

# *IJSO 2026 – Vorsicht giftig!*

Begleitheft für Betreuende

Zusammengestellt von

Melanie Hänel

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, 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 28.10.2025 auf ihre Aktualität geprüft.

# Inhalte

|               |                                                                                                                                                                  |           |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Teil A</b> | <b>Förderkonzepte und Tipps zur Wettbewerbsarbeit</b>                                                                                                            | <b>04</b> |
| <b>A1</b>     | <b>Allgemeine Hinweise für Wettbewerbsbetreuende</b>                                                                                                             | <b>04</b> |
| A1.1          | MINT-Schülerwettbewerbe – den Einstieg leicht gemacht                                                                                                            | 05        |
| A1.2          | Wettbewerbsarbeit in der IJSO                                                                                                                                    | 07        |
| <b>Teil B</b> | <b>Durchführung der Experimente und theoretische Grundlagen</b>                                                                                                  | <b>09</b> |
| <b>B1</b>     | <b>Einführung und Materialliste</b>                                                                                                                              | <b>09</b> |
| B1.1          | Lernziele                                                                                                                                                        | 09        |
| B1.2          | Materialliste                                                                                                                                                    | 10        |
| <b>B2</b>     | <b>Beschaffung und praktische Hinweise</b>                                                                                                                       | <b>11</b> |
| B2.1          | Experiment 1 – Umweltgift<br>Hinweise zum Material und Experimentieren                                                                                           | 11        |
| B2.2          | Experimente 2.1 & 2.2 – Körpergift<br>Hinweise zum Material und Experimentieren                                                                                  | 13        |
| B2.3          | Experiment 3 – Giftpfeil<br>Hinweise zum Material und Katapultbau<br>Tipps zum Filmen und Tracken der Flugbahn                                                   | 14        |
| <b>B3</b>     | <b>Theoretische Grundlagen</b>                                                                                                                                   | <b>16</b> |
| B3.1          | Allgemeines über Gifte<br>Wirkungsbestimmende Faktoren<br>Letale Dosis und andere Werte                                                                          | 16        |
| B3.2          | Experiment 1 – Umweltgift<br>Gartenkresse<br>Salztoxizität<br>Bodenversalzung und Gegenmaßnahmen<br>Schwermetalle im Boden<br>Bodensanierung und Superpflanzen   | 18        |
| B3.3          | Experimente 2.1 & 2.2 – Körpergift<br>Löslichkeit<br>Vitamine<br>Bioakkumulation & -magnifikation: Seefisch essen oder nicht?                                    | 23        |
| B3.4          | Experiment 3 – Giftpfeil<br>Die Physik des Fluges eines Geschosses<br>Bogenschießen: Wer weiter schießt, hat einen militärischen Vorteil<br>Das Pfeilgift Curare | 26        |
| <b>Teil C</b> | <b>Forscherfragen, Projektarbeit, Toxi-Kreuzwortgitter</b>                                                                                                       | <b>29</b> |
| <b>Teil D</b> | <b>Quellennachweis</b>                                                                                                                                           | <b>32</b> |
| <b>D1</b>     | <b>Literatur</b>                                                                                                                                                 | <b>32</b> |
| <b>D2</b>     | <b>Linksammlung</b>                                                                                                                                              | <b>32</b> |
| <b>D3</b>     | <b>Bildnachweise</b>                                                                                                                                             | <b>33</b> |
| <b>Anhang</b> |                                                                                                                                                                  | <b>34</b> |

### 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 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 Kräftermessen 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-Portal oder beim Deutschen Bildungsserver. Die Arbeitsgemeinschaft bundesweiter Schülerwettbewerbe hat Qualitätsstandards entwickelt, zu deren Einhaltung sich ihre Mitglieds Wettbewerbe 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. Grundschulkinder, 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 Organisators, 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 Schüler- wettbewerbe [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) Wettbe- werbe 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 2026 teilnehmen kann, wer eine allgemein- oder berufsbildende deutsche Schule besucht und nach dem 31. Dezember 2010 geboren ist (Geburtsjahr 2011 oder jünger). Wer im Rahmen einer Arbeitsgemeinschaft oder im Klassen- bzw. Jahrgangsverband an der IJSO teilnimmt und vor dem 1. Januar 2011 geboren ist, kann maximal an den ersten drei Wettbewerbsrunden, nicht jedoch am Bundesfinale teilnehmen.

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. Die Namen der am Team beteiligten Schülerinnen und Schüler müssen auf der Ausarbeitung für die Lehrkraft kenntlich gemacht werden. Alle Teilnehmenden einer Gruppe erhalten dieselbe Punktzahl, werden hingegen nicht im Portal miteinander verknüpft. Jeder Teilnehmende, also auch jedes Gruppenmitglied, muss sich einzeln im Portal registrieren und zur IJSO anmelden. Dafür benötigt jeder Teilnehmende eine eigene gültige E-Mail-Adresse. Registrierung und Anmeldung können nur mit Zustimmung der Erziehungsberechtigten gemeinsam mit den Teilnehmenden vorgenommen werden. Hierfür bedarf es der E-Mail-Adresse eines Erziehungsberechtigten.

### Hinweise zur Betreuung und Musterlösung

Mit Ihrer Anmeldung zur IJSO als betreuende Lehrkraft sollten Sie im Portal Zugang zum Begleitheft für Betreuende sowie zur Musterlösung zur Aufgabenrunde erhalten. Falls nicht, wenden Sie sich direkt an die Bundesgeschäftsstelle der IJSO. Die Musterlösung mit Erwartungshorizont wird bereits zum Wettbewerbsstart freigeschaltet, 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.

Die Ausarbeitungen sind bis zum 15. Januar 2026 bei Ihnen als betreuende Lehrkraft einzureichen.

### Bewertung und Übermittlung der Ergebnisse

Die Musterlösung mit Erwartungshorizont und Bewertungsschlüssel unterstützt Sie bei der Bewertung der eingereichten Ausarbeitungen Ihrer Schülerinnen und Schüler. Die Bewertungseingabe im Portal nehmen Sie bitte bis zum 31. Januar 2026 vor.

