helfen. Schau dir das Video unter folgendem QR-Code an.



Abbildung 7: Mohnblütenknospe

3. Tauscht euch aus. Beschreibt mündlich, was ihr beobachten konntet und benennt einen Vorteil der Faltechnik.
4. Eine besondere Faltechnik, die sich an der Mohnblütenknospe orientiert, ist die sogenannte Miura-Faltung. Sieh selbst, wie schnell und einfach sich ein Stück Papier zusammenfalten lässt und falte die Miura-Faltung nach. Die Anleitung der Faltung findest du auf der Folgeseite.

Materialien

DIN A4-Blatt

Bleistift

Schere

Lineal

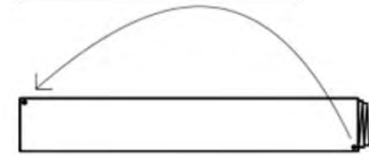
5. Überlegt, inwiefern diese Faltechnik im Bereich baubionischer Entwicklungen Anwendung finden könnte. Notiert eure Ideen.

Miura-Faltanleitung

1. Falte ein Blatt Papier in Längsrichtung entlang der gestrichelten Linien. Es entsteht eine Ziehharmonika mit fünf gleichbreiten Streifen.



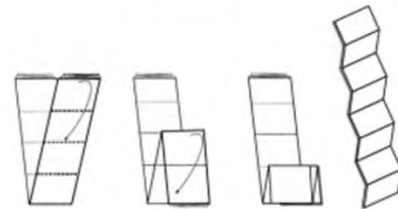
2. Falte den zusammengefalteten/ entstandenen Papierstreifen in der Mitte schräg aufeinander, so dass die diagonal gegenüberliegenden Ecken aneinander stoßen.



3. Zeichne eine Verbindungslinie zwischen den beiden äußeren Ecken und schneide den überstehenden Rand entlang dieser Linie ab.

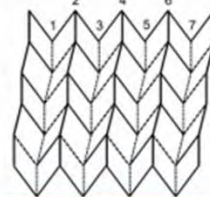


4. Falte den Papierstreifen mehrmals parallel zur entstandenen mittleren Falte, so dass acht gleichgroße Felder entstehen.



5. Jede Falte wird nun noch einmal in die Gegenrichtung gefaltet (achte darauf, dass die Schräge der Falten beibehalten wird)

6. Öffne nun das gesamte Papier und falte es nach folgender Methode wieder zusammen:
Falzreihe 1, 3, 5 und 7 als Tal Falte nach unten
Falzreihe 2, 4 und 6 als Berg Falte nach oben.



7. Schiebe nun die vorgefaltete Struktur zu einem kleinen Paket zusammen.

8. Das Paket lässt sich ganz einfach entfalten und wieder zusammen falten, indem du an den äußeren Ecken ziehst bzw. schiebst.



Abbildung 8: Faltanleitung Miura-Faltung

Technische Anwendung

Anwendung findet die Miura-Faltung nicht nur in Gebrauchsanweisungen, Beipackzetteln oder Stadtplänen; auch für bautechnische Anwendungen ist die Faltung sehr interessant. Denkbar wäre der Gebrauch für die Verschattung von Fassaden oder der Einsatz als Sonnensegel. Genauso könnte die Faltung für Elemente genutzt werden, die dem Sichtschutz dienen. Auch die Solarsegel an manchen Raumschiffen nutzen den Mechanismus. So können die Segel im Bedarfsfall schnell entfaltet und wieder verstaut werden. Von großem Vorteil ist dabei die Tatsache, dass weniger Motoren benötigt werden, um die Segel zu entfalten, womit gleichzeitig auch Gewicht eingespart werden kann.

Überprüfe dein Wissen!

Folgende Aufgaben verknüpfen die Inhalte dieser Station mit den allgemeinen theoretischen Grundlagen der Bionik.

Aus dem Einführungsvideo sind dir bereits die beiden Arbeitsweisen der bionischen Forschung bekannt. Man unterscheidet zwischen dem *Bottom-Up-Prozess* und dem *Top-Down-Prozess* der Bionik. Solltest du dich nicht mehr an den Unterschied zwischen den beiden Vorgehensweisen erinnern, schaue dir das Einführungsvideo erneut an.

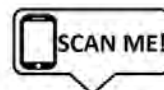
Hier geht's nochmal zum Einführungsvideo:



Aufgabe 1



Aufgabe 2



Quellenverzeichnis

Station „Lotus und Salvinia“

Abbildung 1: Lotuspflanze

<https://pixabay.com/de/photos/lotusblatt-blatt-lotus-bl%C3%A4tter-833013/>

(abgerufen am 15.04.2021 um 15.00 Uhr)

Abbildung 2: Computergrafik der Oberfläche eines Lotusblattes

<https://nanoinformation.at/bereiche/grundlagen/lotus-effekt/>

(abgerufen am 15.04.2021 um 15.10 Uhr)

Abbildung 3: Die Funktionsweise des Lotus-Effekts – Schmutz wird durch die Flüssigkeit von der Oberfläche gewaschen

Wunderlich, Meike; Schulte, Kerstin (2012): Inspiration Natur – Patentwerkstatt Bionik. Wanderausstellung. Hg. v. Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU. Osnabrück. S. 12. Online verfügbar unter <https://www.dbu.de/phpTemplates/publikationen/pdf/281112114415c232.pdf>

Abbildung 4: Schematische Darstellung unterschiedlicher Kontaktwinkel α zwischen Wassertropfen und Blattoberfläche in Abhängigkeit der Oberflächenstrukturierung

Abbildung 5: rußgeschwärzte Glasplatte

Abbildung 6: Fassadenfarbe Lotusan

<http://www.akadaf.de/bionik/textproduktion.html>

(abgerufen am 15.04.2021 um 17.00 Uhr)

Abbildung 7: Schwimmfarn (Salvinia molesta)

<https://www.wissenschaft.de/umwelt-natur/wasserfarn-als-oelreiniger/>

(abgerufen am 15.04.2021 um 17:30 Uhr)

Abbildung 8: Bärlapp (Lycopodium)

<https://www.heilpraxisnet.de/heilpflanzen/baerlapp/>

(abgerufen am 15.04.2021 um 17:30 Uhr)

Abbildung 9: Bärlappspore unter dem Lichtmikroskop

Abbildung 10: Schneebesenförmige Haare des Schwimmfarns (*Salvinia molesta*)

<http://www.lotus-salvinia.de/images/salviniawirz>

(abgerufen am 15.04.2021 um 17:30 Uhr)

Abbildung 11: Unter Normalbedingungen liegt das Wasser auf den hydrophoben Haaren des Schwimmfarns auf

<http://lotus-effekt.de/joomla/images/wdub.pdf>

(abgerufen am 15.04.2021 um 17:30 Uhr)

Abbildung 12: Rückenschwimmer (*Notonectidae*)

<http://lotus-effekt.de/joomla/images/wdub.pdf>

(abgerufen am 15.04.2021 um 17:30 Uhr)

Station „Eisbär“

Abbildung 1: Eisbär in der Arktis

<https://pixabay.com/de/photos/eisbaer-arktis-eis-landschaft-3775941/>

(abgerufen am 16.04.2021 um 21:20 Uhr)

Abbildung 2: Wärmebildkamera

<https://www.welt.de/vergleich/elektronik/waermebildkamera-test/>

(abgerufen am 16.04.2021 um 21:30 Uhr)

Abbildung 3: Körpersilhouetten

Eigenproduktion

Abbildung 4: Wärmebild von Eisbär Knut aus dem Berliner Zoo

https://rp-online.de/panorama/wissen/knut-und-die-anderen-unter-der-waermebildkamera_bid-10949205

(abgerufen am 16.04.2021 um 21:20 Uhr)

Abbildung 5: Schematische Darstellung des Eisbären mit schwarzem und transparentem Fell

Abbildung 6: Muster-Eisbärhaus mit textilen Solarkollektoren in Denkendorf

<https://www.biokon.de/die-bauweise-der-zukunft-textile-solarthermie-im-eisbaerhaus/>

(abgerufen am 17.04.2021 um 10:20 Uhr)

Abbildung 7: Prinzip der transparenten Wärmedämmung

https://www.technoseum.de/fileadmin/media/pdf/mupaed-material/Lehrerheft_Bionik.pdf

(abgerufen am 17.04.2021 um 10:50 Uhr)

Abbildung 8: Muster-Eisbärhaus mit textilen Solarkollektoren in Denkendorf

<https://www.biokon.de/die-bauweise-der-zukunft-textile-solarthermie-im-eisbaerhaus/>

(abgerufen am 17.04.2021 um 10:20 Uhr)

Abbildung 9: Funktionsprinzip einer TWD-Wand im Vergleich zu einer Wand mit opaker Wärmedämmung

<https://www.eneff-schule.de/index.php/innovative-techniken/gebaeudehuelle.html>

(abgerufen am 17.04.2021 um 11:20 Uhr)

Station „Baumstamm und Astgabel“

Abbildung 1: Kräfte und Spannungen in einem Bauteil

Abbildung 2: Zug- und Druckspannung

Mattheck, Claus (2010): Denkwerkzeuge nach der Natur. 1., unveränd. Nachdr. Karlsruhe: Karlsruher Inst. für Technologie Campus Nord. S. 5.

Abbildung 3: Kräfte, Spannungen und Biegemoment

(ebd.)

Abbildung 4: Zug-, Druck- und Schubspannungen

(ebd., S. 6)

Abbildung 5: Kerbspannungen an kreisförmig ausgerundeter Ecke

(ebd., S. 14)

Abbildung 6: Styropormodelle

Abbildung 7: Kerbe, die der Baumstamm mit einem Wurzelanlauf überbrückt, der wie ein Zugdreieck wirkt

Mattheck, Claus (2010): Denkwerkzeuge nach der Natur. 1., unveränd. Nachdr. Karlsruhe: Karlsruher Inst. für Technologie Campus Nord. S. 56.

Abbildung 8: Kerbe zwischen den Armen einer Astgabel

(ebd., S. 25)

Abbildung 9: Vorgehen beim Einzeichnen der Zugdreiecke

(ebd., S. 57)

Abbildung 10: Kerbe zwischen Baumstamm und Boden

Abbildung 11: Plexiglasmodelle

Abbildung 12: Versuchsaufbau

Abbildung 13: bionisch optimierte und für Strohballenbauten entwickelte Schraube

Mattheck, Claus (2010): Denkwerkzeuge nach der Natur. 1., unveränd. Nachdr. Karlsruhe: Karlsruher Inst. für Technologie Campus Nord. S. 64.

Abbildung 14: Strohballenhaus in Bad Belzig

<https://www.baunetzwissen.de/gesund-bauen/tipps/linkliste/strohballenbau-5031286/gallery-1/4>

(abgerufen am 17.04.2021 um 14:30 Uhr)

Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“

Abbildung 1: Leonardo da Vinci

[https://www.meisterdrucke.com/kunstdrucke/Unbekannt-Unbekannt/256471/Vermutetes-Selbstportr%C3%A4t-von-Leonardo-da-Vinci-\(1452-1519\),-einem-unbekannten-K%C3%BCnstler.html](https://www.meisterdrucke.com/kunstdrucke/Unbekannt-Unbekannt/256471/Vermutetes-Selbstportr%C3%A4t-von-Leonardo-da-Vinci-(1452-1519),-einem-unbekannten-K%C3%BCnstler.html)

(abgerufen am 16.04.2021 um 14:30 Uhr)

Abbildung 2: Da Vincis Brückenentwurf

<https://de.wikipedia.org/wiki/Leonardo-Br%C3%BCcke>

(abgerufen am 16.04.2021 um 14:35 Uhr)

Abbildung 3: Funktionsprinzip der Leonardo-Brücke

<https://www.science.lu/de/historisches-experiment/baue-eine-leonardo-bruecke>

(abgerufen am 16.04.2021 um 14:40 Uhr)

Abbildung 4: Anordnung der Längs- und Querverstrebungen

<https://www.science.lu/de/historisches-experiment/baue-eine-leonardo-bruecke>

(abgerufen am 16.04.2021 um 14:40 Uhr)

Abbildung 5: Belastung einer Papierbrücke mit einem Tischtennisball

Abbildung 6: Brückenbau-Techniken 1 bis 4

https://www.dlr.de/next/Portaldat/69/Resources/images/3_verkehr/3_2_autos-der-zukunft/3_2_6_papierbruecke/3_2_6_Papierbruecke.pdf

(abgerufen am 16.04.2021 um 14:42 Uhr)

Abbildung 7: Mohnblütenknospe

<https://pixabay.com/de/photos/mohnblume-mohn-klatschmohn-4245051/>

(abgerufen am 16.04.21 um 14:47 Uhr)

Abbildung 8: Faltanleitung Miura-Faltung

https://www.nibis.de/uploads/nlq-baumann/2020-06-17%20Bionik_Miura-Faltung_znt.pdf

(abgerufen am 16.04.2021 um 14:50 Uhr)

Videoquellen

Einführendes Erklärvideo

<https://youtu.be/-zmGMw5vPH4>

(abgerufen am 15.05.2021 um 15:20 Uhr)

Baue einer Leonardo-Brücke

<https://www.youtube.com/watch?v=QKdQV2q5PRk>

(abgerufen am 16.04.2021 um 15:20 Uhr)

Aufblühende Mohnblüte

<https://www.youtube.com/watch?v=ZD2oTrIL48o>

(abgerufen am 16.04.2021 um 14:42 Uhr)

Arbeitsheft
für das Goethe-Schülerlabor zum Thema

„Baubionik“

Dieses Heft gehört: _____

Herzlich Willkommen im Goethe-Schülerlabor!

Im Rahmen des heutigen Tages bekommst du die Möglichkeit, wie ein Bioniker/ eine Bionikerin zu forschen. Das Schülerlabor stellt vier Stationen zum Thema „Baubionik“ bereit. Für die Bearbeitung der Stationen stehen dir jeweils 90 Minuten zur Verfügung.

Stationsübersicht

Station „Lotus und Salvinia“

Station „Eisbär“

Station „Baumstamm und Astgabel“

Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“

Für einen reibungslosen Ablauf des Tages bitten wir dich, den folgenden Ablaufplan zu beachten:

Ablaufplan

Begrüßung und Einführung

Forschen an der ersten Station

Kleine Pause

Forschen an der zweiten Station

Mittagspause mit anschließendem Raumwechsel

Forschen an der dritten Station

Kleine Pause

Forschen an der vierten Station

Belastungstest, Siegerehrung und Abschlussrunde

Wenn Fragen du haben solltest, kannst du dich jederzeit an die Betreuerinnen und Betreuer des Schülerlabors wenden.

Viel Spaß!

Station „Lotus und Salvinia“

Station

„Lotus und Salvinia“

Der Lotus-Effekt

Schon seit Jahrtausenden gilt die Lotus-Pflanze (*Nelumbo nucifera*) im Buddhismus als Symbol für absolute Reinheit. Begründet liegt dies in dem besonderen Effekt, der auf der Oberfläche der Pflanzenblätter zu beobachten ist. Das Phänomen trägt den Namen „Lotus-Effekt“.



Abbildung 1: Lotuspflanze

Arbeitsauftrag 1

Entdecke selbst, was sich hinter dem Lotus-Effekt verbirgt. Untersuche hierfür die Blattoberfläche verschiedener Pflanzen.

