

Insekten fahren Karussell – digital und analog

Update zu einem bionischen Experiment mit Stabschrecken

Petra Nikolay¹, Kilian Klinkenberg^{1,2} und Ingeborg Heil¹

¹RWTH Aachen, [Lehr- und Forschungsgebiet Didaktik der Biologie](#), Worringerweg 1, 52074 Aachen,

²[Gymnasium an der Gartenstraße der Stadt Mönchengladbach Sekundarstufen I und II](#), Gartenstraße 154, 41236 Mönchengladbach

Der Beitrag stellt ein interdisziplinäres Schulexperiment mit dem sogenannten Insektenkarussell unter Verwendung von Stabschrecken vor. Als Beispiel zum Thema Bionik verknüpft es biologische, physikalische und mathematische Aspekte. Ein Schwerpunkt liegt in der Erfassung und Auswertung von Messwerten. Anhand von Videos, die das Realexperiment wahlweise ersetzen oder ergänzen, können ausreichend Daten für eine sachgerechte Auswertung generiert werden. Im Arbeitsmaterial stehen sprachliche Hilfen auf vier verschiedenen Niveaustufen für die Arbeit mit heterogenen Lerngruppen zur Verfügung.

Stichwörter: Insektenkarussell, Stabschrecke, Bionik, Messen und Auswerten, Erkenntnisgewinnung, Interdisziplinarität, MINT, sprachsensibler Unterricht, Binnendifferenzierung

1 Einleitung



Abb.1: Indische Stabschrecke (*Carausius morosus*). Foto: Petra Nikolay.

Der vorliegende Beitrag nimmt Bezug auf ein Schulexperiment, bei dem Stabschrecken (Abb. 1) und ein sogenanntes Insektenkarussell (Abb. 2) zum Einsatz kommen. Das Experiment wurde in Zusammenarbeit von Fachwissenschaftler*innen und Fachdidaktiker*innen im Rahmen einer Staatsexamensarbeit an der RWTH Aachen für den unterrichtlichen Einsatz entwickelt und erprobt (Hüttermann, 2006; Wüller et al., 2009). Inzwischen wird das Experiment sowohl in der biologiedidaktischen Lehre als auch im Lehr-Lern-Labor Biowissenschaften ([BioL³](#)) eingesetzt.



Abb. 2: Insektenkarussell im Einsatz bei der RWTH Wissenschaftsnacht 2022. Die gezeigte Apparatur wurde nach dem Vorbild des entwickelten Prototyps (Hüttermann, 2006) von einem Schüler im Rahmen einer Facharbeit erstellt. Inzwischen wurde es in einer weiteren Ausführung mehrfach nachgebaut (vgl. Abb. 3 in Arbeitsmaterial 4). Foto: Peter Winandy.

Mit dem Insektenkarussell (auch als Insektenzentrifuge bezeichnet) können die Haftigenschaften von Insekten bzw. deren Tarsen (Abb. 3) auf verschiedenen Oberflächen erforscht werden (s. Abschnitt 2). In der Wissenschaft können Erkenntnisse über die Interaktion von Insekten und Oberflächen für bionische Anwendungen genutzt werden.

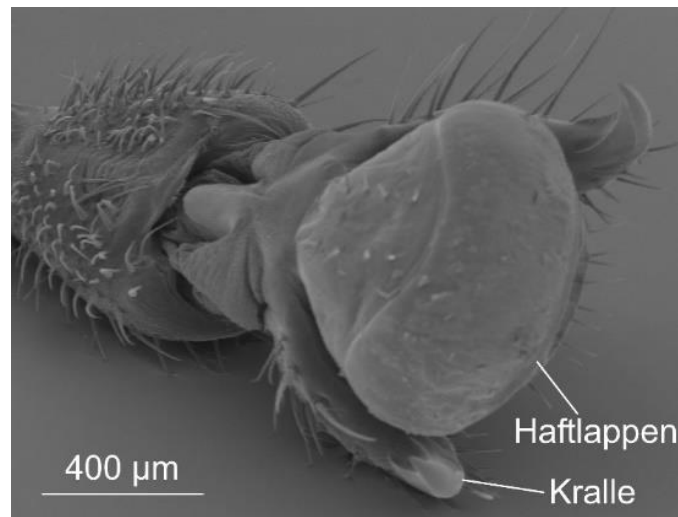


Abb. 3: Fußende (Praetarsus) einer Stabschrecke von unten mit einem Paar Krallen und einem Haftlappen (Arolium; rasterelektronenmikroskopische (REM-) Aufnahme). Die Krallen ermöglichen den Halt auf rauem Untergrund, das Arolium auf glattem Untergrund. Auf mittleren Oberflächen haften weder Krallen noch Haftlappen gut. Foto: Ingo Scholz.

In der Arbeit mit Schülerinnen und Schülern haben sich Stabschrecken als besonders geeignet erwiesen (vgl. Hüttermann, 2006; Wüller et al. 2009). Bei der Entwicklung des Prototyps von Hüttermann (2006) wurden zusätzlich zu Stabschrecken zwei verschiedene Ameisenarten getestet, aus dieser Zeit stehen

einige [Videos](#) zur Verfügung. (Die aktuellen Videos zu vorliegendem Beitrag stehen in einem [Ordner für die Schüler*innen](#) zur Verfügung; nähere Erläuterungen in Abschnitt 2 und 3). Bohn et al. (2011) empfehlen z.B. Stabschrecken, Ameisen und Käfer, insbesondere Marienkäfer, für das Insektenkarussell.

Für die Herstellung der Apparatur sind verschiedene einfache Bauanleitungen verfügbar (Wüller et al. 2009; Bohn et al., 2011). Jedoch stehen trotz problemloser und kostengünstiger Beschaffung der Bauteile und ihres einfachen Zusammenbaus dem Einsatz eines realen Insektenkarussells im Unterricht möglicherweise Zeit- und Kostengründe entgegen. Das in diesem Beitrag vorgestellte Unterrichtsmodell und die Arbeitsmaterialien (s. Abschnitt 3) bieten daher die Möglichkeit, auch bei Nichtvorhandensein der Apparatur anhand von online verfügbaren Filmsequenzen Daten zu erheben und auszuwerten.

Tatsächlich ergibt sich durch den Einsatz der Videos insofern ein Mehrwert, als eine recht große Anzahl von Messungen bei vergleichsweise geringem Zeitaufwand berücksichtigt und somit ein Schwerpunkt im Hinblick auf die Datenerfassung, -darstellung und -auswertung gesetzt werden kann.

Um den Schüler*innen dennoch die originale Begegnung mit lebenden Organismen zu ermöglichen, bietet sich die Kombination des Experiments mit dem Insektenkarussell mit weiteren, teils „klassischen“ Versuchen und anderen fachgemäßen Arbeitsweisen zur Stabschrecke an, z.B. das Betrachten des Tarsus unter dem Binokular, das Beobachten des Laufrythmus, das Untersuchen von Reflexen (z.B. Bässler, 1965; Baur, 2017). Ein Vorschlag für ein hybrides Konzept in Form eines Stationenlernens mit entsprechenden Arbeitsmaterialien wird in diesem Journal vorgestellt werden.

Die Arbeitsmaterialien für die Schüler*innen (s. Abschnitt 3) umfassen einen Informationstext, ein Protokoll und Rechenhilfen (Arbeitsmaterial 1 bis 3), außerdem ein Erklärvideo zur Durchführung des Experiments, die o.g. Videos zur Datenerfassung sowie eine vorbereitete Excel-Datei zur Erfassung und Auswertung der Messwerte. Zusätzlich steht eine Anleitung zur Durchführung des Realexperiments zur Verfügung, falls in der Schule ein Insektenkarussell vorhanden ist (Arbeitsmaterial 4).

2 Das Insektenkarussell – ein bionisches Experiment

Die Bionik beschäftigt sich mit der Analyse und Umsetzung biologischer Prinzipien in technische Anwendungen. Der Begriff wurde in den Fünfzigerjahren des letzten Jahrhunderts als Kombination der Termini „Biologie“ und „Technik“ geprägt, wobei der ursprüngliche Begriff *bionics* im Englischen eine Bedeutungsänderung erfahren hat und heute mit *biomimetics* bezeichnet wird (Speck, 2011; Wirth, 2015). Denkbare technische Anwendungen, die sich aus der Forschung zu Hafteseigenschaften von Insekten auf Oberflächen ergeben, sind die Gestaltung von Fassaden zur Insektenabwehr und die Entwicklung sich anpassender Klebstoffe, z.B. in der Medizin oder Zahnmedizin (Hosoda & Gorb, 2012).

Im Experiment mit dem Insektenkarussell wird eine Stabschrecke auf eine auswechselbare Drehscheibe mit unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit gesetzt (Abb. 4). Die Rotationsgeschwindigkeit wird zunehmend erhöht, bis das Versuchstier die Haftung verliert. (Die Motordrehzahl ist mit einem Stroboskop synchronisiert, so dass der Versuchsablauf verfolgt werden kann. Wir möchten darauf hinweisen, dass stroboskopische Lichteffekte photosensitive Epilepsien auslösen können.) Die Kraft, die

auf das Tier beim Verlassen der Oberfläche wirkt, ist ein Maß für dessen Haftvermögen. Sie errechnet sich aus der Umdrehungszahl des Motors, die zum Zeitpunkt des Haftverlustes abgelesen wird, der Masse des Insekts sowie dessen Abstand zum Mittelpunkt bei Haftverlust (vgl. Abschnitt 3 und Arbeitsmaterial 1).