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@ijsso.info](mailto:sekretariat@ijsso.info) mit uns in Verbindung. Zum Abschluss der Wettbewerbsrunde werden alle Wettbewerbsteilnehmenden im Februar informiert und können im Portal einsehen, ob sie in die zweite Runde aufgestiegen sind.

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.ijsso.info](http://www.ijsso.info).

## Umgang mit KI

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.

Programme auf Basis generativer künstlicher Intelligenz sind heute Teil der Recherche-Medien geworden. Davor möchten wir nicht die Augen verschließen und dies vielmehr als Chance begreifen. Die Nutzung von KI ist in unserer ersten Wettbewerbsrunde erlaubt. Ein bewusster und kritischer Umgang der Schülerinnen und Schüler mit KI sollte wie auch bei Hausaufgaben aus dem Unterricht angestrebt werden. Dies wird ein immer wesentlicherer Kompetenzschwerpunkt in der Medienbildung. Weisen Sie Ihre Teilnehmenden also gerne darauf hin, dass die Nutzung von KI genauso wie die Nutzung von anderen Quellen eine Unterstützung bei der Aufgabenbearbeitung sein kann, dennoch kein Abschreiben toleriert wird. Wenn Sie diesbezüglich Zweifel bei den Einreichungen Ihrer Schülerinnen und Schüler haben, können Sie beispielsweise auf KI-Checker-Tools wie undetectable™AI (<https://undetactable.ai/de>) zurückgreifen. Zudem ist zu betonen, dass alle folgenden Wettbewerbsrunden ohne Hilfsmittel unter Aufsicht durchgeführt werden.

Ein Schwerpunkt in der ersten Wettbewerbsrunde liegt auf den Experimenten, den Ergebnissen sowie der Dokumentation, weshalb diese Teilaufgaben besonders viele Punkte bringen. Es lässt sich nicht immer vermeiden, dass die theoretischen Teilaufgaben von KI-Tools sehr gut beantwortet werden können. Wir begegnen dem z. B. durch das stellenweise Einfordern von Quellenangaben oder alternative Aufgabenstellungen.

### Wie viel Unterstützung darf ich geben?

Wir werden immer wieder von Betreuenden gefragt, wie viel 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.

Auf unserer Internetseite finden Sie unter *Material > Aktuelle Aufgaben* das Begleitheft für (vor allem jüngere) Teilnehmende, welches wir als zusätzliche methodische Hilfestellung zu den Bereichen 'Fachtexte lesen', 'Skizze oder Zeichnung', 'Experimentieren', 'Messung und Messfehler' sowie 'Koordinatensystem' konzipiert haben.

Betreuen Sie Wettbewerbsneulinge oder Kinder in der Altersgruppe bis 12 Jahre, ist unter Umständen zu überlegen, ob man die Bearbeitung auf eine altersangemessene Auswahl von Teilaufgaben begrenzt. Auch diese lohnt es sich, einzureichen; denn einerseits ist ein Aufsteigen in die zweite Runde von den Punkten her durchaus möglich und andererseits werden die jüngsten Teilnehmenden in unserem Junior-Ranking noch einmal gesondert bewertet. Dadurch haben sie die Chance, an den JuniorForscherTagen teilzunehmen oder einen Sachpreis zu gewinnen.

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 umfassend mit verschiedenen Teilaspekten des Themas Gifte auseinanderzusetzen. Aufgabe 1 legt den Schwerpunkt auf den Zusammenhang zwischen Stoffkonzentration und Giftigkeit. Experiment 1 ist eine Wachstumsuntersuchung von Kressekeimlingen, die mit verschiedenen konzentrierten Salzlösungen und zum Vergleich mit Wasser (Kontrolle) gegossen werden. Frappierend ist, wie stark das Wachstum der Kresse durch vermeintlich harmloses Kochsalz gestört wird. Über die Salztoxizität und Bodenversalzung gelangen wir zur Schwermetallbelastung. Als Beispiel betrachten wir das Wachstum von Wasserspinat bei verschiedenen Kupferkonzentrationen. Es ist eine wichtige Erkenntnis, dass Kupfer als Spurenelement auch wachstumsförderlich ist, dass es bei steigenden Konzentrationen jedoch toxisch wirkt und die Böden langfristig belastet, wofür wiederum Maßnahmen der Entgiftung nötig sind. In der zweiten Aufgabe wird der Zusammenhang zwischen Löslichkeit und Giftigkeit untersucht. Provitamin A aus Teilexperiment 2.1 ist ein Beispiel für ein fettlösliches Vitamin. Vitamin C aus Teilexperiment 2.2 ist ein Vertreter der wasserlöslichen Vitamine. Wir ergründen, warum die Löslichkeit von Stoffen einen Einfluss auf ihre potenziell toxische Wirkung im Körper hat. Als zu diskutierendes Beispiel ziehen wir das Essen von Seefisch heran, was uns auch auf die Schadstoffanreicherung in Organismen über die Zeit und entlang der Nahrungskette bringt. Aufgabe 3 ist die Physikaufgabe: Wie fliegt eigentlich ein Giftpfeil? Da das Verschießen von Pfeilen im Experiment zu gefährlich wäre, untersuchen wir stattdessen die Flugbahn eines Katapultgeschosses. Wir übertragen die Parameter beim Katapult auf den Bogen. Nach dem experimentell ermittelten Track der Flugbahn analysieren wir die Geschwindigkeit des Geschosses genauer. Im biologisch-medizinischen Teilbereich dieser Aufgabe kommen wir schließlich vom Giftpfeil zum Pfeilgift Curare.

Mit der bereits gewohnten Formulierung von weiteren Forscherfragen wird dazu angeregt, die gewonnenen Erkenntnisse weiterzudenken und vielleicht in die eigene Lebenswelt zu transferieren.

Über die hier genannten Lernziele hinaus sollen die Aufgaben dafür sensibilisieren, Toxizität naturwissenschaftlich differenziert zu begreifen, anstatt Giften gegenüber pauschal fasziniert oder ängstlich zu sein.

