



# *IJSO 2022 – Hör mal!*

Begleitheft für Betreuende

Zusammengestellt von

Dr. Stephanie Schmidt-Gattung

PD Dr. Heide Peters

IPN — Leibniz-Institut für die Pädagogik der  
Naturwissenschaften und Mathematik

## Hinweis

Die Zusammenstellung im Begleitheft versteht sich nicht als eigenständiger Autorenbeitrag.

Um Ihnen den Einstieg in die Themen der einzelnen Versuche zu erleichtern, wurde hier ein Zusammenschnitt von Rechercheergebnissen erstellt. Dabei beginnen die Kapitel zu den einzelnen Versuchen jeweils mit Informationen, die für die Durchführung der Experimente hilfreich sind. Zu jedem Versuch gibt es außerdem weiterführende Informationen für betreuende Lehrkräfte. Am Schluss stehen noch einige Ideen für weitere Fragestellungen.

Einige Textanteile sind, nur geringfügig umformuliert, aus verschiedenen im Verzeichnis angegebenen Quellen übernommen worden.

Die Begleitmaterialien werden Ihnen zum persönlichen Gebrauch im Rahmen der Wettbewerbsbetreuung in der Internationalen JuniorScienceOlympiade zur Verfügung gestellt.

Hinweis: Alle im Text angegebenen Links wurden am 30.10.2021 auf ihre Aktualität geprüft.

# Inhalte

<b>Teil A</b>	<b>Förderkonzepte und Tipps zur Wettbewerbsarbeit</b>	<b>05</b>
<b>A1</b>	<b>Allgemeine Hinweise für Wettbewerbsbetreuende</b>	<b>05</b>
A1.1	MINT-Schülerwettbewerbe – den Einstieg leicht gemacht	06
A1.2	Wettbewerbsarbeit in der IJSO	08
<b>Teil B</b>	<b>Durchführung der Experimente und theoretische Grundlagen</b>	<b>10</b>
<b>B1</b>	<b>Einführung und Materialliste</b>	<b>10</b>
B1.1	Lernziele	10
B1.2	Materialliste	11
<b>B2</b>	<b>Beschaffung und praktische Hinweise</b>	<b>12</b>
B2.1	Experiment 1 – Popcorn Hinweise zur Beschaffung Schneiden und Färben	12
B2.2	Experiment 2 – Expedition ins Ohr Hinweise zur Beschaffung Das Modell	13
B2.3	Experiment 3 – Tanzende Körner Hinweise zur Beschaffung Basteln der Klangdose Tipps zum Erzeugen der „richtigen“ Töne	14
B2.4	Experiment 4 – Singende Gläser Hinweise zur Beschaffung Das Glas zum Singen bringen	16
<b>B3</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>17</b>
B3.1	Experiment 1 – Popcorn Aufbau eines Maiskorns Stärke und Iod Lugolsche Lösung versus Betaisodona®-Lösung Die Prozesse bei der Herstellung von Popcorn	17
B3.2	Experiment 2 – Expedition ins Ohr Die Reise einer Schallwelle durchs Ohr Das Außenohr und das Richtungshören Das Mittelohr und die mechanische Schallübertragung Das Innenohr und die Umwandlung von Signalen	20
B3.3	Experiment 3&4 – Tanzende Körner und singende Gläser Schallquelle, Schallwellen und hörbarer Bereich Die drei wichtigsten Kenngrößen einer Schallwelle – Frequenz, Periode und Amplitude Charakterisierung verschiedener Schallereignisse – Ton, Klang, Knall und Geräusch Anregung und Verstärkung von Schwingungen – Resonanz, Interferenz, stehende Wellen	24

Teil C	Forscherfragen und Projektarbeit	29
Teil D	Quellennachweis	30
D1	Literatur	30
D2	Linksammlung	30
D3	Bildnachweis	31

### A1 Allgemeine Hinweise für Wettbewerbsbetreuende

Eine Wettbewerbsteilnahme ist eine Chance für alle: Für die Teilnehmenden, neue Felder zu entdecken und mit den Herausforderungen und Erfolgen zu wachsen; für die Betreuenden, ihre Schülerinnen und Schüler in diesem Prozess begleiten zu dürfen und Anregungen für den naturwissenschaftlichen Unterricht zu bekommen. Und diese Chance sollte jedem offenstehen. Auch wenn für einige das Ergebnis sein sollte, nicht erneut am Wettbewerb teilnehmen zu wollen, würde eine solche Entscheidung auf einer konkreten Erfahrung fußen und hätte damit ihren eigenen Wert, wenn es darum geht sich zu orientieren und die eigenen Stärken und Vorlieben zu entdecken.

Aus diesem Grund plädieren wir immer dafür, eine Wettbewerbsteilnahme in der IJSO mit der ganzen Klasse oder einem Kurs durchzuführen und für ein nachhaltiges Förderkonzept möglichst früh mit der Wettbewerbsarbeit zu beginnen. Forschung heute wird in Teams geleistet. Deshalb zählt in der IJSO nicht nur Einzelleistung, sondern es gibt auch Gelegenheit zur Teamarbeit.

Das betrifft auch die Betreuungsarbeit. Suchen Sie sich Kolleginnen und Kollegen aus Biologie, Chemie oder Physik und regen eine gemeinsame Wettbewerbsarbeit an. Sorgen Sie dafür, dass der Wettbewerb einen festen Ort an Ihrer Schule und im Curriculum findet. Dann werden automatisch die Kolleginnen und Kollegen, die in diesem Jahrgang unterrichten, in die Pflicht genommen und die Lasten verteilen sich auf mehrere Schultern. Sind Sie stärker an einer systematischen Implementierung der Wettbewerbsarbeit in Unterricht und Schule interessiert, informieren Sie sich doch auf unserer Website zur Initiative "NaWigator in der IJSO".

Als Aufgabenwettbewerb sind die Antwortformate, auch aus Gründen der Bewertung, eher geschlossen. Dennoch ist ein zentrales Element in der IJSO forschendes Lernen, verbunden mit dem Anliegen mit unseren Aufgaben dazu zu inspirieren, eigene Fragen zu stellen, weiter zu recherchieren und ggf. in eigenen Projekten zu vertiefen. Genau deshalb ermutigen wir in der Aufgabe „Noch Fragen offen?“ die Schülerinnen und Schüler aus ihrer eigenen Arbeit an den Wettbewerbsaufgaben heraus weitere „Forschungsfragen“ zu entwickeln. Der Weg in der IJSO erfordert ein hohes Maß an selbstständigem Arbeiten, soll aber auch ermuntern, sich den Rat von Expertinnen und Experten zu holen, wenn man an eine Grenze stößt. Unser Angebot versteht sich damit auch als Türöffner auf dem Weg zur Vernetzung mit anderen Förder- und Lernangeboten im MINT-Bereich.

Das vorliegende Begleitheft soll Sie in Ihrer Wettbewerbsarbeit unterstützen. (i) Betreuen Sie erstmals in einem Schülerwettbewerb finden Sie in *Teil A* eine Reihe praktischer Tipps zum Einstieg, insbesondere auch zu Förderstrategien und zur Einbindung der Wettbewerbsarbeit in den Unterricht. (ii) Wettbewerbserfahrene können diesen Teil überspringen und finden in *Teil B* zunächst zu jedem Experiment Hinweise zur Beschaffung von Materialien und zur Durchführung. Dann folgen Abschnitte mit Hintergrundwissen und Anregungen zur Vertiefung, für diejenigen, deren Wissensdurst noch nicht gestillt ist. In *Teil C* gibt es Arbeitsblätter zu weiterführenden Experimenten und in *Teil D* Anregungen zu Forscherfragen und Projektarbeiten.

## A1.1 MINT-Schülerwettbewerbe – den Einstieg leichtgemacht

**Das Angebot an Schülerwettbewerben in den Naturwissenschaften ist bunt und vielfältig, eine didaktische Nische für Nachwuchsförderung und berufliche Orientierung. Wie aber entscheide ich mich als Lehrkraft für den geeigneten Wettbewerb?**

Bevor Sie die Büchse der Pandora öffnen, widmen Sie sich der Frage, was Sie mit einer Wettbewerbsteilnahme erreichen wollen: Für Abwechslung im Unterricht sorgen? Für Naturwissenschaften interessieren und begeistern? Schülerinnen und Schüler mit Potenzial fördern? Reizt das sportliche Kräftemessen oder geht es um fachliche Expertise und forschendes Lernen? Soll der Klassenverband durch Teamarbeit gestärkt werden? Je präziser Sie Ihr Förderkonzept fassen können, umso leichter wird Ihnen später die Auswahl fallen.

### **Wie entscheide ich mich für einen Wettbewerb?**

Sichten Sie das Portal des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Stichwort „Jugendwettbewerbe“ und recherchieren Sie unter „Begabtenförderung“ oder „Schülerwettbewerbe“ auf den Bildungsservern der Länder. Suchen Sie im Begabungslotsen oder beim „Deutschen Bildungsserver“. Die Arbeitsgemeinschaft bundesweiter Schülerwettbewerbe hat Qualitätsstandards entwickelt, zu deren Einhaltung sich ihre Mitgliedswettbewerbe verpflichten. Die KMK hat „Qualitätskriterien für Schülerwettbewerbe“ beschlossen und führt eine Liste von Wettbewerben, die sie als empfehlenswert einstuft. Prüfen Sie die Passung Ihres Förderkonzepts mit dem Profil des Wettbewerbs. Checken Sie, ob das Wettbewerbsangebot die Qualitätskriterien erfüllt. Welche Leistungen verlangt der Wettbewerb den Jugendlichen, aber auch Ihnen ab? Stehen Wettbewerbsfristen in Konflikt mit wichtigen schulischen Terminen? Schätzen Sie Betreuungsaufwand und benötigte Ressourcen realistisch ab. Entscheiden Sie sich für den Wettbewerb, der Sie persönlich begeistert. Dann ist die Chance groß, dass der Funke auf die Beteiligten überspringen wird.

### **Wie werbe ich für eine Teilnahme?**

Die Initiative liegt bei Ihnen, nur plakatieren reicht nicht. Stellen Sie den Wettbewerb im Unterricht vor, oder noch besser, lassen Sie Wettbewerbsteilnehmende von ihren Erfahrungen berichten. Teilen Sie in einem Elternbrief mit, dass Sie das Kind mit einem Zusatzangebot fördern möchten. Berichten Sie beim Elternabend. Führen Sie auf der Homepage der Schule eine Rubrik mit allgemeinen Informationen zu Wettbewerbsangeboten ein. Informieren Sie regelmäßig über aktuelle Teilnahmen und Wettbewerbs-erfolge.

Beginnen Sie früh mit der Wettbewerbsarbeit. Bahnen Sie Wettbewerbsteilnahmen an, indem Sie Wettbewerbsaufgaben aus den Vorjahren in Ihr Unterrichtsangebot aufnehmen. Grundschulkindern, die an die weiterführende Schule wechseln, sind begeisterungsfähig. Nutzen Sie diesen Elan im Sinne einer nachhaltigen Förderung. Stimmen Sie die Kinder und Jugendlichen vor Beginn auf erfüllbare Erwartungen ein. Vermitteln Sie, dass Durchhalten und Einreichen einer Ausarbeitung zählen und für sich genommen, schon ein großartiger Erfolg sind.

### **Wie unterstütze ich?**

Beschränken Sie sich auf Hilfe zur Selbsthilfe. Für eine positive Attribuierung ihrer Erfolge sollten Teilnehmende sich als autonom und selbstwirksam erleben. Einige Wettbewerbe bieten Materialien für Wettbewerbsbetreuende oder auch eigens Fortbildungen an.

Wettbewerbe verlangen häufig ein Engagement über Wochen, manchmal Monate. Unterstützen Sie Ihre Teilnehmenden, indem Sie den Zeitraum mit Etappenzielen strukturieren. Bekunden Sie Interesse am Fortgang der Arbeit und fordern Sie ein, dass Ergebnisse unmittelbar notiert und „zu Papier gebracht“ werden.

### **Wettbewerbsarbeit im Unterricht?**

Entlasten Sie sich und die Teilnehmenden, indem Sie Wettbewerbsteilnahmen zum festen Bestandteil von Unterricht und schulischem Leben machen. Lassen Sie Experimente im Fachunterricht durchführen, geben Sie Recherche und Dokumentation portioniert als Hausaufgabe. Öffnen Sie im Nachmittagsangebot Räume für Wettbewerbsarbeit in Kleingruppen. Definieren Sie Teile des Wettbewerbs als verbindliche Unterrichtsleistung, die in die Note eingeht. Wer mehr will, kann mehr tun. Wettbewerbs-erfolge können mit einem Zeugniseintrag gewürdigt werden. Vernetzen Sie sich im Kollegium und bauen Sie ein nachhaltiges Wettbewerbskonzept über alle Klassenstufen auf.

## Tipps für den Anfang

Beginnen Sie mit einer kleinen Schülergruppe. Hängen Sie die Erwartungen nicht zu hoch. Alle müssen sich erst mit den Abläufen vertraut machen. Binden Sie erfahrene Schülerinnen und Schüler und ehemalige Teilnehmende in die Betreuung ein. Evaluieren Sie die Arbeit und stecken Sie neue Ziele – und geben Sie jedem Wettbewerb, bevor Sie ihn abschreiben, mindestens eine zweite Chance!

### Wie wähle ich einen geeigneten Wettbewerb aus?

1. Klären Sie zunächst eigene Ziele/ Förderkonzepte, die Sie mit einer Wettbewerbsteilnahme verfolgen.
2. Verschaffen Sie sich einen Überblick über Wettbewerbsangebote und prüfen Sie die Qualität.
3. Sortieren Sie einmalige Wettbewerbsangebote aus. Sie eignen sich in der Regel nicht für den Aufbau eines nachhaltigen Förderkonzepts.
4. Treffen Sie eine Vorauswahl und fragen Sie im Kollegenkreis nach, wo es bereits Erfahrungen mit den ausgewählten Wettbewerben gibt.
5. Informieren Sie sich auf der Webseite des Organisers, wie die Passung zwischen dem Wettbewerbsprofil und Ihren Förderzielen ist. Wenden Sie sich mit Fragen ggf. direkt an die Wettbewerbsorganisatoren.
6. Verschaffen Sie sich einen Überblick, was von den Teilnehmenden und von Ihnen an Leistungen erwartet wird und treffen Sie anschließend Ihre Wahl.