Materialien

Frische Blätter (Lotus, Tulpen, Kapuzinerkresse, Kohl sowie Salat und Löwenzahn)

Wasser

Pipette

Mehl

Wattestäbchen

Durchführung/ Aufgaben

1. Nimm die Pipette und tropfe Wasser auf die verschiedenen Blätter. Beschreibe genau, was du beobachten kannst.

A: Das Wasser perlt von den Blättern ab. Der Tropfen nimmt beim Lotus-, Tulpen- und Kohlblatt wie auch bei der Kapuzinerkresse annähernd Kugelform an, während dies beim Salat- und Löwenzahnblatt nicht der Fall ist. Hier zerläuft der Tropfen und scheint dabei stärker an der Blattoberfläche zu „kleben“. Er perlt weniger gut ab. Das Lotusblatt, die Kapuzinerkresse, das Tulpen- und das Kohlblatt weisen den Lotus-Effekt aus, das Salat- und Löwenzahnblatt hingegen nicht.

2. Bestreue die Blätter mit etwas Mehl und lasse erneut Wasser mit Hilfe der Pipette über die Blattoberfläche laufen. Beschreibe deine Beobachtung!

A: Bei den Blättern mit Lotusoberfläche perlt das Wasser ab und nimmt das Mehl mit. Die Oberfläche wird gereinigt. Bei den Blättern ohne Lotusoberfläche geschieht dies jedoch nicht.

3. Suche dir ein Blatt mit Lotusoberfläche aus und reibe mit dem Wattestäbchen über das Blatt. Tropfe erneut Wasser darüber. Was stellst du fest? Beschreibe!

A: Der Lotus-Effekt funktioniert nicht mehr. Das Reiben des Wattestäbchens über das Blatt hat den Abrieb der Oberflächenstruktur des Blatts zur Folge. Der Tropfen perlt nicht wie zuvor ab, sondern verhält sich wie ein Tropfen auf dem Salat- und Löwenzahnblatt.

Erklärung

Grund für den selbstreinigenden Effekt ist die noppenartige und mit Wachs überzogene Feinstruktur der Pflanzenblätter. Diese bewirkt das Abperlen der Wassertropfen, an denen gleichzeitig Schmutzpartikel (hier das Mehl) haften bleiben. Das Prinzip basiert darauf, dass die Auflagefläche eines Schmutz- oder Wassertropfens auf der Blattoberfläche sehr klein ist, wenn der Tropfen lediglich mit den Noppenspitzen des Blatts in Berührung kommt. Gleichermaßen gering fallen dadurch auch die Anziehungskräfte zwischen den Schmutzpartikeln und dem Blatt aus, sodass die Partikel an der Oberfläche des Wassertropfens haften bleiben und mit ihm abrollen.

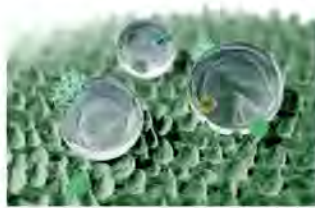


Abbildung 2: Computergrafik der Oberfläche eines Lotusblattes

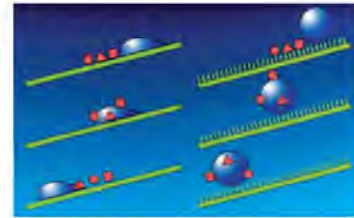


Abbildung 3: Die Funktionsweise des Lotus-Effekts - Schmutz wird durch eine Flüssigkeit von der Oberfläche gewaschen

Die Anziehungskräfte zwischen dem Wassertropfen und der Blattoberfläche (Adhäsionskräfte) sind klein. Die Anziehungskräfte zwischen den Wasserteilchen (Kohäsionskräfte) sind hingegen groß. Letztgenannte zwischenmolekulare Kräfte sind auch Ursache der hohen Oberflächenspannung des Wassers. Aufgrund dieser Oberflächenspannung ist das Wasser bestrebt, seine Oberfläche möglichst gering zu halten. Da geometrisch gesehen die Form mit dem kleinsten Verhältnis von Oberfläche und Volumen eine Kugel ist, kugelt sich der Wassertropfen ein.

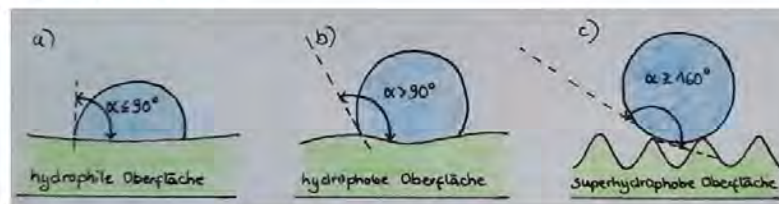


Abbildung 4: Schematische Darstellung unterschiedlicher Kontaktwinkel α zwischen Wassertropfen und Blattoberfläche in Abhängigkeit der Oberflächenstrukturierung: a) Ist die Benetzung groß (der Wassertropfen breitet sich stark auf der Oberfläche aus), ist der Kontaktwinkel α klein, d.h. $\alpha \leq 90^\circ$. Man spricht von „hydrophilen“ (wasserliebenden) Oberflächen; b) Liegt der Kontaktwinkel α zwischen 90° und 160° nennt man die Oberfläche „hydrophob“. Sie ist zwar auch wasserabweisend, aber nicht ganz so stark wie „superhydrophobe“ Oberflächen; c) Bei Pflanzen mit Lotus-Effekt ist der Kontaktwinkel α zwischen Wassertropfen und Oberfläche $\geq 160^\circ$. Die Benetzung ist sehr klein. Oberflächen mit derart stark wasserabweisenden Eigenschaften werden „superhydrophob“ bezeichnet.

4. Ordne die vorliegenden Pflanzenblätter folgenden Kategorien zu.

Superhydrophobe Oberfläche: Lotus, Kapuzinerkresse, Tulpe, Kohl

Hydrophile Oberfläche: Salat, Löwenzahn

Arbeitsauftrag 2

Erzeuge selbst einen künstlichen Lotus-Effekt.

Materialien

Kerze

Streichhölzer

2 kleine Glasplatten

Eine kleine Zange

Pipette

Eine Schüssel mit Wasser

Tulpenblatt

Salatblatt

Durchführung

Zünde die Kerze an. Halte eine der Glasplatten mit der Zange so lange in die Kerzenflamme, bis sie rußgeschwärzt ist. Warte kurz bis sich die Glasplatte wieder abgekühlt hat. Tropfe nun mit der Pipette jeweils einen Wassertropfen auf die Glasplatten und lass ihn abrollen.

Aufgaben

1. Analysiere das Verhalten der Wassertropfen auf den beiden unterschiedlichen Glasplatten.

A: Während sich der Wassertropfen auf der rußgeschwärzten Glasplatte sehr stark ab kugelt, kugelt sich der Wassertropfen auf der unbehandelten Glasplatte nur kaum ab.

2. Welche Glasplatte symbolisiert das Tulpenblatt, welche das Salatblatt?

A: Die rußgeschwärzte Platte symbolisiert das Tulpenblatt, die unbehandelte Platte das Salatblatt. Die Blattoberfläche der Tulpe ist mikrostrukturierter als die des Salatblatts. Daher zeigt das Tulpenblatt den Lotus-Effekt, das Salatblatt hingegen nicht.

3. Überlegt gemeinsam, inwiefern man sich den Lotus-Effekt im Bereich baubionischer Technik zu Nutze machen könnte. Wo könnte der Effekt bei Gebäuden zur Anwendung kommen? Welche Vorteile würden die technischen Anwendungen mit sich bringen? Vielleicht fallen dir auch noch andere Anwendungsbereiche ein.

(vgl. Folgeseite)



Abbildung 5: rußgeschwärzte Glasplatte

A: Der Lotus-Effekt stellt für die Umwelt in vielfältiger Weise eine Art Entlastung dar. Um Oberflächen sauber halten zu können, werden weniger Reinigungsmittel, weniger Wasser und weniger Energie benötigt. Anwendung findet das Selbstreinigungsprinzip in Wandfarben, auf Dachziegeln, in Lacken oder in Sprays.

Die Fassadenfarbe „Lotusan“ macht sich den Lotus-Effekt dahingehend zu Nutze, dass Schmutz mit dem Regen abperlt, wodurch die Fassaden länger sauber bleiben. Hinzu kommt, dass der Befall durch Pilze und Algen nachhaltig gehemmt wird.

Auch Dachziegeln bleiben mit einer ähnlichen Beschichtung länger sauber und schön, da der Regen die Schmutzpartikel abwäscht. Zudem wird ein schnelles Korrodieren der Ziegel verhindert, da die Feuchtigkeit weniger lange auf den Dachziegeln verbleibt.

Mittlerweile kommt der Lotus-Effekt auch in Reinigungsmitteln für Autoscheiben zur Anwendung, wodurch weder Insekten noch Regen und Schnee oder andere Verschmutzungen längere Zeit haften bleiben. Darüber hinaus machen sich manche Überzüge auf Flugzeugen in Form spezieller Versiegelungen und Lacke den Effekt zu Nutze. Auch auf weitere Materialien wie Kunststoffe und Textilien wurde der Effekt bereits übertragen.



Abbildung 6: Fassadenfarbe Lotusan

4. Aus dem Einführungsvideo sind dir bereits die beiden Arbeitsweisen der bionischen Forschung bekannt. Man unterscheidet zwischen dem *Bottom-Up-Prozess* und dem *Top-Down-Prozess* der Bionik. Solltest du dich nicht mehr an den Unterschied zwischen den beiden Vorgehensweisen erinnern, schaue dir das Einführungsvideo erneut an.

Hier geht's nochmal zum Einführungsvideo:



Bearbeite die Aufgabe unter folgendem QR Code:



5. a) Nach welcher der beiden Arbeitsweisen hast du während der Stationsarbeit geforscht? Kreuze an.

- ☐ Top-Down-Prozess
☒ Bottom-Up-Prozess

b) Begründe deine Entscheidung.

A: Ausgangspunkt bionischer Forschung ist die biologische Grundlagenforschung.

Der Salvinia-Effekt

Auf die Entdeckung des selbstreinigenden Effekts des Lotusblatts folgte wenige Jahrzehnte später die Entdeckung des sogenannten Salvinia-Effekts, der nach den besonderen Eigenschaften des Schwimmfarns (*Salvinia molesta*) benannt wurde.



Abbildung 7: Schwimmfarn (*Salvinia molesta*)



Abbildung 8: Bärlapp (*Lycopodium*)

Doch nicht nur der Schwimmfarn, sondern auch andere Pflanzen wie der Bärlapp (*Lycopodium*) weisen den Effekt auf.

Arbeitsauftrag 1

Finde selbst heraus, was sich hinter dem Salvinia-Effekt verbirgt. Anhand der beigelegten Bärlappsporen (*Lycopodium*) kannst du den Effekt sichtbar machen.

Materialien

Glasschüssel

Wasser

Bärlappsporen

Spülmittel

Durchführung/ Aufgaben

1. Fülle die Glasschüssel mit Wasser und streue eine dünne Schicht Bärlappsporen auf die Wasseroberfläche. Tauche anschließend deinen Finger in Schüssel.

Beschreibe, was du beobachtest, während du deinen Finger unter Wasser tauchst.

A: Der Finger schimmert in silbrigem Glanz.

2. Was stellst du fest, wenn du deinen Finger wieder aus der Wasserschüssel hebst?

A: Der Finger ist nicht nass, sondern trocken.

Erklärung - Bärlappversuch

Bärlappsporen sind kugelförmig und besitzen eine wabenartige Oberfläche, die unter dem Mikroskop erkennbar wird.

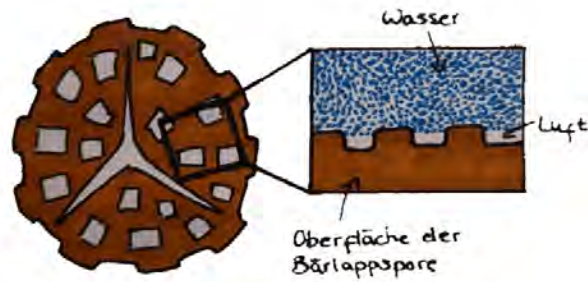


Abbildung 9: Bärlappspore unter dem Lichtmikroskop.

Unter folgendem QR Code findest du eine Erklärung in Form eines Lückentextes:



3. Tropfe etwas Spülmittel auf die mit Bärlappsporen bedeckte Wasseroberfläche. Ein Tropfen genügt. Beschreibe kurz, was du feststellst. Versuche zu erklären, was passiert ist.

A: Der Tropfen Spülmittel hat ein Loch in die Bärlappspor-Schicht gerissen. Die Seife führt zu einer Herabsetzung der Oberflächenspannung der Flüssigkeit. Die Oberflächenspannung der hergestellten Seifenlösung ist kleiner als die Oberflächenspannung des Wassers.

Erklärung - Salvinia-Effekt

Anknüpfend an den Bärklappversuch sollte es nun leichter fallen, den Salvinia-Effekt am Beispiel des Schwimmfarns *Salvinia molesta*, der für den Effekt namensgebend war, nachzuvollziehen.

Der Schwimmfarn besitzt feine schneebesenförmige Haare.



Abbildung 10: Schneebesenförmige Haare des Schwimmfarns (*Salvinia molesta*)

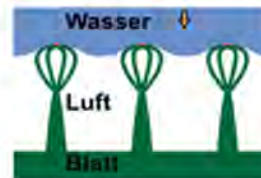


Abbildung 11: Unter Normalbedingungen liegt das Wasser auf den hydrophoben Haaren des Schwimmfarns auf

Diese haben die Eigenschaft, superhydrophob (stark wasserabweisend) zu sein. Ähnlich wie beim Lotuseffekt verhindern Nanostrukturen in Form von winzigen Wachskristallen eine Benetzung der Blattoberfläche des Schwimmfarns. Die Spitzen der Härchen sind allerdings hydrophil (wasserliebend), und fixieren die Luft-Wasser-Grenzfläche. Dieser Mechanismus, der die Stabilisierung der Luftschicht unter Wasser herbeiführt, bezeichnet den Salvinia-Effekt. Deutlich sichtbar wird der Effekt am silbrigen Glanz der untergetauchten Oberflächen. Das Schimmern entsteht aufgrund der Lichtreflexion an der Luft-Wasser-Grenzfläche.

Gleichem Prinzip gehorcht auch der unter Wasser getauchte Finger, der von den Bärklappsporen ummantelt werden. Werden die Bärklappsporen auf die Wasseroberfläche gestreut, spreiten sie, d.h. sie verteilen sich gleichmäßig aufgrund der Oberflächenspannung des Wassers. Die kleinen Partikel des Bärklapps haften am Finger und schließen Luft ein. Durch den Lufteinschluss bleibt der Finger auch unter Wasser trocken.

Arbeitsauftrag 2

Materialien

Glasschüssel

Wasser

Stab mit rußgeschwärztem Ei

Durchführung

Fülle die Glasschüssel mit Wasser und halte den Stab mit dem rußgeschwärzten Ei hinein.

Aufgaben

1. Beschreibe deine Beobachtung.

A: Das Ei schimmert silbrig.