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 sorgfältig durchführen.
    - (quantitative) Messungen exakt durchführen.
    - genau beobachten und die Ergebnisse kurz, präzise und übersichtlich – insbesondere auch mit Fotos dokumentiert – darstellen.
    - Messdaten korrekt und übersichtlich notieren.
    - Beobachtungen und Messdaten objektiv auswerten, angemessen erklären und kritisch beurteilen.
    - Beobachtungen/Ergebnisse und Schlussfolgerungen unterscheiden.
    - systematische Fehler erkennen und die Genauigkeit/Zuverlässigkeit eines Messverfahrens abschätzen.
- Sie lernen, dass die Giftigkeit eines Stoffes von seiner Konzentration und Löslichkeit abhängt.
- Sie lernen, dass Gifte in der Umwelt aufgrund von komplexen Zusammenhängen auftreten sowie gespeichert werden und dass gezielte Maßnahmen dagegen ergriffen werden können.
- Sie lernen Fachbegriffe zur Löslichkeit in Wasser und Fett und wenden diese für Vitamine an.
- Sie diskutieren Nahrung in Bezug auf Schadstoffbelastung anhand von Pro- und Contra-Argumenten.
- Sie beschreiben Parameter, die den Flug eines Geschosses beeinflussen.
- Sie stellen die Flugbahn eines schrägen Wurfs experimentell dar.
- Sie beschreiben und erklären für den schrägen Wurf den Verlauf der Gesamtgeschwindigkeit.
- Sie begründen die (Nicht-)Wirkung eines Giftes im Körper mit seiner Verabreichungsform.

## 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:

5 Anzuchttöpfchen (z. B. kleine Joghurtbecher, Marmeladengläser), Gartenkresse-Samen (Gartencenter), Watte, 5 Gläser, 5 Pipetten, Etiketten oder Pflanzstecker, Marker, Folie oder Tablett zum Abdecken der Gläser, Waage, Teelöffel, Messbecher, Kochsalz (aus der Küche), Leitungswasser, Lineal

Experimente 2.1 und 2.2:

schmales Glasgefäß mit Deckel (z. B. eine kleine Glasflasche, ein schmales Schraubdeckelglas o. Ä.), Küchenraspel, Teller, 1 Karotte, Leitungswasser, farbloser Öl (z. B. Babypflegeöl oder farbloser Rapsöl), 2 Reagenzgläser und Reagenzglasständer (alternativ: kleine Trinkgläser), Spatel oder kleiner Löffel, reines Vitamin C-Pulver (Apotheke/Drogeriemarkt)

Experiment 3:

Katapultbasis (z. B. Holzklotz, Klemmbausteine ...), kurzer Bleistift, dickes Gummiband, Mundspatel, leere Teelicht-Hülse, Flüssig- oder Heißkleber, Objekt zum Unterlegen und Anschrauben des Katapults (z. B. weiterer Holzklotz, Baustein ...), Alufolie, Zollstock, Ziel-Objekt, Kamera zum Filmen, PC/Laptop oder Handy/Tablet

## B2 Beschaffung und praktische Hinweise

### B2.1 Experiment 1 – Umweltgift

Im Experiment 1 wird das Wachstum von Gartenkresse untersucht. Die Kresse wird mit Salzlösungen der Konzentration 0,35 %, 0,7 %, 1,05 % sowie 1,4 % und zur Kontrolle mit Wasser gegossen.

#### Hinweise zum Material und Experimentieren

Für die Kresse wurden verschiedene Saatgut-Produkte der einfachen Gartenkresse *Lepidium sativum* getestet, die alle gleichermaßen gut keimten. Im Winter zur Zeit der Durchführung der ersten Wettbewerbsrunde finden sich in den wenigsten Supermärkten Saatgut-Tüten. Fündig wird man auf jeden Fall im Gartencenter. Falls zuhause noch Saatgut vorhanden ist, sollte überprüft werden, dass das Haltbarkeitsdatum nicht abgelaufen ist.

Als Anzuchttöpfchen eignen sich jegliche Gefäße, die unten abgeschlossen sind und aus Kunststoff oder Glas bestehen. Idealerweise Anzuchttopfplatten, die man im Garten zum Keimen von Pflanzen nutzt, kleine Joghurtbecher oder kleine Glasgefäße. Wichtig ist, dass unten keine Abtropflöcher vorhanden sind und dass keine wasserdurchlässigen Anzuchttöpfe auf Torfbasis genutzt werden, weil sich so die Gießlösungen vermischen können und Fehler im Experiment zu befürchten sind. Die Salzkonzentrationen sind sehr fein abgestimmt und kleinste Konzentrationsveränderungen haben Einfluss auf das Kressewachstum.

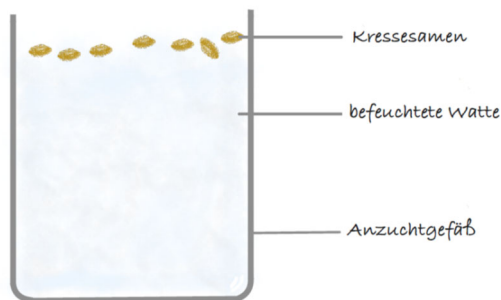


Abbildung B2.1: Querschnitt eines befüllten Anzuchttöpfchens

Für die Anzucht im Experiment hat sich einfache Watte (ohne Zusätze) der praktischen Anwendung halber bewährt. Es sollte darauf geachtet werden, die Anzuchttöpfchen gleichmäßig mit der Watte zu befüllen, die Watte leicht anzudrücken und oben eine möglichst ebene Fläche zu schaffen. Pro Töpfchen sollten 25 Kressesamen abgezählt werden, um die Vergleichbarkeit der Anzucht in den verschiedenen Töpfchen zu gewährleisten. Die Samen werden auf der Watte gut verteilt. Sie benötigen Licht, direktes Sonnenlicht ist jedoch zu vermeiden. Ein schattiger Standort für die Anzucht ist also ideal.

Wichtig ist die Beschriftung aller Anzuchttöpfchen (z. B. mit Pflanzsteckern oder Klebe-Etiketten) und aller Gläser für die Salzlösungen (am besten mit einem Marker). Darüber hinaus sollten die Pipetten, mit denen gegossen wird, entweder beschriftet werden oder nach jedem Gießen gespült werden. Beim Gießen kommt es leicht zu Verwechslungen, wenn nicht haargenau aufgepasst wird, und die Versuchsergebnisse sind dann nicht valide.