Quelle [nach H. Peters & B. Sieve (2013): Fordern und Fördern mit Wettbewerben. NiU Chemie, 136, 24, S. 8.]

### Qualitätskriterien Schülerwettbewerbe

#### Gute Schülerwettbewerbe

- fördern die persönliche Entwicklung der Schülerinnen und Schüler
- unterstützen besondere Begabungen
- motivieren Schülerinnen und Schüler, aber auch Lehrkräfte zu zusätzlichem Engagement
- beinhalten Unterstützungssysteme für die Teilnehmenden
- weisen ein pädagogisch und wissenschaftlich begründetes Konzept aus, das von Experten begleitet wird
- haben eine Jury, die in der Beurteilung transparent ist
- geben Anregungen über den Wettbewerb hinaus
- fördern Schülerinnen und Schüler nachhaltig, indem sie langfristig motivieren
- liefern auch den Schulen und den Lehrkräften Impulse für die Unterrichtsgestaltung durch die Einbindung des Wettbewerbs bzw. der Wettbewerbsinhalte in den Unterricht
- fördern vor allem gesellschaftlich bedeutsame Leistungen
- sorgen für öffentliche Anerkennung
- unterstützen und motivieren die Teilnehmenden in ihrer Wettbewerbsleistung mit angemessenen Auszeichnungen oder Preisen
- beachten die Grundregeln des Datenschutzes

Quelle: [nach Arbeitsgemeinschaft bundesweiter Schülerwettbewerbe [www.bundeswettbewerbe.de/fileadmin/user\\_upload/agbsw-guteSchuelerwettbewerbe.pdf](http://www.bundeswettbewerbe.de/fileadmin/user_upload/agbsw-guteSchuelerwettbewerbe.pdf) [Stand: 27.1.2017] und Greiffenstein, J. v. (2007) Wettbewerbe in Konkurrenz. Klett-Themendienst 38(5/2007), S. 7]

Peters, H. (2017) MINT-Schülerwettbewerbe – den Einstieg leichtgemacht. MINT Zirkel, Juni 2017, 11, Klett MINT GmbH.

## A1.2 Wettbewerbsarbeit in der IJSO

### Teilnahmebedingungen und Registrierung

Am Auswahlwettbewerb zur IJSO 2022 teilnehmen kann, wer eine allgemein- oder berufsbildende deutsche Schule (im Bundesgebiet) besucht und nach dem 31. Dezember 2006 geboren ist (Geburtsjahr 2007 oder jünger). Wer im Rahmen einer Arbeitsgemeinschaft oder im Klassen- bzw. Jahrgangsverband an der IJSO teilnimmt und vor dem 1. Januar 2007 geboren ist, kann maximal an den ersten drei Wettbewerbsrunden teilnehmen und nicht zum Bundesfinale zugelassen werden. Auch an der Hochschule voll immatrikulierte Studierende sind von einer Teilnahme am Bundesfinale ausgeschlossen.

Die Aufgaben der ersten Runde sind von den Teilnehmenden eigenverantwortlich ohne fremde Hilfe zu lösen. Die Experimente dürfen nur in Gegenwart eines Erwachsenen durchgeführt werden. Dabei ist auf die Einhaltung gängiger Sicherheitsmaßnahmen und das Tragen angemessener Schutzkleidung zu achten.

Gemeinschaftslösungen von Teilnehmenden sind in der ersten Runde zulässig. Die Gruppenstärke darf maximal drei Personen umfassen und die Namen der am Team beteiligten Schülerinnen und Schüler müssen kenntlich gemacht werden. Jeder Teilnehmende, auch Gruppenmitglieder, müssen sich *einzel*n registrieren. Dafür benötigt jeder Teilnehmende eine eigene gültige E-Mail-Adresse. Betreuen Sie größere Gruppen oder jüngere Teilnehmende, empfiehlt es sich, die Anmeldung mit Zustimmung der Erziehungsberechtigten gemeinsam mit den Teilnehmenden vorzunehmen.

### Hinweise zur Betreuung und Musterlösung

Mit Ihrer Registrierung als betreuende Lehrkraft sollten Sie neben dem Begleitheft für Betreuende auch die Musterlösung zur Aufgabenrunde erhalten haben. Falls nicht, wenden Sie sich direkt an die Bundesgeschäftsstelle der IJSO. Sie erhalten die Musterlösung mit Erwartungshorizont bereits zum Wettbewerbsstart, damit Sie schon während der Schülerbetreuungsphase abschätzen können, in welcher Tiefe wir eine Beantwortung der Frage erwarten, und Sie Ihre Teilnehmenden ansprechen können, falls sie beispielsweise die Zielrichtung einer Fragestellung missverstanden haben sollten.

Die Aufgaben der ersten Runde sind so angelegt, dass sie in einem Zeitraum von drei Wochen vollständig bearbeitet werden können. Das gibt Ihnen die Möglichkeit, im Zeitfenster von November bis Mitte Januar entsprechend der Abläufe in Ihrem Schuljahr mit Ihren Teilnehmenden flexibel einen verbindlichen Start- und Abgabetermin festzulegen. Planen Sie dabei ausreichend Zeit für die Bewertung der Ausarbeitungen und die Übermittlung der Bewertungsergebnisse ein.

Legen Sie keinen anderen Termin fest, gilt als Stichtag für die Einreichung der Ausarbeitungen der 15. Januar 2022. Entscheidend für die IJSO-Geschäftsstelle ist der Stichtag für die Online-Übermittlung der Bewertungen zur ersten Wettbewerbsrunde im Februar.

### Bewertung und Übermittlung der Ergebnisse

Die Musterlösung mit Erwartungshorizont und Bewertungsschlüssel unterstützt Sie bei der Bewertung der eingereichten Ausarbeitungen Ihrer Schülerinnen und Schüler. Ihre Bewertungsergebnisse übermitteln Sie nach Aufforderung ebenfalls online über das Anmeldeportal.

Bevor Sie mit der Eintragung Ihrer Bewertungsergebnisse beginnen, prüfen Sie bitte, ob alle Ihre Teilnehmenden korrekt Ihrem Profil zugeordnet sind. Sollten Sie Fehler in der Zuordnung entdecken, setzen Sie sich bitte umgehend über eine Nachricht an sekretariat@ijso.info mit uns in Verbindung. Zum Abschluss der Wettbewerbsrunde werden alle Wettbewerbsteilnehmenden informiert und können ihre eigene Platzierung über ein Einloggen im Portal einsehen.

Alle Wettbewerbsbetreuenden werden regelmäßig mit Rundmails über Termine und weitere Abläufe der Wettbewerbsrunden sowie die Erfolge ihrer Wettbewerbsteilnehmenden informiert. Wichtige Informationen und Wettbewerbsmaterialien auch früherer Wettbewerbsjahre finden sie unter [www.ijso.info](http://www.ijso.info).

### **Wieviel Unterstützung darf ich geben?**

Anders als bei Schul- oder Hausarbeiten sind die Aufgaben so konzipiert, dass Inhalte und Konzepte berührt werden, die bisher nicht im Unterricht behandelt wurden und eigenständige Recherche verlangen. Auch erwarten wir nicht, dass Teilnehmende alle Aufgaben vollständig werden lösen können.

Wir werden immer wieder von Betreuenden gefragt, wieviel Unterstützung sie in der Aufgabenrunde geben dürfen. Aus unserer Sicht dürfen Sie gern Teilnehmende auf Literatur oder andere Quellen hinweisen, die ihnen den Zugang für eine eigenständige Recherche zu bestimmten Themenbereichen oder Konzepten erleichtern, vor allem auch, wenn sie den Schülerinnen und Schülern aus dem Schulunterricht noch nicht bekannt sind. Allerdings sollten Sie davon Abstand nehmen, Teilnehmende gezielt darauf hinzuweisen, wenn Teile ihrer Ausarbeitungen fehlerhaft sind, oder ihnen Lösungsansätze selbst vorzuschlagen.

Betreuen Sie Wettbewerbsneulinge oder Kinder in der Altersgruppe bis 12 Jahre empfehlen wir in der Regel, die Teilnahme zunächst auf die erste Wettbewerbsrunde zu begrenzen und die Teilnehmenden eine altersangemessene Auswahl von Teilaufgaben bearbeiten zu lassen. Teilen Sie Ihren Teilnehmenden ihr Bewertungsergebnis bezogen auf die maximale Punktezahl mit, die sie in den von Ihnen ausgewählten Aufgabenteilen hätten erreichen können.

Wir freuen uns, wenn Sie uns berichten, welche Erfahrungen Sie mit der Betreuung Ihrer Schülerinnen und Schüler in der IJSO gesammelt haben. Für Fragen stehen wir gern zur Verfügung.

Viel Spaß und Erfolg wünscht

Ihr IJSO-Team am IPN Kiel

### B1 Einführung und Materialliste

#### B1.1 Lernziele

Die Aufgaben zur ersten Runde sollen anregen, sich intensiv und umfassend mit dem Thema Hören zu beschäftigen. Ausgangspunkt ist im Experiment ein Geräusch, das wir aus dem Alltag kennen - das charakteristische *Plopp* bei der Herstellung von Popcorn. Nach einem kleinen Exkurs in die Pflanzphysiologie des Mais(korns) kehren wir über die Prozesse hinter dem Aufpuffen der Popcorn-Flocke und den chemischen Nachweis von Stärke wieder zurück in die Welt des Schalls (Physik) und des menschlichen Hörens (Biologie). Wir fragen uns, wie Schall in unser Ohr gelangt und wie unser Ohr aufgebaut sein muss, damit wir überhaupt Geräusche hören können. Abschließend tauchen wir in den Experimenten 3 und 4 tiefer ein in die Akustik und betrachten physikalisch genauer, was Töne, Klänge und Geräusche unterscheidet und befassen uns intensiver mit der Erzeugung und Übertragung von Schallwellen sowie deren Überlagerung.

Über die hier konkret formulierten Lernziele hinaus sollen die Aufgaben dafür sensibilisieren, wie wir von Schall umgeben sind und wie wir unsere Umwelt durch das Hören erfahren können, aber auch, wie unser Hörsinn unser Leben schützen kann, indem wir drohende Gefahren frühzeitig erkennen können.

Konkret erwerben die Schülerinnen und Schüler folgende Fähigkeiten und Kenntnisse:

- Sie lernen naturwissenschaftliche Arbeitsweisen kennen und trainieren sie.  
Dabei lernen sie, wie sie
  - einen Versuch planen, aufbauen und durchführen.
  - genau beobachten und die Ergebnisse kurz, präzise und übersichtlich darstellen.
  - Skizzen und Zeichnungen maßstabsgetreu von Hand anfertigen und beschriften.
  - (quantitative) Messungen exakt durchführen.
  - Messdaten korrekt und übersichtlich notieren und sie in einem geeigneten Format angemessen grafisch darstellen.
  - Beobachtungen/Ergebnisse und Schlussfolgerungen unterscheiden können.
  - systematische Fehler erkennen und die Genauigkeit/Zuverlässigkeit des Messverfahrens abschätzen können.
  - Beobachtungen und Messdaten objektiv auswerten, angemessen erklären und kritisch beurteilen können.
- sie lernen, welche chemischen und physikalischen Prozesse beim Herstellen von Popcorn ablaufen.  
Dabei lernen sie,
  - was die wichtigsten Bestandteile eines Maiskorns sind und was ihre Funktion ist.
  - wie man chemisch über eine Farbreaktion nachweisen kann, wo im Maiskorn Stärke gespeichert wird.
  - wie sich der Popcorn Mais von anderem Mais unterscheidet.
- Sie lernen, wie das menschliche Ohr aufgebaut ist, und können in Grundzügen erklären, wie das Mittelohr funktioniert.
- Alles was wir hören ist Schall. Die Ursache ist eine sich ausbreitende Druckwelle.  
Dabei lernen sie,
  - wie sich Schall durch Frequenz, Periode und Amplitude physikalisch beschreiben lässt.
  - wie man die Begriffe Ton, Klang, Geräusch und Knall physikalisch definiert und worin sie sich unterscheiden.
  - dass Schall in festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen weitergeleitet wird und die Schallgeschwindigkeit vom jeweiligen Medium abhängt.
  - das Phänomen der Resonanz kennen und wie es physikalisch erklärt werden kann.
  - wie Töne und Klänge in der Musik über ihre Frequenz definiert werden.

## B1.2 Materialliste

Die Experimente sind so ausgelegt, dass die meisten Materialien in einem Haushalt verfügbar, in einem Supermarkt zu beschaffen sind oder an Schulen in den Sammlungen der Fachschaft Naturwissenschaften vorhanden sein sollten:

Für die Experimente werden benötigt:

- Experiment 1: Popcorn-Mais (z. B. von Fa. Seeberger), Speiseöl (zum Braten geeignet), unbeschichteter Kochtopf mit Deckel (Durchmesser 15-18 cm, etwa 1,5 L), Teller, Herdplatte, Gefäße, Schneidebrett, Tafelmesser, Lugolsche Lösung <5 % bzw. Betaisodona® Lösung
- Experiment 2: Ring einer Springform (Durchmesser 20-25 cm), Frischhaltefolie, große Gummiringe (Breite ca. 0,5 cm), Trinkhalm aus Papier, Knetmasse, Karton (DIN A6, z. B. Karteikarte), Klebeband, Schere, Aluminiumschiffchen (z. B. Hülle eines Teelichts), Gefäß mit Wasser
- Experiment 3: Dose aus beschichtetem Karton mit Metallboden (Durchmesser 7-12 cm, Höhe 9-16 cm, z. B. Stapelchips, Cappuccino-Pulver), runder Luftballon (Durchmesser ca. 25-29 cm), Gummiringe (Breite ca. 0,5 cm), Schere, Speisesalz (fein, raffiniert) oder Amaranth (ganzes Korn), hochwandige Schüssel oder Tablett mit Rand zum Auffangen von Körnern
- Experiment 4: Glas, hochstielig und dünnwandig (z. B. Rotweinglas, Fassungsvermögen ca. 400-500 mL), Küchenwaage, Gefäß mit Wasser, Teelöffel, Küchenpapier
- Smartphone oder Tablet mit Phyphox\* für Experimente 3 und 4

## B2 Beschaffung und praktische Hinweise

### B2.1 Experiment 1 – Popcorn

#### Hinweise zur Beschaffung

Im Experiment 1 werden der Aufbau eines Maiskorns und die Herstellung von Popcorn untersucht. Die Herstellung von Popcorn gelingt nur mit speziellen Maissorten. Beim Kauf der Maiskörner sollte man deshalb darauf achten, dass auf der Packung „Popcorn-Mais“ steht. Wir haben in unseren Vorversuchen beispielsweise mit Popcorn-Mais der Firma Seeberger und der Marke Hofgut gearbeitet. Beide Produkte können auch in Supermärkten erworben werden.