2. Formuliere eine kurze Erklärung für deine Beobachtung.

A: Die Nanostrukturierung des rußgeschwärzten Eis bewirkt Lufteinschlüsse auf der Oberfläche des Eis. Der silbrige Glanz entsteht durch Lichtreflexion an der Luft-Wasser-Grenzfläche.

3. Stelle eine Internet-Recherche an. Suche mindestens ein Beispiel, bei dem der Salvinia-Effekt auf eine technische Anwendung übertragen wurde und beschreibe kurz, welchen Vorteil die technische Anwendung mit sich bringt. Tausche dich anschließend mit Gruppenmitgliedern aus.

A: Technisch, dauerhaft lufthaltende Oberflächen sind beispielsweise für den Schifffahrtsbereich von hohem Interesse. So kann eine an den Schwimmpflanzen angelehnte Beschichtung der Oberfläche von Schiffsrümpfen zu einer Minimierung der Reibung zwischen Rumpf und Wasser führen. In diesem Zusammenhang erfüllt die Luftschicht zwischen der Rumpfoberfläche und dem darüber strömenden Wasser den Zweck eines Gleitfilms. Durch die Verminderung der Reibung durch die Luftschicht kann nicht nur Treibstoff eingespart werden, gleichzeitig wird auch der CO₂-Ausstoß gesenkt.

Überprüfe dein Wissen!

Aufgabe 1

☐ Kreuze an, welche der folgenden Aussagen zutreffen:

Übersteigen die Kohäsionskräfte zwischen den Wasserteilchen die Adhäsionskräfte zwischen den Wasserteilchen und den Wachsteilchen auf der Blattoberfläche, wird die Oberfläche fast vollständig benetzt.

☒

Je kleiner die Adhäsionskräfte zwischen den benetzenden Wasserteilchen und der benetzten Oberfläche gegenüber den Kohäsionskräften zwischen den Wasserteilchen sind, desto größer ist der Kontaktwinkel.

☒

Kennzeichen superhydrophober Oberflächen ist eine geringfügige Benetzung, wobei der Kontaktwinkel zwischen benetzter Oberfläche und benetzender Flüssigkeit 160° übersteigt.

☒

Bei hydrophilen Oberflächen liegt der Kontaktwinkel zwischen Flüssigkeit und Oberfläche unter 90° und die Benetzung ist verhältnismäßig groß.

Aufgabe 2

Folgender Text fasst die wesentlichen Aspekte zum Lotus-Effekt zusammen. Fülle die Lücken mit Hilfe der untenstehenden Begriffe.

Die **Oberfläche** von Blättern mit Lotus-Effekt besitzt eine **noppenartige Feinstruktur** und ist mit einer dünnen **Wachsschicht** überzogen, die stark **wasserabweisend**, also **superhydrophob** ist. Sie sorgt dafür, dass die **Blattoberfläche** nicht besonders gut mit Wasser **benetzt** werden kann. Die als **Adhäsionskräfte** bezeichneten Anziehungskräfte zwischen den auf der Oberfläche gelegenen Wachsteilchen und den Wasserteilchen sind dabei kleiner als die Anziehungskräfte zwischen den Wasserteilchen, die sogenannten **Kohäsionskräfte**. Daher perlt der **Wassertropfen** von der Blattoberfläche ab. Der Grund für das Einkugeln des Wassertropfens ist die **Oberflächenspannung**.

Begriffe: Kohäsionskräfte, Oberfläche, Oberflächenspannung, benetzt, Wassertropfen, Wachsschicht, noppenartige Feinstruktur, superhydrophob, Blattoberfläche, Adhäsionskräfte, wasserabweisend.

Aufgabe 3

Folgende Abbildung zeigt den Rückenschwimmer (*Notonectidae*):



Abbildung 12: Rückenschwimmer (*Notonectidae*)

1. Benenne das Phänomen, das sich das Insekt zu Nutze macht. Begründe, woran du erkannt hast, dass es sich um dieses Phänomen handelt.

A: Das Insekt macht sich den Salvinia-Effekt zu Nutze. Dies erkennt man am silbrigen Glanz der Deckflügel.

2. Erkläre das Phänomen und nenne eine technische Anwendung, auf die das in der Natur gefundene Prinzip übertragen wurde.

A: Die hydrophoben Eigenschaften und die Oberflächenstrukturierung der Deckflügel bewirken eine Stabilisierung der Luftschicht unter Wasser. Der silbrige Glanz entsteht durch Lichtreflexion an der Luft-Wasser-Grenzfläche.

Der Effekt wurde beispielsweise auf die Oberflächenbeschichtung von Schiffsrümpfen übertragen.

Station „Eisbär“

Station

„Eisbär“

Der Eisbär

Die Arktis ist der natürliche Lebensraum des Eisbären (*Ursus maritimus*). Obwohl die Temperaturen dort bis zu $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ fallen, fühlt sich der Eisbär selbst bei arktischer Kälte wohl. Mit einer Kombination aus dichtem, weißem Fell, schwarzer Haut und einer dicken Fettschicht hat der Eisbär seinen Energiehaushalt perfektioniert und kann sich so auch optimal vor Minusgraden schützen.



Abbildung 1: Eisbär in der Arktis

Die Wärmebildkamera



Abbildung 2: Wärmebildkamera

Eine Wärmebildkamera ist ein Gerät zur bildlichen Darstellung von Infrarotstrahlung. Die Infrarotstrahlung ist der Teil des Lichts, der maßgeblich für die Wärmestrahlung verantwortlich ist. Dies macht man sich bei der Bildaufnahme mit Infrarotkameras zu Nutze. Die Infrarotkamera zeichnet die Temperaturverteilung verschiedener Objekte auf und fertigt daraufhin ein Bild an, das die Wärmestrahlung unterschiedlicher Bereiche visualisiert. Üblicherweise wird das entstehende Bild in Graustufen, d.h. in unterschiedlichen Grautönen, dargestellt. Zur besseren Veranschaulichung färbt man die verschiedenen Graustufen jedoch farblich ein. Generell lässt sich sagen, dass je dunkler/blauer die Darstellung ist, desto kälter ist die mit der Kamera aufgenommene Region. Umgekehrt stellen helle/gelbe Bereiche des Bildes besonders warme Objekte dar.

Hinweise zur Arbeit mit der Wärmebildkamera

Um die Kamera nicht zu beschädigen, solltest du behutsam damit umgehen.
 Achte ebenfalls darauf, dass du nicht auf die Linse fasst, um diese nicht zu verkratzen.
 Das Scharfstellen des Bildes erreichst du durch das Drehen am Objektiv.
 Objekte können mithilfe des auf dem Display dargestellten Fadenkreuzes anvisiert werden.
 Oben links auf dem Display wird die Temperatur des anvisierten Objektes (in $^{\circ}\text{C}$) angezeigt.

Arbeitsauftrag 1

Macht euch selbst mit der Wärmebildkamera vertraut und überzeugt euch von ihrer Funktionsweise. Seht euch zunächst im Raum um und beobachtet, in welchen Farben die verschiedenen Objekte erscheinen.

Materialien

Wärmebildkamera

Verschiedenfarbige Buntstifte

Aufgaben

1. Richtet die Wärmebildkamera auf eine Mitschülerin oder einen Mitschüler. Übertrag die auf der Wärmebildkamera dargestellte Farbverteilung auf einen der untenstehenden Körperumrisse.

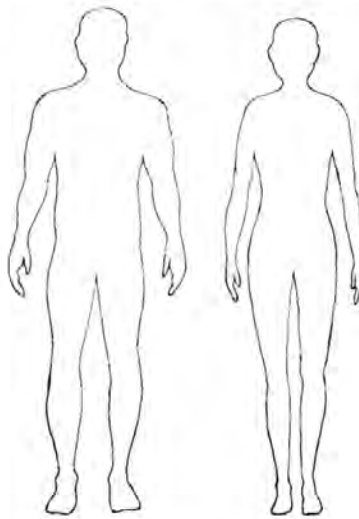


Abbildung 3: Körpersilhouetten

2. Nennt die Körperregionen, die besonders viel Wärme abstrahlen und nennt diejenigen, die besonders wenig Wärme abstrahlen.

Starke Wärmeabstrahlung: Kopf, Hände und alle weiteren Körperregionen, die nicht mit Kleidung, Sonnenbrille o.Ä. bedeckt sind

Schwache Wärmeabstrahlung: Mit wärmeisolierend wirkender Kleidung bedeckte Körperregionen

3. Die nebenstehende Abbildung zeigt das Wärmebild von Eisbär Knut aus dem Berliner Zoo.

Erklärt die unterschiedlichen Farben.

A: Der Großteil seines Körpers erscheint im Wärmebild blau, da nahezu keine Wärme an die Umgebung abgegeben wird. Dank seiner Fettschicht und dank seines dicken Fells ist Eisbär Knut offenbar besonders gut gegen Wärmeverluste geschützt. Das Wärmebild verdeutlicht, dass der Eisbär die meiste Wärme über Augen, Maul, Nase und Ohren abstrahlt. Diese erscheinen in gelb-orange Tönen.

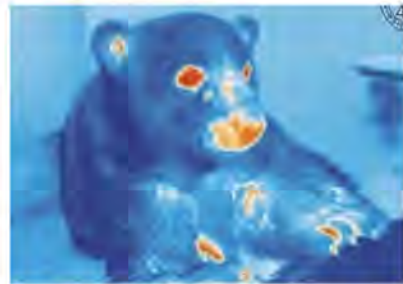


Abbildung 4: Wärmebild von Eisbär Knut aus dem Berliner Zoo

Arbeitsauftrag 2

Findet selbst heraus, warum die Eisbärhaut schwarz ist. Beleuchtet hierfür eine schwarze und eine weiße Filmdose und misst die Temperatur im Doseninneren. Die schwarze Filmdose symbolisiert den Eisbären mit schwarzer Haut, die weiße Dose steht stellvertretend für den Eisbären mit weißer Haut.

Materialien

Schwarze und weiße Filmdose

2 Messfühler

Wärmelampe

Stoppuhr

Durchführung

Stellt die schwarze und weiße Filmdose nebeneinander vor die Wärmelampe, sodass beide Dosen gleichmäßig beleuchtet werden. Dosen und Wärmelampe sollten etwa im Abstand von 30 cm zueinander stehen. Beachtet, dass die Wärmelampe und die Umgebung sehr heiß werden. Anhand der Temperaturfühler könnt ihr die Temperatur der Luft im Doseninneren messen. Steckt hierfür die Temperaturfühler in das jeweilig vorgesehene Löchlein an der Seite der Dosen.

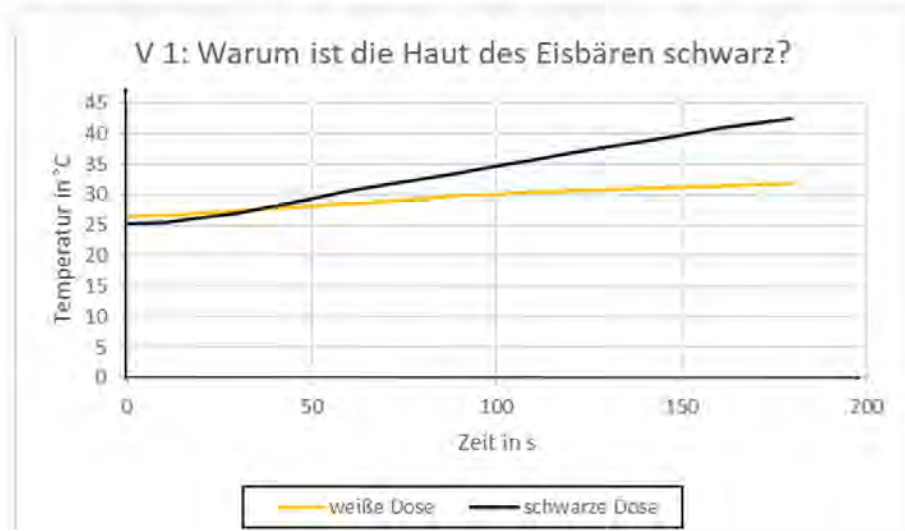
Aufgabe

Misst den Temperaturanstieg der Luft im Doseninneren, indem ihr alle 10 Sekunden die auf dem Temperaturfühler angezeigte Temperatur ablest. Beendet die Messung nach 3 Minuten. Notiert die Temperaturmesswerte in der Tabelle auf der Folgeseite.

Eisbär

Zeit in s	Temperatur in °C (Schwarze Dose)	Temperatur in °C (Weiße Dose)
0	25,2	26,3
10	25,5	26,6
20	26,2	27
30	27	27,3
40	28,2	27,7
50	29,3	28,2
60	30,7	28,6
70	31,7	28,9
80	32,6	29,3
90	33,6	29,8
100	34,7	30,1
110	35,7	30,5
120	36,9	30,7
130	37,8	30,9
140	38,8	31,1
150	39,8	31,3
160	40,8	31,5
170	41,6	31,7
180	42,5	31,8

- Stellt die Ergebnisse graphisch dar. Tragt die Messpunkte in das Koordinatensystem ein. Verbindet die Punkte und zeichnet die Graphen für den jeweiligen Temperaturverlauf in den Dosen.



3. Fasst das Ergebnis des Versuchs kurz zusammen.

A: Die Luft in der schwarzen Dose erreicht eine höhere Temperatur als die Luft in der weißen Dose. Der Temperaturanstieg ist größer. Insofern muss die schwarze Dose mehr Wärmeenergie in das Innere der Dose übertragen haben als es bei der weißen Dose der Fall ist. Daraus kann geschlossen werden, dass eine schwarze Dosenoberfläche mehr Strahlungsenergie absorbiert, während eine weiße Dosenoberfläche mehr Strahlungsenergie reflektiert.

Mit diesem Ergebnis wirft sich eine Frage auf: Warum hat der Eisbär kein schwarzes Fell?

Wäre es aus energetischen Gründen nicht besser, wenn Eisbären schwarzes hätten, um mehr Sonnenstrahlung absorbieren zu können? Bevor ihr der Frage im nächsten Versuch genauer nachgeht, solltet ihr noch wissen, dass das Eisbärenfell im Grunde genommen nicht weiß, sondern durchsichtig ist. Durch Lichtreflexion erscheint das Fell zwar weiß, die einzelnen Fellhaare besitzen jedoch keine Farbpigmente und sind daher transparent.

Arbeitsauftrag 3

Findet heraus, warum das Eisbärenfell transparent und nicht schwarz ist. Beleuchtet hierfür die umwickelten Fotodosen. Die schwarze Fotodose, die mit durchsichtiger Luftpolsterfolie umwickelt ist, soll den Eisbären mit transparentem Fell darstellen. Die andere schwarze Fotodose ist ebenfalls mit transparenter Luftpolsterfolie umwickelt; ihre äußere Schicht ist jedoch schwarz gefärbt. Die Dose symbolisiert den Eisbären mit schwarzem Fell.

Materialien

Fotodose mit durchsichtiger Luftpolsterfolie und Fotodose mit schwarz gefärbter Luftpolsterfolie

2 Messfühler

Wärmelampe

Stoppuhr

Durchführung

Geht vor wie in Versuch 1. Stellt die Dosen nebeneinander vor die Wärmelampe, sodass sie gleichmäßig beleuchtet werden. Behaltet den Abstand von 30 cm zwischen Dose und Wärmelampe bei. Steckt die Temperaturfühler in die Dosen und beginnt mit der Temperaturmessung.