Als Gläser für die Salzlösungen können prinzipiell ganz normale Trinkgläser genutzt werden. Besonders praktisch für die Verdünnungsreihe sind 100 mL-Bechergläser aus der naturwissenschaftlichen Sammlung in der Schule mit einer 80 mL-Skala. Die Flüssigkeitsvolumina lassen sich hiermit perfekt vierteln und die Verdünnungsstufen ideal abmessen (vgl. Abb. B2.2).

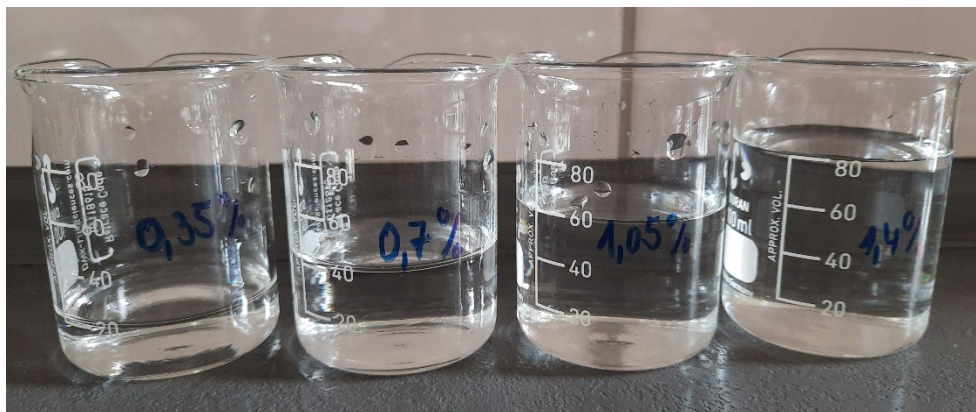
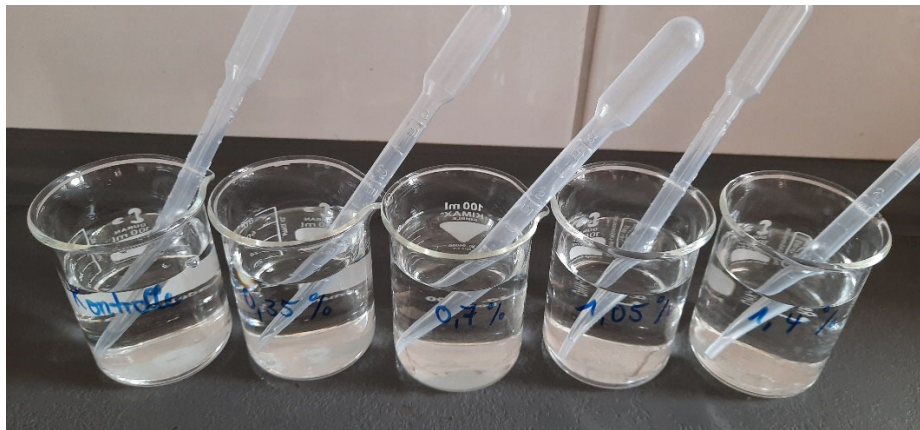


Abbildung B2.2: kleine Bechergläser mit 80 mL-Skala zur besonders praktischen Verdünnung, (von links nach rechts: Startlösung:Wasser 1:3, 2:2, 3:1, 4:0)

Für das Ansetzen der 1,4 %igen Kochsalzlösung sollte am besten eine Waage mit Nachkommastelle genutzt werden, um 7 g Kochsalz möglichst präzise abzuwiegen. Es kommt auf eine korrekt konzentrierte Startlösung an, da diese im Anschluss weiterverdünnt wird. Das abgewogene Kochsalz wird in 500 mL Leitungswasser in einem Messbecher gelöst. Es lässt sich mit kaltem Leitungswasser arbeiten; eine bestimmte Temperatur ist nicht relevant. Es sollte gerührt und darauf geachtet werden, dass sich das Salz vollständig gelöst hat, bevor die Lösung weiterverdünnt wird.

Verdünnungsreihen funktionieren entweder, indem die Verdünnungsstufen aus der Stammlösung hergestellt werden („paralleles Verdünnen“) oder indem die Verdünnungsstufen selbst weiter verdünnt werden („fortgesetztes Verdünnen“). Details mit Beispieldolumina finden sich in der Musterlösung in Aufgabe 1a. Es kann auch Mischformen geben, weshalb die Schülerinnen und Schüler eventuell eine alternative Verdünnungsreihe nutzen, die auch korrekt ist. Wenn Bechergläser mit einer geviertelten Skala genutzt werden können, empfehlen wir das parallele Verdünnen, wie in Abbildung B2.2 dargestellt. Die Teilvolumina aus der Startlösung werden alle auf das gleiche Gesamtvolumen aufgefüllt, hier 80 mL (vgl. Abb. B2.3).



*Abbildung B2.3: Kontrolle (Wasser) und Salzlösungen der Konzentration 0,35 %, 0,7 %, 1,05 %, 1,4 %*

Das Gießen der Anzuchttopfchen erfolgt mit Pipetten. So ist es möglich, gleiche Flüssigkeitsvolumina hinzuzugeben, was abgesehen von der unterschiedlichen Salzkonzentration gleiche Rahmenbedingungen für jede Anzucht bedeutet (Vergleichbarkeit). Die Watte sollte gleichmäßig befeuchtet werden, aber nicht triefend nass sein, da Staunässe das Pflanzenwachstum stört. In den folgenden 5-7 Tagen sollte so gegossen werden, dass die Watte immer feucht bleibt. Die Gläser mit den Salzlösungen werden in der Zwischenzeit abgedeckt.

Die Anzahl der Keimlinge wird im Laufe der Wachstumsuntersuchung für jede Salzkonzentration abgezählt. An drei beliebigen Tagen wird die durchschnittliche Wuchshöhe der Kressetöpfchen mittels eines Lineals bestimmt. Es müssen nicht alle Pflänzchen einzeln vermessen werden. An den ersten zwei Tagen sind die Keimlinge eventuell noch recht klein, wir empfehlen das Erfassen der Wuchshöhe ab Tag 3. Schon im Laufe der Tage wird das unterschiedliche Wachstum sehr deutlich; nach 5-7 Tagen ist das Ergebnis eindrucklich (vgl. Abb. B2.4). Watte und Kresse werden nach dem Experiment im Restmüll entsorgt.