Für das Gelingen des Experiments ist es wichtig, dass die Maiskörner nicht zu lange offen gelagert werden. Es empfiehlt sich, für das Experimentieren eine neue Tüte Popcorn zu kaufen und diese erst kurz vor Beginn des Versuchs zu öffnen.

Wir haben zum Schneiden der Körner ein Tafelmesser verwendet. Mit Tafelmesser ist ein normales Besteckmesser gemeint. Mit einem Tafelmesser lassen sich die Körner ohne Verletzungsgefahr hinreichend gut schneiden. Trotzdem sollte das Schneiden unter Aufsicht eines Erwachsenen stattfinden.

Das pflanzliche Öl sollte hitzestabil sein. Deshalb empfehlen wir beispielsweise Sonnenblumenöl oder Rapsöl. Meistens wird auf den Etiketten ausgezeichnet, ob das Öl zum Braten geeignet ist.

Betasisodona® Lösung erhält man in der Apotheke. Lugolsche Lösung man auch in kleinen Mengen online bestellen. Es sollte aber auch in der Schulsammlung vorhanden sein. Wenden Sie sich dazu im Bedarfsfall an die Fachschaft Biologie.

#### Schneiden und Färben

Die Maiskörner aus der Tüte sind hart. Deshalb lässt man sie vor dem Schneiden in Wasser quellen. Am einfachsten ist es, die Körner über „Nacht“ in Wasser einzuweichen.

Die Körner sind aber auch schon wenige Stunden nach dem Übergießen mit siedendem Wasser ausreichend gequollen. Und umgekehrt schadet es nicht, wenn man die Körner länger (bis zu 24 Stunden) einweichen lässt. Dabei sollte man jedoch darauf achten, dass die Stärke nicht aus dem Korn entweicht. Das erkennt man daran, wenn sich die anfangs klare Flüssigkeit trübt.

Beim Anfärben der Maiskornhälften müssen die Angaben in der Versuchsanleitung zu Konzentration der Lösung und Dauer der Benetzung genau eingehalten werden.

Bei einer zu hohen Konzentration der Lösung bzw. zu langen Einwirkzeiten wird die Färbung der Schnittflächen so intensiv, dass Feinstrukturen nur schlecht bis gar nicht mehr erkannt werden können.

Die Popcornflocke muss sofort wieder aus der Lösung herausgenommen werden, da sie sonst schnell glitschig wird und aufweicht.

Sowohl die Lugolsche Lösung als auch die Betasisodona®-Lösung hinterlassen dauerhaft dunkle Flecken auf Kleidung und auf Arbeitsflächen. Deshalb sollte Schutzkleidung getragen und auch die Arbeitsfläche vor Benetzung mit den Lösungen geschützt werden.

## B2.2 Experiment 2 – Expedition ins Ohr

### Hinweise zur Beschaffung

Im Experiment 2 soll ein einfaches Modell von Teilen des Mittelohrs nachgebaut werden. Das Modell stellt die Übertragung der Schwingungen des Trommelfells über die Gehörknöchelchen in das flüssigkeitsgefüllte Innenohr dar.

Die verwendeten Materialien lassen sich entweder im Haushalt oder in einem gut ausgestatteten Supermarkt kaufen. Falls noch vorhanden, kann in diesem Experiment auch ein Knick-Trinkhalm aus Plastik verwendet werden. Aufgrund der besseren Nachhaltigkeit und der am 03.07.2021 in Kraft getretenen Einwegkunststoffverbotsverordnung sind Trinkhalme aus Papier aber zu bevorzugen.

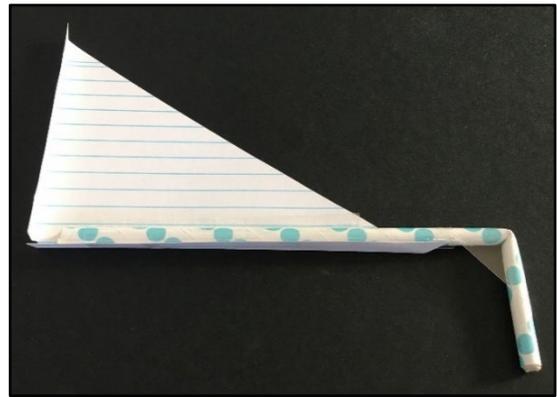


Abbildung 2.1: Karteikartenteil und Trinkhalm

Wer keine Teelichter vorrätig hat, kann alternativ aus Aluminiumfolie ein kleines Schiffchen formen.

Eine Springform (ohne Boden) mit einem Durchmesser von 20-25 Zentimetern eignet sich am besten für dieses Experiment, dabei kommt es auf 1 Zentimeter mehr oder weniger nicht an.

Sollte im Haushalt keine Backform vorrätig sein, empfehlen wir eine Form bei Freunden oder Bekannten auszuleihen. Theoretisch kann auch jeder andere Ring mit einem ähnlichen Durchmesser verwendet werden. Bei der Auswahl ist wichtig, dass sich die Folie mit entsprechender Spannung über den Ring ziehen und befestigen lässt.

### Das Modell

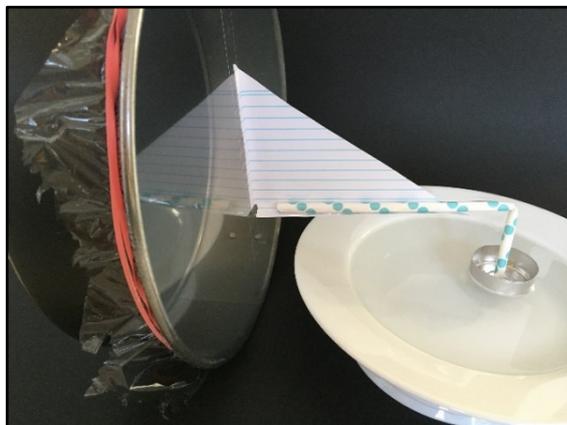


Abbildung 2.2: Das fertige Modell

Für den Bau des Modells in Experiment 2 muss die Frischhaltefolie deutlich breiter sein als der Durchmesser der Springform. Nur so kann die Folie rundum straff über den Rand der Form gespannt und mit einem Gummiring befestigt werden.

Der Gummiring sollte eine Breite von 0,5 Zentimeter haben. Er muss nicht nur weit genug gedehnt werden, können, um über die Springform zu passen, sondern auch ausreichend Spannkraft haben, um die Folie unter Spannung halten zu können. Beim Tippen auf die gespannte Membran sollte ein Geräusch erzeugt werden.

Wird die Membran nicht ausreichend straff gespannt, wird die Druckwelle nur schlecht bis gar nicht auf die

Trinkhalm-Karton-Konstruktion übertragen.

Die Knetmasse, mit der die Öffnungen des Trinkhalms verschlossen werden, hat keine funktionale Aufgabe. Das Verschließen des Halms soll der Entwicklung von Fehlvorstellungen vorbeugen. Die Druckwelle wird nicht über die Luft im Inneren des Trinkhalms übertragen. Vielmehr ist die Druckübertragung vom Trinkhalm (Gehörknöchelchen) auf das Aluminiumschiffchen (Eingang zum Innenohr) mechanischer Art.

Das Kartondreieck muss nicht zwingend aus einer Karteikarte gebastelt werden, jeder andere Karton ähnlicher Stärke kann verwendet werden und auf die passenden Maße zugeschnitten werden. Die Größe und Festigkeit einer Karteikarte eignet sich besonders gut für das Falzen und Befestigen an der Frischhaltefolie.

Vor dem Ankleben sollte die Springform senkrecht aufgestellt werden, um die genaue Position, an der das Kartondreieck mit einem Klebestreifen auf der Folie befestigt werden soll, zu bestimmen.

Ein bisschen knifflig ist auch die Platzierung des Trinkhalmendes im Aluminiumschiffchen. Hier muss eventuell etwas unter das Gefäß mit Wasser bzw. unter die Springform gestellt werden, um den richtigen Abstand zu treffen, so dass das Ende des Trinkhalms das Aluminiumschiffchen leicht berührt.

Bei der Durchführung des Experimentes ist zu beachten, dass „explosive“ Laute mit einer starken Druckwelle wie zum Beispiel ein starkes Klatschen in die Hände, am ehesten zu einer Bewegung der Wasseroberfläche führen. Selbst laute Musik aus einem Lautsprecher ist hingegen wenig effektiv. Entsprechend ist beim Rufen in lautes plötzliches „Ha!“ wirksamer als ein genauso lautes, aber langgezogenes „Hallo“.

## B2.3 Experiment 3 – Tanzende Körner

Im Experiment 3 werden mit einfachen Mitteln das Phänomen der Resonanz sowie die Überlagerung (Interferenz) reflektierter Schallwellen zu einer stehenden Welle genauer untersucht.

### Hinweise zur Beschaffung

Als Ausgangsmaterial für die Klangdose wird eine Dose aus Aluminium-Pappe-Verbundstoff mit einer Höhe zwischen 9 und 16 Zentimetern und einem Durchmesser zwischen 7 und 12 Zentimetern benötigt, wie man sie beispielsweise bei Stapelchips-Dosen, Cappuccino-Pulver oder ähnlichen Produkten findet. (siehe Abbildung 2.3). NICHT geeignet sind Dosen aus Pappe oder Blech!

Zum Bespannen werden *runde* Luftballons mit einem Durchmesser von 24 bis 29 Zentimetern benötigt. Kaufen Sie nur Luftballons, bei denen diese Maße auf der Packung angegeben sind. Die Maße beziehen sich auf den aufgepusteten Luftballon. Das Material kann Naturkautschuk oder Silikon sein. Wir empfehlen Luftballons frisch zu kaufen, da lang gelagerte Luftballons ihre Elastizität und Spannkraft verlieren. Das Material wird spröde, reißt leicht und es gibt unregelmäßige Verdichtungen in der Membran, die zu Verfälschungen der Klangmuster führen können.



Abbildung 2.3: Verschiedene Dosen für Experiment 3

Für die Herstellung der Klangfiguren kann Salz oder Amaranth (ganze Kügelchen!) verwendet werden. Beim Salz wählen Sie bitte das einfache, raffinierte Küchensalz (feinkörnig, meistens jodiert und mit Zusätzen zur Streufähigkeit), dass es in jedem Supermarkt gibt. Salinensalz oder auch Salz aus der Salzmühle ist zu grobkörnig und eignet sich nicht.

In diesem Experiment ist die Verwendung der kostenlosen App *Phyphox* (Physical Phone Experiments) von der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen erforderlich. Hinweise zum Datenschutz, zum Herunterladen und zur Anwendung finden Sie auch auf der IJSO Website.

## Basteln der Klangdose

Der Hals des Luftballons muss in der richtigen Höhe abgetrennt werden (siehe Abbildung 2.4) Wird zu wenig abgeschnitten ist die Öffnung zu eng und der Luftballon reißt beim Bespannen der Dose. Wird zu viel abgeschnitten, ist die Ballonhaut zu knapp und rutscht von der Dose ab.

Vor dem Schneiden sollte die Position des Schall-Lochs mit Stift und Geodreieck auf der Dosenwand markiert werden. Zum Ausschneiden wird vorsichtig mit der stumpfen Spitze einer Schere in eine Ecke des gezeichneten Quadrates gestochen, das Loch vorsichtig etwas geweitet und von dort aus entlang der Markierungslinie geschnitten.

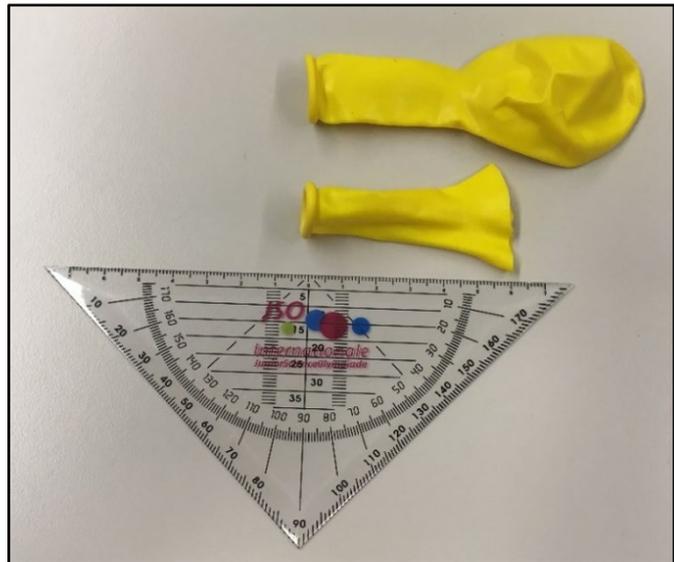


Abbildung 2.4: Richtiger Schnitt beim Luftballon

Der zusätzliche Gummiring wird benötigt, falls die Luftballonhaut wiederholt vom Dosenrand abrutscht. Für einen besseren Halt kann man einen breiten Gummiring mehrfach um die Dosenöffnung wickeln. Über diese Wulst gezogen, kann die gespannte Membran besser gehalten und an der Dosenwand festgestrichen werden.

Mit einem kleinen Salzstreuer (keine Salzmühle!) lassen sich die feinen Salzkörner gleichmäßig auf der Membran verteilen (siehe Abbildung 2.5). Alternativ kann man Salz und auch Amaranth in kleinen Portionen, zwischen Daumen und Zeigefinger reibend, auf die Membran rieseln lassen.