Aufgaben

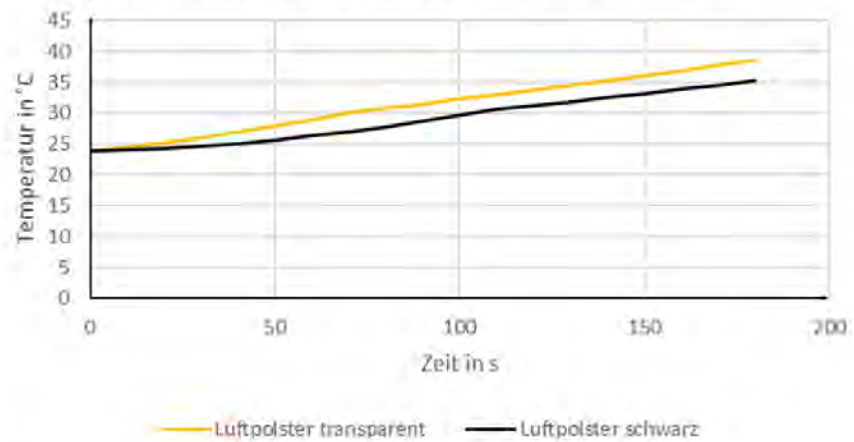
1. Messt den Temperaturanstieg der Luft im Doseninneren, indem ihr alle 10 Sekunden die auf dem Temperaturfühler angezeigte Temperatur ablest. Beendet die Messung nach 3 Minuten. Notiert die Temperaturmesswerte in der Tabelle auf der Folgeseite.

Eisbär

Zeit in s	Temperatur in °C (schwarzes Luftpolster)	Temperatur in °C (transparentes Luftpolster)
0	23,8	23,8
10	24,1	24,5
20	24,3	25,2
30	24,6	26
40	25,1	27
50	25,6	27,9
60	26,3	28,9
70	27	30
80	27,8	30,8
90	28,7	31,5
100	29,6	32,3
110	30,6	33
120	31,2	33,8
130	31,8	34,5
140	32,5	35,3
150	33,2	36,1
160	33,9	36,9
170	34,6	37,7
180	35,3	38,6

- Stellt die Ergebnisse graphisch dar. Tragt die Messpunkte in das Koordinatensystem ein. Verbindet die Punkte und zeichnet die Graphen für den jeweiligen Temperaturverlauf in den Dosen.

V 2: Warum hat der Eisbär kein schwarzes Fell?



3. Fasst das Ergebnis des Versuchs kurz zusammen.

A: Die Luft in der Dose mit transparenter Luftpolsterfolie erreicht eine höhere Temperatur als die Luft in der Dose mit schwarz bemalter Luftpolsterfolie.

4. Der Sachverhalt wird anhand der folgenden schematischen Darstellung verdeutlicht.

Füllt die roten Kästen mit folgenden Begriffen: Reflexion, Transmission, Absorption (2x)

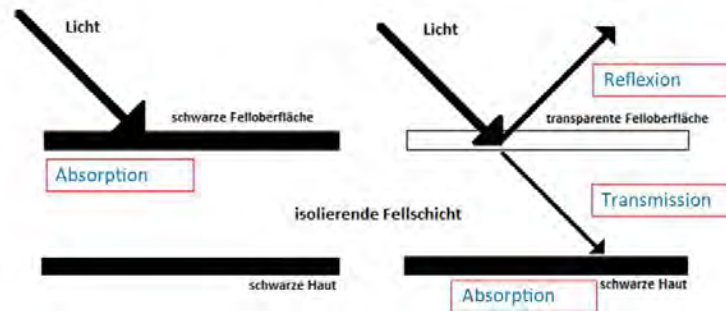


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Eisbären mit schwarzem und transparentem Fell

Technische Anwendung

Ihr habt feststellen können, dass das Eisbärenfell wie ein transparenter Isolierstoff wirkt, der Wärmestrahlung hindurchlässt. Die Strahlung wird von der schwarzen Haut absorbiert und hält den Eisbären warm. Zugleich wirkt das Fell wärmedämmend nach außen.

1. Überlegt, wo ein solches Isoliermaterial in der Bautechnik Anwendung finden könnte. Notiert eure Ideen.

A: Das Isoliermaterial könnte zur Wärmedämmung von Wohnhäusern oder anderen Gebäuden eingesetzt werden. Ebenso denkbar wäre der Einsatz in Gewächshäusern.

Hier findest du eine vertiefende Erklärung zum Eisbärenfell:



Technische Anwendung

Ein technisches Produkt, das auf Grundlage der Erkenntnisse über die Funktion des Eisbärenfells entwickelt wurde, ist die sogenannte transparente Wärmedämmung (TWD), die u.a. für Häuser eingesetzt wird. Der Einsatz transparenter Wärmedämmung beschränkt sich jedoch nicht nur auf Hauswandverkleidungen. Auch textile



Abbildung 6: Muster-Eisbärhaus mit textilen Solarkollektoren in Denkendorf

Abdeckungen auf Solarkollektoren nutzen das Prinzip. Einsatz finden die neuartigen Solarkollektoren beispielsweise im Muster-Eisbärenhaus in Denkendorf bei Stuttgart. Der Eispavillon wurde 2013 fertiggestellt.

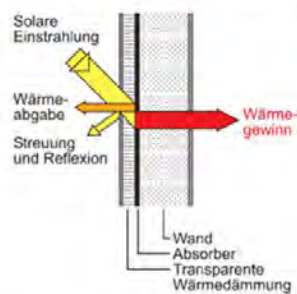
2. Schaut euch folgende Abbildung an und benennt die Vorteile der transparenten Wärmedämmung (TWD) gegenüber einer opaken (lichtundurchlässigen/ undurchsichtigen) Wärmedämmung.

Hier findest du eine vertiefende Erklärung zu technischen Anwendungen:

A: Die transparente Wärmedämmung verbessert nicht nur den Wärmeschutz einer Außenwand, sondern ermöglicht darüber hinaus auch solare Wärmegegewinnung. Bei der TWD sind die Wärmeverluste durch Streuung und Reflexion verglichen mit der opaken Wärmedämmung deutlich geringer. Gleichzeitig ist der Wärmegegewinn bei einer transparenten Wärmedämmung gegenüber der opaken Wärmedämmung deutlich höher. Somit kann mehr Wärme in das Gebäudeinnere transportiert und gespeichert werden.



Transparente Wärmedämmung



Opake Wärmedämmung

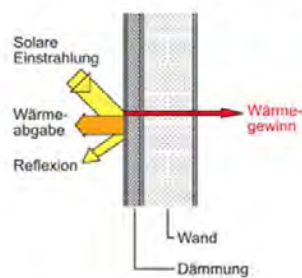


Abbildung 9: Funktionsprinzip einer TWD-Wand im Vergleich zu einer Wand mit opaker Wärmedämmung

Überprüfe dein Wissen!**Aufgabe 1**

Unter nebenstehendem QR Code findest du einen Lückentext, der alle wesentlichen Inhalte zum Eisbären zusammenfasst.

**Aufgabe 2**

Begründe, warum es sich bei der transparenten Wärmedämmung um ein bionisches Produkt handelt. Fällt dir die Begründung schwer, schau dir das Einführungsvideo erneut an.

1. Die technische Anwendung muss ein biologisches Vorbild haben.
- Das biologische Vorbild der transparenten Wärmedämmung ist das Eisbärenfell.
2. Das biologische Vorbild muss abstrahiert worden sein.
- Die Wirkweise des Eisbärenfells wurde technisch abgewandelt.
3. Die Übertragung in eine zumindest prototypische Anwendung muss erfolgt sein.
- Die transparente Wärmedämmung wird für Hausverkleidungen eingesetzt. Anwendung findet das Prinzip auch auf textilen Abdeckungen von Solarkollektoren.

Die drei notwendigen Kriterien zur Bestimmung, ob ein bionisches Produkt vorliegt, werden im Fall der transparenten Wärmedämmung erfüllt. Daher handelt es sich um ein bionisches Produkt.

Hier geht's noch einmal zum Einführungsvideo:



Station „Baumstamm und Astgabel“

Station

„Baumstamm und Astgabel“

Mechanische Spannung

Mechanische Spannung – Was war das nochmal?

In der Mechanik wird Spannung σ als eine Kraft F definiert, die auf eine Fläche A wirkt. Es gilt:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Senkrecht auf eine Fläche wirkende Spannungen werden in Abhängigkeit der Richtung als Zug- oder Druckspannungen bezeichnet. Spannungen, die hingegen tangential zur Fläche verlaufen, werden Schubspannungen genannt.

Aktiviere dein Vorwissen

Unter dem nebenstehenden QR Code kannst du prüfen, ob du grundlegend verstanden hast, wie Kräfte und Spannungen wirken.



Bist du dir unsicher, ob du das Schaubild richtig verstanden hast?

Oder möchtest du dein Verständnis vertiefen?

Dann kannst du unter folgenden QR Codes noch einmal genauer nachlesen.



Zug- und Druckspannung



Biegemoment



Schubspannung



Kerbspannung

Arbeitsauftrag 1

Ermittelt die Belastbarkeit verschiedener Kerbstrukturen!

Bearbeitet begleitend die untenstehenden Aufgaben.

Materialien

Gewichte bis 21 kg

Plastik-Petrischale

Stift

Kerbstrukturmodelle aus Styropor:

Grundmodell

Modell mit Viertelkreisgerbe

Modell mit Dreieckgerbe

Modell mit Schenkelverstärkung

Modell mit gerundeten Zugdreiecken



Abbildung 6: Styropormodelle

Durchführung

Belastet die verschiedenen Kerbstrukturmodelle mit Gewichten! Geht schrittweise vor und legt nacheinander Gewichtstück für Gewichtstück auf, bis das jeweilige Modell bricht. Die Plastik-Petrischale könnt ihr als Untersetzer auf den Sockel stellen, um die Gewichtstücke besser platzieren zu können. Bevor ihr mit dem Belastungsversuch startet, bearbeitet zunächst Aufgaben 1 und 2.

Aufgaben

1. Stellen, an denen die meisten Spannungen auf ein Bauteil wirken, werden Sollbruchstellen genannt. Markiert die Stellen, an denen die Modelle eurer Vermutung nach brechen werden, mit einem Stift!
2. Überlegt euch, in welcher Reihenfolge die verschiedenen Modelle brechen werden. Legt eine Reihenfolge fest und notiert die geschätzte Maximallast in der Tabelle auf der nächsten Seite. Beginnt mit dem Modell, das eurer Vermutung nach als erstes brechen wird.
3. Belastet die Modelle wie zuvor beschrieben und notiert die jeweilige Maximallast in der Tabelle.
4. Haben sich eure Vermutungen im Hinblick auf die Sollbruchstellen bestätigt? Beschreibt kurz in welcher Weise und an welcher Stelle die jeweiligen Modelle versagen.

Modell	Geschätzte max. Last [g]	Gemessene max. Last [g]	Beobachtung
Grundmodell		4000	Das Modell verbiegt sich immer stärker, bis es schließlich in der Kerbe bricht.
Modell mit Schenkelverstärkung		7000	Das Modell bricht in der Kerbe.
Modell mit Dreieckgerbe		9500	Das Modell bricht gleichzeitig in beiden Kerben.
Modell mit Viertelkreisgerbe		10750	Das Modell bricht an einer schmalen Stelle eines Schenkels.
Modell mit gerundeten Zugdreiecken		21000	Das Modell bricht in der ausgerundeten Kerbe.

Erklärung

Am höchsten ist die Spannung in Kerben, weswegen das Material genau an diesen Stellen am schnellsten versagt – die Modelle brechen. Ein Herabsetzen der Spannung an diesen Stellen ist durch gezielte Materialanlagerungen möglich. Im Versuch wurde dies mit den unterschiedlichen Ausformungen der Kerben realisiert. Die Vergleichbarkeit der Kerbstrukturmodelle ist durch den jeweils identischen Volumeneinschluss zwischen den Schenkeln sichergestellt.

Beim Modell mit gerundeten Zugdreiecken handelt es sich um eine optimierte Struktur, die in Bäumen entdeckt wurde. Durch Materialanlagerung in der Kerbe – entweder zwischen Baumstamm und Erboberfläche oder zwischen den Armen einer Astgabel selbst – wird das Abbrechen an der Kerbe weitestgehend verhindert. Während die meisten Ingenieure zwischen zwei Schenkeln, die im 90°-Winkel zueinander stehen, einen Viertelkreis konstruieren würden, macht sich der Baum ein ganz anderes Prinzip zur Materialanlagerung zu Nutze: das Zugdreiecke-Prinzip.



Abbildung 7: Kerbe, die der Baumstamm mit einem Wurzelanlauf überbrückt, der wie ein Zugdreieck wirkt

Abbildung 8: Kerbe zwischen den Armen einer Astgabel

Arbeitsauftrag 2

In der Natur hängt die Stärke der Ausprägung der Zugdreieckstruktur von der wirkenden Belastung ab. Die Methode der Zugdreiecke kannst du leicht mit Stift, Zirkel und Geodreieck nachvollziehen. Konstruiere die bionisch optimierte Form selbst. Überbrücke die Kerbe zwischen Baumstamm und Boden und zeichne Zugdreiecke in die untenstehende Abbildung ein. Gehe wie folgt vor:

1. Zeichne zuerst ein gleichschenkliges Dreieck in die rechtwinklige Kerbe ein. Die Seitenlänge soll 4 cm betragen. Eine neue, etwas stumpfere Kerbe entsteht, die mit einem weiteren Zugdreieck entschärft werden soll.
2. Die Schenkellänge des zweiten Zugdreiecks entspricht genau der Hälfte der Hypotenuse des ersten Zugdreiecks. Eine noch stumpfere Kerbe entsteht.
3. Überbrücke die Kerbe mit einem dritten Zugdreieck, dessen Schenkellänge der Hälfte der Basis des zweiten Dreiecks entspricht.
4. Runde die verbleibenden stumpfen Ecken aus.

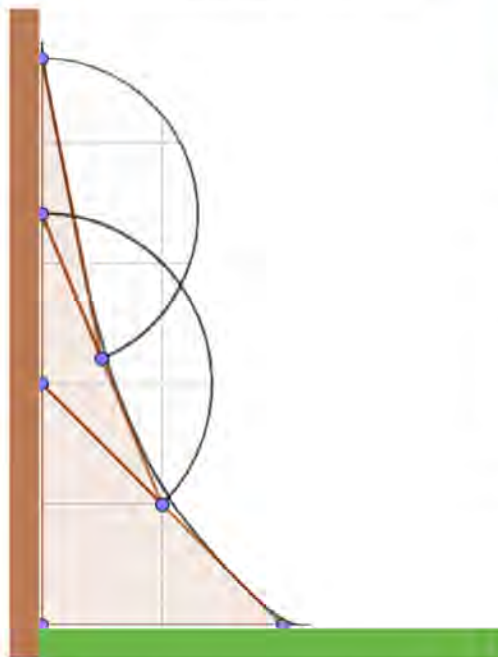


Abbildung 10: Kerbe zwischen Baumstamm und Boden



Abbildung 9: Vorgehen beim Einzeichnen der Zugdreiecke

Prinzipiell könnten unendlich viele Zugdreiecke aneinandergesetzt werden. Untersuchungen zeigen jedoch, dass drei Zugdreiecke für die Entschärfung einer Kerbe meist ausreichend sind. Liegt eine doppel-seitige Belastung vor, wie in Astgabeln oder den Kerbstrukturmodellen, werden die Zugdreiecke in beide Richtungen eingefügt.