Physikalisch wirkt die Zentripetalkraft (reale, nach innen gerichtete Kraft, die auf Körper in Drehbewegung wirkt). Sie zieht die Stabschrecke auf der zunehmend schneller rotierenden Drehscheibe an den Füßen von einer geradlinigen Bewegung kontinuierlich auf eine Kreisbahn, also in Richtung des Kreismittelpunkts. Die Zentrifugalkraft ist betraglich gleich der Zentripetalkraft, aber in entgegengesetzter Richtung. Es ist eine sogenannte Scheinkraft, die vom Kreismittelpunkt weg gerichtet ist. Solange die Haltekraft der Stabschrecke mit zunehmender Rotationsgeschwindigkeit mindestens genauso groß ist wie die Zentripetalkraft, kann sich das Tier auf der Drehscheibe halten. Verliert die Stabschrecke die Haftung, verlässt sie die Kreisbahn und bewegt sich geradlinig von der Scheibe weg. Sie empfindet eine Kraft, die sie nach außen zieht (Zentrifugalkraft). Die Schüler*innen können bei sich selbst das Wirken der Zentrifugalkraft z.B. auf dem Spielplatz auf einer Drehscheibe beobachten.

Im Arbeitsmaterial für die Schüler*innen wird auf die Unterscheidung von Zentripetal- und Zentrifugalkraft verzichtet und lediglich der Begriff der Zentrifugalkraft verwendet (sowie mit dem o.g. Spielplatzbeispiel Alltagsbezug hergestellt).

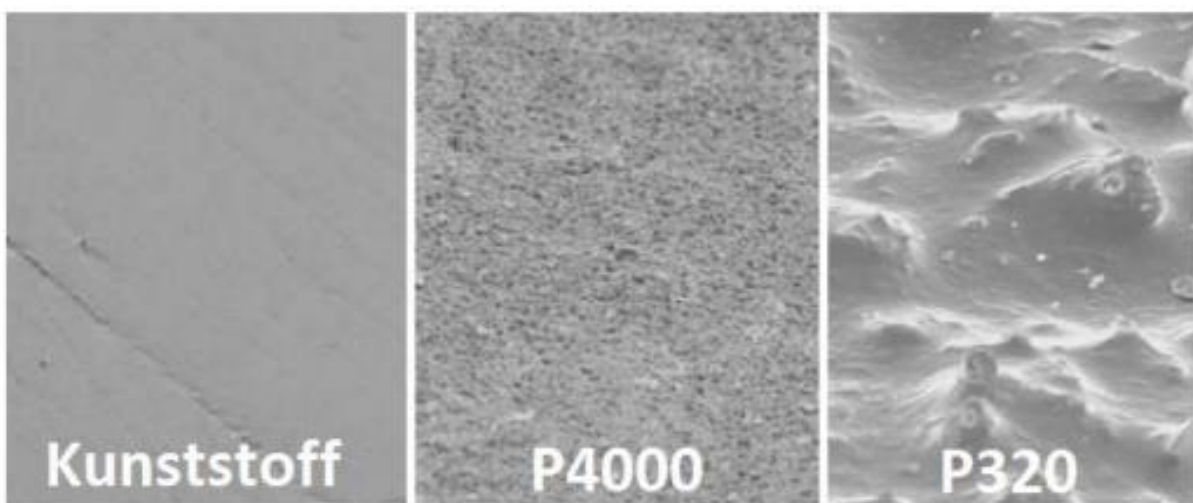


Abb. 4: Rasterelektronenmikroskopische (REM-) Aufnahmen von Oberflächen, die im Insektenkarussell zum Einsatz kommen können. Als glatte Oberfläche wird Kunststoff verwendet (links). Für mehr oder weniger raue Oberflächen verwendet man Schleifpapier unterschiedlicher Körnung, z.B. grobes Schleifpapier, das sehr rau ist (z.B. P320, rechts), und feines oder sehr feines Schleifpapier, das weniger rau, also glatter ist, und somit eine mittlere Oberfläche darstellt (z.B. P4000, Mitte) (nach Hüttermann, 2006; Wüller et al. 2009). Foto: Ingo Scholz.

Die für den fachlichen Hintergrund des Experiments erforderlichen Erläuterungen zu Bau und Funktion des Tarsus, zu den Hafteigenschaften von Insekten auf Oberflächen sowie zur Funktionsweise des Insektenkarussells am Beispiel der Stabschrecke als Versuchstier sind als Informationstext für die Schüler*innen in Arbeitsmaterial 1 zusammengefasst (s. Abschnitt 3).

Für eigene Experimente wurden vier verschiedene Oberflächen eingesetzt (Abb. 5) Von insgesamt 163 videografierten Durchläufen wurden 60 repräsentative Videos als Datenquelle für die Auswertung durch die Schüler*innen ausgewählt (s. Abschnitt 3).

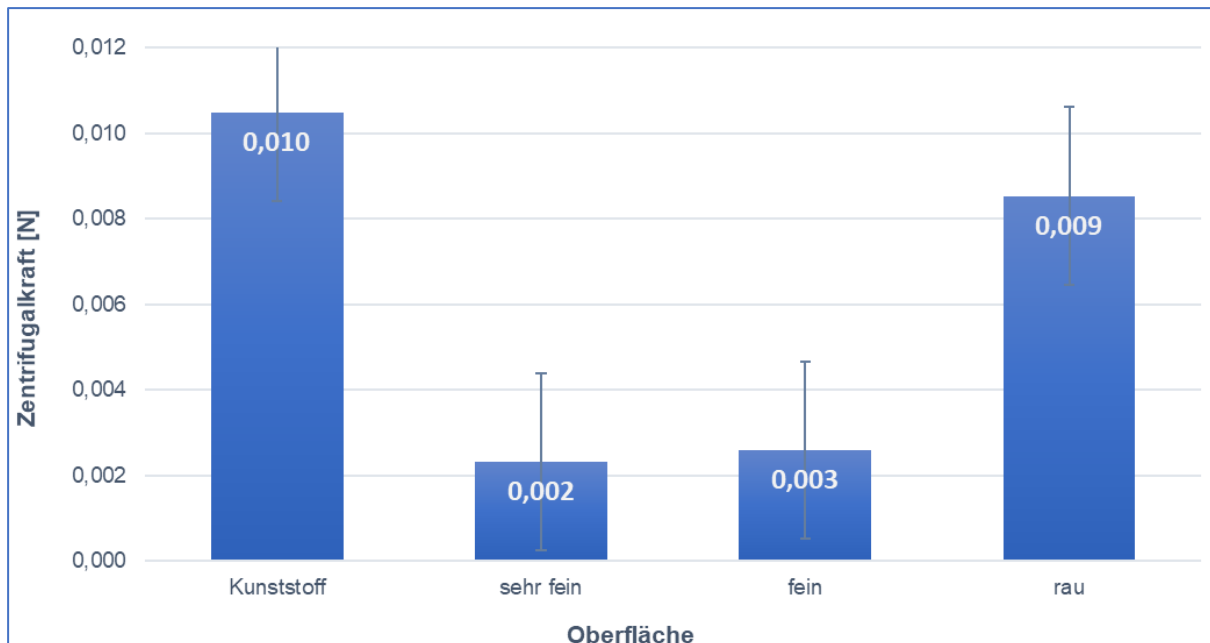


Abb. 5: Haltevermögen der Stabschrecken als durchschnittliche Zentrifugalkraft auf vier verschiedenen Oberflächen.

Auswertung eigener Messungen: Es wurden eine glatte Kunststoffoberfläche, eine raue Oberfläche aus grobem Schleifpapier sowie zwei mittlere Oberflächen mit feinem bzw. sehr feinem Schleifpapier verwendet (N=163; n_{Kunststoff}=41, n_{sehr fein}=43, n_{fein}=44 und n_{grob}=37).

Mit zunehmender Anzahl an Versuchsdurchläufen ist ein zunehmend geringeres Haftvermögen der verwendeten Stabschrecken festzustellen. Es empfiehlt sich daher, im Experiment eingesetzte Tiere nach maximal drei bis vier Versuchsdurchläufen nicht weiter zu verwenden. Um Verwechslungen zu vermeiden, sollten ermüdete Versuchstiere vorübergehend in einem gesonderten Behältnis gesammelt werden, bevor sie zu den anderen Stabschrecken zurück ins Terrarium gesetzt werden.

3 Bemerkungen zum Unterricht

3.1 Curriculare Anbindung

Das Thema Bionik verknüpft Aspekte aus Biologie, Physik, Technik und Mathematik und bietet somit einen interdisziplinären und forschungsnahen Kontext, zu dem über die Arbeit mit dem Insektenkarussell ein experimenteller Zugang geschaffen werden kann. Die Messwerte werden entweder anhand von Videos oder anhand eigener Messungen generiert und anschließend ausgewertet und interpretiert.

„Naturwissenschaft und Technik prägen unsere Gesellschaft in allen Bereichen und bilden heute einen bedeutenden Teil unserer kulturellen Identität. Das Wechselspiel zwischen

naturwissenschaftlicher Erkenntnis und technischer Anwendung bewirkt Fortschritt auf vielen Gebieten“ (KMK, 2005, S.6)

Als Beitrag zur Allgemeinbildung wird deutlich, dass die Schüler*innen zur Teilhabe befähigt werden müssen und es ihnen möglich wird, sich in unserer naturwissenschaftlich-technisch geprägten Gesellschaft zu positionieren. Den entscheidenden Beitrag dazu stellt die naturwissenschaftliche Grundbildung dar, die hier aus dem Blickwinkel der Biologie dargestellt wird, aber Bezüge zu anderen MINT-Fächern hat (KMK, 2005). Dies zeigt sich in der engen Verknüpfung der Basiskonzepte der einzelnen Fächer, die in diesem Material konkret verbunden werden, damit die Schüler*innen durch die interdisziplinäre Vernetzung von ihrem in den einzelnen MINT-Fächern erworbenen Grundwissen ein Konzept eines strukturierten naturwissenschaftlichen Grundwissens, im Sinne von *Scientific Literacy* entwickeln (KMK, 2005).