Während des Versuchs lässt es sich kaum vermeiden, dass Körner von der Membran hüpfen. Mit einer Schüssel oder einem Tablett kann man die Körner auffangen, ohne dass sie sich auf dem Boden verteilen.



Abbildung 2.5: Gleichmäßige Verteilung von Amaranth und Salz.

## Tipps zum Erzeugen der „richtigen“ Töne

Die Stimmprobe in Experiment 3 dient dazu, dass die Schülerinnen und Schüler sich mit der Anwendung der App *Phyphox* vertraut machen, indem sie zunächst ihre Stimmlage und das Tönen mit der Klangdose erproben. Das Tönen in das Schall-Loch gelingt am besten, wenn der Mund sich im Abstand von ein bis zwei Zentimetern von der Dosenwand genau auf Höhe des Schall-Lochs befindet.

Die Schülerinnen und Schüler sollen den höchsten und tiefsten Ton notieren, den sie erzeugen können. Damit haben Sie als betreuende und damit auch bewertende Lehrkraft einen Hinweis auf den erreichten Tonumfang, der im Folgenden für die Auswahl geeigneter Frequenzen (Musiktöne) eine Rolle spielt. Denn nach der ersten Stimmprobe sollen die Tonhöhen bestimmt werden, bei denen die selbstgebaute Klangdose Resonanzen aufweist. Bei ausgewählten Klanghöhen sollen dann Klangmuster erzeugt und dokumentiert werden.

Wer Schwierigkeit hat, die Verstärkung des Tones durch Resonanz zu hören oder über die Vibration wahrzunehmen, kann sich damit behelfen, schon vor dem Erzeugen der Klangmuster einige Körner auf die Membran zu streuen und ihr Hüpfen zu beobachten.

## B2.4 Experiment 4 – Singende Gläser

### Hinweise zur Beschaffung

Als Waage eignet sich am besten eine mit digitaler Anzeige. Es ist jedoch auch möglich mit einer analogen Waage ausreichend gute Ergebnisse zu erhalten.

Wer keine hochstieligen Gläser wie in Abbildung 2.6 zur Verfügung hat, kann sich gegebenenfalls ein Glas bei Freunden oder Bekannten ausleihen. Vielleicht kann auch eine Packung einfacher Weingläser im Supermarkt oder Kaufhaus für die gesamte Gruppe der Teilnehmenden beschafft werden.

### Das Glas zum Singen bringen

Das Glas muss langstielig und vergleichsweise dünnwandig sein (siehe Abbildung 2.6), damit es zum Schwingen gebracht werden kann und ein Ton erklingt.

Dazu sollte das Glas mit einer Hand unten am Fuß bzw. Stiel festgehalten werden und mit einem angefeuchteten Finger der anderen Hand langsam mit mäßigem Druck kreisförmig über den Glasrand gestrichen werden. Oft dauert es einen Moment, bis ein stabiler Ton zu hören ist. Auch wenn das Glas fast randvoll mit Wasser gefüllt ist, kann es etwas schwieriger werden, einen stabilen Ton zu erzeugen.

Die Messwerte und damit die Anzeige der App *Phyphox* können relativ stark schwanken, solange keine stabile Frequenz erzeugt wird. Deshalb sollte die Anzeige jeweils einige Sekunden beobachtet werden, ehe der Messwert notiert wird. Zur Sicherheit kann die Messung auch zwei- bis dreimal wiederholt und ein Mittelwert gebildet werden.



Abbildung 2.6: Gläser für Experiment 4

## B3 Theoretische Grundlagen

### B3.1 Experiment 1 – Popcorn

In diesem Abschnitt wird auf die biologischen und chemischen Inhalte eingegangen, die den Hintergrund von Aufgabe 1 bilden. Der physikalische Teil von Aufgabe 1 wird in Abschnitt B2.3 behandelt.

#### Aufbau eines Maiskorns

Nicht jede Maissorte eignet sich für die Herstellung von Popcorn. Bevorzugt werden dafür Perl- und Puffmaissorten. Bei den Maiskörnern, die zur Herstellung von Popcorn verwendet werden, handelt es sich um die Früchte der Maissorte *Zea mays convar. microspérma*. Ihre Maiskörner sind kleiner, haben einen hohen Eiweißanteil und sind von einer sehr dünnen, dafür aber sehr harten Schale umgeben. Deshalb eignet sich Popcornmais auch nicht zum Verzehr als Gemüse.

Die Körner von Mais sind Karyopsen, einsamige, nussähnliche Schließfrüchte. Dabei ist das Perikarp, also die Fruchtschale mit der Samenschale fest verwachsen, optisch wirkt das Maiskorn dadurch als wäre es nur ein Samen, botanisch gesehen ist es jedoch eine Frucht.

Ein Samenkorn ist eine der Ausbreitung dienende Struktur von Samenpflanzen. Es enthält den Embryo (Keimling) dieser Pflanze und das Nährgewebe für den Embryo, das Endosperm. Embryo und Endosperm sind umgeben von der Samenschale.

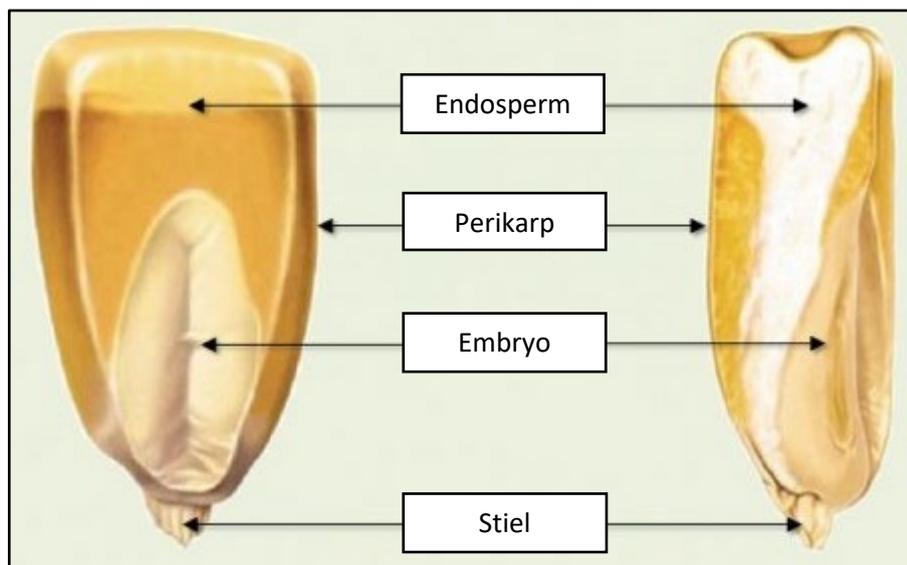


Abbildung 3.1: Maiskorn

Mais gehört wie alle anderen Getreidearten zu den Süßgräsern. Bei diesen wird das Nährgewebe auch als Mehlkörper bezeichnet. Die Entwicklung des Mehlkörpers beginnt kurz nach der Befruchtung. In Amyloplasten werden große Mengen Stärke gebildet und in den Zellen eingelagert. Daneben werden aber auch in geringem Maße Speicherproteine akkumuliert. Bei *Zea mays convar. mays*, der Unterart die hauptsächlich als Nahrungsmittel verwendet wird, zwischen 8 und 18 Prozent. Außerdem liegt um den Mehlkörper noch die Aleuronschicht, die Zellen dieser Schicht sind reich an Proteinen, vor allem an Enzymen. Mit dem bloßen Auge sind bei einem Schnitt durch ein Maiskorn (siehe auch Abbildung 3.1) das Perikarp mit der Samenschale und die Aleuronschicht nur als eine Schicht erkennbar.

Der Embryo besteht aus dem Keimblatt (Kotyledon) und den Anlagen für Blätter, Spross und Wurzel. Bei der Keimung erhalten die Zellen der Aleuronschicht durch Pflanzenhormone aus dem Embryo Signale zur Enzymproduktion. Diese Enzyme bauen die Stärke im Mehlkörper ab und sichern so die Ernährung des Embryos. Die Bildung von Stärke stellt für Pflanzen eine Möglichkeit dar, Energie zu speichern. Pflanzen produzieren bei der Kohlenstoffdioxid-Assimilation in der Fotosynthese zwar Glucose. Glucose ist aber osmotisch wirksam und kann daher nicht in großen Mengen in der Pflanzenzelle gespeichert werden.

## Stärke und Iod

Stärke gehört zu den Kohlenhydraten und ist ein Makromolekül das aus  $\alpha$ -D-Glucose-Einheiten besteht, die über glycosidische Bindungen miteinander verknüpft sind. Stärke besteht aus 70-80 Prozent Amylopektin und 20-30 Prozent Amylose.

Bei Amylose sind die Makromoleküle aus  $\alpha$ -D-Glucose-Einheiten ausschließlich  $\alpha$ -1,4-glycosidisch verknüpft und bilden dadurch lineare Ketten mit helikaler (Schrauben-)struktur. (siehe Abbildung 3.2). Eine Windung der Helix besteht jeweils aus 6 Glucose-Einheiten. Die helikale Struktur wird durch Wasserstoffbrückenbindungen zwischen benachbarten Hydroxygruppen stabilisiert. Amylose ist schwach in Wasser löslich. Makromoleküle bei denen die  $\alpha$ -D-Glucose-Einheiten  $\alpha$ -1,4-glycosidische und  $\alpha$ -1,6-glycosidische Verknüpfungen aufweisen und dadurch eine vernetzte Struktur zeigen, werden als Amylopektin bezeichnet.

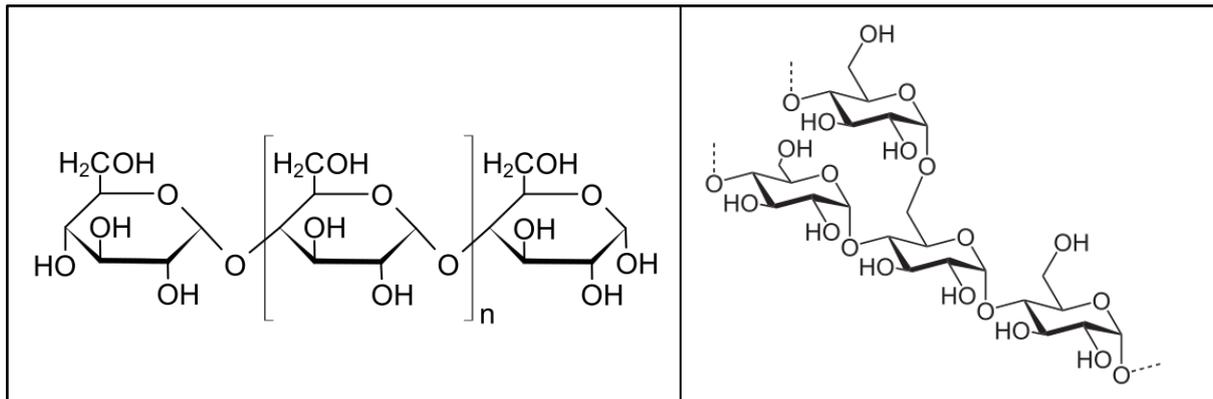


Abbildung 3.2: Amylose (links) und Amylopektin (rechts)

Stärke kann mit Hilfe von Iod nachgewiesen werden. Das chemische Element Iod gehört zur Gruppe der Halogene. Bis zu einer Temperatur von über 100 Grad Celsius liegt Iod als Feststoff vor, aber schon bei Raumtemperatur sublimieren Teile des Iods bereits (direkter Übergang vom festen in den gasförmigen Aggregatzustand). Iod ist schlecht wasserlöslich, gut löslich ist es allerdings in einer wässrigen Kaliumiodidlösung. Eine solche Iod-Kaliumiodid-Lösung wird als Lugolsche Lösung bezeichnet; Iod liegt darin in Form von Polyiodidionen vor.

Der Stärkenachweis mit Lugolscher Lösung beruht auf der Einlagerung von  $I_5^-$  - Ionen in die Stärkemoleküle. Bei Amylose lagern sich die Polyiodidionen in die Helix ein und die veränderte Lichtabsorption des Moleküls bewirkt die charakteristische blaue Färbung. Eine Einlagerung in Amylopektin-Moleküle bewirkt eine eher braunviolette Färbung.

### Lugolsche Lösung versus Betaisodona®-Lösung

Betaisodona®-Lösung enthält 100 Milligramm Povidon-Iod pro 1 Milliliter Lösung. Povidon-Iod ist ein wasserlöslicher Komplex von Iod mit Polyvinylpyrrolidon (PVP). Verwendet wird eine solche Lösung als Antiseptikum. Die genannten 100 Milligramm Povidon-Iod enthalten 11 Milligramm Iod. In 100 Milliliter Lösung sind also 1,1 Gramm Iod enthalten.

Die oben beschriebene Lugolsche Lösung enthält Iod und Kaliumiodid im Verhältnis 1:2. Das heißt 100 Milliliter einer 5 prozentigen Lugolschen Lösung enthalten 5 Gramm Iod und 10 Gramm Kaliumiodid.

Die Lugolsche Lösung enthält somit um den Faktor 5 mehr verfügbares Iod als die Betaisodona®-Lösung, entsprechend intensiver ist die erzielte Färbung des stärkereichen Mehlkörpers. Trotz der geringeren Menge an frei verfügbarem Iod ist in unserem Fall der Stärkenachweis aber auch mit der Betaisodona®-Lösung gut durchführbar. Bei geringeren Stärke-Konzentrationen sollte jedoch bevorzugt die nachweisstärkere Lugolsche Lösung verwendet werden.

## Die Prozesse bei der Herstellung von Popcorn

Die harte Schale des Popcornmais hält beim Erhitzen stark steigendem Druck im weichen Maiskorn lange stand und platzt deshalb erst bei sehr hohen Temperaturen. Umso heftiger fällt dann die Druckentlastung aus. Frische Maiskörner enthalten etwa 12,5 Gramm Wasser pro 100 Gramm. Bei der Trocknung geht zwar Wasser verloren, trotzdem reicht das restliche Wasser noch für die Entstehung der Popcorn-Flocken aus.