Arbeitsauftrag 3

Im Belastungstest habt ihr lediglich an der Verformung und am Bruch der Kerbstrukturmodelle feststellen können, dass Spannungen wirken. Um die Spannungszustände in den Modellen besser verstehen zu können, folgt nun der Einsatz eines sogenannten Polariskops, das eine optische Anordnung von Polarisationsfiltern darstellt.

Anhand des Geräts ist es möglich, die Spannungsverteilung in lichtdurchlässigen Körpern sichtbar zu machen. Die Grundlage des Versuchs bilden Kerbstrukturmodelle aus doppelbrechendem Plexiglas. Diese stellen eine Nachbildung der Styropormodelle im Kleinformat dar.

Materialien

Polariskop

Plexiglasmodelle:

Grundmodell

Modell mit Vierteilkreiskerbe

Modell mit Dreieckkerbe

Modell mit Schenkelverstärkung

Modell mit gerundeten Zugdreiecken



Abbildung 11: Plexiglasmodelle

Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus einer optischen Bank, auf der mit Hilfe von Reitern eine Lichtquelle, ein Schirm und ein Tisch angebracht werden. Der Rahmen, in dem die Modelle befestigt und belastet werden, beinhaltet zwei Polarisationsfilter. Das jeweilige Plexiglasmodell befindet sich zwischen den Polarisationsfiltern. Die Belastungsvorrichtung steht auf dem Tisch.



Abbildung 12: Versuchsaufbau

Durchführung

Baut den Versuch entsprechend der obigen Abbildung auf. Befestigt die Modelle nacheinander im Rahmen und stellt diesen anschließend auf den Tisch. Führt euch die Spannungsspitzen und Kerbwirkungen der verschiedenen Modelle vor Augen, indem ihr am Schraubchen der Belastungsvorrichtung dreht und Druckbelastung auf die Modelle ausübt.

Aufgabe

1. Beschreibt eure Beobachtung.

A: Es wird ein Muster bestehend aus hellen und dunklen Bereichen sichtbar. Mit zunehmender Druckbelastung treten zunehmend hellere Stellen auf. Die auftretenden Spannungen in den Modellen werden anhand der Aufhellungen erkennbar und machen die Spannungsverteilung sichtbar.

Technische Anwendung

Im technischen Bereich ist die Anwendbarkeit des Prinzips der Zugdreiecke zur Entschärfung möglicher Bruchstellen groß. Nicht nur die Ecken verschiedener Bauteile – wie im Versuch gezeigt – lassen sich anhand der Methode modifizieren; gleichermaßen machen sich auch bionische Schrauben das Prinzip zu Nutze. Der Einsatz der Schrauben beschränkt sich dabei nicht nur auf den Bereich der Medizin – etwa für orthopädische Schrauben zur Befestigung eines Implantats am Knochen –, sondern erfüllt auch im Bauwesen seine Zwecke. Folgende Abbildung zeigt eine bionisch optimierte Schraube, die bei der Errichtung von Strohballenhäusern genutzt wird.



Abbildung 13: Bionisch optimierte und für Strohballenbauten entwickelte Schraube



Abbildung 14: Strohballenhaus in Bad Belzig

Überprüfe dein Wissen!

Aufgabe 1

Unter dem nebenstehenden Link findest du ein Quiz zu den Inhalten dieser Station.



Aufgabe 2

Formuliere die bionischen Entwicklungsschritte ausgehend vom biologischen Vorbild bis hin zur technischen Anwendung. Rufe dir die Inhalte der Station erneut ins Gedächtnis und fülle die Tabelle aus.

Vorbild aus der Natur	Prinzip	Technische Anwendung
Kerbstrukturen in Baumstammausläufen und Astgabeln	- Kerbspannungsabbau mittels Methode der Zugdreiecke, die sich am Vorbild (des biologischen Wachstums) orientiert	- bionisch optimierte und für Strohballenbauten entwickelte Schraube

Station

„Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“

Brückenbau

Leonardo da Vinci (1452-1519) wird auch Vater der Bionik genannt. Zahlreiche bionische Errungenschaften gehen auf ihn zurück. Nicht nur revolutionierte er die Entwicklung von Flugmaschinen, indem er den Vogelflug studierte, gleichzeitig brachte sein Schaffen auch eine Brückenkonstruktion hervor, die allseits unter dem Namen Leonardo-Brücke bekannt ist – ein Art Meisterwerk, das ohne Klebstoff oder Nägel zusammenhält und große Lasten tragen kann.



Abbildung 1: Leonardo da Vinci



Abbildung 2: Da Vincis Brückenentwurf

Die ausschließlich aus Holzbrettern und Holzbalken bestehende Brücke wurde ursprünglich für militärische Zwecke entworfen. Als leicht transportable Konstruktion ist sie gut geeignet, um Hindernisse schnell zu überwinden.

Das Bauprinzip beruht auf dem sogenannten Selbsthemmungsmechanismus, denn die Konstruktion verfestigt sich bei Belastung selbst. Die Stabilität der Brücke resultiert aus der Reibung zwischen den verkeilten Bauelementen. Wird Druck auf die Brücke ausgeübt, steigen auch die Reibungskräfte und die Stabilität der Brücke nimmt zu.

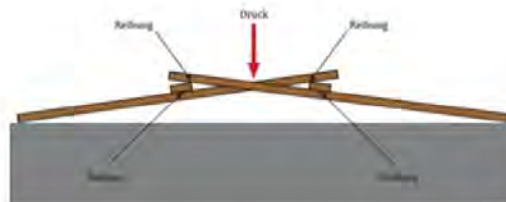


Abbildung 3: Funktionsprinzip der Leonardo-Brücke

Arbeitsauftrag 1





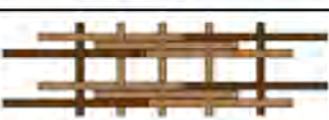
Ihr habt weder Schrauben, Nägel, noch Kleber zu Hand und möchtet trotzdem über den Fluss zur Station „Papierbrückenbau“ gelangen. Schaut euch die Anleitung auf der Folgeseite an und baut die Leonardo-Brücke selbst nach.

Materialien

10 Holzleisten und 5 Holzstäbe

Durchführung

Geht nach Anleitung vor und baut die Leonardo-Brücke nach. Holzstäbe werden für die Querverstrebungen genutzt, Holzleisten für die Längsverstrebungen.

	1. Legt zwei Holzstäbe parallel zueinander auf den Boden. Legt anschließend zwei Holzleisten im rechten Winkel auf die Stäbe.
	2. Platziert nun mittig auf den Längsverstrebungen (Holzleisten) eine dritte Querverstrebung (Holzstab). Achtet darauf, dass diese parallel zu den anderen Querverstrebungen liegt.
	3. Der nächste Schritt wird etwas schwieriger. Baut auf der rechten Seite zwei Holzleisten parallel zueinander ein, sodass sie über der mittleren Querverstrebung und unter der seitlichen Querverstrebung verkeilt festsitzen.
	4. Wiederholt die Prozedur aus Schritt 3 auf der linken Seite, indem ihr nach gleichem Schema zwei Längsverstrebungen hinzufügt. Theoretisch könntet ihr den Brückenbau an dieser Stelle beenden, denn eine kleine Brücke steht bereits.
 <i>Abbildung 4: Anordnung der Längs- und Querverstrebungen</i>	5. Für eine größere Brücke baut links und/ oder rechts weitere Elemente an. Legt hierfür einen Holzstab unter die seitlich gelegenen Längsverstrebungen und fügt zwei weitere Längsverstrebungen hinzu. Achtet darauf, dass die Holzleisten unter dem neu hinzugefügten Holzstab und über dem danebengelegenen Holzstab festsitzen. Wiederholt den Schritt bis das Baumaterial ausgeht.

Unter dem nebenstehenden QR Code findet ihr ein Video, das euch beim Aufbau zusätzlich helfen kann:



Am Beispiel der Leonardo-Brücke habt ihr bereits feststellen dürfen, dass wenig Gewicht und hohe Stabilität einander nicht zwangsläufig ausschließen. Brücken können stabil und trotzdem leicht sein.

Wettbewerb: Papierbrückenbau

Arbeitsauftrag 2

1. Schau dir folgende Abbildung an und benenne das Problem der Brückenkonstruktion. Fülle die Lücke.



Abbildung 5: Belastung einer Papierbrücke mit einem Tischtennisball

Technisches Problem: Die Papierbrücke ist zwar leicht, aber ihr mangelt es an **Stabilität**.

2. Überlegt, wie man die Papierbrücke verändern könnte, damit sie eine möglichst hohe Traglast aushält. Schaut euch das Material auf dem Sammelstisch genau an. Begeht euch auf die Suche nach Lösungen und werdet selbst zu Brückenbauern, denen die Natur zum Vorbild ist.

Arbeitet als Gruppe zusammen und entwickelt eine leichte und zugleich stabile Brücke aus Papier.

Am Ende des Schülerlabortags tretet ihr mit euren Modellen gegen eure Mitschüler und Mitschülerinnen der anderen Gruppen an. Auf den Belastungstest folgt eine kleine Siegerehrung.

Vorgaben/ Wettbewerbsbestimmungen

Als Baumaterial ist nur Papier zulässig. Das Papier darf geschnitten und geklebt werden, weitere Materialien wie Kordel oder Ähnliches sind nicht gestattet.

Die Brücke wird mittig belastet und muss durchgängig „befahrbar“ sein.

Siegerfeststellung

Ziel ist das Erreichen einer möglichst hohen Effizienz der Brückenkonstruktion. Entscheidend für die Feststellung des Siegerteams ist daher das Verhältnis von Traglast zu Eigenlast.

Hilfekarten

Falls euch Ideen für die Umsetzung fehlen, findet ihr kleine Inspirationshilfen unter folgenden QR Codes. Hinter jedem Code verbirgt sich eine Brückenbau-Technik, die sich der Mensch von der Natur abgeschaut hat.



Viel Spaß!

Miura-Faltung

Der Papierbrückenbau hat dir gezeigt, dass sich mit Falten leichte und stabile Konstruktionen möglich sind. Ein weiterer Vorteil von Falten besteht darin, dass sie helfen, Platz zu sparen. Was damit genau gemeint ist, wirst du im Folgenden herausfinden.

Arbeitsauftrag 3

1. Falte ein DIN A4 Blatt so klein wie möglich.
2. Lässt sich das Papier in anderer Weise vielleicht noch besser falten?

Ein kurzer Blick in die Natur kann helfen. Schau dir das Video unter folgendem QR-Code an.



Abbildung 7: Mohnblütenknospe

3. Tauscht euch aus. Beschreibt mündlich, was ihr beobachten konntet und benennt einen Vorteil der Faltechnik.
4. Eine besondere Faltechnik, die sich an der Mohnblütenknospe orientiert, ist die sogenannte Miura-Faltung. Sieh selbst, wie schnell und einfach sich ein Stück Papier zusammenfalten lässt und falte die Miura-Faltung nach. Die Anleitung der Faltung findest du auf der Folgeseite.

Materialien

DIN A4-Blatt

Bleistift

Schere

Lineal

5. Überlegt, inwiefern diese Faltechnik im Bereich baubionischer Entwicklungen Anwendung finden könnte. Notiert eure Ideen.

A: Denkbar wäre der Gebrauch für die Verschattung von Fassaden oder der Einsatz als Sonnensegel. Genauso könnte die Faltung für Elemente genutzt werden, die dem Sichtschutz dienen.

Miura-Faltanleitung

1. Falte ein Blatt Papier in Längsrichtung entlang der gestrichelten Linien. Es entsteht eine Ziehharmonika mit fünf gleichbreiten Streifen.



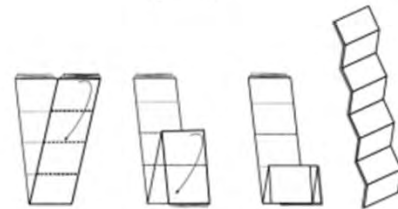
2. Falte den zusammengefalteten/ entstandenen Papierstreifen in der Mitte schräg aufeinander, so dass die diagonal gegenüberliegenden Ecken aneinander stoßen.



3. Zeichne eine Verbindungslinie zwischen den beiden äußeren Ecken und schneide den überstehenden Rand entlang dieser Linie ab.

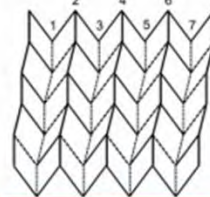


4. Falte den Papierstreifen mehrmals parallel zur entstandenen mittleren Falte, so dass acht gleichgroße Felder entstehen.



5. Jede Falte wird nun noch einmal in die Gegenrichtung gefaltet (achte darauf, dass die Schräge der Falten beibehalten wird)

6. Öffne nun das gesamte Papier und falte es nach folgender Methode wieder zusammen:
Falzreihe 1, 3, 5 und 7 als Tal Falte nach unten
Falzreihe 2, 4 und 6 als Berg Falte nach oben.



7. Schiebe nun die vorgefaltete Struktur zu einem kleinen Paket zusammen.

8. Das Paket lässt sich ganz einfach entfalten und wieder zusammen falten, indem du an den äußeren Ecken ziehst bzw. schiebst.



Abbildung 8: Faltanleitung Miura-Faltung

Technische Anwendung

Anwendung findet die Miura-Faltung nicht nur in Gebrauchsanweisungen, Beipackzetteln oder Stadtplänen; auch für bautechnische Anwendungen ist die Faltung sehr interessant. Denkbar wäre der Gebrauch für die Verschattung von Fassaden oder der Einsatz als Sonnensegel. Genauso könnte die Faltung für Elemente genutzt werden, die dem Sichtschutz dienen. Auch die Solarsegel an manchen Raumschiffen nutzen den Mechanismus. So können die Segel im Bedarfsfall schnell entfaltet und wieder verstaut werden. Von großem Vorteil ist dabei die Tatsache, dass weniger Motoren benötigt werden, um die Segel zu entfalten, womit gleichzeitig auch Gewicht eingespart werden kann.

Überprüfe dein Wissen!

Folgende Aufgaben verknüpfen die Inhalte dieser Station mit den allgemeinen theoretischen Grundlagen der Bionik.

Aus dem Einführungsvideo sind dir bereits die beiden Arbeitsweisen der bionischen Forschung bekannt. Man unterscheidet zwischen dem *Bottom-Up-Prozess* und dem *Top-Down-Prozess* der Bionik. Solltest du dich nicht mehr an den Unterschied zwischen den beiden Vorgehensweisen erinnern, schaue dir das Einführungsvideo erneut an.