Schwerpunkt beim Experiment mit dem Insektenkarussell ist in inhaltlicher Hinsicht das Basiskonzept „Struktur und Funktion“ (Biologie), das mit den Konzepten „Systeme“ (Physik) und „Struktur-Eigenschafts-Beziehungen“ (Chemie) verknüpft wird (KMK, 2005) und die die Schüler*innen in die Lage versetzen, im bionischen Kontext eine technische Anwendung zu antizipieren, die aus der Anpasstheit der Stabschrecke an ihre Umwelt abgeleitet wird, welche das Ergebnis evolutionärer Entwicklung von Struktur und Funktion des Stabschreckenfußes ist.

Konkret werden im vorgestellten Unterrichtsmodell folgende Bildungsstandards für das Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss erfüllt: Die Schüler*innen beschreiben und erklären die Anpasstheit des Stabschreckenfußes an die Umwelt (Fachwissen). Sie führen Untersuchungen mit geeigneten qualifizierenden oder quantifizierenden Verfahren durch und werten sie aus, wenden Schritte aus dem experimentellen Weg der Erkenntnisgewinnung zur Erklärung an (Erkenntnisgewinnung). Schließlich veranschaulichen sie die Daten messbarer Größen zu Struktur und Funktion angemessen mit sprachlichen, mathematischen und bildlichen Gestaltungsmitteln (KMK, 2005).

Exemplarisch lassen sich folgende Bezüge zu Inhaltsfeldern verschiedener Kernlehrpläne des Landes NRW herstellen:



- Sekundarstufe I Gymnasium Biologie: Inhaltsfeld 4 „Ökologie und Naturschutz“ (MSB, 2019a)
- Sekundarstufe I Gesamtschule Lernbereich Naturwissenschaften: Inhaltsfeld 12 „Bewegung in Natur und Technik“ (MSB, 2011)
- Sekundarstufe I Gymnasium Physik: Inhaltsfeld 7 „Bewegung, Kraft und Energie“ (MSB, 2019b)
- Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule Physik: Inhaltsfeld „Grundlagen der Mechanik“ (Einführungsphase) (MSB, 2022)

Es kann sich darüber hinaus eine Anbindung an den Wahlpflichtbereich II anbieten, je nach Schwerpunktsetzung innerhalb der einzelnen schulinternen Curricula.

Hinsichtlich des Medienkompetenzrahmens NRW (Medienberatung NRW, 2020) lässt sich festhalten, dass das Unterrichtsmaterial die Kompetenz digitale Tools zum kooperativen Arbeiten zu nutzen (Excel-Tabelle) und die Auswertung eines videografierten Experiments als Ersatz für ein analoges Experiment bei den Schüler*innen fördert. Schulformübergreifend wird die Kompetenz „1.3 Datenorganisation“ (Bereich Bedienen und Anwenden) geschult (Medienberatung NRW, 2020).

3.2 Hinweise zum Arbeitsmaterial und zum Unterrichtsablauf

Das Arbeitsmaterial ist so konzipiert, dass das Experiment in der digital gestützten Variante oder als Realexperiment oder auch in einer Kombination aus beidem durchgeführt werden kann: Unabhängig von der Art der Umsetzung werden die Schritte des naturwissenschaftlichen Erkenntniswegs in Form eines vollständigen Protokolls nachvollzogen (Arbeitsmaterial 2). Zur Erstellung der Einleitung und zur begründeten Auswahl der im Material vorgegebenen Hypothesen stehen ein Informationstext (Arbeitsmaterial 1) sowie ein Erklärvideo zur Verfügung (QR-Code und Link zu einem Ordner für die Schüler*innen in Kasten 1 sowie in Abschnitt 4 von Arbeitsmaterial 2, es gibt außerdem einen Ordner für die Lehrkraft, s. Kasten 1). Die sachgerechte Darstellung und Auswertung der Messergebnisse wird durch Rechenhilfen gestützt (Arbeitsmaterial 3). Eine Anleitung zum Realexperiment liegt gesondert vor (Arbeitsmaterial 4).

Ordner für die Lehrkraft:	Ordner für die Schüler*innen:
	
https://rwth-aachen.sciebo.de/s/xmG8OightcodmFa	https://rwth-aachen.sciebo.de/s/vIQ1HKvMqfZiePd

Kasten 1: QR-Codes und Links zum online verfügbaren Ordner für die Lehrkraft und zum Ordner für die Schüler*innen.

Letzterer enthält die Videos zur Messwerterfassung, das Erklärvideo zur Durchführung des Experiments in zwei verschiedenen Versionen (bei Durchführung des Realexperiments und bei ausschließlicher Nutzung der Videos). Der Ordner für die Lehrkraft enthält den Ordner für die Schüler*innen, eine Kurzversion der o.g. Erklärvideos, die vorbereitete Excel-Datei zur Erfassung und Darstellung der ermittelten Messwerte sowie die Musterlösungen zur Auswertung der Videos. (Die Ordner sind als Projektbox in der NRW-Hochschulcloud [Sciebo](#) abgelegt.)

Die Durchführung des Experiments ist Gegenstand des o.g. Erklärvideos. (Die Erläuterungen im Video, die mittels der KI [elevenlabs.io](#) erstellt wurden, entsprechen in großen Teilen denen im o.g. Informationstext (Arbeitsmaterial 1), so dass die Schüler*innen verschiedene Zugänge, die wiederholend aufeinander bezogen sind, erhalten.) Die wesentlichen Schritte bei der Vorbereitung und Durchführung des Experiments, die Ermittlung der verschiedenen Werte sowie die Auswertung werden im Protokoll in Form eines Schemas festgehalten, indem die Schüler*innen entsprechende Textbausteine zuordnen (Abschnitt 4 von Arbeitsmaterial 2). Anhand eines Lösungsworts können sie ihre Zuordnung überprüfen.

Für die Messwerterfassung anhand von Videos arbeiten die Schüler*innen in Gruppen von zwei bis drei Personen. Sie können im o.g. Ordner auf insgesamt 60 Videos zu vier verschiedenen Oberflächen zugreifen (Kunststoff, sehr feines Schleifpapier, feines Schleifpapier, grobes Schleifpapier), pro Oberfläche gibt es 13 bis 16 Videos. Jede Gruppe wertet mindestens drei Videos zu jeder der vier Oberflächen aus. Die Tabelle im Protokoll (Abschnitt 5.1 in Arbeitsmaterial 2) bietet Platz für zwei weitere Durchläufe. Als Messwerte sind die Umdrehungszahl der Drehscheibe zum Zeitpunkt, zu dem das jeweils gezeigte Versuchstier die Scheibe verlässt, dessen Abstand zum Mittelpunkt der Scheibe (betrachtet wird die Körpermitte des Tiers) sowie dessen Masse zu erfassen und in die o. g. Tabelle einzutragen. Die Umdrehungszahl wird im Display des Stroboskops angezeigt, die Masse des Tiers wird im Video oben rechts eingeblendet.

Zwar lässt sich die Drehzahl bei Haftverlust bildgenau ablesen, was auch korrekt wäre, weil an dieser Position die tatsächliche Zentrifugalkraft wirkt, der das Tier gerade noch entgegenwirken kann. Es hat sich jedoch erwiesen, dass es für die Schüler*innen einfacher ist, den Abstand bei Verharren der Stabschrecke abzulesen. Deshalb empfiehlt es sich, den Abstand bei Freezing-Reflex abzulesen. Entsprechend handelt es sich bei den ermittelten Zentrifugalkräften um Näherungswerte, die jedoch ebenfalls die Abhängigkeit der Hafteigenschaften der Tiere von den Oberflächen widerspiegeln. (Übereinstimmend beschreiben auch Wüller et al. (2009) den Radius r in der Einheit Meter [m] entweder als den Abstand, bei dem die Stabschrecke in den Freezing-Reflex verfällt oder als denjenigen, bei dem sie letztmalig auf der Drehscheibe zu sehen ist.)

Wird zusätzlich oder alternativ das Realexperiment durchgeführt, enthält Arbeitsmaterial 4 weitere praktische Hinweise zur Vorgehensweise. Die im Protokoll schematisch dargestellten Schritte sind dort teilweise präzisiert und ergänzt. Als Versuchstiere erwiesen sich mittelgroße Exemplare der Stabschrecke als am geeignetsten. Deren Größe ist der Größe der Rotationsscheibe des Versuchsaufbaus angepasst. Es empfiehlt sich, die Beschleunigung der Scheibe rasch erfolgen zu lassen, da sich bei den Insekten erst bei höheren Drehzahlen der Freezing-Reflex einstellt.

Wie in der Video-Variante werden die im Realexperiment ermittelten Werte im Protokoll erfasst (Abschnitt 5.1 in Arbeitsmaterial 2).

Zum Verständnis der Rechenwege und Formeln beim Umrechnen der Messwerte und beim Errechnen von Winkelgeschwindigkeit, Zentrifugalkraft und der jeweiligen Mittelwerte sollte mindestens eine eigene Rechnung erfolgen, bevor im weiteren Verlauf die Eingabe der Messwerte in eine vorbereitete Excel-Datei erfolgen kann (QR-Code und Link zum Schülerordner in Abschnitt 5.2 von Arbeitsmaterial 2, s.a. Kasten 1). Dieses digitale Werkzeug ermöglicht die grafische Darstellung aller Werte von allen Gruppen. (Die für die Datenerfassung und -auswertung vorbereitete Excel-Datei kann durch die Lehrkraft aus dem Ordner heruntergeladen und dann kollaborativ von den Schüler*innen genutzt werden, z.B. mit OneDrive oder auch lokal auf einem Endgerät im Fachraum.) Zusätzlich fertigen die Schüler*innen händisch ein Säulendiagramm unter Verwendung der Werte ihrer eigenen Gruppe an.