Abbildung 3.3: Popcorn

Bei einer Temperatur von 100 Grad Celsius würde das in den Samen enthaltene Wasser bei Atmosphärendruck normalerweise siedend und verdampfen. Solange die Schale aber standhält, steigen Temperatur und der Druck im Inneren des Maiskorns weiter. Reißt die Schale dann schließlich, gibt es durch das explosionsartige Freiwerden des Wasserdampfs das charakteristische „Plopp“-Geräusch, das wir von der Herstellung von Popcorn kennen.

Der Temperaturbereich, in dem die Schale reißt, ist recht eng. Während bei 170 Grad Celsius erst bei etwa einem Drittel der Körner die Schale geplatzt ist, betrifft das bei 180 Grad Celsius bereits fast alle Körner. Deshalb dauert es vergleichsweise lange, bis überhaupt die ersten Plopp-Laute zu hören sind, dann geht es aber rasend schnell und der Zauber ist innerhalb kürzester Zeit vorbei.

Die im Korn enthaltene Stärke liegt vor dem Platzen wegen hohen Drucks und hoher Temperatur flüssig vor.

Sobald die Schale reißt, expandiert die Stärke adiabatisch, tritt aus der Schale aus und schäumt auf. Sie kühlt sich dann innerhalb von Millisekunden ab und erstarrt in Form der bekannten weißen Popcorn-Flocke. Diese nimmt das 40 bis 50fache Volumen des ursprünglichen Korns ein. In Abbildung 3.3 ist gut zu erkennen, wie die Reste der Schale noch an der Popcorn-Flocke haften.

## B3.2 Experiment 2 – Expedition ins Ohr

### Die Reise einer Schallwelle durchs Ohr

Alles was wir hören, ist Schall. Dabei handelt es sich allgemein um mechanische Schwingungen in einem elastischen Medium. Diese Schwingungen pflanzen sich in Form von Longitudinalwellen und in Luft als Druck- und Dichteschwankungen fort. Liegen die Schwingungen im Frequenzbereich zwischen 16 Hertz und 20 Kilohertz, können sie im menschlichen Gehör einen Schalleindruck hervorrufen.

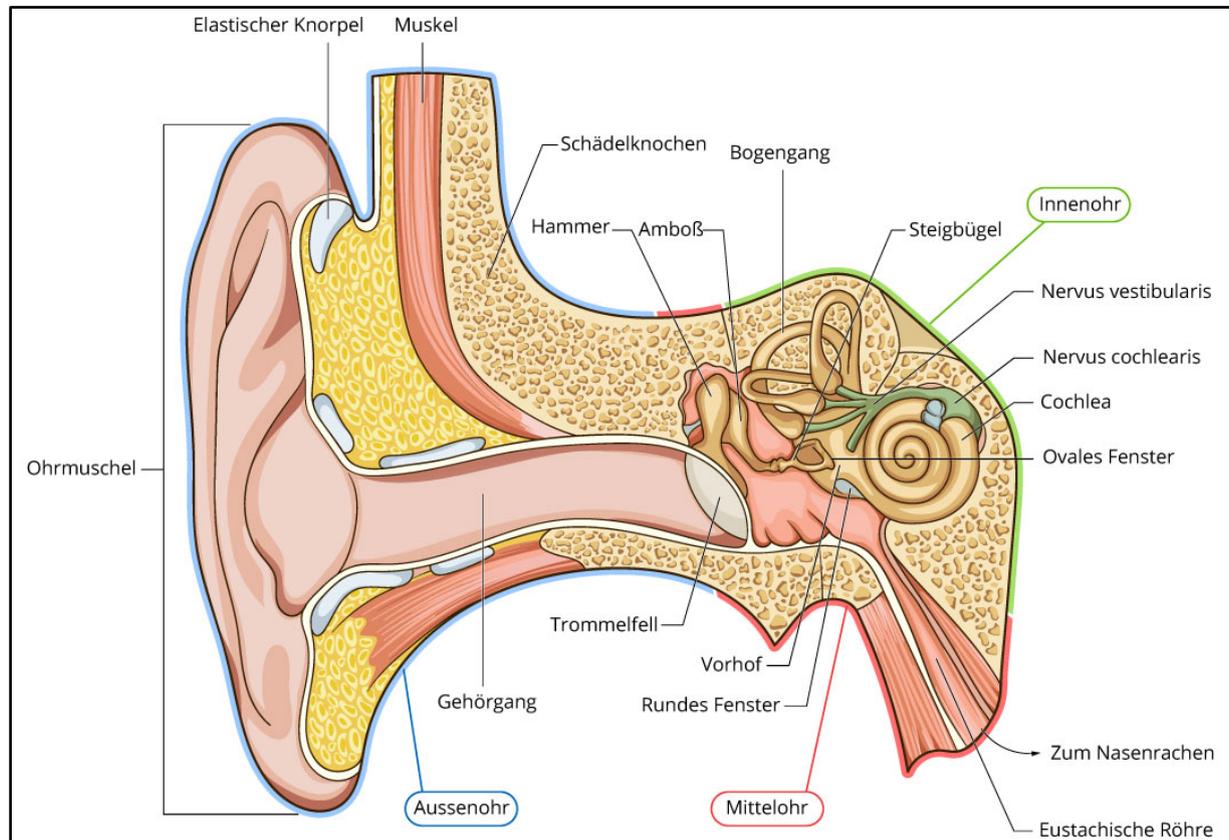


Abbildung 3.4: Ohr-Anatomie

Eine Schallwelle erreicht im Normalfall aus unserer Umgebung über das Medium Luft die Ohrmuschel (siehe Abbildung 2.4) und gelangt über den Gehörgang bis zum Trommelfell. Die Druckänderungen bedingen Auslenkungen des Trommelfells. Diese werden mechanisch direkt an die Gehörknöchelchen im Mittelohr weitergegeben. Durch ihre Geometrie wird das akustische Signal auf dem Weg über das Ovale Fenster – eine membranverschlossene Öffnung in der Wand der Paukenhöhle – ins Innenohr mechanisch verstärkt und auf die Flüssigkeit im Innenohr übertragen. Im Innenohr befindet sich die Hörschnecke (Cochlea). Sie arbeitet wie ein körpereigenes Mikrophon, das Schallwellen in elektrische Impulse umwandelt. Diese werden über die Nervenzellen im Hörnerv ans Gehirn weitergeleitet und dort zu einem Höreindruck verarbeitet.

### Das Außenohr und das Richtungshören

Das Außenohr umfasst die Ohrmuschel, den Gehörgang und die äußere Seite des Trommelfells. Die Ohrmuschel besteht aus elastischem Knorpel, Knorpelhaut und Haut. Die Form der Ohrmuschel wird vererbt und ist von Mensch zu Mensch so individuell unterschiedlich, dass sie für Vaterschaftsnachweise und sogar für forensische Zwecke nützlich sein kann. So gab es Fälle, in denen Einbrecher, die vor der Tat an Haustüren und Fenstern gelauscht hatten, anhand ihrer zurückgelassenen Ohrabdrücke identifiziert werden konnten.

Die Ohrmuscheln sind wichtig für das Auffangen der Schallwellen und das Richtungshören. Schall umgibt uns von allen Seiten. Häufig ist für Menschen wichtig zuzuordnen, aus welcher Richtung der Schall kommt, zum Beispiel im Straßenverkehr. Aber wie orten wir eine Schallquelle? Die Ohrmuschel hilft bei der Lokalisation von Schall mit. Die Form der Ohrmuschel erinnert an einen Trichter. Damit wird der Schall aufgefangen und

in den Gehörgang geleitet. Außerdem werden durch die Form der Ohrmuschel aber auch je nach Schalleinfallrichtung unterschiedliche Resonanzen angeregt. Das Gehirn ist in der Lage diese unterschiedlichen Resonanzen auszuwerten. Dies führt dazu, dass bereits mit einem Ohr die Lokalisation einer Schallquelle in den Richtungen vorne, hinten, oben und unten möglich ist. Den wichtigsten Beitrag zum Richtungshören leistet aber das binaurale Hören, das heißt, das Hören mit zwei Ohren. Das Ohr, das von einer Schallquelle abgewandt ist, ist damit auch um den Durchmesser des Kopfes weiter von der Schallquelle entfernt und zusätzlich durch den Kopf abgeschirmt. Die dadurch bedingten Laufzeitunterschiede und Pegeldifferenzen der Schallsignale werden vom Gehirn wahrgenommen. Das Gehirn ist in der Lage Laufzeitdifferenzen von 10 Mikrosekunden (0,00001 Sekunden) zu erkennen. Bei einer ungefähren Schallgeschwindigkeit von 340 Metern pro Sekunde in Luft beträgt die Laufzeitdifferenz zwischen beiden Ohren (Abstand etwa 15 bis 20 Zentimeter) etwa 500 Mikrosekunden, wenn der Schall direkt von einer Seite kommt. Dadurch wird klar, dass das Gehirn in der Lage ist, bereits geringe Richtungsabweichungen nach links oder rechts durch Laufzeitunterschiede zu detektieren.

### Das Mittelohr und die mechanische Schallübertragung

Das Mittelohr besteht aus einem luftgefüllten Raum zwischen Außenohr und Innenohr der als Paukenhöhle bezeichnet wird (siehe Abbildung 3.5). Es umfasst das Trommelfell und die kleinen Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel. Das Trommelfell dient der Schallübertragung und dem Abschluss der Mittelohrräume gegen außen. Es ist eine dünne Membran mit einer Fläche von etwa 85 Quadratmillimetern und einer Dicke von etwa 0,1 Millimetern. Das eine Ende des Hammers ist mit dem Trommelfell verwachsen, so dass sich jede Auslenkung des Trommelfells direkt auf ihn überträgt. Das andere Ende des Hammers ist gelenkig mit dem Amboss verbunden. Der Amboss wiederum ist mit dem Steigbügel verbunden und die Fußplatte des Steigbügels steht in Verbindung mit der Membran, die das ovale Fenster des Innenohrs verschließt.

Wozu ist diese komplizierte Kette von Gehörknöchelchen notwendig? Das Außenohr und das Innere des Mittelohres, die Paukenhöhle, sind luftgefüllt, während das Innenohr mit Flüssigkeit gefüllt ist (Perilymphe und Endolymphe). Bei der Übertragung der Schwingungen vom Außenohr zum Innenohr findet daher ein Wechsel des schallleitenden Mediums statt.

Beim Übergang von einem zum anderen Medium würde an der Grenzfläche der Hauptteil der Schallwellen reflektiert werden. Das liegt an dem unterschiedlichen Widerstand (der akustischen Impedanz, siehe auch Kapitel B3.3), welcher der Ausbreitung der Schwingungen in verschiedenen Medien wie Luft und Perilymphe entgegenwirkt. Daher bezeichnet man die Übertragung im Mittelohr auch als Impedanzanpassung.

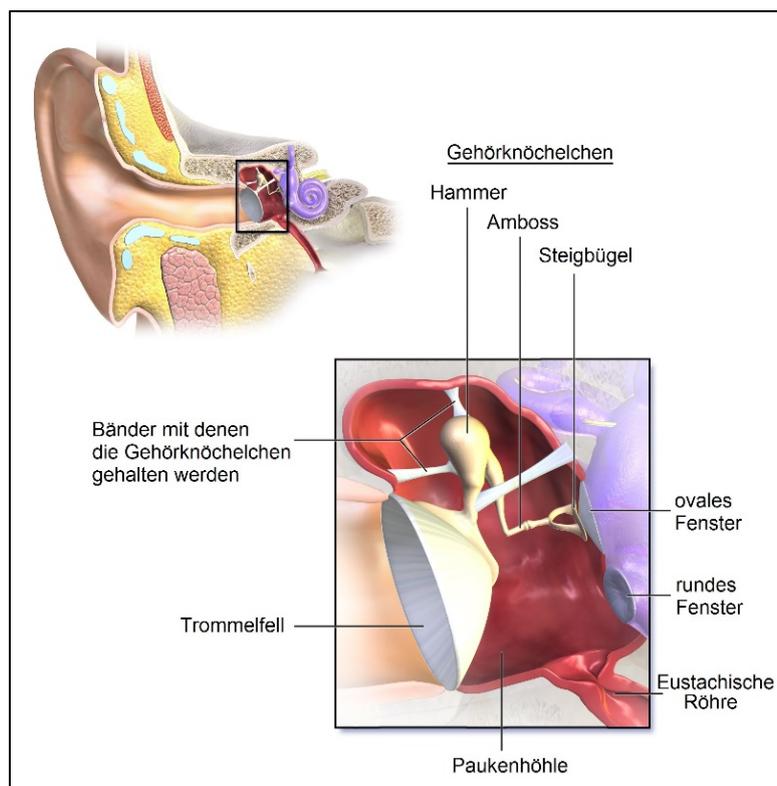


Abbildung 3.5: Gehörknöchelchen im Mittelohr

Die Reflexion der Schallwellen und die damit einhergehende Abschwächung des Signals wird durch die mechanische Übertragung der Trommelfellauslenkung auf die Membran des ovalen Fensters verhindert. Zwei Eigenschaften des Mittelohrs dienen der Verstärkung des Signals: Das Längenverhältnis der wirksamen Hebel der Gehörknöchelchen bewirkt eine Verstärkung um den Faktor 1,3 und das Flächenverhältnis von Trommelfell zu Steigbügel Fußplatte beträgt 17 zu 1. Der Druck am ovalen Fenster des Innenohres weist durch

diese Impedananzpassung einen 22mal höheren Wert auf als der Druck am Trommelfell. Die Gehörknöchelchen sind die kleinsten Knochen im menschlichen Körper. Ihre durchschnittliche Masse beträgt 23 Milligramm für den Hammer und nur 2,5 Milligramm beim Steigbügel.

Außerdem befindet sich zwischen Mittelohr und Rachenraum eine Verbindung, die eustachische Röhre. Sie dient dem Druckausgleich zwischen Paukenhöhle und Außenwelt. Während einer Mittelohrentzündung kommt es häufig zu einem Anschwellen der eustachischen Röhre. Dadurch wird der Druckausgleich gestört, das Trommelfell kann nicht mehr frei schwingen und der Hörvorgang wird gestört.