*Abbildung B2.4: Kressewachstum nach 7 Tagen  
(von links nach rechts: Kontrolle, Salzlösungen der Konzentration 0,35 %, 0,7 %, 1,05 %, 1,4 %)*

## B2.2 Experimente 2.1 & 2.2 – Körpergift

Die Experimente 2.1 und 2.2 sind Löslichkeitsuntersuchungen zweier ausgewählter Vitamine: Provitamin A als fettlösliches und Vitamin C als wasserlösliches Vitamin.

### Hinweise zum Material und Experimentieren

Das Gefäß für das Karottenexperiment 2.1 sollte aus Glas sein; es eignen sich z. B. kleine Glasfläschchen, Babygläschen oder diverse kleine Gläser aus dem Handel (Aufstriche, Marmelade etc.). Je schmaler bzw. kleiner es ist, desto niedriger ist der Verbrauch an Karottenraspeln, Wasser und Öl. Um die Gefäßgröße möglichst flexibel zu halten, haben wir keine bestimmten Volumina vorgegeben, sondern als Maß für die Schichtdicke das 'Fingerbreit' gewählt.

Die Karotte kann ungeschält geraspelt werden. Je nach Größe des Gefäßes und der Karotte wird vermutlich nur ein Teil der Karotte benötigt. Die Schülerinnen und Schüler müssen darauf hingewiesen werden, im Umgang mit der Küchenraspel auf ihre Finger aufzupassen.

Es eignet sich jedes farblose oder annähernd farblose Öl. In der Drogerie findet man komplett farbloses Babypflegeöl. Alternativ lohnt sich ein Blick in den Küchenschrank oder ins Supermarkregal: Es gibt Rapsöle, die nur leicht gelblich gefärbt sind. Alle stärker gefärbten Öle (z. B. Oliven- oder Sonnenblumenöl) sind ungeeignet für dieses Experiment, da sie die Verfärbung der Ölschicht nicht gut erkennen lassen (vgl. Abb. B2.5).

Nach Zugabe des Öls sollte das Gefäß gut verschlossen werden. Sodann kann kräftig geschüttelt werden, um eine bestmögliche Durchmischung zu erreichen. Das Gefäß muss danach einige Minuten stehen gelassen werden. So können sich die Raspeln wieder setzen und die Schichten trennen.

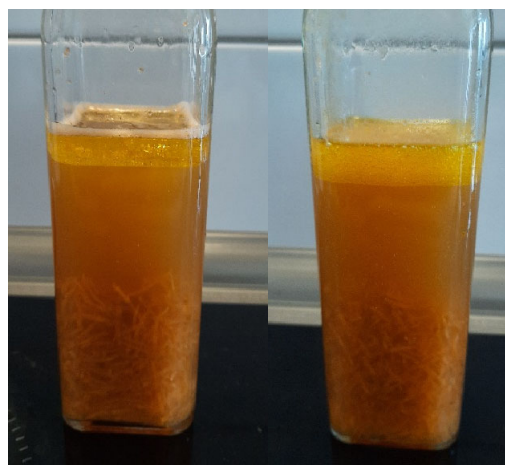


Abbildung B2.5: Übersichtung mit gelbem Öl, ungeschüttelt (links), die Schichten einige Minuten nach dem Schütteln (rechts)

Die Einzelschritte sind in Abbildung B2.6 veranschaulicht:



Abbildung B2.6: Karottenraspel in Wasser (links), Karottenraspel in Wasser überschichtet mit farblosem Öl und noch ungeschüttelt (Mitte), die Schichten einige Minuten nach dem Schütteln (rechts)

Für das Vitamin C-Experiment 2.2 kann ideal mit zwei Reagenzgläsern im Reagenzglasständer gearbeitet werden. Reagenzgläser lassen sich bei Löslichkeitsuntersuchungen besonders gut schütteln bzw. schwenken, ohne dass Testflüssigkeit oben herausspritzt. Falls vorhanden können sogar passende Gummistopfen oben aufgesteckt werden. Wenn zuhause und ohne Reagenzgläser aus der Schule experimentiert wird, können alternativ kleine Trinkgläschen genutzt werden. Diese sollten nur entsprechend vorsichtig geschüttelt werden, damit es nicht spritzt.

Reines Vitamin C-Pulver ist in der Apotheke und ggf. auch in der Drogerie erhältlich.

Bei der Entsorgung gilt, dass kein Öl in den Abfluss geraten soll, weshalb wir die Entsorgung in Haushaltspapier im Restmüll empfehlen. Wenn mit kleinen Flüssigkeitsmengen gearbeitet wird, können die Gemische auch mit Spülmittel emulgiert und über ein Sieb (Karottenraspeln) im Abfluss entsorgt werden.

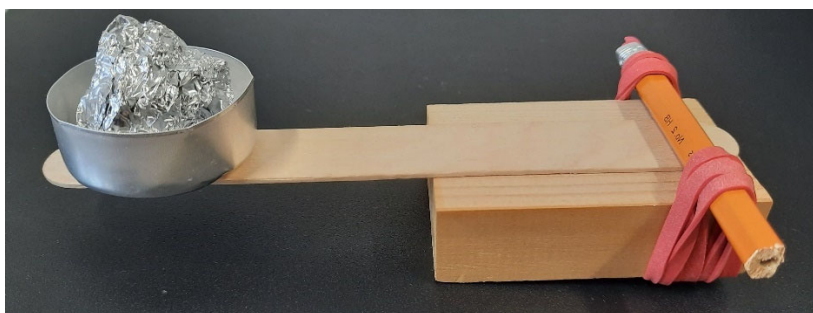
## B2.3 Experiment 3 – Giftpfeil

Im dritten Experiment wird der Sachverhalt des Bogenschusses aus Sicherheitsgründen auf ein Mini-Katapult übertragen und der Flug eines Alu-Kugelgeschosses getrackt sowie analysiert.