Zur Auswertung stehen zur Beschreibung des Vorgehens und der Ergebnisse sowie zur Interpretation der Daten je vier Niveaustufen als Unterstützungsangebote in Form sprachlicher Hilfen zur Verfügung (Abschnitt 6.1 und 6.2 in Arbeitsmaterial 2). Die Auswahl kann je nach Lerngruppe durch die Lehrkraft

oder durch die Schüler*innen erfolgen. Die Differenzierung der Niveaustufen ergibt sich durch unterschiedlich stark steuernde Hilfen wie Lückentext, verwürfelte Sätze, Wortgeländer und Wortfeld (Leisen, 2003). Die Auswertung schließt mit einer Diskussion weiterführender Fragen (Abschnitt 6.3 in Arbeitsmaterial 2): Es werden mögliche Gründe für das Zustandekommen unterschiedlicher Messwerte diskutiert, außerdem werden die Stabschrecke als Modellorganismus sowie mögliche bionische Anwendungen thematisiert, die aus Erkenntnissen zur Interaktion von Insekten und Oberflächen abgeleitet werden könnten.

Die Arbeitsmaterialien 1 bis 4 sowie die Musterlösungen zu Arbeitsmaterial 2 stehen in diesem Journal zur Verfügung, in einem Sciebo-Ordner (s.o., Kasten 1) befinden sich die Musterlösungen zur Auswertung der Videos (tabellarische Darstellung der abzulesenden Messwerte sowie graphische Darstellungen der Mittelwerte der einzelnen Gruppen und der Mittelwerte aller Gruppen gemeinsam, jeweils für die vier verschiedenen Oberflächen).

Danksagung

Unser besonderer Dank geht an die Mitarbeiter der mechanischen und elektronischen Werkstatt der Biologie, die die benötigten Insektenkarussells äußerst kompetent und bedienerfreundlich sowie gemäß den nötigen Sicherheitsstandards für uns angefertigt haben. Außerdem danken wir sehr herzlich unserem Kollegen Lutz Kupferschläger, der mit großer Innovationskraft und Diskussionsfreude sämtliche mediengestalterische Aufgaben bei der Erstellung der verschiedenen Videos wahrgenommen hat.

Literatur

- Bässler, U. (1965). *Das Stabheuschreckenpraktikum. Einführung in die biologische Methodik: Anatomie, Physiologie, Entwicklung*. Franck'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co.
- Baumgartner et al. (2008). Das Insektenkarussell. Schüler erforschen die Haft Eigenschaften von Tieren auf Oberflächen. *RWTH Themen – Bionik – Schnittstelle zwischen Natur und Technik*. 1/2008, 74-75. https://www.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaadbmjq (05.07.2023)
- Baumgartner, W. & Scholz, I. (2008). Haften oder nicht haften – Das ist die Frage. Adhäsive und antiadhäsive biologische Oberflächen. *RWTH Themen – Bionik – Schnittstelle zwischen Natur und Technik*. 1/2008, 48-51. https://www.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaadbmjq (05.07.2023)
- Baur, A. (2017). Stab- und Gespenstschrecken. Warum können sie kopfüber hängen? *MNU-Journal*, 70(6), 400-405.
- Bohn, H.F., Speck, O., Speck, T. (2011). Haftkünstler auf dem Prüfstand. *MNU-Journal*, 64(7), 416-422.
- Hosoda, N. & Gorb, S. (2012). Underwater locomotion in a terrestrial beetle: combination of surface de-wetting and capillary forces. *Proceedings of the Royal Society B*, 279, 4236-4242. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2012.1297> (05.07.2023)

- Speck, T. (1999). Bionik. In *Lexikon der Biologie*. Spektrum Akademischer Verlag.
<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/bionik/8744> (05.07.2023)
- Hüttermann, P. (2006). *Bionik im Unterricht: Entwicklung eines Schulexperiments zur Interaktion von Tieren und Oberflächen* [Staatsexamensarbeit, RWTH Aachen].
- Leisen, J. (Hg.) (2003). *Methoden-Handbuch Deutschsprachiger Fachunterricht (DFU)*. Varus.
- Medienberatung NRW (Hg.) (2020). *Medienkompetenzrahmen NRW*.
<https://medienkompetenzrahmen.nrw/> (07.06.2023).
- Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen [MSB] (2011). Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen – Lernbereich Naturwissenschaften.
https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/130/KLP_GE_NW.pdf (07.05.2023).
- Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen [MSB] (2019a). Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Biologie.
https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/197/g9_bi_klp_%203413_2019_06_23.pdf (07.05.2023).
- Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen [MSB] (2019b). Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Physik.
https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/208/g9_ph_klp_%203411_2019_06_23.pdf (10.07.2023).
- Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen [MSB] (2022). Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen – Physik.
https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/332/klp_gost_ph_2022_06_07.pdf (10.07.2023).
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland [KMK] (2005). Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (Beschluss vom 16.12.2004). https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf (07.05.2023).
- Wirth, M. J. (2015). Bionik – Eine aktuelle Übersicht. *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule*, 64(8), 4-7. https://www.biologiedidaktik.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaabgvroqq (03.07.2023)
- Wüller, M., Hüttermann, P., Baumgartner, W. & Bohrmann, J. (2009). Tier-Oberflächen-Interaktion – Ein handlungsorientierter Ansatz zur Erforschung der Haft Eigenschaften von Insekten. *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule*, 58(1), 37-41. https://www.biologiedidaktik.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaabgbzhhq (03.07.2023)

Arbeitsmaterial 1: Infotext

Das Insektenkarussell: Halte- und Haftvermögen der Indischen Stabschrecke (*Carausius morosus*) auf verschiedenen Oberflächen

Insekten, wie z.B. die Indische Stabschrecke (*Carausius morosus*, Abb. 1 in Arbeitsmaterial 2), können an Wänden und sogar an der Decke entlanglaufen, ohne hinunterzufallen. Die Füße der meisten Insekten weisen spezielle Haftorgane auf (Abb. 2 in Arbeitsmaterial 2), die ihnen ganz besondere Eigenschaften verleihen und den Halt an fast jeder Oberfläche ermöglichen:

- 5 Zum einen gibt es am Fuß, den man bei Insekten als Tarsus bezeichnet, zwei kleine Krallen. Zum anderen befindet sich zwischen den Krallen ein Haftlappen, den man mit wissenschaftlicher Bezeichnung Arolium nennt. Die Krallen an den Tarsen ermöglichen einen guten Halt auf rauem Untergrund, während die Arolien auf glattem Untergrund gut haften.

10 In einem Experiment kann das Halte- und Haftvermögen von Stabschrecken auf unterschiedlichen Oberflächen erforscht werden. Man verwendet hierzu ein sogenanntes Insektenkarussell. Das Prinzip des Experiments ist mit dem einer Drehscheibe auf dem Spielplatz vergleichbar. Beim Insektenkarussell handelt sich um eine Art Zentrifuge, in der die Tiere auf Drehscheiben mit unterschiedlich glatten und rauen Oberflächen gesetzt werden, z.B. eine glatte Oberfläche aus Kunststoff oder eine raue Oberfläche aus grobem Schleifpapier. Für mittlere Oberflächen verwendet man feines oder sehr feines Schleifpapier.

15 Die Scheiben werden in Rotation versetzt und die Geschwindigkeit langsam und stetig erhöht. Durch die dabei entstehende Zentrifugalkraft, die auf die Tiere wirkt, stellen diese ihre anfängliche Fortbewegung ein und verharren. Dies bezeichnet man als Freezing-Reflex. So bleibt der Abstand des Tiers zum Mittelpunkt der Scheibe konstant, und damit hängt die einwirkende Kraft ausschließlich von der Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe ab.

20 Bei hohen Umdrehungsgeschwindigkeiten ist das Insekt auf der Scheibe nicht mehr mit bloßem Auge zu erkennen. Um den Versuchsablauf verfolgen zu können, wird ein Stroboskop mit der Motordrehzahl synchronisiert. So wird genau ein Lichtblitz pro Umdrehung der Scheibe ausgelöst, wodurch man das Tier stets an der gleichen Stelle wahrnimmt.

25 Die Drehzahl, d.h. die Umdrehungen der Scheibe pro Minuten (*rounds per minute*, RPM), wird fortwährend erhöht und am Stroboskop angezeigt. Ermittelt wird die Drehzahl, bei der sich die Tiere von der Oberfläche lösen. Mit Kenntnis der Masse der Stabschrecken, des jeweiligen Abstands zum Scheibenmittelpunkt und der jeweiligen Drehzahl, bei der die Tiere die Haftung verlieren, lässt sich die Zentrifugalkraft errechnen, die jeweils beim Verlassen der Scheibe auf die Tiere gewirkt hat.

30 Je nach Oberfläche und Geschwindigkeit können sich die Tiere unterschiedlich gut auf der Scheibe halten: Je höher die errechnete Kraft ist, desto besser ist das Haftvermögen auf der jeweiligen Oberfläche. Dementsprechend bedeutet ein geringer Wert der Kraft ein geringes Haftvermögen.

Arbeitsmaterial 2: Protokoll

Das Insektenkarussell: Halte- und Haftvermögen von Stabschrecken auf verschiedenen Oberflächen

1 Einleitung

Fasse wesentliche Aspekte aus dem Informationstext in eigenen Worten zusammen. Die Begriffe der Wortliste können dir bei der Formulierung helfen.

Wortliste:

die Stabschrecke, die Stabschrecken – der Bau/der Aufbau – der Tarsus, die Tarsen – der Haftlappen, die Haftlappen – haften (auf) – das Arolium, die Arolien – das Haftvermögen – (sich) halten – die Beschaffenheit von – die Oberfläche, die Oberflächen – das Insektenkarussell – die Rotationsgeschwindigkeit der Scheiben – die Zentrifugalkraft – die Haftung verlieren

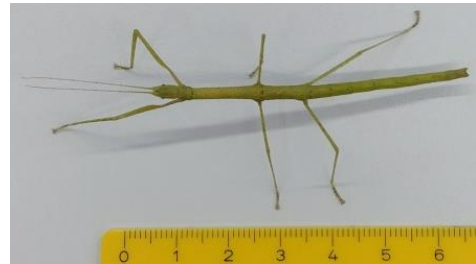


Abb 1 Indische Stabschrecke (*Carausius morosus*). Foto: Petra Nikolay.