### Das Innenohr und die Umwandlung von Signalen

Das Innenohr ist der komplizierteste Teil des Ohrs. Hier werden die akustischen Signale in elektrische Impulse umgewandelt, die an das Gehirn weitergeleitet und dort verarbeitet werden. In diesem Kapitel wird zuerst der Aufbau des Innenohrs dargestellt und dann die Verarbeitung der Signale genauer erläutert. Das Innenohr besteht aus zwei Teilen mit unterschiedlicher Funktion, das Gleichgewichtsorgan mit den Bogengängen und das Hörorgan (Cochlea). Es wird hier hauptsächlich auf die Funktion und den Aufbau der Cochlea eingegangen. Aufgrund ihrer Form wird sie auch als Hörschnecke bezeichnet.

Vom Mittelohr werden die Signale über das ovale Fenster auf die Perilymphe übertragen. Das ovale Fenster bildet damit den Zugang zum Innenohr.

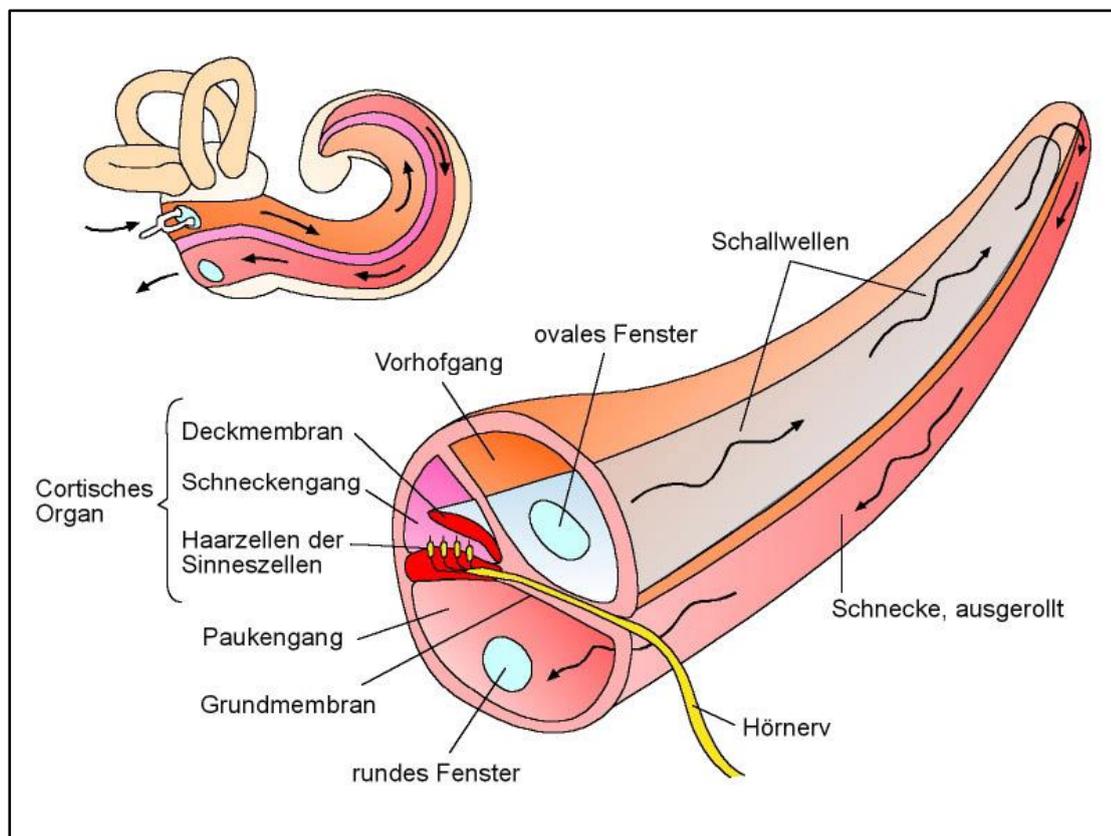


Abbildung 3.6: Skizze der Hörschnecke in ausgerollter Form

In Abbildung 3.6 ist oben eine Darstellung des Innenohres mit Hörschnecke und Bogengängen zu sehen. Zum besseren Verständnis ist in der Abbildung unten eine Darstellung der abgerollten Schnecke zu sehen. Zu erkennen sind die drei Gänge Vorhofgang, Paukengang und Schneckengang. Die ersten beiden enthalten Perilymphe, während der Schneckengang Endolymphe enthält. Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, wird der Druck der Schallwellen durch den Steigbügel auf das ovale Fenster übertragen. Die Schallwellen laufen nun den Vorhofgang entlang bis zur Spitze der Cochlea, wo der Vorhofgang in den Paukengang übergeht. Am unteren Ende des Paukengangs befindet sich eine weitere membranverschlossene Öffnung zum Mittelohr hin, das runde Fenster. Dieses gleicht die Auslenkung der Membran im ovalen Fenster aus.

Im Schnecken gang findet die eigentliche Umwandlung der Schallwellen in Nervenimpulse statt. Hier befindet sich das Cortische Organ oder Corti-Organ. Es besteht aus Sinneszellen, den Haarzellen. Von den Haarzellen ausgehend ragen Zellfortsätze, sogenannte Stereozilien, als Teile der Mechanorezeptoren in die Endolymphe des Schnecken ganges hinein. Durch die Wellenbewegung, die der Schall in der Hörschnecke hervorruft, werden die Stereozilien gebogen. Dieser mechanosensorische Reiz wird in elektrische Impulse umgewandelt, die von den Nerven an das Gehirn weitergeleitet werden.

Die Wellenlänge bestimmt dabei, an welcher Stelle der Grundmembran die Schwingungen den größten Ausschlag haben. Dadurch findet hier eine Umwandlung der Frequenz in eine ortsbezogene Information statt. Bei dieser Frequenz-Orts-Transformation werden hohe Frequenzen am Anfang der Hörschnecke registriert und tiefere Frequenzen eher zur Spitze der Schnecke hin.

Das Gleichgewichtsorgan dient der Wahrnehmung von Beschleunigung und Lage. Die Bogengänge, die in der Abbildung 3.6 zu sehen sind, sind verantwortlich für die Detektion von Drehbewegungen. Es handelt sich um drei nahezu senkrecht zueinander stehende flüssigkeitsgefüllte Röhren, die die Vektorkomponenten der Winkelbeschleunigung des Kopfes im Raum erfassen.

### B3.3 Experimente 3 & 4 – Tanzende Körner und singende Gläser

In den Experimenten 3 und 4 geht es hauptsächlich um die physikalischen Eigenschaften von Schall, daher wird die Theorie für beide Experimente in diesem Kapitel zusammen behandelt. In Kapitel B3.2 wurde bereits eine kurze Definition von Schall gegeben, hier werden die wichtigsten Kenngrößen und Eigenschaften von Schallwellen genauer behandelt.

#### Schallquelle, Schallwellen und hörbarer Bereich

Schall entsteht, indem Teilchen in einem Medium an einer Stelle in Schwingung gebracht werden. Objekte, die solche Störungen anregen können, nennt man Schallquellen. In Festkörpern werden die Stöße bzw. mechanischen Schwingungen von Teilchen über die Kopplungskräfte an benachbarte Teilchen weitergegeben. Die Anregung der Teilchen kann sich deshalb von der Schallquelle bis zu einem Empfänger sowohl in einer Richtung senkrecht zur Auslenkung der Teilchen als Transversalwelle als auch in Richtung der Anregung der Teilchen als Longitudinalwelle ausbreiten.

In idealen Flüssigkeiten und Gasen entfällt diese Kopplung zwischen den Teilchen und Störungen werden nur über die Stöße von Teilchen weitergegeben. Deshalb kann sich eine Schallwelle in solchen Medien nur longitudinal in Richtung der Anregung der Teilchen ausbreiten. Dabei lösen sich ständig im Wechsel Bereiche einer erhöhten Teilchendichte mit solchen einer geringeren Teilchendichte ab, bis sie auf einen Schallempfänger, beispielsweise das menschliche Ohr, treffen.

Anschaulich dargestellt werden die Ausbreitungsarten von Schallwellen in Animationen auf der Webseite von LEIFIphysik (<https://www.leifiphysik.de/akustik/akustische-wellen/grundwissen/schallwellen>). Schall kann reflektiert, gebrochen und gebeugt werden. Besonders deutlich wird der Wellencharakter von Schall durch das Auftreten von Interferenzerscheinungen bei der Überlagerung mehrerer Wellen, wo unter bestimmten Voraussetzungen auch stehende Wellen erzeugt werden können.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen ist stark vom Übertragungsmedium abhängig: Bei einer Temperatur von 20 Grad Celsius beträgt sie in Luft beispielsweise etwa 343 Meter pro Sekunde, in Wasser aber 1 484 Meter pro Sekunde. Auch unter Wasser ist aber Hören möglich.

Frequenzen zwischen 20 000 Kilohertz und 1,6 Gigahertz, die also über dem für Menschen hörbaren Bereich liegen, werden als Ultraschall bezeichnet, während tiefere Frequenzen, unter 16 Hertz, als Infraschall bezeichnet werden. Andere Lebewesen können auch bei höheren bzw. tieferen Frequenzen hören, so beispielsweise Fledermäuse im Ultraschall-Bereich und Elefanten im Infraschall.

#### Die drei wichtigen Kenngrößen einer Schallwelle – Frequenz, Periode und Amplitude

Wird beispielsweise wie in Experiment 2 mit einem Schlägel auf eine Handtrommel geschlagen (siehe Abbildung 3.7), so wird durch den Druck des Schlages die Membran in Schwingung versetzt. Diese „Störung“ wirkt sich auf die sie umgebenden Luftteilchen aus. Die Teilchen schwingen um ihre Ruhelage und geben die Energie über Stöße an andere Teilchen weiter, ohne sich selbst mit der Welle fortzubewegen. So breitet sich der von der Trommemembran (Schallquelle) verursachte Druck in Richtung der schwingenden Luftteilchen wellenartig aus. Die Eigenschaften einer solchen Schallwelle können in einem Koordinatensystem dargestellt werden.



Abbildung 3.7: Handtrommel mit Schlägel

Zur Darstellung der Schwingung wird auf der y-Achse (Ordinate) des Koordinatensystems die Amplitude, auf der x-Achse (Abszisse) die Zeit aufgetragen. Als Amplitude bezeichnet man die Auslenkung der angestoßenen Luftteilchen aus ihrer Ruhelage, wie sie durch den Schlag auf die Membran verursacht wurde.

Je stärker die Kraft ist, mit welcher der Schlägel auf die Handtrommel geschlagen wird, umso höher ist der Impuls und damit auch die Auslenkung der angrenzenden Luftteilchen. Je größer die Auslenkung, umso größer ist auch die Lautstärke des resultierenden Klages. Die Amplitude ist also ein Maß für die Lautstärke eines Schallereignisses: Je höher die Amplitude, desto lauter ist das Schallereignis.

Der Schlag auf die Handtrommel würde im Koordinatensystem einen hohen Ausschlag in der Amplitude anzeigen. Die Auslenkung der Membran klingt nach kurzer Zeit ab, ebenso die Amplitude. Das Ergebnis ist also ein einmaliger Ausschlag mit hoher Amplitude von kurzer Dauer. Anders wäre das bei einem anhaltenden Ton konstanter Lautstärke. Er stellt sich im Koordinatensystem als eine sinusförmige Schwingung dar (Abbildung 3.8).

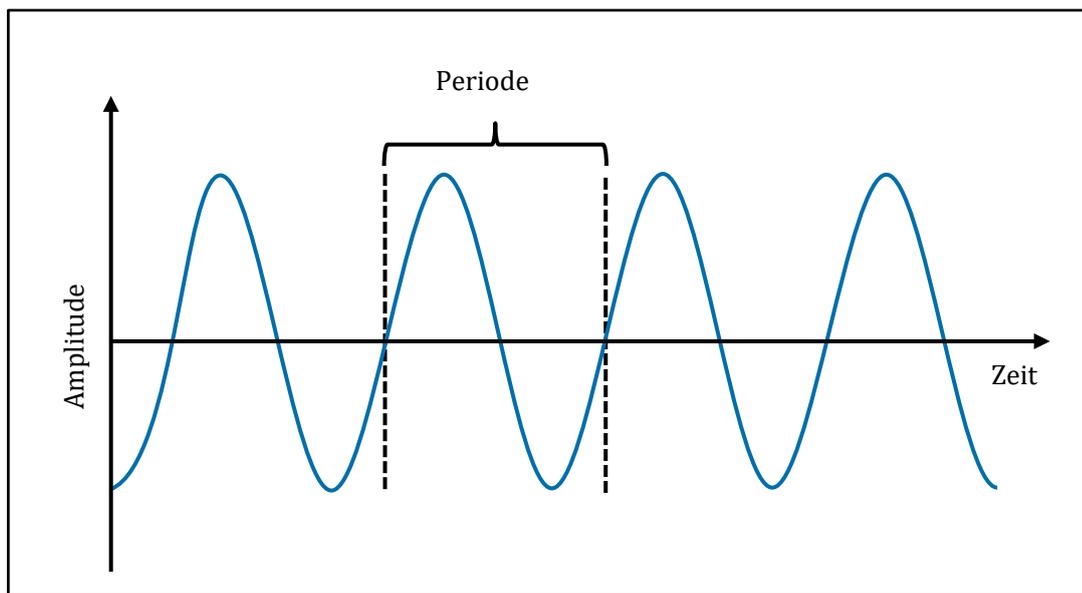


Abbildung 3.8: Kenngrößen von Schallwellen

Hier fällt auf, dass sich eine Sinuswelle in kleine Abschnitte unterteilen lässt, die sich periodisch immer wiederholen und deren maximale Amplitude konstant ist. Die zwei gestrichelten Linien in Abbildung 3.8 markieren die Dauer einer Periode  $T$ . Die Einheit der Periodendauer  $T$  ist die Sekunde. Der Kehrwert der Periodendauer, also die Anzahl an Perioden in einer Sekunde, wird als Frequenz  $f$  bezeichnet und hat die Einheit Hertz.

Bei der räumlichen Betrachtung einer Wellenbewegung entspricht die Periodendauer  $T$  der Wellenlänge  $\lambda$ . Sie gibt an, wie groß der (räumliche) Abstand zwischen zwei benachbarten Punkten mit gleicher Amplitude ist. Die Schallgeschwindigkeit  $v$  berechnet sich aus der Wellenlänge  $\lambda$  pro Periodendauer  $T$  bzw. sie entspricht dem Produkt von Wellenlänge  $\lambda$  und Frequenz  $f$  einer Schwingung.