### Hinweise zum Material und Katapultbau

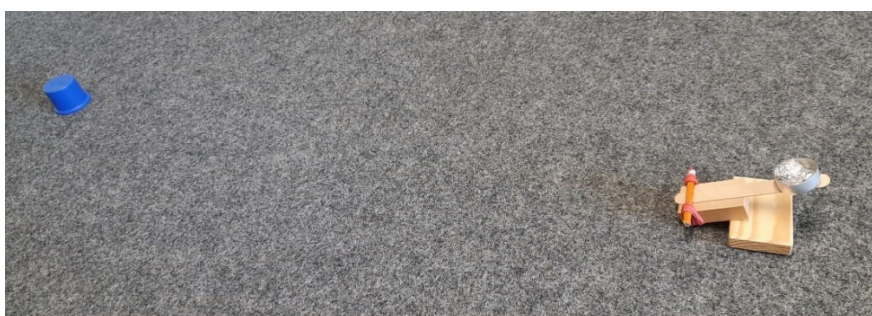
Wir haben uns bewusst dazu entschieden, keine exakten Bauteile mit Bauanleitung für das Katapult, sondern nur den Katapultaufbau vorzugeben. So können die Schülerinnen und Schüler kreativ werden anhand möglicher Objekte, die sie für die Katapultbasis zur Verfügung haben. Dies kann ein Holzklotz individueller Maße, eine hölzerne (Streichholz-) Schachtel, zusammengesteckte Klemmbausteine oder vieles Weiteres sein. Der kurze Bleistift wird mit dem dicken Gummiband fest seitlich auf die Basis gespannt (vgl. Abb. B2.7).

Ein Mundspatel ist in der Apotheke erhältlich. Oder die Schülerinnen und Schüler fragen freundlich in einer Arztpraxis. Auch in vielen Spiele-Arztkoffern ist ein Mundspatel enthalten. Ein Holzspatel von einem Eis am Stiel eignet sich wegen seiner Kürze und Dicke nicht. Am Ende des Spatels wird mit Flüssig- oder Heißkleber eine leere Teelichthülse befestigt. Am besten bleibt zwischen Teelichthülse und Ende des Spatels ein kleiner Abstand frei, damit der Katapultarm beim Schießen besser heruntergedrückt werden kann. Der fertig beklebte Katapultarm wird zwischen den fixierten Bleistift und die Katapultbasis geschoben und sollte durch die Gummibandspannung nur schwer beweglich sein. Auch durch die breite Auflagefläche des Katapultarms auf der Basis ist das Gesamtkonstrukt stabil. Als Kugelgeschoss dient fest zusammengeknüllte Aluminiumfolie.



*Abbildung B2.7: Katapult mit festgeklebter Teelichthülse und Alu-Kugelgeschoss*

Um den Winkel des Abschusses verändern zu können, wird zum Unterlegen und Anschrägen des Katapults ein weiteres Objekt wie ein Holzklotz, Klemmbaustein, Buch o. Ä. benötigt (vgl. Abb. B2.8).



*Abbildung B2.8: angeschrägtes Katapult mit 1 m entferntem Zielobjekt*

In 1 m Entfernung wird ein beliebiges Zielobjekt positioniert. Vielleicht haben Ihre Schülerinnen und Schüler auch Spaß daran, eine kleine Zielscheibe zu gestalten und aufzustellen. Nun kann es losgehen! Nach wenigen Abschüssen und veränderten Einstellungen (Länge des Katapultarms, Auslenkung des Katapultarms, Abschusswinkel, ggf. Spannung des Gummibands) wird der Umgang mit dem Katapult immer geübter.

### Tipps zum Filmen und Tracken der Flugbahn

Die Kamera soll so aufgestellt werden, dass links im Bild das Katapult und rechts das Zielobjekt sichtbar sind. Die meisten (Handy-/Tablet-) Kameras haben heute eine Slow Motion- oder Super-Slow-Motion-Funktion, die eine höhere Bildrate (frames per second) aufweist. Die Aufnahme wird also verlangsamt und es entstehen mehr Bilder. Das ist hilfreich für den Track des Geschosses, den wir im Experiment detailliert sichtbar machen wollen. Für die Videoaufnahme kann die Kamera selbst positioniert werden, z. B. in einer Halterung, dann das Video selbst gestartet und der Katapultabschuss durchgeführt werden. Im Anschluss lässt sich das Video leicht

vorne und hinten um die überflüssigen Sequenzen einkürzen. Oder das Video wird von einer zweiten Person auf Zuruf aufgenommen.

Das Video kann direkt am Handy oder Tablet bearbeitet oder die Datei auf PC oder Laptop übertragen werden. Es sollten zehn Einzelbilder aus dem Video entnommen oder gescreenshotet werden, die den Gesamtverlauf der Flugbahn vom Abschuss bis zum Auftreffen der Kugel auf den Boden darstellen. Die Einzelbilder sollen grafisch übereinandergelegt und die Punkte des fliegenden Geschosses mit einer Kurve verbunden werden. Das einzuzeichnende Koordinatensystem soll seinen Nullpunkt im Abschusspunkt haben und auf der x-Achse die Strecke  $s$ , auf der y-Achse die Höhe  $h$  darstellen.

Wir möchten den Bearbeitungsweg ausdrücklich frei lassen.

Technisch können die Schülerinnen und Schüler eigene Wege austesten. Es eignen sich Bildbearbeitungsprogramme oder diverse andere Programme. Ein möglicher Kniff besteht darin, die Transparenzrate der einzelnen Aufnahmen in den Bildeinstellungen anzupassen.

Eine eigens für das Tracking konzipierte, frei verfügbare Software ist *Tracker* bzw. *Open Tracker online*.<sup>1</sup> Es handelt sich um ein Open Source Physics-Projekt. Damit die Software sicher und einwandfrei funktioniert, wird eine aktuelle Version von Java benötigt. Falls die Schülerinnen und Schüler schon Vorerfahrung aus dem Physikunterricht mit *Tracker* haben, ist das Handling des Programmes schon geübt, der Track des Geschosses eine Sache von wenigen Klicks und das Ergebnis verblüffend. Ansonsten ist die Hemmschwelle für das selbstständige Einarbeiten in eine so spezifische Software sicherlich hoch. Sollten Ihre Schülerinnen und Schüler interessiert daran sein, können Sie sie darauf aufmerksam machen, dass es neben Anleitungen auch leicht verständliche Erklärvideos im Internet gibt. Der immense Vorteil von *Tracker* sind die vielen physikalischen Details in der Tracking-Analyse, die von interessierten Nutzern ergründet werden können.