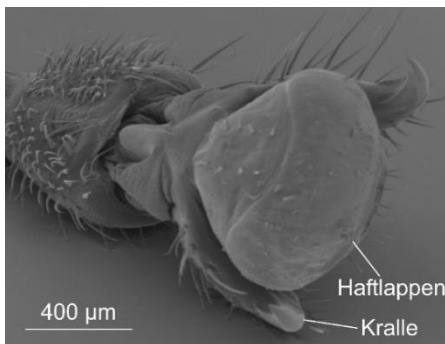


Abb. 2 Fußende (Praetarsus) einer Stabheuschrecke von unten mit einem Paar Krallen und einem Haftlappen (Arolium; rasterelektronenmikroskopische (REM-) Aufnahme). Foto: Ingo Scholz.

2 Forschungsfrage

Auf welchen Oberflächen haften die Stabschrecken gut, auf welchen haften sie nicht gut?

3 Hypothesen

Stelle auf Basis des Informationstextes (Arbeitsmaterial 1) und des Erklärvideos (s. QR-Code in Abschnitt 4) Vermutungen über das Haftvermögen von Stabschrecken auf verschiedenen Oberflächen auf, indem Du jeweils zwei der nachfolgenden Aussagen ankreuzt.

Ein hohes Haftvermögen zeigen Stabschrecken auf einer...

- glatten Oberfläche aus Kunststoff
- mittleren Oberfläche aus sehr feinem Schleifpapier
- mittleren Oberfläche aus feinem Schleifpapier
- rauen Oberfläche aus grobem Schleifpapier

Ein geringes Haftvermögen zeigen Stabschrecken auf einer...

- glatten Oberfläche aus Kunststoff
- mittleren Oberfläche aus sehr feinem Schleifpapier
- mittleren Oberfläche aus feinem Schleifpapier
- rauen Oberfläche aus grobem Schleifpapier

4 Material und Durchführung

Stelle den Ablauf des Experiments im Überblick dar, indem du die einzelnen Schritte im Schema zuordnest. Nutze bei Bedarf erneut den Informationstext und das Erklärvideo. Bei korrekter Reihenfolge ergibt sich ein Lösungswort.

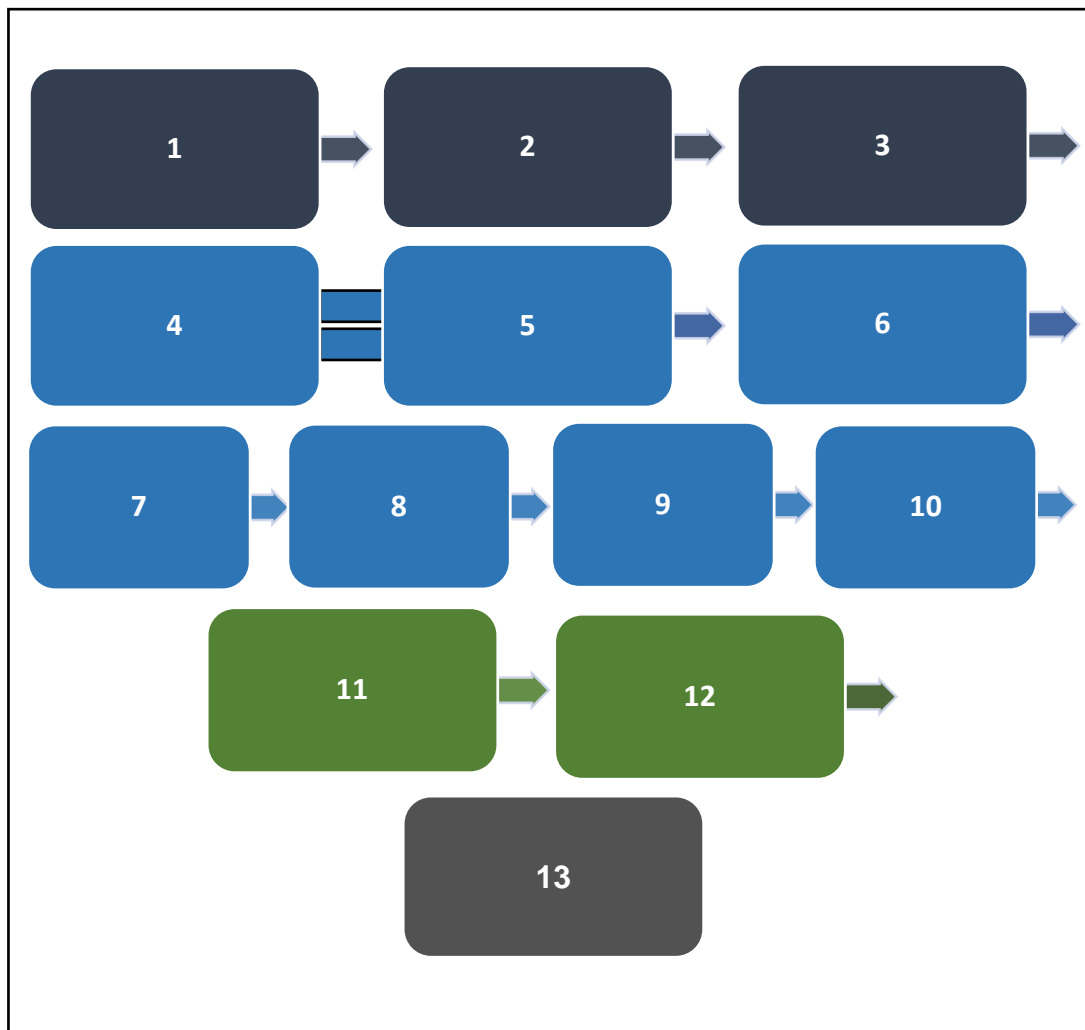


<https://rwth-aachen.sciebo.de/s/vIQ1HKvMqfZiePd>

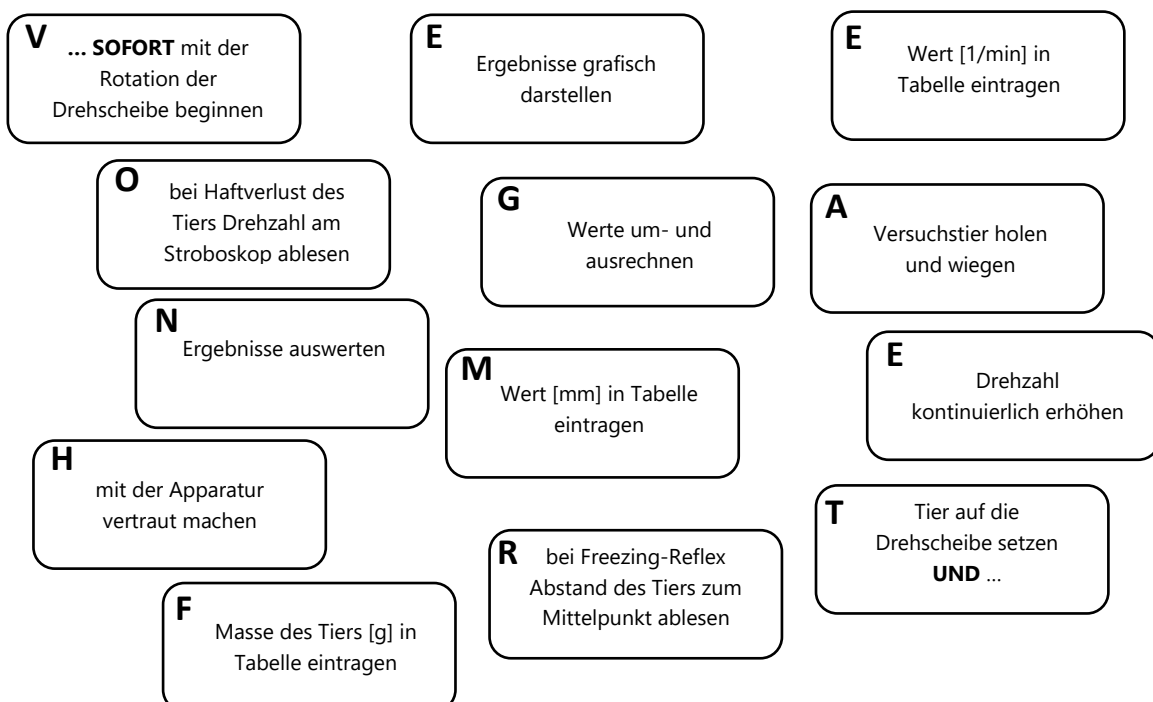
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

Führt die Messungen anhand der Videos durch und tragt die ermittelten Werte in die Tabelle in Abschnitt 5.1 ein (weiße Spalten). Zum Um- und Ausrechnen der weiteren Werte (graue Spalten) nutzt die Rechenhilfen (Arbeitsmaterial 3).

Wenn ihr das Experiment selbst durchführt, steht euch hierzu eine gesonderte Anleitung zur Verfügung (Arbeitsmaterial 4).



Kasten 1 Überblick über den Ablauf der Messungen und deren Auswertung



5 Ergebnisse

5.1 Ermittelte Werte

Nr.	Oberfläche	m [g]	m [kg]	r [mm]	r [m]	f [1/min]	f [1/s]	ω [1/s]	F _z [N]	\bar{F}_z [N]
1	Kunststoff									X
2	Kunststoff									
3	Kunststoff									
4	Kunststoff									
5	Kunststoff									
	Kunststoff	Mittelwert								
1	S sehr fein									X
2	S sehr fein									
3	S sehr fein									
4	S sehr fein									
5	S sehr fein									
	S sehr fein	Mittelwert								
1	S fein									X
2	S fein									
3	S fein									
4	S fein									
5	S fein									
	S fein	Mittelwert								
1	S grob									X
2	S grob									
3	S grob									
4	S grob									
5	S grob									
	S grob	Mittelwert								

5.2 Grafische Darstellung

Stellt die Ergebnisse eurer eigenen Gruppe dar, indem ihr ein Säulendiagramm erstellt.