Die Zusammenhänge können also folgendermaßen dargestellt werden:

$$\text{Frequenz } f = \frac{1}{\text{Periodendauer } T}$$

$$\text{Wellenlänge } \lambda = \frac{\text{Schallgeschwindigkeit } v}{\text{Frequenz } f}$$

Dabei ist die Schallgeschwindigkeit vom leitenden Medium abhängig. Schwingungen mit großer Frequenz und geringer Wellenlänge, die also eine hohe Anzahl an Schwingungen pro Sekunde aufweisen, empfinden wir als

hohe Töne. Schwingungen mit niedriger Frequenz und großer Wellenlänge, also einer geringen Anzahl an Schwingungen pro Sekunde, empfinden wir als tiefe Töne.

### Charakterisierung verschiedener Schallereignisse – Ton, Klang, Geräusch und Knall

Eine weitere Charakterisierung von Schallereignissen erfolgt nach ihrem Verlauf (Abbildungen 3.9 bis 3.12). Schallereignisse können folgenden Bezeichnungen zugeordnet werden: Ton, Klang, Geräusch und Knall. Alle diese Begriffe werden auch umgangssprachlich verwendet und weichen dabei manchmal etwas von ihrer eigentlichen physikalischen Definition ab.

Als **Ton** im physikalischen Sinn wird ein Schallereignis bezeichnet, das nur aus einer einzelnen Frequenz besteht. Ein solcher reiner Ton wird auch als Sinuston bezeichnet, da der Schwingungsverlauf mathematisch dem einer Sinusfunktion entspricht (siehe Abbildung 3.9). Sinustöne können nur künstlich mit einem Tonfrequenzgenerator erzeugt werden.

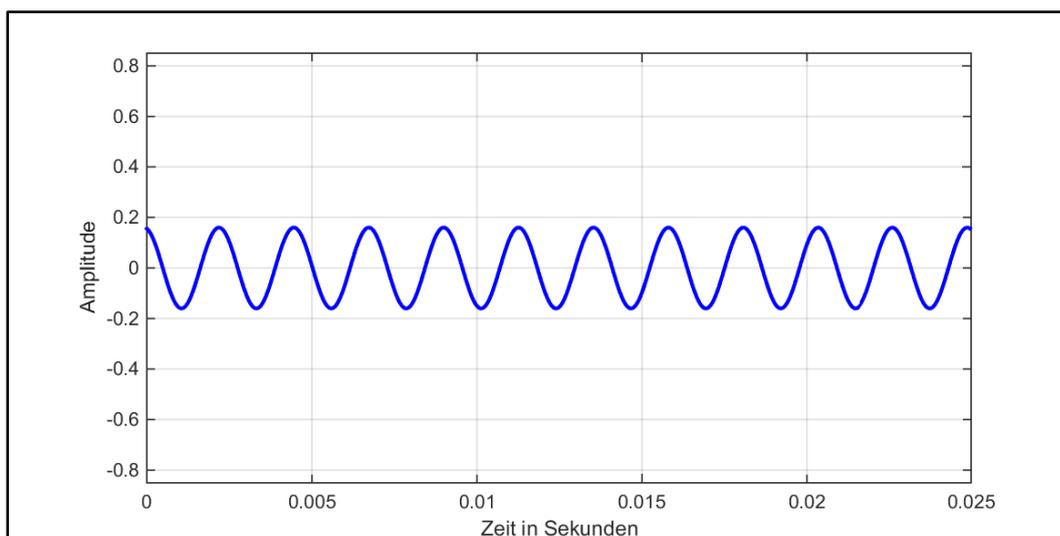


Abbildung 3.9: Schallereignis Ton (Sinuston mit 440 Hertz)

Als **Klang** wird physikalisch ein Schallereignis bezeichnet, das aus zwei oder mehr Tönen (Frequenzen) besteht. Die meisten Musikinstrumente erzeugen keine reinen Sinustöne. Zu der Grundfrequenz, beim Kammerton  $a'$  beispielsweise 440 Hertz, kommen weitere Frequenzen von Obertönen hinzu, die ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz sind. Abbildung 3.10 zeigt den Amplitudenverlauf einer Blockflöte, auf der ein  $a'$  gespielt wird.

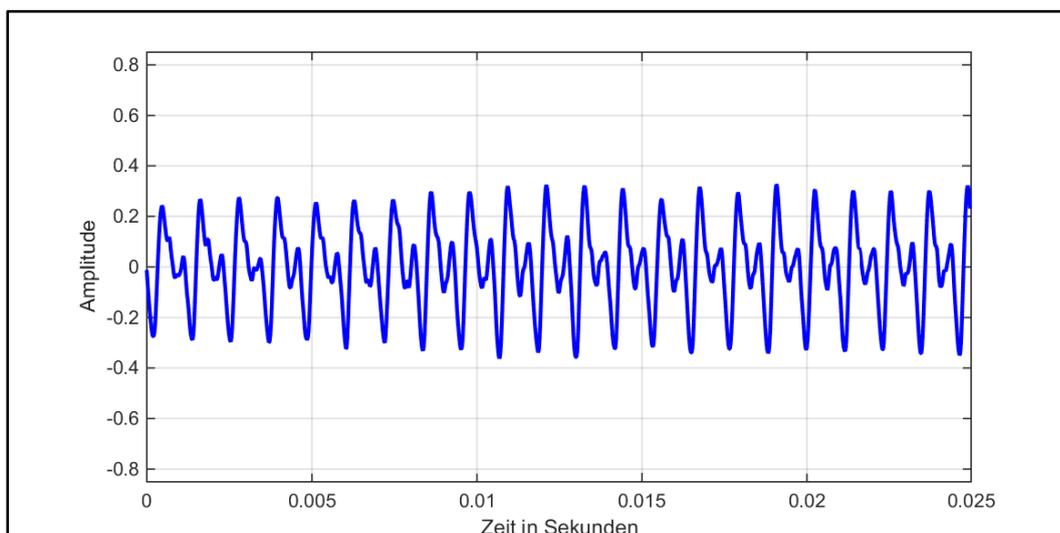


Abbildung 3.10: Schallereignis Klang (Kammerton  $a'$  mit einer Blockflöte gespielt)

In Abbildung 3.10 ist eine regelmäßige Periodizität deutlich zu erkennen, die unterschiedlichen Ausschläge der Peaks kommen durch die Überlagerung von Schallwellen unterschiedlicher Frequenz und Amplitude zustande. Auch ein Akkord (Zusammenklang) bestehend aus mehreren Musiktönen (Noten) bleibt unverändert ein Klang, weil auch er sich aus der Überlagerung verschiedener periodischer Wellen zusammensetzt.

Im Unterschied dazu bezeichnen **Geräusche** Schallereignisse die nicht periodisch und häufig sehr breitbandig sind (also aus der Überlagerung sehr vieler Frequenzen entstehen). Einzelne Frequenzen sind kaum auszumachen. Bei Geräuschen lässt sich deshalb auch eine definierte Tonhöhe nicht ausmachen. Als Geräusch (siehe Abbildung 3.11) lassen sich beispielsweise das Rauschen von Wasserfällen, das Rascheln von Seide, das Quietschen von Bremsen, laufende Motoren oder das Rattern von Zügen zuordnen.

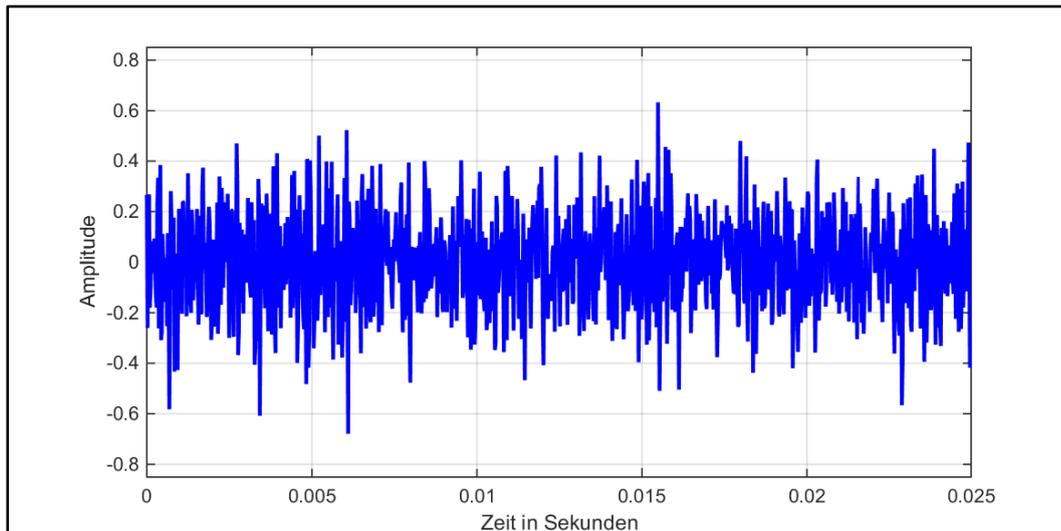


Abbildung 3.11: Schallereignis Geräusch (Staubsauger)

Als Knall wird ein aperiodisches Schallereignis bezeichnet, wenn es eine sehr hohe Amplitude aufweist, deren Intensität schnell in Bruchteilen von Sekunden wieder abklingt wie beispielsweise bei einem Schuss, einer Explosion oder beim einmaligen Klatschen in die Hände. Aufgrund seiner oft breitbandigen Frequenzverteilung stellt ein Knall einen Sonderfall eines Geräusches dar (siehe Abbildung 3.12).

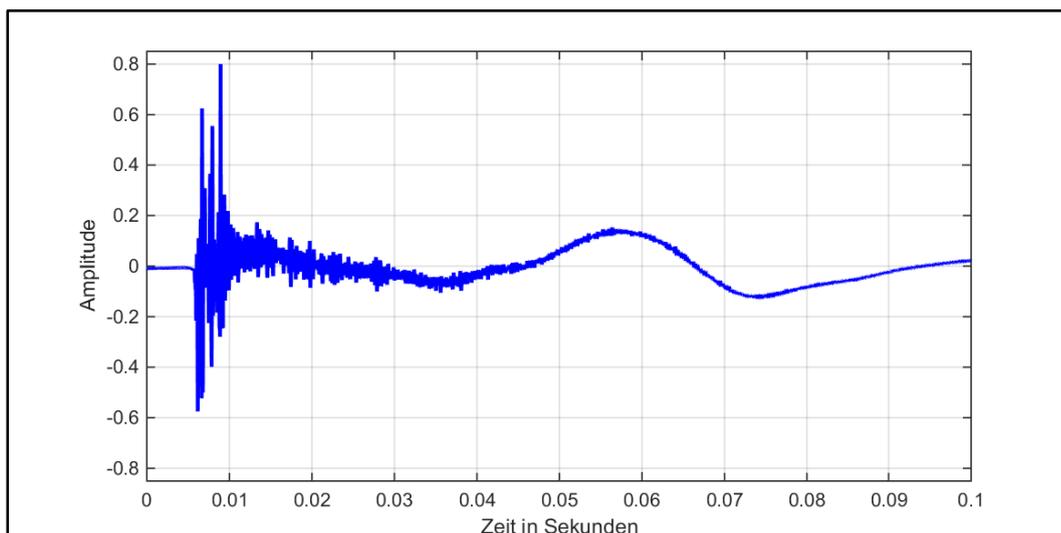


Abbildung 3.12: Schallereignis Knall (Einmaliges Händeklatschen)

Die mit der menschlichen Stimme erzeugte Sprache lässt sich keiner der genannten Kategorien eindeutig zuordnen. Teils haben sie Ähnlichkeiten mit Klängen, teils mit Geräuschen. In Abbildung 3.13 wurden die Buchstaben IJSO gesprochen. Vokale, wie hier das „I“ und das „O“ lassen sich eher Klängen zuordnen. Das „S“ ist ein Frikativ, ein Reibelaut, und entspricht eher einem Geräusch.

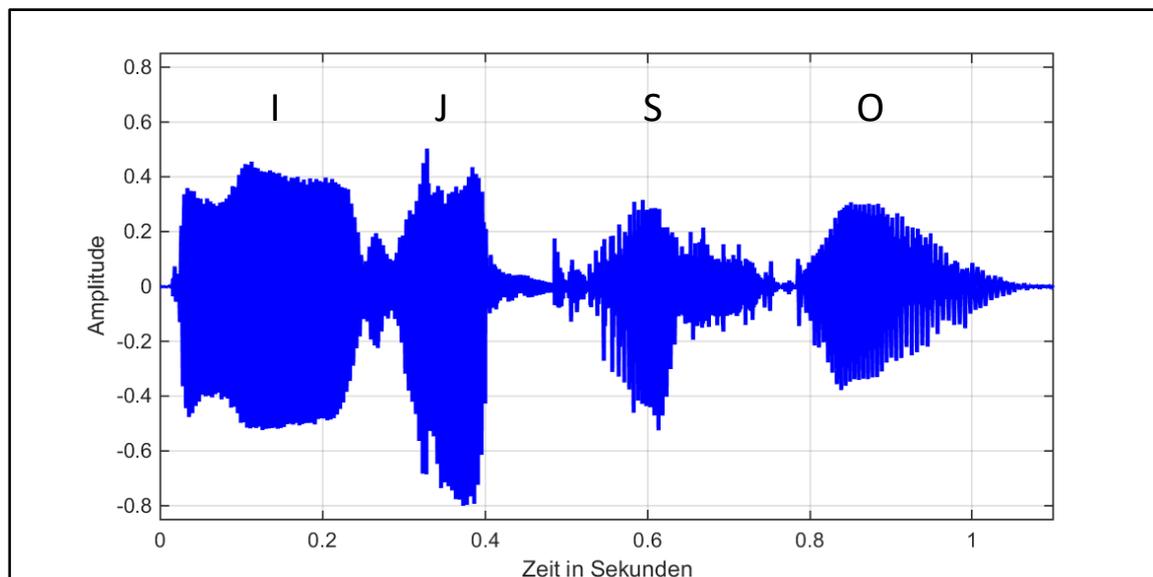


Abbildung 3.13: Sprache (Gesprochen "Ih-Jot-Es-Oh", IJSO)

### Anregung und Verstärkung von Schwingungen– Resonanz , Interferenz, stehende Wellen

In den vorherigen Abschnitten wurden bereits verschiedene Schallquellen genannt: die Trommel, bei der durch Schläge auf eine Membran Luftteilchen zum Schwingen gebracht werden, die Flöte oder Klangdose, bei der die Luftsäule im Inneren in Schwingungen versetzt wird oder die menschliche Stimme, bei der die Stimmlippen im Kehlkopf schwingen. Aber wie kommt es eigentlich zur Tonerzeugung beim Reiben eines Glasrandes?