Eine andere Methode besteht darin, die zehn Einzelbilder aus dem Video auszudrucken (ggf. auch auf Kopierfolie), analog übereinanderzulegen, die Punkte mit einem Bleistift durchzudrücken (bzw. mit Folienstift zu markieren) und die Flugbahn sowie das Koordinatensystem abschließend händisch einzuzeichnen. Oder die Schülerinnen und Schüler drucken das erste Bild aus, kennzeichnen die Achsen sowie das Flugobjekt im Diagramm, messen dann die Bilder durch und tragen die folgenden Punkte ein.

---

<sup>1</sup> Informationen unter: <https://opensourcephysics.github.io/tracker-website/>

- Installation und Verwendung der Software wurde von unserem IT-Beauftragten im März 2025 geprüft und bei aktueller Software- und Java-Version für unsere Geräte gestattet.

- Genereller Hinweis: Die Nutzung von Java-basierten Anwendungen im Browser kann potenzielle Sicherheitsrisiken mit sich bringen, insbesondere wenn veraltete Java-Versionen verwendet werden.

- Es wird daher empfohlen, stets die aktuellste Version von *Tracker* oder *Tracker Online* zu verwenden und sicherzustellen, dass alle Sicherheitsupdates installiert sind.

- Es sollten nur vertrauenswürdige – also nur die eigenen – Video- und Projektdateien geöffnet werden, um das Risiko von Schadsoftware zu minimieren.

## B3 Theoretische Grundlagen

### B3.1 Allgemeines über Gifte

„*Dosis sola facit venenum* – allein die Menge macht das Gift.“ (Paracelsus) ist der bekannteste und eingängigste Lehrsatz in der Toxikologie und Pharmakologie. Nach diesem Prinzip gibt es keine per se giftigen Stoffe, sondern nur Dosierungen, die zu einer giftigen Wirkung eines Stoffes führen. Alle Stoffe können ab einer gewissen Dosis giftig sein. Das beste Beispiel ist Wasser: Es ist lebenswichtig; ohne Wasser können Menschen nur wenige Tage überleben. Doch wird dem Körper innerhalb kurzer Zeit sehr viel Wasser zugeführt, werden der Nährstoffhaushalt und somit auch die osmotischen Prozesse in den Zellen durcheinandergebracht. Es kommt zu Wassereinlagerungen, die im Gehirn lebensgefährlich sein können. Bei einer Aufnahme von ca. sieben Litern Wasser in kürzester Zeit besteht für den Menschen akute Lebensgefahr.

Gifte sind also Stoffe, die einem Organismus im Rahmen seines Stoffwechsels Schaden zufügen, von kurzfristig bis tödlich. Es wird zwischen einer unmittelbaren (akuten Vergiftung) und einer langfristigen Schädigung (chronischen Vergiftung) differenziert. Akute Vergiftungen gehen heutzutage in Deutschland hauptsächlich auf Ethanol, Arzneimittel, illegale Drogen und Kohlenmonoxid zurück. Chronische Vergiftungen resultieren aus Stoffen und chemischen Produkten, mit denen der Organismus wiederholt und über einen längeren Zeitraum in Kontakt kommt, z. B. Produktadditive und Umweltchemikalien. In der Medizin verlaufen die meisten Behandlungen von Vergiftungen über spezifische therapeutische Verfahren. Gegengifte (Antidota) stehen lediglich für wenige Substanzen zur Verfügung. Von besonderer Bedeutung ist die Prävention von Vergiftungen, v. a. über die Etikettierung und Aufbewahrung von Stoffen sowie die Aufklärung und Belehrung.

Bekannte Giftopfer in der älteren und jüngeren Geschichte sind Sokrates († 399 v. Chr. an Coniin), Kleopatra († 30 v. Chr. an Schlangengift), Papst Clemens VII. († 1534 an Amatoxinen), Emile Zola († 1902 an Kohlenmonoxid), Stefan Zweig († 1942 an Barbital), Marilyn Monroe († 1962 an Pentobarbital), Michael Jackson († 2009 an Propofol) und Amy Winehouse († 2011 an Trinkalkohol).

#### Wirkungsbestimmende Faktoren

Die Dosis ist keinesfalls der einzige Einflussfaktor für die Giftigkeit eines Stoffes. Grundsätzlich stellt sich die Frage, wie der Stoff freigesetzt, vom Organismus aufgenommen, verteilt, verstoffwechselt, gespeichert oder ausgeschieden wird. Relevant sind diesbezüglich die physikochemischen Stoffeigenschaften:

- Molekülgröße: Welche Barrieren im Körper kann der Stoff überwinden (z. B. Resorption im Darm, Blut-Hirn-Schranke)?
- Stereometrie: Verbindungen mit gleicher Summenformel, aber verschiedener Struktur und Konfiguration (Isomere) können unterschiedlich auf den Körper wirken.
- Löslichkeit: Ist der Stoff wasser- und/oder fettlöslich? Die Polarität der Verbindung ist hier entscheidend.
- Azidität: Wirkt der Stoff als Brønsted-Säure oder – Base?
- Stabilität: Wie stabil oder reaktiv ist die chemische Verbindung?

Darüber hinaus spielt natürlich das biologische System eine wesentliche Rolle, die Spezies. Interessant ist, dass innerhalb derselben Spezies bei der gleichen Dosis individuelle Vergiftungsunterschiede auftreten. Einflussfaktoren sind u. a. Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht und genetische Faktoren. Die sogenannte „Priscus-Liste“ listet beispielsweise Wirkstoffe auf, die potenziell gefährlich für ältere Menschen sein können.