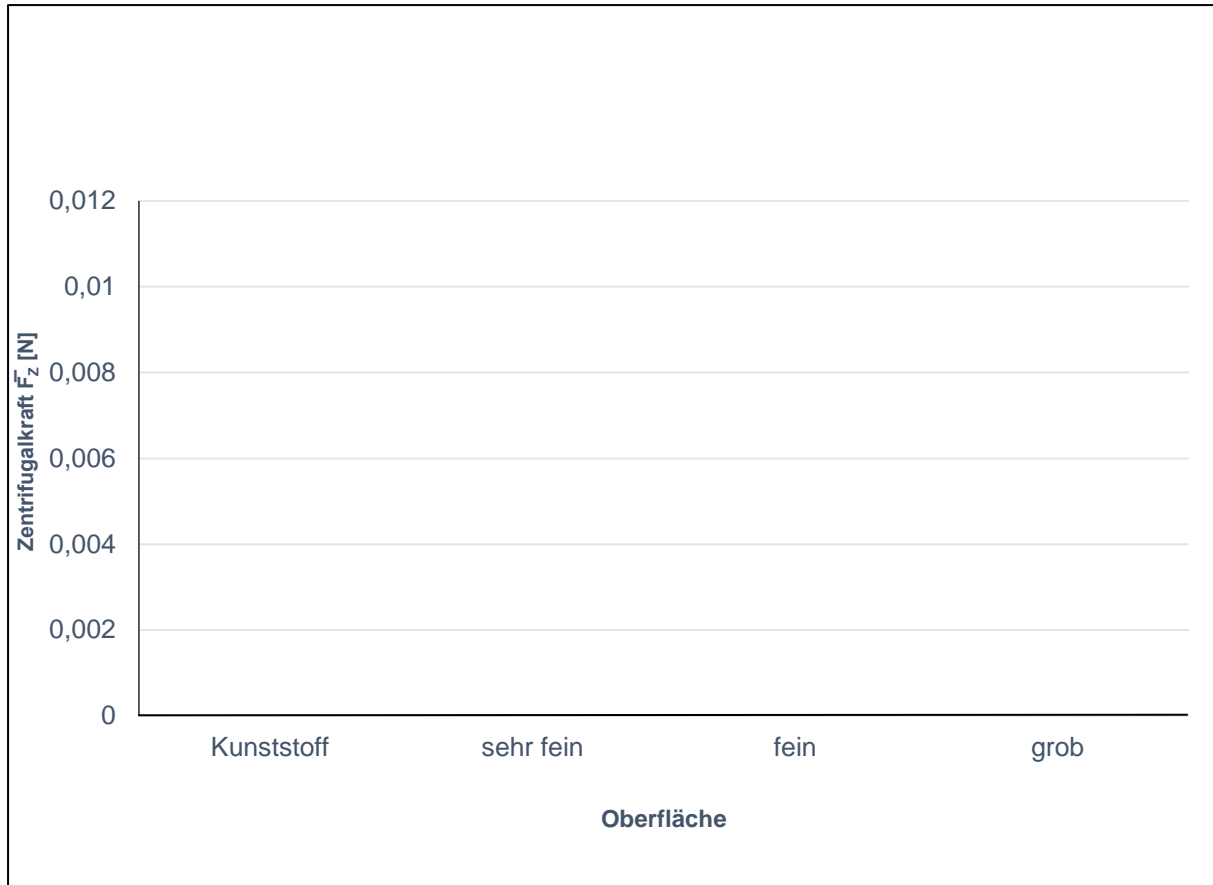


Abb. 3 Haltevermögen als durchschnittliche Zentrifugalkraft auf verschiedenen Oberflächen (Ergebnisse unserer eigenen Gruppe).

Tragt eure Ergebnisse in die für die Datenerfassung und -auswertung vorbereitete Excel-Tabelle ein, die Euch von Eurer Lehrerin/ Eurem Lehrer zur Verfügung gestellt wird, um eine Darstellung der Ergebnisse aller Gruppen zu erhalten.

6 Auswertung

Zur Auswertung werden zunächst das experimentelle Vorgehen und die Ergebnisse beschrieben (Abschnitt 6.1), dann erfolgt die Interpretation der Daten (Abschnitt 6.2). Abschließend werden weiterführende Fragen diskutiert (Abschnitt 6.3).

Wähle zur Bearbeitung der Abschnitte 6.1 und 6.2 je eine der vier Niveaustufen aus (s. Sternchen).

6.1 Beschreibung des experimentellen Vorgehens und der Ergebnisse



Beschreibe das experimentelle Vorgehen und die Ergebnisse, indem du den Lückentext mit den Wörtern aus der Wortliste ausfüllst. Trage zusätzlich die von euch ermittelte Masse der schwersten und leichtesten Stabschrecke ein.

Wortliste:

die Masse, die Massen – der Mittelwert, die Mittelwerte – größten – geringste – sehr feinen – besten – die Zentrifugalkraft, die Zentrifugalkräfte – die Oberfläche, die Oberflächen – Kunststoffoberfläche – grob – fein

Vor den Messungen der Zentrifugalkräfte wurde die _____ der Stabschrecken bestimmt. Die ermittelte Masse der Tiere lag zwischen _____ und _____ Gramm. Die _____ der Zentrifugalkräfte wurden für die unterschiedlichen _____ errechnet. Die _____ Zentrifugalkräfte und somit die _____ Hafteigenschaften konnten auf der _____ und dem _____ Schleifpapier ermittelt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass sich das _____ Haftvermögen auf den Oberflächen mit dem _____ und _____ Schleifpapier, also den mittleren Oberflächen, ergibt. Dies lässt sich aus der geringsten berechneten _____ ableiten.



Beschreibe das experimentelle Vorgehen und die Ergebnisse, indem du die verwürfelten Sätze in die richtige Reihenfolge bringst. Trage zusätzlich die von euch ermittelte Masse der schwersten und leichtesten Stabschrecke ein. Optional kannst du die Sätze in der richtigen Reihenfolge noch einmal aufschreiben.

Verwürfelte Sätze:

- Die größten Zentrifugalkräfte und somit die besten Hafteigenschaften konnten auf der Kunststoffoberfläche und dem groben Schleifpapier ermittelt werden.
- Vor den Messungen der Zentrifugalkräfte wurde die Masse der Stabschrecken bestimmt.
- Die Ergebnisse zeigen, dass sich das geringste Haftvermögen auf den Oberflächen mit dem sehr feinen und feinen Schleifpapier, also der mittleren Oberfläche, ergibt.
- Die ermittelte Masse der Tiere lag zwischen _____ und _____ Gramm.
- Dies lässt sich aus der geringsten berechneten Zentrifugalkraft ableiten.
- Die Mittelwerte der Zentrifugalkräfte wurden für die unterschiedlichen Oberflächen errechnet.



Beschreibe das experimentelle Vorgehen und die Ergebnisse, indem du mit Hilfe des Wortgeländers einen Fließtext schreibst. Beziehe die von euch ermittelte Masse der schwersten und leichtesten Stabschrecke mit ein.

Wortgeländer:

- 1. Vor – Messungen – Zentrifugalkräfte – bestimmen – Masse – Stabschrecken
- 2. Ermittelte Masse – Tiere – zwischen ... und ... liegen
- 3. Mittelwerte – Zentrifugalkräfte – errechnen – unterschiedliche Oberflächen
- 4. Größte Zentrifugalkräfte – beste Hafteigenschaften – ermittelt werden – Kunststoffoberfläche – grobes Schleifpapier
- 5. Ergebnisse – zeigen – geringstes Haftvermögen – mittlere Oberflächen – sich ergeben
- 6. Geringste Zentrifugalkraft – berechnen – sich ableiten lassen



Beschreibe das experimentelle Vorgehen und die Ergebnisse, indem du mit Hilfe des Wortfelds und der Formulierungshilfen einen Fließtext schreibst. Beziehe die von euch ermittelte Masse der schwersten und leichtesten Stabheuschrecke mit ein.

Wortfeld:



Formulierungshilfen:

- Zuerst – danach – dann – vor – nach
- der/die/das größte ..., die größten ... – der/die/das geringste ..., die geringsten ...
- der/die/das beste ..., die besten ... – der/die/das schlechteste ..., die schlechtesten ...
- sich ergeben – ableiten aus
- zwischen... und ... liegen

6.2 Interpretation der Daten



Werte das Experiment durch Interpretation der Daten aus, indem du den Lückentext mit den Wörtern aus der Wortliste ausfüllst.

Wortliste:

die Stabschrecke, die Stabschrecken – die Oberfläche, die Oberflächen – das größte Haftvermögen – am schlechtesten – das Arolium, die Arolien – die Kralle, die Krallen – die Hafteigenschaft, die Hafteigenschaften – die Kunststoffoberfläche, die Kunststoffoberflächen – grob – ermöglichen

Die Ergebnisse zeigen, dass die _____ der _____ von den unterschiedlichen _____ abhängen. Das _____ ergibt sich bei der glatten _____ und der rauhen Oberfläche mit dem _____ Schleifpapier. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei der glatten Oberfläche die _____ und auf der rauhen Oberfläche die _____ das Festhalten ermöglichen (s. Einleitung). Auf den Scheiben mit dem sehr feinen und feinen Schleifpapier können sich die Stabschrecken _____ halten. Daraus lässt sich schließen, dass auf mittleren Oberflächen weder die Haftlappen noch die Krallen einen guten Halt _____.