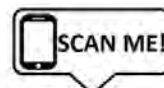
Hier geht's nochmal zum Einführungsvideo:



Aufgabe 1



Aufgabe 2



Quellenverzeichnis

Station „Lotus und Salvinia“

Abbildung 1: Lotuspflanze

<https://pixabay.com/de/photos/lotusblatt-blatt-lotus-bl%C3%A4tter-833013/>

(abgerufen am 15.04.2021 um 15.00 Uhr)

Abbildung 2: Computergrafik der Oberfläche eines Lotusblattes

<https://nanoinformation.at/bereiche/grundlagen/lotus-effekt/>

(abgerufen am 15.04.2021 um 15.10 Uhr)

Abbildung 3: Die Funktionsweise des Lotus-Effekts – Schmutz wird durch die Flüssigkeit von der Oberfläche gewaschen

Wunderlich, Meike; Schulte, Kerstin (2012): Inspiration Natur – Patentwerkstatt Bionik. Wanderausstellung. Hg. v. Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU. Osnabrück. S. 12. Online verfügbar unter <https://www.dbu.de/phpTemplates/publikationen/pdf/281112114415c232.pdf>

Abbildung 4: Schematische Darstellung unterschiedlicher Kontaktwinkel α zwischen Wassertropfen und Blattoberfläche in Abhängigkeit der Oberflächenstrukturierung

Abbildung 5: rußgeschwärzte Glasplatte

Abbildung 6: Fassadenfarbe Lotusan

<http://www.akadaf.de/bionik/textproduktion.html>

(abgerufen am 15.04.2021 um 17.00 Uhr)

Abbildung 7: Schwimmfarn (Salvinia molesta)

<https://www.wissenschaft.de/umwelt-natur/wasserfarn-als-oelreiniger/>

(abgerufen am 15.04.2021 um 17:30 Uhr)

Abbildung 8: Bärlapp (Lycopodium)

<https://www.heilpraxisnet.de/heilpflanzen/baerlapp/>

(abgerufen am 15.04.2021 um 17:30 Uhr)

Abbildung 9: Bärlappspore unter dem Lichtmikroskop

Abbildung 10: Schneebesenförmige Haare des Schwimmfarns (*Salvinia molesta*)

<http://www.lotus-salvinia.de/images/salviniawirz>

(abgerufen am 15.04.2021 um 17:30 Uhr)

Abbildung 11: Unter Normalbedingungen liegt das Wasser auf den hydrophoben Haaren des Schwimmfarns auf

<http://lotus-effekt.de/joomla/images/wdub.pdf>

(abgerufen am 15.04.2021 um 17:30 Uhr)

Abbildung 12: Rückenschwimmer (*Notonectidae*)

<http://lotus-effekt.de/joomla/images/wdub.pdf>

(abgerufen am 15.04.2021 um 17:30 Uhr)

Station „Eisbär“

Abbildung 1: Eisbär in der Arktis

<https://pixabay.com/de/photos/eisbaer-arktis-eis-landschaft-3775941/>

(abgerufen am 16.04.2021 um 21:20 Uhr)

Abbildung 2: Wärmebildkamera

<https://www.welt.de/vergleich/elektronik/waermebildkamera-test/>

(abgerufen am 16.04.2021 um 21:30 Uhr)

Abbildung 3: Körpersilhouetten

Eigenproduktion

Abbildung 4: Wärmebild von Eisbär Knut aus dem Berliner Zoo

https://rp-online.de/panorama/wissen/knut-und-die-anderen-unter-der-waermebildkamera_bid-10949205

(abgerufen am 16.04.2021 um 21:20 Uhr)

Abbildung 5: Schematische Darstellung des Eisbären mit schwarzem und transparentem Fell

Abbildung 6: Muster-Eisbärhaus mit textilen Solarkollektoren in Denkendorf

<https://www.biokon.de/die-bauweise-der-zukunft-textile-solarthermie-im-eisbaerhaus/>

(abgerufen am 17.04.2021 um 10:20 Uhr)

Abbildung 7: Prinzip der transparenten Wärmedämmung

https://www.technoseum.de/fileadmin/media/pdf/mupaed-material/Lehrerheft_Bionik.pdf

(abgerufen am 17.04.2021 um 10:50 Uhr)

Abbildung 8: Muster-Eisbärhaus mit textilen Solarkollektoren in Denkendorf

<https://www.biokon.de/die-bauweise-der-zukunft-textile-solarthermie-im-eisbaerhaus/>

(abgerufen am 17.04.2021 um 10:20 Uhr)

Abbildung 9: Funktionsprinzip einer TWD-Wand im Vergleich zu einer Wand mit opaker Wärmedämmung

<https://www.eneff-schule.de/index.php/innovative-techniken/gebäudehülle.html>

(abgerufen am 17.04.2021 um 11:20 Uhr)

Station „Baumstamm und Astgabel“

Abbildung 1: Kräfte und Spannungen in einem Bauteil

Abbildung 2: Zug- und Druckspannung

Mattheck, Claus (2010): Denkwerkzeuge nach der Natur. 1., unveränd. Nachdr. Karlsruhe: Karlsruher Inst. für Technologie Campus Nord. S. 5.

Abbildung 3: Kräfte, Spannungen und Biegemoment

(ebd.)

Abbildung 4: Zug-, Druck- und Schubspannungen

(ebd., S. 6)

Abbildung 5: Kerbspannungen an kreisförmig ausgerundeter Ecke

(ebd., S. 14)

Abbildung 6: Styropormodelle

Abbildung 7: Kerbe, die der Baumstamm mit einem Wurzelanlauf überbrückt, der wie ein Zugdreieck wirkt

Mattheck, Claus (2010): Denkwerkzeuge nach der Natur. 1., unveränd. Nachdr. Karlsruhe: Karlsruher Inst. für Technologie Campus Nord. S. 56.

Abbildung 8: Kerbe zwischen den Armen einer Astgabel

(ebd., S. 25)

Abbildung 9: Vorgehen beim Einzeichnen der Zugdreiecke

(ebd., S. 57)

Abbildung 10: Kerbe zwischen Baumstamm und Boden

Abbildung 11: Plexiglasmodelle

Abbildung 12: Versuchsaufbau

Abbildung 13: bionisch optimierte und für Strohballenbauten entwickelte Schraube

Mattheck, Claus (2010): Denkwerkzeuge nach der Natur. 1., unveränd. Nachdr. Karlsruhe: Karlsruher Inst. für Technologie Campus Nord. S. 64.

Abbildung 14: Strohballenhaus in Bad Belzig

<https://www.baunetzwissen.de/gesund-bauen/tipps/linkliste/strohballenbau-5031286/gallery-1/4>

(abgerufen am 17.04.2021 um 14:30 Uhr)

Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“

Abbildung 1: Leonardo da Vinci

[https://www.meisterdrucke.com/kunstdrucke/Unbekannt-Unbekannt/256471/Vermutetes-Selbstportr%C3%A4t-von-Leonardo-da-Vinci-\(1452-1519\),-einem-unbekannten-K%C3%BCnstler.html](https://www.meisterdrucke.com/kunstdrucke/Unbekannt-Unbekannt/256471/Vermutetes-Selbstportr%C3%A4t-von-Leonardo-da-Vinci-(1452-1519),-einem-unbekannten-K%C3%BCnstler.html)

(abgerufen am 16.04.2021 um 14:30 Uhr)

Abbildung 2: Da Vincis Brückenentwurf

<https://de.wikipedia.org/wiki/Leonardo-Br%C3%BCcke>

(abgerufen am 16.04.2021 um 14:35 Uhr)

Abbildung 3: Funktionsprinzip der Leonardo-Brücke

<https://www.science.lu/de/historisches-experiment/baue-eine-leonardo-bruecke>

(abgerufen am 16.04.2021 um 14:40 Uhr)

Abbildung 4: Anordnung der Längs- und Querverstrebungen

<https://www.science.lu/de/historisches-experiment/baue-eine-leonardo-bruecke>

(abgerufen am 16.04.2021 um 14:40 Uhr)

Abbildung 5: Belastung einer Papierbrücke mit einem Tischtennisball

Abbildung 6: Brückenbau-Techniken 1 bis 4

https://www.dlr.de/next/Portaldat/69/Resources/images/3_verkehr/3_2_autos-der-zukunft/3_2_6_papierbruecke/3_2_6_Papierbruecke.pdf

(abgerufen am 16.04.2021 um 14:42 Uhr)

Abbildung 7: Mohnblütenknospe

<https://pixabay.com/de/photos/mohnblume-mohn-klatschmohn-4245051/>

(abgerufen am 16.04.21 um 14:47 Uhr)

Abbildung 8: Faltanleitung Miura-Faltung

https://www.nibis.de/uploads/nlq-baumann/2020-06-17%20Bionik_Miura-Faltung_znt.pdf

(abgerufen am 16.04.2021 um 14:50 Uhr)

Videoquellen

Einführendes Erklärvideo

<https://youtu.be/-zmGMw5vPH4>

(abgerufen am 15.05.2021 um 15:20 Uhr)

Baue einer Leonardo-Brücke

<https://www.youtube.com/watch?v=QKdQV2q5PRk>

(abgerufen am 16.04.2021 um 15:20 Uhr)

Aufblühende Mohnblüte

<https://www.youtube.com/watch?v=ZD2oTrIL48o>

(abgerufen am 16.04.2021 um 14:42 Uhr)

Inhalt der QR Codes

Station „Lotus und Salvinia“

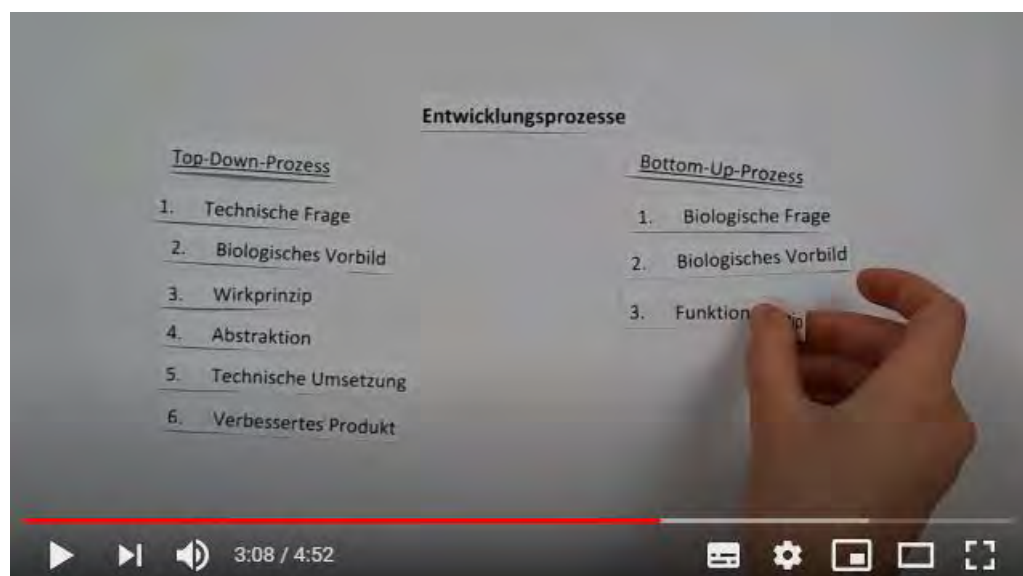
QR Code 1: Technische Anwendung des Lotus-Effekts

Technische Anwendung des Lotus-Effekts

Auch Dachziegeln bleiben mit einer ähnlichen Beschichtung länger sauber und schön, da der Regen die Schmutzpartikel abwäscht. Zudem wird ein schnelles Korrodieren der Ziegel verhindert, da die Feuchtigkeit weniger lange auf den Dachziegeln verbleibt.

Mittlerweile kommt der Lotus-Effekt auch in Reinigungsmitteln für Autoscheiben zur Anwendung, wodurch weder Insekten noch Regen und Schnee oder andere Verschmutzungen längere Zeit haften bleiben. Darüber hinaus machen sich manche Überzüge auf Flugzeugen in Form spezieller Versiegelungen und Lacke den Effekt zu Nutze. Auch auf weitere Materialien wie Kunststoffe und Textilien wurde der Effekt bereits übertragen.

QR Code 2: Einführendes Erklärvideo



(Link zum Erklärvideo: <https://youtu.be/-zmGMw5vPH4>)

QR Code 3: LearningApp-Aufgabe 1

Bildrang	Bezeichnung des Arbeitsschritts	Beschreibung der Arbeitsweise
<p>Aufgabe</p> <p>Während der Bearbeitung der Aufgaben dieser Stationsarbeit hast auch du wie ein Bioniker gearbeitet. Gehe die Stationsarbeit nochmals Schritt für Schritt gedanklich durch. Wie wurde vorgegangen? Bringe die Bilder entsprechend der Arbeitsweise eines Bionikers in die richtige Reihenfolge und ordne ihnen die jeweils richtige Bezeichnung und Beschreibung zu!</p> <p>OK</p>		

Bildrang	Bezeichnung des Arbeitsschritts	Beschreibung der Arbeitsweise
	Entdecken	Meist durch Zufall entdeckt der Forscher ein interessantes biologisches Phänomen.
	Entschlüsseln	Das Funktionsprinzip wird entschlüsselt, vom biologischen Beispiel losgelöst und abstrahiert.
	Übertragen	Modelle werden entwickelt und getestet. Das Prinzip wird auf die Technik übertragen und es zeigt sich, ob Anwendungen realisierbar sind.
	Anwenden	Das funktionstüchtige Modell wird produziert und kommt auf den Markt. Über die Marktfähigkeit des Produkts entscheidet der Verbraucher.

(Link zur LearningApp-Aufgabe 1: <https://learningapps.org/watch?v=pg2fqu0h521>)

QR Code 4: LearningApp-Aufgabe 2

Bärlappsporen

Bärlappsporen sind **kugelförmig** und besitzen eine **wabenartige** Oberflächenstruktur. Durch diese Oberflächenstruktur kommt es zu **Lufteinschlüssen**, wenn die Sporen unter Wasser getaucht werden. Die Bärlappsporen weisen **hydrophobe** Eigenschaften auf. Durch die Oberflächenstruktur der Sporen können sich Wassertropfen schwieriger an die Sporen **setzen**, sodass die Kontaktfläche zwischen den Sporen und dem Wasser sehr **klein** ist. Dazwischen bilden sich infolgedessen die Lufteinschlüsse. Da auch die Finger beim Eintauchen von diesen Lufteinschlüssen umgeben sind, werden sie nicht nass. Der **silbrige** Glanz unter Wasser lässt sich darauf zurückführen, dass einfallendes Licht an der **Grenzfläche** zwischen Luft und Wasser teilweise **reflektiert** wird.

(Link zur LearningApp-Aufgabe 2: <https://learningapps.org/watch?v=p8ige3ilc21>)

QR Code 5: LearningApp-Aufgabe 3

1 / 1

Welche der folgenden Aussagen sind zutreffend?

☒ Je kleiner die Adhäsionskräfte zwischen den benetzenden Wasserteilchen und der benetzten Oberfläche gegenüber den Kohäsionskräften zwischen den Wasserteilchen sind, desto größer ist der Kontaktwinkel.

☒ Kennzeichen superhydrophober Oberflächen ist eine geringfügige Benetzung, wobei der Kontaktwinkel zwischen benetzter Oberfläche und benetzender Flüssigkeit 160° übersteigt.

☐ Übersteigen die Kohäsionskräfte zwischen den Wasserteilchen die Adhäsionskräfte zwischen den Wasserteilchen und den Wasserteilchen auf der Blattoberfläche, wird die Oberfläche fast vollständig benetzt.