Jedes schwingungsfähige System besitzt eine oder mehrere ihm spezifische Eigenfrequenzen. Das sind Frequenzen, mit der ein Körper nach Anregung frei um seine Ruhelage schwingt. Diese Eigenfrequenz hängt von systemeigenen Eigenschaften wie beispielsweise der Masse, Steife oder Geometrie ab. Beim Weinglas handelt es sich dabei um die Frequenzen die erklingen, wenn es zum Beispiel mit einem Löffel angeschlagen wird.

Dem schwingungsfähigen System kann durch einen Erreger von außen Energie zugeführt werden. Ist diese Anregung periodisch und die Anregungsfrequenz gleich der Eigenfrequenz des schwingungsfähigen Systems oder ein ganzzahliges Vielfaches davon, so kommt es zur Resonanz (von lateinisch resonare „widerhallen“). Bei optimaler Stimulanz erreicht die Amplitude der Eigenfrequenz des schwingenden Systems einen Maximalwert. Zur Veranschaulichung wird häufig der Vergleich mit einem schaukelnden Kind herangezogen: Die Schaukelhöhe wird maximal, wenn die Schaukel im Moment der Umkehr der Schwingungsrichtung angestoßen wird.

Wenn mit einem angefeuchteten Finger über den Glasrand gestrichen wird, wirken zwei verschiedene Kräfte auf das Glas bzw. den Finger, die Haftreibung und die Gleitreibung. Durch dieses Wechselspiel kommt es zu einer Art „Stottern“ der Fingerbewegung, wodurch das Glas in Schwingungen versetzt wird. Dieser Effekt wird auch als „Stick-Slip-Effekt“ bezeichnet. Dieser Haftgleiteneffekt erzeugt verschiedene Schwingungsfrequenzen. Trotzdem klingt das Glas immer nur in seiner Eigenfrequenz, denn nur diese wird durch Resonanz verstärkt, während alle anderen erzeugten Frequenzen sich totlaufen. Daher dauert es meist einen Augenblick, bis die Reibung zu einem deutlichen Klang führt.

Was geschieht aber, wenn eine Schallwelle, die sich in einem Medium fortbewegt, auf ein anderes Medium trifft? Diese Situation begegnet uns in Experiment 2 beim menschlichen Ohr, wo die Schallwelle sich im Mittelohr in der Luft ausbreitet, im Innenohr dann aber auf eine Flüssigkeit trifft. Zu beobachten ist sie auch

in Experiment 3 in der Röhre der Klangdose, wenn die Schallwelle auf Festkörper wie die Dosenwand oder auf die Membran trifft sowie in Experiment 4 an der Grenzfläche von Luft und Glas bzw. Glas und dem darin befindlichen Wasser.

Ähnlich wie bei Lichtwellen wird ein Teil des Schalls an der Grenzfläche reflektiert, ein anderer Teil kann sich in dem anderen Medium weiter ausbreiten. Wie groß der Anteil an reflektiertem Schall ist, hängt maßgebend von der akustischen Impedanz der beiden Medien ab. Sie ist ähnlich wie der elektrische Widerstand eine physikalische Größe, die beschreibt, wieviel Widerstand ein Medium der Ausbreitung von Schallwellen entgegengesetzt, und hängt in hohem Maße von der Dichte des Mediums ab. Je größer die Differenz der akustischen Impedanzen zweier Medien ist, desto stärker wird der Schall an der Grenzfläche reflektiert.

Wird Schall reflektiert, so kommt es zu einer Überlagerung der an der Grenzfläche ankommenden Wellen mit den dort reflektierten Wellen. Stehende Wellen entstehen meist, wenn sich reflektierte Wellen in der Eigenfrequenz eines Systems überlagern. Diese zeichnet sich dadurch aus, dass es bestimmte Orte gibt, an denen sich die Amplituden beider Wellen permanent wechselseitig auslöschen (dort ist die Summe aller Amplituden gleich Null), während sich an anderen Stellen, sogenannten Wellenknoten, die Amplituden zu Maximalausschlägen verstärken.

Ein Beispiel für solche stehenden Wellen sind die nach dem Physiker und Astronomen Ernst Florens Friedrich Chladni benannten Chladnischen Klangfiguren.

Der Physiker veröffentlichte 1787 eine Schrift, in der er Klangfiguren beschreibt, die er auf einer mit Sand bestreuten dünnen Metallplatte erzeugt hat. Dazu hat er die Platte mit einem Geigenbogen in Eigenschwingung versetzt.



Abbildung 3.14: Chladnische Klangfiguren

Infolge der stehenden Welle wird der Sand beim Tönen von den Stellen mit maximaler Vibration regelrecht weggeschleudert und lagert sich an den Stellen ab, wo sich die Amplituden auslöschen. Auf diese Weise werden auf der Platte die Knotenlinien stehender Wellen sichtbar.

Besonders gut zu beobachten ist das Phänomen stehender Wellen in Experiment 4, wenn ein mit Wasser gefülltes Glas zum Schwingen gebracht wird und sich ringförmig an der Wasseroberfläche Rippel (Wellenmuster) bilden.

## Teil C Forscherfragen und Projektarbeit

Mit den Experimenten und den vertiefenden Fragen der IJSO-Wettbewerbsaufgaben wollen wir Neugierde wecken und forschendes Lernen unterstützen. Beim Experimentieren ergeben sich zwangsläufig Situationen, in denen etwas nicht „funktioniert“, oder das Ergebnis des Experiments von den Erwartungen abweicht. Und schon taucht die erste Frage auf: Woran liegt das? Was muss ich ggf. anders machen?

Auch stößt man immer wieder an Grenzen und stellt fest, dass man eine Frage nicht abschließend beantworten kann, weil Informationen fehlen. Und schon ist man mittendrin im Grübeln, Recherchieren und Planen weiterführender Experimente.

So ging es auch uns im Vorfeld mit der einfachen Frage, ob sich mit einer einfachen Klangdose ähnliche Klangfiguren erzeugen lassen wie es Chladni mit Sandkörnern auf einer schwingenden Metallplatte gelang. Zahlreiche Fragen türmten sich auf: Aus welchem Material soll die Dose sein, welchen Durchmesser und welche Höhe haben? Wo sollte am besten das Schall-Loch angebracht werden? Mittig oder möglichst nahe der Membran? Ließe sich auch der Metallboden der Dose zu Eigenschwingungen anregen? Eignet sich eine Luftballonhaut als Membran? Wie stark gespannt muss sie sein? Welches Streumaterial eignet sich am

besten? Wie wirkt sich die Korngröße aus? Wieviel Abstand soll der Mund beim Tönen vom Schall-Loch haben? Können bei verschiedenen Tonhöhen charakteristische Klangfiguren erzeugt werden? Fragen über Fragen!

Die Neugierde und das Hinterfragen, aber auch den eigenen Antrieb, nicht locker zu lassen und Dingen auf den Grund zu gehen, wollen wir mit den Wettbewerbsaufgaben stärken. Ähnlich wie wir beim Entwickeln der Aufgaben werden den Schülerinnen und Schülern bei der Bearbeitung der Aufgaben über zahlreiche Fragen stolpern. Weil wir diesen Prozess so wichtig finden, bitten wir die Schülerinnen und Schüler jedes Jahr in der letzten Aufgabe zwei Forschungsfragen zu formulieren. Ermutigen und inspirieren Sie Ihre Teilnehmenden, ihren eigenen Fragen nachzugehen. Unterstützen wollen wir damit aber auch Sie, wenn Sie Kinder und Jugendliche in Projekt(wettbewerb)en begleiten wollen und auf der Suche nach geeigneten Themen sind.

## Teil D Quellennachweis

### D1 Literatur

U. Lüttge, M. Kluge, G. Bauer. Botanik (1994) VCH  
D. Sadava, D. Hillis, H. C. Heller, S. Hacker. Purves Biologie (2017) Springer Spektrum  
Oskar Höfling. Physik: Lehrbuch für Unterricht und Selbststudium (1990) Ferd. Dummlers Verlag  
Franz Bader, Friedrich Dorn. Physik Mittelstufe (1980) Schrödel Verlag  
G. Schwedt, Experimente mit Supermarktprodukten  
D. Voet, J.G. Voet. Biochemie (1994) VCH

### D2 Linksammlung

<https://de.wikipedia.org/wiki/Popcorn>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Mais#Saatgut>  
<https://www.wissenschaft.de/astronomie-physik/die-physik-des-popcorns/>  
<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsif.2014.1247>  
<https://shop.haase-food.com/Popcorn/Die-Wissenschaft-des-Popcorn/>

<https://de.wikipedia.org/wiki/St%C3%A4rke>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Amylose>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Amylopektin>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Iod-Kaliumiodid-L%C3%B6sung>  
<https://www.apotheken-umschau.de/medikamente/beipackzettel/betaisodona-loesung-448947.html>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Povidon-Iod>  
<https://www.pharmawiki.ch/wiki/index.php?wiki=Lugolsche%20L%C3%B6sung>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Same\\_\(Pflanze\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Same_(Pflanze))  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Karyopse>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Endosperm>  
<http://www.asch-online.eu/downloads/Theses/Davies-BSc-webversion-2013.pdf>  
<https://www.biowin.at/all/Diverses/bu5b/stoffwechsel/pflnaehrstoffe/keimung.htm>

<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3683.pdf>  
<https://www.pschyrembel.de/Fenestra%20vestibuli/K07N8>  
<https://www.youtube.com/watch?v=Zulv7v9zCKo>  
<https://www.ardmediathek.de/video/quarks/von-haerchen-hoeren-und-der-schnecke/wdr-fernsehen/Y3JpZDovL3dkci5kZS9CZWl0cmFnLTRjOTYzOTRlLWViZTctNGExMS05YmM4LTlywZDNmM2Q2NmFhNQ/>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Laufzeitdifferenz>  
<https://flexikon.doccheck.com/de/Richtungsh%C3%B6ren>  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Lokalisation\\_\(Akustik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Lokalisation_(Akustik))  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Ohrmuschel>  
<https://www.spiegel.de/panorama/justiz/hamburg-polizei-ueberfuehrt-einbrecher-anhand-von-ohrabdruecken-a-830468.html>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Akustische\\_Impedanz](https://de.wikipedia.org/wiki/Akustische_Impedanz)  
<https://www.physik.uni-jena.de/pafmedia/praktika/physikalisches+grundpraktikum/kram/impedanzanpassung+im+mittelohr.pdf>  
[http://web.fbe.uni-wuppertal.de/fbe0014/ars\\_auditus/physiologie/inhaltphysio.htm](http://web.fbe.uni-wuppertal.de/fbe0014/ars_auditus/physiologie/inhaltphysio.htm)  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Mittelohr>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Innenohr>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Corti-Organ>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/H%C3%B6rschnecke>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Tonotopie>  
<https://www.youtube.com/watch?v=n959TVHAoBA>  
<https://www.youtube.com/watch?v=lrOHVBiQMwY>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Schall>  
(<https://www.leifiphysik.de/akustik/akustische-wellen/grundwissen/schallwellen>)  
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3683.pdf>  
[http://www.laermorama.ch/m1\\_akustik/schall\\_w.html](http://www.laermorama.ch/m1_akustik/schall_w.html)  
[https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/fachbereich\\_physik/didaktik\\_physik/publikationen/glockenklang\\_weinglas.pdf](https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/fachbereich_physik/didaktik_physik/publikationen/glockenklang_weinglas.pdf)  
<https://www.ds.mpg.de/116856/09>  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Akustische\\_Impedanz](https://de.wikipedia.org/wiki/Akustische_Impedanz)  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Schallkennimpedanz>  
<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/resonanz>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Resonanz>  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Stehende\\_Welle](https://de.wikipedia.org/wiki/Stehende_Welle)

## D3 Bildnachweis

### D3.1 Bildnachweis zu Abbildungen 2.1-2.7:

2.1 bis 2.3: Foto: S. Schmidt-Gattung, IPN

2.4: Foto: H.Peters, IPN

2.5 und 2.6: Foto: S. Schmidt-Gattung, IPN

### D3. Bildnachweis zu Abbildungen 3.1-3.14:

3.1: Kingbossix lizenziert unter CC BY-SA 4.0; URL:

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/ff/Oie\\_hEzAtI2EU8ND.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/ff/Oie_hEzAtI2EU8ND.jpg)

3.2 links: Roland Mattern lizenziert nach GFDL, URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Amylose#/media/Datei:Amylose5.svg>

3.2 rechts: NEUROtiker public domain, URL:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Amylopektin#/media/Datei:Amylopektin\\_Haworth.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Amylopektin#/media/Datei:Amylopektin_Haworth.svg)

3.3: Foto: S. Schmidt-Gattung, IPN

3.4: adobe stock

3.5: Geo-Science-International lizenziert unter CC BY-SA 4.0, URL:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Mittelohr#/media/Datei:Mittelohr.jpg>

3.6: Siemens-Stiftung 2018 lizenziert unter CC BY-SA 4.0, URL: <https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/schnecke-transparent-ausgerollt-100486>

3.7: Foto: S. Schmidt-Gattung, IPN

3.8: Abbildung: S. Schmidt-Gattung, IPN

3.9-3.13: Abbildungen G. Schmidt, erstellt mit Programm MATLAB

3.14: Matemateca lizenziert unter CC BY-SA 4.0, URL:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Chladnische\\_Klangfigur#/media/Datei:Chladni\\_plate\\_10.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Chladnische_Klangfigur#/media/Datei:Chladni_plate_10.jpg)