☆☆☆ *Werte das Experiment durch Interpretation der Daten aus, indem du die verwürfelten Sätze in die richtige Reihenfolge bringst. Optional kannst du die Sätze in der richtigen Reihenfolge noch einmal aufschreiben.*

Verwürfelte Sätze:

- Das größte Haftvermögen ergibt sich bei der glatten Kunststoffoberfläche und der rauen Oberfläche mit dem groben Schleifpapier.
- Es kann davon ausgegangen werden, dass bei der glatten Oberfläche die Arolien und auf der rauen Oberfläche die Krallen das Festhalten ermöglichen (s. Einleitung).
- Daraus lässt sich schließen, dass auf mittleren Oberflächen weder die Haftlappen noch die Krallen einen guten Halt ermöglichen.
- Die Ergebnisse zeigen, dass die Hafteigenschaften der Stabschrecken von den unterschiedlichen Oberflächen abhängen.
- Auf den Scheiben mit dem sehr feinen und feinen Schleifpapier können sich die Stabschrecken am schlechtesten halten.

★★★☆☆ *Werte das Experiment durch Interpretation der Daten aus, indem du mit Hilfe des Wortgeländers einen Fließtext schreibst.*

Wortgeländer:

- 1. Ergebnisse – zeigen – Hafteigenschaften – Stabschrecken – Oberflächen – abhängen von
- 2. Größtes Haftvermögen – sich ergeben – glatte Kunststoffoberfläche – raue Oberfläche – grobes Schleifpapier
- 3. Glatte Oberfläche – Arolien – raue Oberfläche – Krallen – Festhalten – ermöglichen
- 4. Sehr feines und feines Schleifpapier – können – Stabschrecke – sich halten – am schlechtesten
- 5. Sich schließen lassen – Haftlappen – Krallen – Halt – ermöglichen – mittlere Oberflächen – weder... noch ... – gut

6.3 Diskussion weiterführender Fragen

Nenne Faktoren, die zu einer Streuung der Messwerte führen können.

Begründe, warum es sinnvoll ist, eine hohe Anzahl von Messungen durchzuführen.

Erläutere, inwiefern die Stabschrecke als Modellorganismus geeignet ist.

Leite ab, inwiefern sich die gewonnen Erkenntnisse bei technischen Anwendungen auf die Gestaltung von Oberflächen auswirken können.

Arbeitsmaterial 3: Rechenhilfen

Das Insektenkarussell: Halte- und Haftvermögen von Stabschrecken auf verschiedenen Oberflächen

Formeln zur Berechnung der Zentrifugalkraft		m:	Masse der Stabschrecke [kg]
$\omega = 2\pi \cdot f$ [s ⁻¹]		r:	Radius [m]
F_z [N] = $m \cdot r \cdot \omega^2$	[N] = [kg · $\frac{m}{s^2}$]	f:	Drehzahl [s ⁻¹]
$\bar{F}_z = \frac{F_{z1} + F_{z2} + F_{zn}}{n}$		ω :	Winkelgeschwindigkeit [s ⁻¹]
		F_z :	Zentrifugalkraft [N]
		\bar{F}_z :	Mittelwert Zentrifugalkraft [N]

Beispielrechnung

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

$$F_z = m \cdot r \cdot \omega^2$$

gegeben	umgerechnet
f (Drehzahl): 560/min	f = 560/60 = 9,33/s
r (Radius): 20 mm	r = 20 /1000 = 0,02 m
m (Masse) = 0,06 g	m = 0,06/1000 = 0,00006 kg
$\pi = 3,14$	

Winkelgeschwindigkeit:

$$\omega = 2\pi \cdot \frac{9,3}{s} = \frac{58,61}{s}$$

Zentrifugalkraft:

$$F_z = 0,00006 \text{ kg} \cdot 0,02 \text{ m} \cdot \left(\frac{58,61}{s}\right)^2$$

$$F_z = 0,004 \text{ N}$$

Arbeitsmaterial 4: Anleitung

Das Insektenkarussell: Halte- und Haftvermögen von Stabschrecken auf verschiedenen Oberflächen

Material



Abb. 1 Material für die Versuchsdurchführung. Foto: Lutz Kupferschläger.

Stabschrecken in Terrarium, Federstahlpinzette, Petrischale ($d \geq 8$ cm), Präzisionswaage ($d = 0,01$), Schraubdeckelglas für ermüdete Stabschrecken (Abb. 1)

CDs/Drehscheiben für das Insektenkarussell mit unterschiedlichen Oberflächen (Kunststoff, sehr feines Schleifpapier, feines Schleifpapier, grobes Schleifpapier), jeweils versehen mit Abstandsmarkierungen (Abb. 2 bis Abb. 4 sowie Kasten 3)

Insektenkarussell, bestehend aus Zentrifuge und Stroboskop (Abb. 3 und Abb. 4 sowie Kasten 3)



Abb. 2 Drehscheiben mit verschiedenen Oberflächen für das Insektenkarussell. Foto: Petra Nikolay.



Abb. 3 Insektenkarussell. Foto: Lutz Kupferschläger.

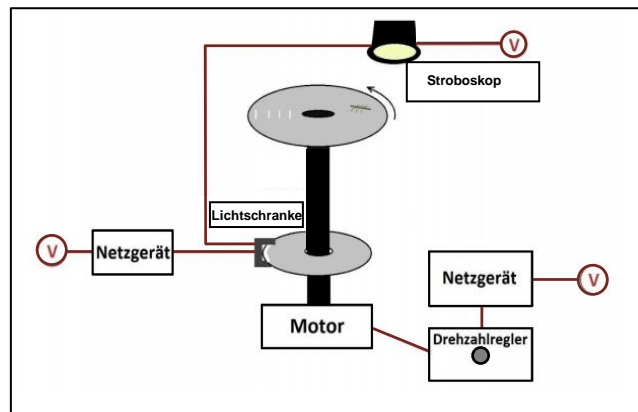


Abb. 4 Schema zum Aufbau des Insektenkarussells.

Netzgerät:	Geeignete Stromversorgung (Wechselstrom, Spannung 12 V)
Motor:	Rotationsantrieb
Drehzahlregler:	Regelung der Rotationsgeschwindigkeit
Achse mit Metallscheibe:	Aufnahme der Rotationsscheibe (CD)
Gabellichtschranke:	Registrierung einer Markierung auf der CD bei jeder Umdrehung
Stroboskop:	Messung der Umdrehung pro Minute (gibt Lichtblitz pro Umdrehung ab, so dass die Stabschrecke immer an der gleichen Stelle zu verharren scheint und für das Auge sichtbar ist)






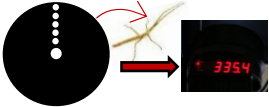
Kasten 3 Funktion der verschiedenen Bauteile des Insektenkarussells.

Durchführung

Bildet Gruppen von 3-5 Personen. Jede Gruppe führt 3-5 Messungen pro Tier und Oberfläche durch. Das Schema im Protokoll (Arbeitsmaterial 2, Abschnitt 4) und die nachfolgende Tabelle geben einen Überblick über den Ablauf der Messungen.

Sprecht vor Beginn die Aufteilung der verschiedenen Aufgaben ab:

- Drehzahlregler bedienen
- Position des Versuchstiers auf der Scheibe (Abstand zum Mittelpunkt) ablesen
- Drehzahl an der Geräteanzeige bei Haftverlust der Stabschrecke ablesen
- Werte in Tabelle eintragen

 <p style="text-align: center;">Drehzahlregler</p>	<ul style="list-style-type: none"> • mit der Apparatur vertraut machen • Regulierung der Drehzahl vor dem Versuch mit der Stabschrecke ausprobieren: <ul style="list-style-type: none"> ○ Bei welcher Stellung des Drehknopfes beginnt die Rotation? ○ Wie schnell ist die Übertragung vom Drehzahlregler auf den Motor? 													
 <p>Stabschrecke Präzisionswaage</p> <table border="1" style="float: right; margin-left: 20px;"> <tr><td>m [g]</td></tr> <tr><td>x,xx</td></tr> </table>	m [g]	x,xx	<ul style="list-style-type: none"> • Versuchstier holen und wiegen • Masse des Tiers [g] in Tabelle eintragen 											
m [g]														
x,xx														
 <p style="text-align: center;">Stabschrecke</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Stabschrecke auf die Drehscheibe des Insektenkarussells setzen und ... • ... sofort mit der Rotation beginnen → Freezing-Reflex 													
	<ul style="list-style-type: none"> • Drehzahl kontinuierlich erhöhen 													
 <table border="1" style="float: right; margin-left: 20px;"> <tr><td>r [mm]</td></tr> <tr><td>xx</td></tr> </table>	r [mm]	xx	<ul style="list-style-type: none"> • bei Freezing-Reflex Abstand des Tiers zum Mittelpunkt ablesen • Wert [mm] in Tabelle eintragen 											
r [mm]														
xx														
 <table border="1" style="float: right; margin-left: 20px;"> <tr><td>f [1/min]</td></tr> <tr><td>xxx</td></tr> </table>	f [1/min]	xxx	<ul style="list-style-type: none"> • bei Haftverlust des Tiers Drehzahl am Stroboskop ablesen • Wert [1/min] in Tabelle eintragen 											
f [1/min]														
xxx														
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>m [g]</td> <td>r [mm]</td> <td>f [1/min]</td> </tr> <tr> <td>x,xx</td> <td>xx</td> <td>xxx</td> </tr> </table>	m [g]	r [mm]	f [1/min]	x,xx	xx	xxx	<ul style="list-style-type: none"> • die abgelesenen Werte 							
m [g]	r [mm]	f [1/min]												
x,xx	xx	xxx												
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>m [kg]</td> <td>r [m]</td> <td>f [1/s]</td> <td>ω [1/s]</td> <td>F_z [N]</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	m [kg]	r [m]	f [1/s]	ω [1/s]	F_z [N]						<ul style="list-style-type: none"> • um- und ausrechnen: <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>m: g → kg</td> <td>r: mm → m</td> <td>f: 1/min → 1/s</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> ○ Winkelgeschwindigkeit: ω ausrechnen ○ Zentrifugalkraft F_z ausrechnen 	m: g → kg	r: mm → m	f: 1/min → 1/s
m [kg]	r [m]	f [1/s]	ω [1/s]	F_z [N]										
m: g → kg	r: mm → m	f: 1/min → 1/s												

Musterlösungen zu Arbeitsmaterial 2

Das Insektenkarussell: Halte- und Haftvermögen von Stabschrecken auf verschiedenen Oberflächen

1 Einleitung

*individuelle Antworten der Schüler*innen*

2 Forschungsfrage

s. Schülermaterial

3 Hypothesen

Ein hohes Haftvermögen zeigen Stabschrecken auf einer...