☒ Bei hydrophilen Oberflächen liegt der Kontaktwinkel zwischen Flüssigkeit und Oberfläche unter 90° und die Benetzung ist verhältnismäßig groß.

(Link zur LearningApp-Aufgabe 3: <https://learningapps.org/watch?v=poy29xo6a21>)

QR Code 6: LearningApp-Aufgabe 4

Der Lotus-Effekt

Die **Oberfläche** von Blättern mit Lotus-Effekt besitzt eine **noppenartige Feinstruktur** und ist mit einer dünnen **Wachsschicht** überzogen, die stark **wasserabweisend**, also **superhydrophob** ist. Sie sorgt dafür, dass die **Blattoberfläche** nicht besonders gut mit Wasser **benetzt** werden kann. Die als **Adhäsionskräfte** bezeichneten Anziehungskräfte zwischen den auf der Oberfläche gelegenen Wachsteilchen und den Wasserteilchen sind dabei kleiner als die Anziehungskräfte zwischen den Wasserteilchen, die sogenannten **Kohäsionskräfte**. Daher perlt der **Wassertropfen** von der Blattoberfläche ab. Der Grund für das Einkugeln des Wassertropfens ist die **Oberflächenspannung**.

(Link zur LearningApp-Aufgabe 4: <https://learningapps.org/watch?v=pobjmgqzn21>)

Station „Eisbär“

QR Code 1: Vertiefende Erklärung zum Eisbärenfell

Vertiefende Erklärung zum Eisbärenfell

Hätte der Eisbär schwarzes Fell, würde das Licht an der Felloberfläche absorbiert werden und die Oberfläche würde sich erwärmen. Dabei würde sich überwiegend die außen liegende Luft zwischen den Fellhaaren und in den Fellhaaren selbst erwärmen. Bis zur schwarzen Epidermis würde daher nur wenig Licht und damit wenig Wärme gelangen. Aus diesem Grund ist der Eisbär mit transparenten Fellhaaren und einer schwarzen Haut ausgestattet. Ein Teil der Sonnenstrahlung (vorrangig der Infrarotanteil) transmittiert, d.h. passiert die isolierende transparente Fellschicht, und trifft auf die schwarze Haut, die das Licht absorbiert und sich infolgedessen erwärmt.

QR Code 2: Vertiefende Erklärung zur technischen Anwendung

Technische Anwendung

Ein technisches Produkt, das auf Grundlage der Erkenntnisse über die Funktion des Eisbärenfells entwickelt wurde, ist die sogenannte Transparente Wärmedämmung (TWD), die u.a. für Häuser eingesetzt wird. Im Prinzip soll eine geeignete Hauswandverkleidung dafür sorgen, dass die verfügbare Sonnenenergie zum Heizen der Wohnungen genutzt werden kann. Das Sonnenlicht passiert eine transparente Dämmschicht und fällt auf eine dunkle Fassade, die sich dadurch erwärmt. Dabei breitet sich die Wärme ausschließlich in eine Richtung aus, nämlich ausgehend von der Außenseite der Hauswand in Richtung des Hausinneren, was mit dem vorgelagerten Dämmmaterial und dem isolierenden „Luftpolster“ zu begründen ist. Ein großer Vorteil dieses Systems liegt darin, dass Heizöl eingespart werden kann, womit auch gleichzeitig die Umwelt geschont wird.

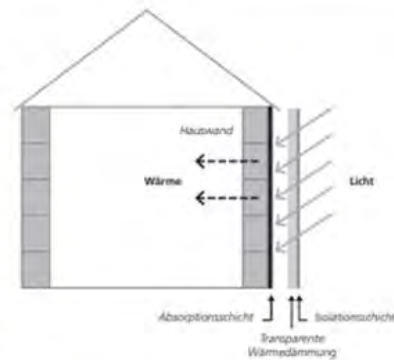


Abbildung 7: Prinzip der transparenten Wärmedämmung



Abbildung 8: Muster-Eisbärenhaus mit textilen Solarkollektoren in Denkendorf

Eine besonders innovative technische Umsetzung des „Eisbärfell-Effekts“ zeigt sich am Beispiel des Muster-Eisbärenhaus in Denkendorf bei Stuttgart, das unter Federführung des Instituts für Textil- und Verfahrenstechnik (ITV) mit Zuschüssen des Landes Baden-Württemberg und der Europäischen Union gebaut wurde. Die Besonderheit des Eisbärenhauses liegt im Einsatz neuartiger textiler Solarkollektoren, die mehrere Membranschichten mit hoher Wärmeisolation aufweisen. Das einfallende Sonnenlicht trifft auf ein Textilgewebe, das schwarz beschichtet ist, und auf eine stark poröse Membran mit einer Wärmetransportschicht. Auf diesem Weg wird die Erwärmung der durchströmenden Luft herbeigeführt. Die Speicherung der in den Sommertagen gewonnenen Energie erfolgt bis in die Winterzeit hinein in Langzeitspeichern. Die hohe Wärmedämmung nach außen im Sinne des Fernhaltens der Winterkälte wird anhand einer weiteren Schicht in der Gebäudehülle sichergestellt.

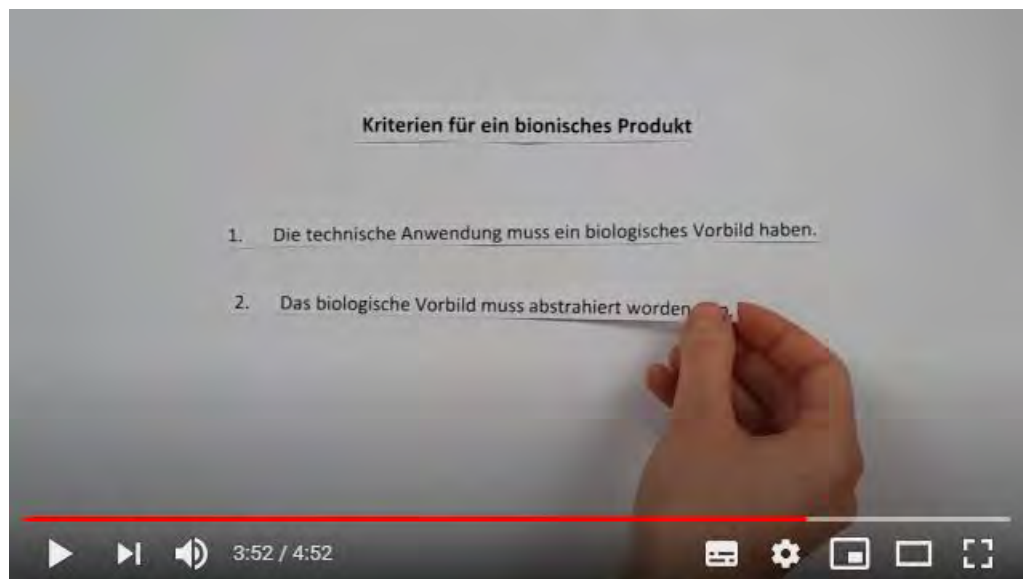
QR Code 3: LearningApp-Aufgabe

Der Eisbär

Die Arktis ist der natürliche Lebensraum des Eisbären. Durch sein dichtes Fell, die darunter liegende **schwarze** Haut und eine dicke **Fettschicht**, ist er gut vor den Minusgraden geschützt. Wenn auch häufig vom weißen Fell des Eisbären gesprochen wird, so ist dieses genau genommen **transparent**. Während ein Teil der Sonnenstrahlung an der Felloberfläche **reflektiert** wird, gelangt auch ein Teil der Strahlung durch das Fell hindurch, er **transmittiert**. Hierbei ist für das Fell kennzeichnend, dass zwischen den einzelnen Haaren und in den Haaren selbst **Luft** eingeschlossen wird. Diese **erwärmt** sich. Schließlich wird die **Sonnenstrahlung** von der schwarzen Haut des Eisbären **absorbiert**, die sich anschließend ebenso **erwärmt**. Insofern erfüllt die **isolierende** Fellschicht gleichzeitig zwei Funktionen. Sie wirkt nicht nur **wärmedämmend** als Wärmeschutz nach außen, sondern dient zugleich der **Wärmegewinnung**.

(Link zur LearningApp-Aufgabe: <https://learningapps.org/watch?v=psg8jq3qa21>)

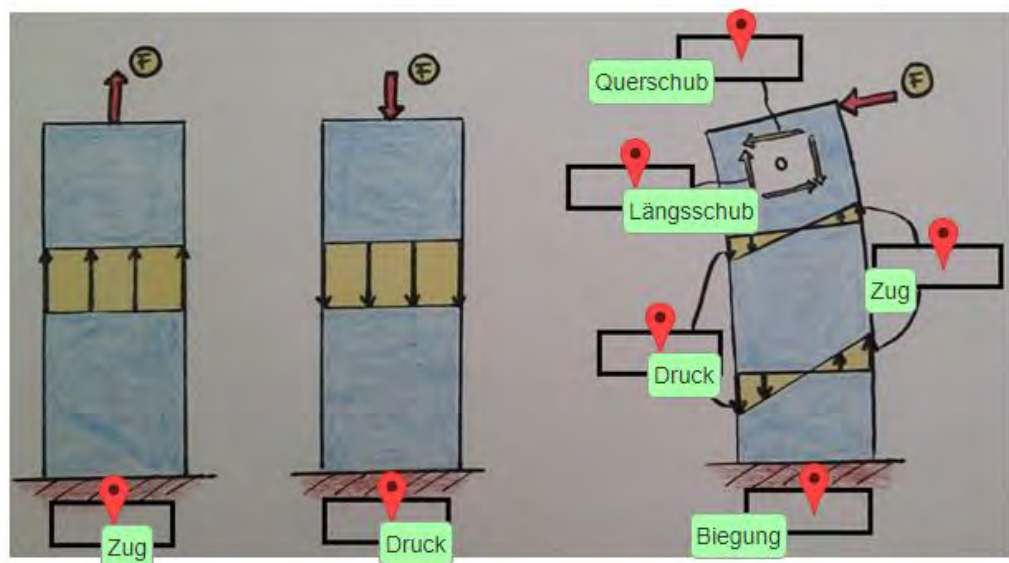
QR Code 4: Einführungserklärvideo



(Link zum Einführungserklärvideo: <https://youtu.be/-zmGMw5vPH4>)

Station „Baumstamm und Astgabel“

QR Code 1: LearningApp-Aufgabe 1



(Link zur LearningApp-Aufgabe 1: <https://learningapps.org/display?v=pn1k7go5k21>)

QR Code 2: Hilfekarte 1 – Zug- und Druckspannung

Zug- und Druckspannung

Widerstände gegen die Längung eines Bauteils werden **Zugspannungen** genannt. **Druckspannungen** bezeichnen hingegen den Widerstand gegen die Verkürzung des Bauteils. Versagt das Bauteil, wurde die **kritische Spannung**, die auch **Materialfestigkeit** genannt wird, erreicht. Während Spannungen berechnet werden können, muss die Festigkeit des jeweiligen Werkstoffs gemessen werden.

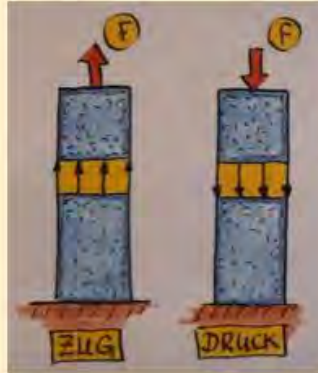


Abbildung 2: Zug- und Druckspannung

QR Code 3: Hilfekarte 2 – Biegemoment

Biegemoment

Entlang des Hebelarms nimmt das **Biegemoment $M(x)$** von oben nach unten zu und mit ihm die Biegespannungen. Anhand der Schubspannungen im oberen Teil des Bauteils siehst du, dass Längsschub = Querschub gilt. Andernfalls würde eine Rotation des eingeschlossenen weißen Schubvierecks bewirkt werden.



Abbildung 3: Kräfte, Spannungen und Biegemoment

QR Code 4: Hilfekarte 3 – Schubspannung

Schubspannung

Widerstände gegen eine Gleitung heißen **Schubspannungen**. Die kritische Schubspannung wird als **Schub- oder Scherfestigkeit** bezeichnet. Ähnlich der Materialfestigkeit ist auch die Schub- oder Scherfestigkeit experimentell zu bestimmen. Einfach erklären lassen sich Schubspannungen am Beispiel einer überlappenden Klebeverbindung, die unter Zugbelastung steht. Dabei scheint der Längsschub in der Klebefuge nahezu offensichtlich. Denkt man sich das drehbar gelagerte Schubviereck, das nicht rotiert, so gilt Querschub = Längsschub. Die Schubspannungen sind vom gleichen Betrag wie die Zug- und Druckspannungen.



Abbildung 4: Zug-, Druck- und Schubspannungen

QR Code 5: Hilfekarte 4 – Kerbspannung

Kerbspannung

Kerbspannungen bezeichnen **Biegespannungen**, die aus der Biegung der Kerbkontur resultieren. Besser verbildlichen lässt sich dies mit um die Kerbe herumgeführten und geradegezogenen Seilen. Die am Seil wirkenden Querkraft F_Q – und damit auch die Kerbspannungen – sind umso größer, je schärfer die Ecke ist. Nichtsdestotrotz können auch Ecken, die kreisförmig ausgerundet sind, noch zu hohen Kerbspannungen führen.



Abbildung 5: Kerbspannung an kreisförmig ausgerundeter Ecke

QR Code 6: LearningApp-Aufgabe 2

1 / 5

Die Spannung in einem Bauteil ist in der _____ am größten.

Kerbe

 Prima, richtig.

nächste Frage

2 / 5

Anhand der grafischen Methode der _____ können Bauteile bionisch optimiert werden.

Zugdreiecke

 Prima, richtig.

nächste Frage

3 / 5

Für die Entwicklung der Zugdreiecke-Methode hat der natürliche _____ wuchs Vorbild gestanden.

Baum

 Prima, richtig.

nächste Frage

4 / 5

Stellen, an denen die größten Spannungen auftreten, werden zur bildlichen Darstellung _____ gefärbt.



Abbildung 13: Spannungsverteilung in einer Baumgabel

rot



Prima, richtig.

nächste Frage

5 / 5

In welcher Reihenfolge würden die Bauteile bei gleicher Belastung brechen? Beginne mit dem Modell, das als erstes bricht.

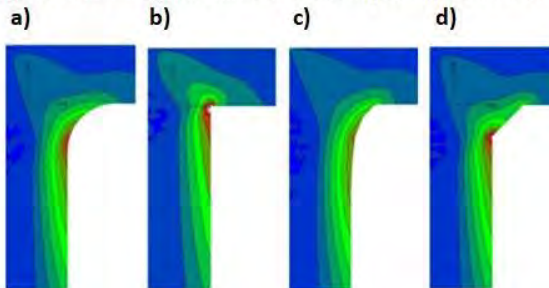


Abbildung 13: Spannungsverteilung in Modellen mit verschiedenen Materialanlagerungen

Gib die Antwort in folgender Form an: a) b) c) d) (Vergiss nicht, die Leerzeichen zu setzen.)

b) d) a) c)



Prima, richtig.