- glatten Oberfläche aus Kunststoff*
- mittleren Oberfläche aus sehr feinem Schleifpapier*
- mittleren Oberfläche aus feinem Schleifpapier*
- rauen Oberfläche aus grobem Schleifpapier*

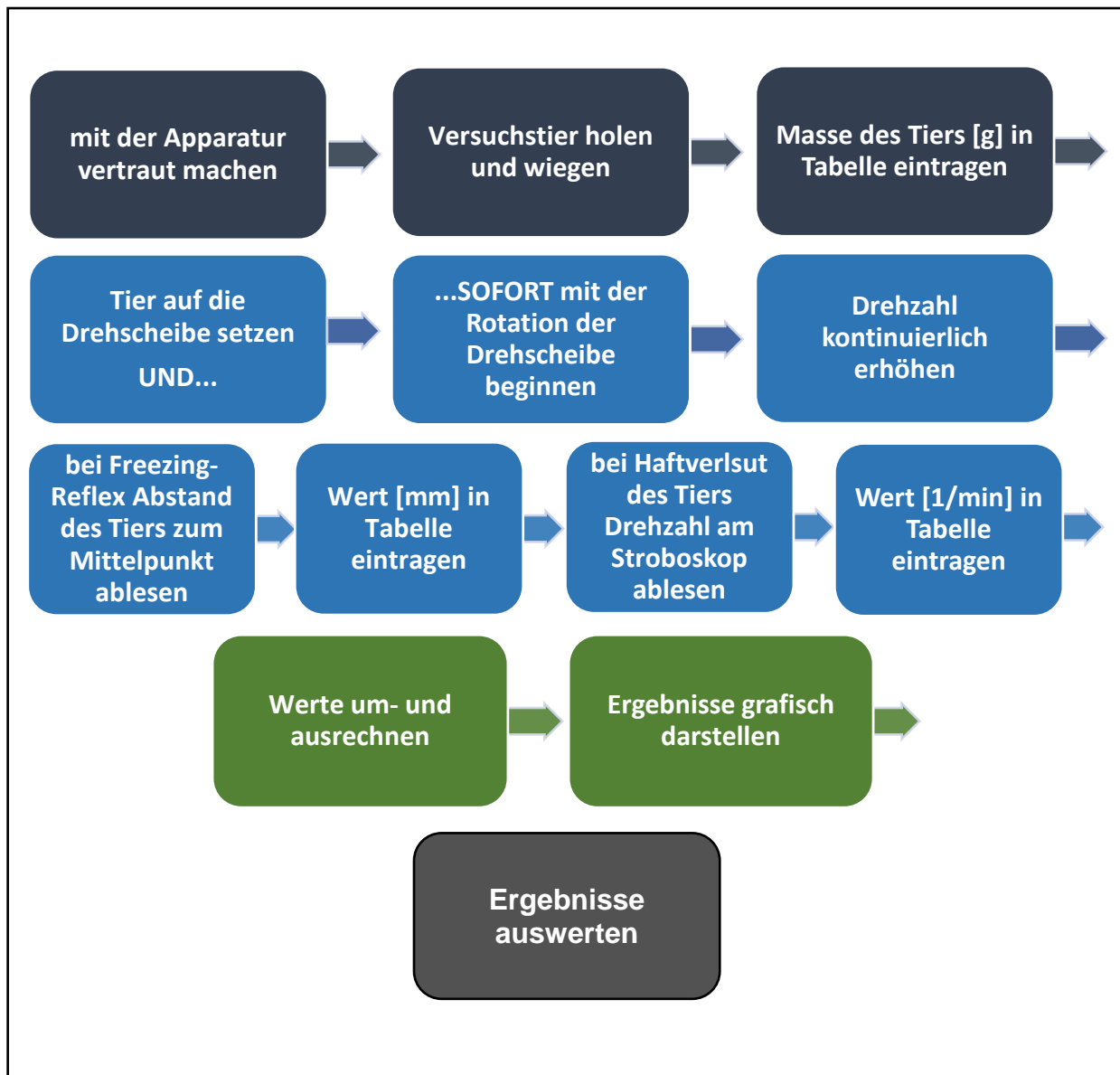
Ein geringes Haftvermögen zeigen Stabschrecken auf einer...

- glatten Oberfläche aus Kunststoff*
- mittleren Oberfläche aus sehr feinem Schleifpapier*
- mittleren Oberfläche aus feinem Schleifpapier*
- rauen Oberfläche aus grobem Schleifpapier*

4 Material und Durchführung

Lösungswort: HAFTVERMOEGEN

Das zu vervollständige Schema befindet sich auf der folgenden Seite.



Kasten 1 Überblick über den Ablauf der Messungen und deren Auswertung

5 Ergebnisse

Als Beispiel für ein Säulendiagramm kann Abb. 5 aus dem Artikeltext (Abschnitt 2) herangezogen werden.

6 Auswertung

6.1 Beschreibung des experimentellen Vorgehens und der Ergebnisse

Vor den Messungen der Zentrifugalkräfte wurde die Masse der Stabschrecken bestimmt. Die ermittelte Masse der Tiere lag zwischen _____ und _____ Gramm. Die Mittelwerte der Zentrifugalkräfte wurden für die unterschiedlichen Oberflächen errechnet. Die größten Zentrifugalkräfte und somit die

besten Hafteigenschaften konnten auf der Kunststoffoberfläche und dem groben Schleifpapier ermittelt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass sich das geringste Haftvermögen auf den Oberflächen mit dem sehr feinen und feinen Schleifpapier, also der mittleren Oberfläche, ergibt. Dies lässt sich aus der geringsten berechneten Zentrifugalkraft ableiten.

6.2 Interpretation der Daten

Die Ergebnisse zeigen, dass die Hafteigenschaften der Stabschrecken von den unterschiedlichen Oberflächen abhängen. Das größte Haftvermögen ergibt sich bei der glatten Kunststoffoberfläche und der rauen Oberfläche mit dem groben Schleifpapier. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei der glatten Oberfläche die Arolien und auf der rauen Oberfläche die Krallen das Festhalten ermöglichen (s. Einleitung). Auf den Scheiben mit dem sehr feinen und feinen Schleifpapier können sich die Stabschrecken am schlechtesten halten. Daraus lässt sich schließen, dass auf mittleren Oberflächen weder die Haftlappen noch die Krallen einen guten Halt ermöglichen.

6.3 Diskussion weiterführender Fragen

- Nenne Faktoren, die zu einer Streuung der Messwerte führen können.
 - Unterschiedliches Verhalten einer einzelnen Stabschrecke bei den einzelnen Messungen
 - Unterschiedliche Hafteigenschaften der Tiere bei unterschiedlicher Körpergröße
 - Entwicklungsdefizite der Jungtiere (Gleichgewicht, geringe Muskelmasse)
 - Ermüdungserscheinungen bei Messwiederholungen
 - Unterschiedliche Erhöhung der Umdrehungszahl → Ermüdungserscheinung bei langsamer Steigerung, da längere Kraftaufwendung
 - Lage des Versuchstieres zum Mittelpunkt (tangential zu Mittelpunkt → mehr Schwierigkeiten; radiale Ausrichtung besser)
 - Haftung unterschiedlicher Anzahl von Füßen auf der Scheibe
 - Scheibenunterseite ist aus Kunststoff, beim Haften am Rand wirkt eine andere Oberfläche
 - Korrekte Berechnung von F_z mit Position bei Haftverlust nicht bei Freezing-Reflex
- Begründe, warum es sinnvoll ist, eine hohe Anzahl von Messungen durchzuführen.
 - gesicherte Aussagen können nur nach häufiger Wiederholung gewonnen werden um die Werte statistisch ausgewertet zu können.
 - Minimierung von Messwertfehlern

- Erläutere, inwiefern die Stabschrecke als Modellorganismus geeignet ist.
 - Tiere bewegen sich langsam → Vorteil für ungeübte Experimentatoren
 - keine Flügel → Vorteil für ungeübte Experimentatoren
- Leite ab, inwiefern sich die gewonnenen Erkenntnisse bei technischen Anwendungen auf die Gestaltung von Oberflächen auswirken können.

Mögliche zu nennende Anwendungen:

- Erkenntnisse, die im Experiment am Modellorganismus Stabheuschrecke gewonnen werden, können auf andere Insekten übertragen werden
- Forscher arbeiten an Wandanstrichen, die den Insekten das Erklimmen von Hauswänden erschweren. Dadurch kann den teilweise lästigen und krankheitsübertragenden Insekten der Eintritt in Wohnhäuser verwehrt werden.
- Mit Haftstrukturen der Insekten als Vorbild – könnten Klebstoffe entwickelt werden, die sich ebenfalls den zu klebenden Oberflächen anpassen. Damit können diese Klebstoffe auf viel mehr Oberflächen angewendet werden als herkömmliche Kleber. Daraus könnte sich sogar neue Anwendungsgebiete z.B. in der Medizin/Zahnmedizin ergeben (Gewebekleber) – so haften diese Kleber auch auf Menschenhaut und bei Feuchtigkeit.