Quiz beenden

(Link zur LearningApp-Aufgabe 2: <https://learningapps.org/watch?v=p4n0is91k21>)


Station „Palmblatt, Schilf und Bienenwabe“

QR Code 1: Video zum Aufbau einer Leonardo-Brücke

(Link zum Video: <https://www.youtube.com/watch?v=QKdQV2q5PRk&t=3s>)

QR Code 2: Hilfekarte 1


Brückenbau-Technik 1 – Papier in mehreren Lagen



Eine einzelne Schicht allein ist eher schwach. Kommen jedoch mehrere Lagen zusammen – wie bei einer Zwiebel – wird das Gebilde stärker

QR Code 3: Hilfekarte 2

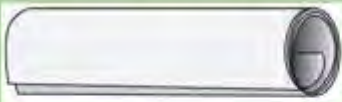
Brückenbau-Technik 2 – Papier falten



Faltet man das Blatt ähnlich einer Ziehharmonika, kann die Stabilität erhöht werden. Als Vorbild für dieses Prinzip haben beispielsweise Palmblätter gestanden.

QR Code 4: Hilfekarte 3

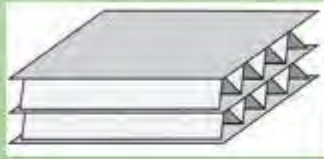
Brückenbau-Technik 3 – Papier einrollen



Rollt man das Blatt ein, entstehen mehrere Lagen, die das Papier in Zusammenarbeit verstärken. Die Papierrolle erinnert an Pflanzenhalme, wie das Schilfrohr. Das Papier wird umso fester, je kleiner es gerollt wird.

QR Code 5: Hilfekarte 4

Brückenbau-Technik 4 – Wabenstruktur aus Papier



Auch eine Wabenstruktur, wie sie im Bienenstock zu finden ist, lässt sich auf die Papierkonstruktion übertragen. Mehrere Lagen aus aneinander geklebten Ziehharmonika-Faltungen und glattem Papier lassen die Struktur noch stärker werden.

QR Code 6: Video von aufblühenden Mohnblumen

(Link zum Video: <https://www.youtube.com/watch?v=ZD2oTrIL48o>)

QR Code 7: Einführendes Erklärvideo

(Link zum einführenden Erklärvideo: <https://youtu.be/-zmGMw5vPH4>)

QR Code 8: LearningApp-Aufgabe 1

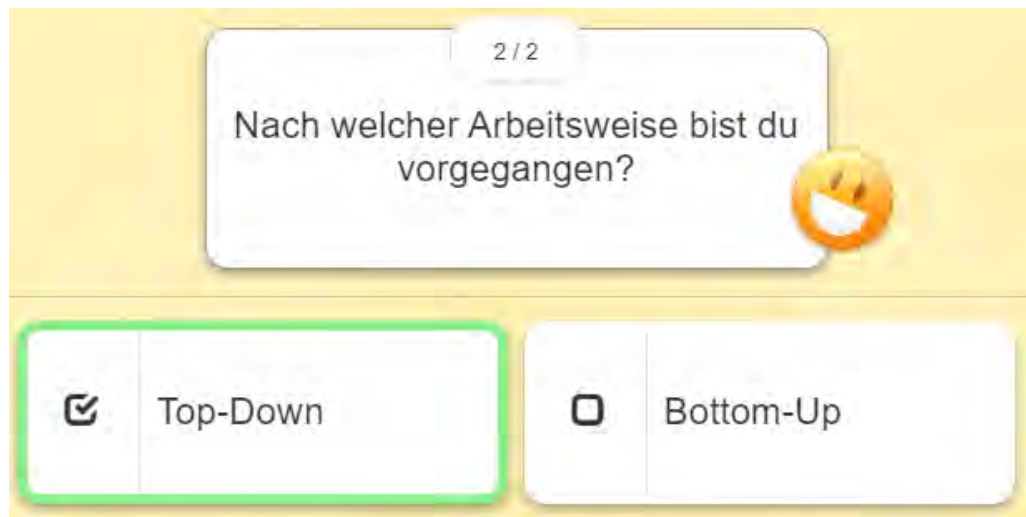
Während der Bearbeitung der Aufgaben zum Papierbrückenbau hast auch du wie ein Bioniker gearbeitet. Gehe die Stationsarbeit nochmals Schritt für Schritt gedanklich durch. Wie wurde vorgegangen?

1 / 2

Welche Frage steht am Anfang des Prozesses?

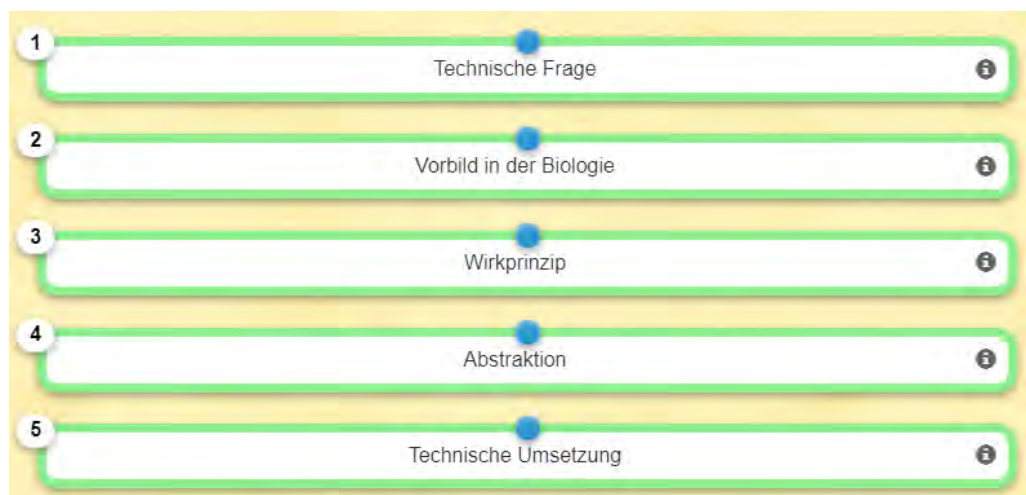
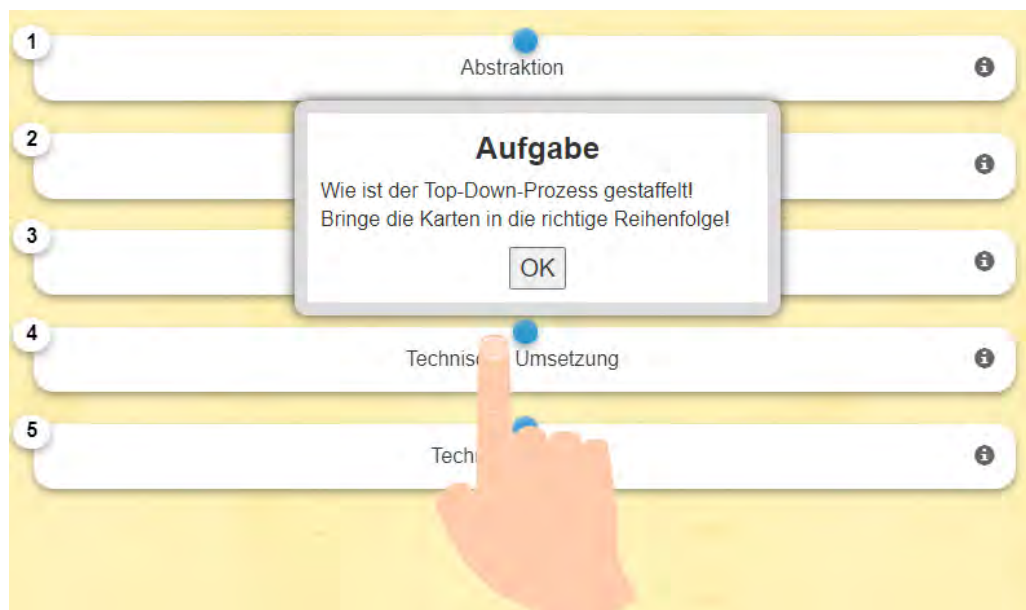
☐ Biologische Frage

☒ Technische Frage



(Link zur LearningApp-Aufgabe 1: <https://learningapps.org/watch?v=px6jruhca21>)

QR Code 9: LearningApp-Aufgabe 2

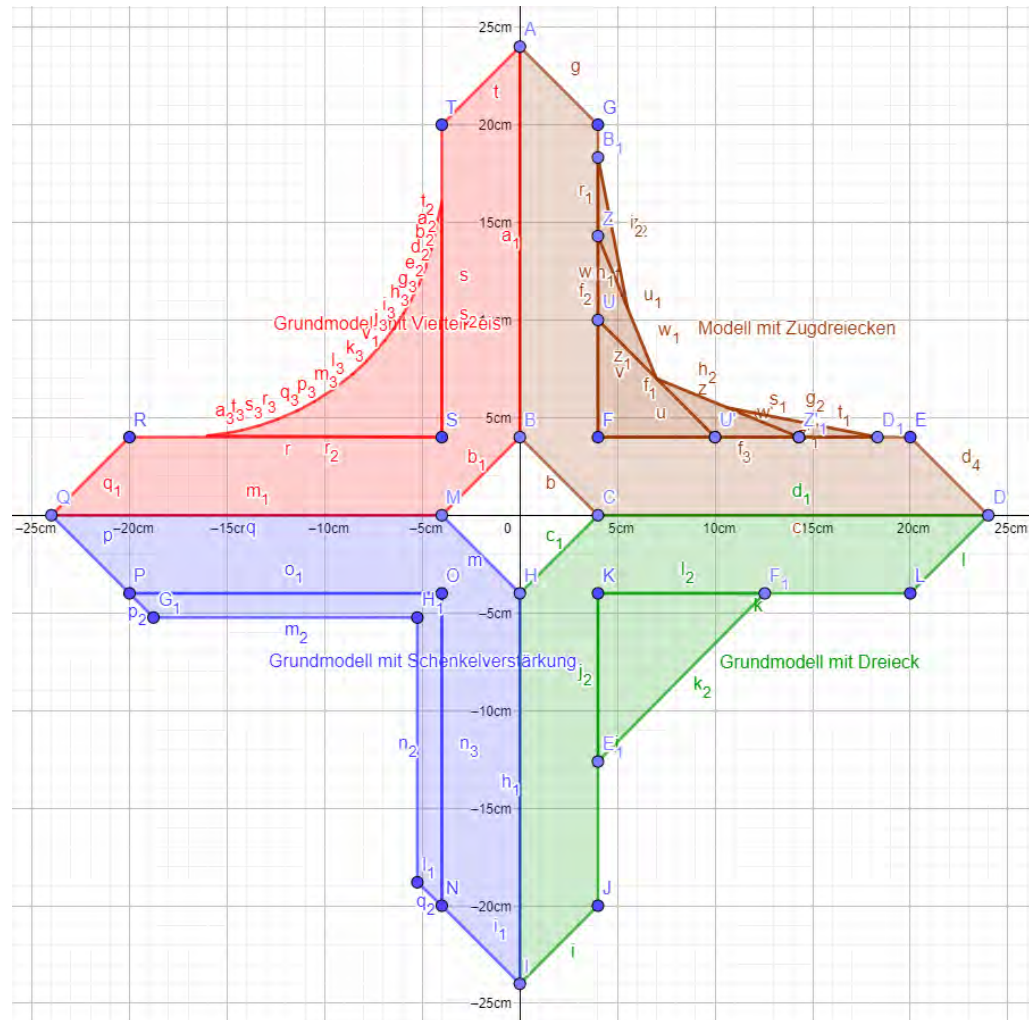


(Link zur LearningApp-Aufgabe 2: <https://learningapps.org/watch?v=pjm1sdjn321>)

Schablonen für die Kerbstrukturmodelle

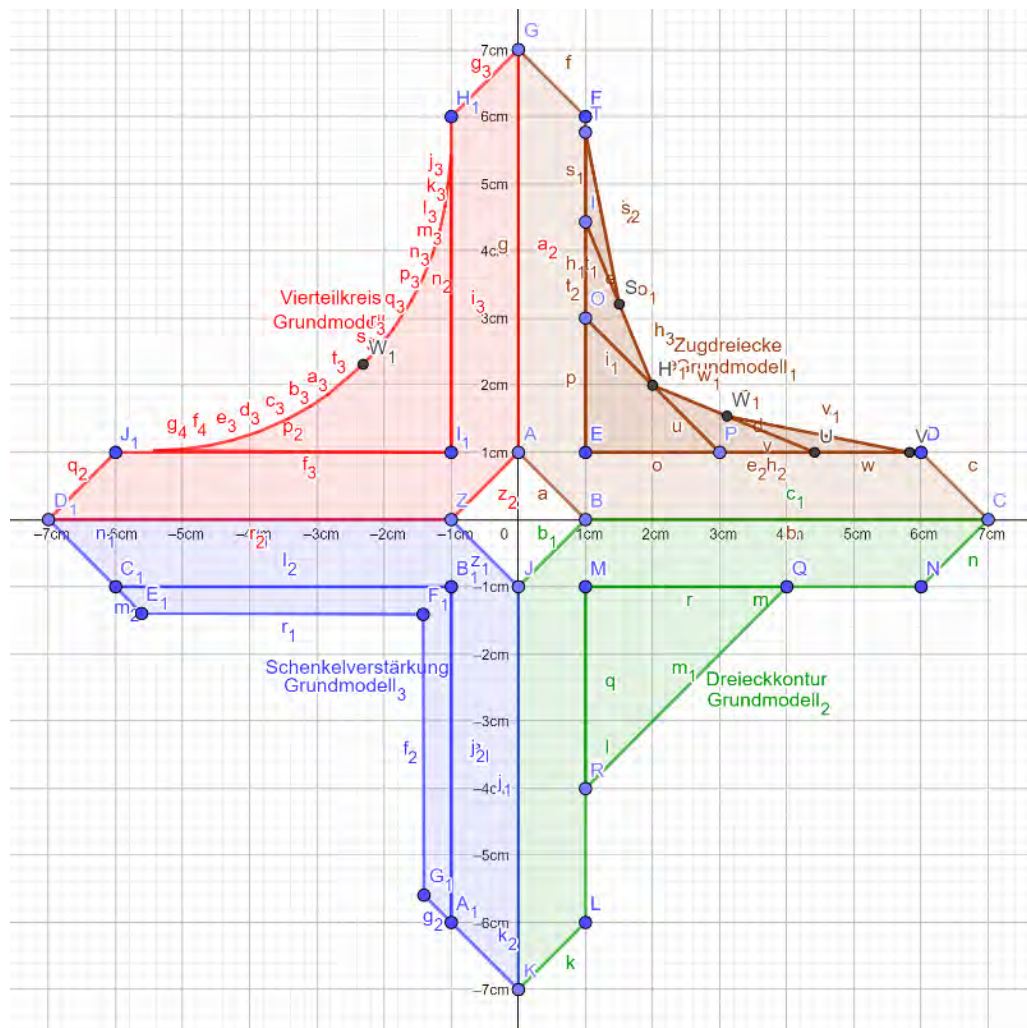
Die Materialanlagerung in der Kerbe entspricht etwa 25 % des Grundmodell-Volumens.

Styropormodelle



Schenkeldicke: 3,3 cm

Plexiglasmodelle



Schenkeldicke: 0,6 cm