Als Kontextfaktoren der Vergiftung gelten u. a. der Applikationsweg, die Applikationsdauer, der Zeitpunkt der Aufnahme sowie die Umgebungsbedingungen (Temperatur, Sauerstoffgehalt der Luft etc.).

#### Letale Dosis und andere Werte

Um die Giftigkeit von Stoffen in Bezug auf ihre Aufnahmemenge zu charakterisieren und das Gefährdungspotenzial zu bewerten, wurde als Bezugsgröße die letale Dosis eingeführt. Die am meisten genutzte Messgröße ist der LD<sub>50</sub>-Wert. Es handelt sich bei diesem Wert um die einmalig verabreichte Menge, die in den folgenden 14 Tagen 50 % der Versuchstiere (meistens Ratten, Mäuse oder Kaninchen) tötet. Damit die Toxizität vergleichbar für den Menschen dargestellt werden kann, wird der Wert in (Milli-) Gramm pro

Kilogramm Körpergewicht (mg oder g/kg) angegeben.<sup>2</sup> Ein Beispiel: Der LD<sub>50</sub>-Wert von Coffein beträgt 192 mg/kg bei oraler Aufnahme. Bei ca. 150 g schweren Ratten sterben 50 % der Tiere, wenn sie 28,8 mg oral aufnehmen. Bei ca. 60 kg schweren Menschen sterben 50 %, wenn sie 11,5 g oral aufnehmen. Dennoch muss beachtet werden, dass die Organismen von Nagetieren und Menschen sich unterscheiden. Die Giftwirkung hängt von der Entwicklung des Gehirnes eines Lebewesens ab. Die experimentell ermittelten Werte von Versuchstieren können also nur näherungsweise auf den Menschen übertragen werden und es sind zusätzliche Tests nötig. Es gibt inzwischen – auch aus ethischen Gründen – Bestrebungen, toxikologische Daten anstatt aus Tierversuchen durch Datenbanken, Software und KI zu ermitteln.

(rats, intragastric, mg/kg)

| LD <sub>50</sub> | TC  | Description           | Score |
|------------------|-----|-----------------------|-------|
| ≤1               | I   | Extremely toxic       | 6     |
| 1-50             | II  | Highly toxic          | 5     |
| 50-500           | III | Moderately toxic      | 4     |
| 500-5,000        | IV  | Slightly toxic        | 3     |
| 5,000-15,000     | V   | Practically non-toxic | 2     |
| >15,000          | VI  | Relatively harmless   | 1     |

Abbildung B3.1: Klassifizierung der Toxizität von Stoffen auf Grundlage von LD<sub>50</sub>-Werten

Der Einflussfaktor der Aufnahmeart bzw. des Applikationsweges spiegelt sich in konkreten LD<sub>50</sub>-Werten wider:

|                                     | Dimethylsulfoxid | Nikotin | Tabun |
|-------------------------------------|------------------|---------|-------|
| transdermal (über die Haut)         | 40.000           | 140     | 18    |
| oral                                | 14.500           | 50      | 3,7   |
| subkutan (unter die Haut)           | 12.000           | 25      | 0,16  |
| intraperitoneal (in die Bauchhöhle) | 8.200            | 14,5    | 0,49  |
| intravenös                          | 360              | 2,8     | 0,066 |

Tabelle B3.1: LD<sub>50</sub>-Werte für die Ratte, bei verschiedenen Aufnahmearten, in mg/kg Körpergewicht

Quelle: Strey, K. (2021): Die Welt der Gifte. Lehmanns Media GmbH, S. 9.

Neben der letalen Dosis wird die letale Konzentration vor allem im ökotoxikologischen Bereich in den Bezugssystemen Wasser, Erde und Luft betrachtet.

Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Chemikalien-Einstufung nach GHS und den LD<sub>50</sub>-, LC<sub>50</sub>-Werten:

4 Kategorien (UN: 5 Kategorien):

• **Kategorie 1: Lebensgefahr**

- LD<sub>50</sub> (oral) ≤ 5 mg/kg
- LD<sub>50</sub> (dermal) ≤ 50 mg/kg
- LC<sub>50</sub> (inhal., Gas) ≤ 100 ppm
- LC<sub>50</sub> (inhal., Dampf) ≤ 0,5 mg/l
- LC<sub>50</sub> (inhal., Aerosol) ≤ 0,05 mg/l

• **Kategorie 2: Lebensgefahr**

- 5 mg/kg < LD<sub>50</sub> (oral) ≤ 50 mg/kg
- 50 mg/kg < LD<sub>50</sub> (dermal) ≤ 200 mg/kg
- 100 ppm < LC<sub>50</sub> (inhal., Gas) ≤ 500 ppm
- 0,5 mg/l < LC<sub>50</sub> (inhal., Dampf) ≤ 2,0 mg/l
- 0,05 mg/l < LC<sub>50</sub> (inhal., Aerosol) ≤ 0,5 mg/l



Gefahr

• **Kategorie 3: Giftig**

- 50 mg/kg < LD<sub>50</sub> (oral) ≤ 300 mg/kg
- 200 mg/kg < LD<sub>50</sub> (dermal) ≤ 1000 mg/kg
- 500 ppm < LC<sub>50</sub> (inhal., Gas) ≤ 2500 ppm
- 2,0 mg/l < LC<sub>50</sub> (inhal., Dampf) ≤ 10,0 mg/l
- 0,5 mg/l < LC<sub>50</sub> (inhal., Aerosol) ≤ 1,0 mg/l



Gefahr

• **Kategorie 4: Gesundheitsschädlich**

- 300 mg/kg < LD<sub>50</sub> (oral) ≤ 2000 mg/kg
- 1000 mg/kg < LD<sub>50</sub> (dermal) ≤ 2000 mg/kg
- 2500 ppm < LC<sub>50</sub> (inhal., Gas) ≤ 5000 ppm
- 10,0 mg/l < LC<sub>50</sub> (inhal., Dampf) ≤ 20,0 mg/l
- 1,0 mg/l < LC<sub>50</sub> (inhal., Aerosol) ≤ 5,0 mg/l



Achtung

Abbildung B3.2: Differenzierte Kategorisierung der Toxizität von Stoffen nach GHS

Überdies gibt es zahlreiche weitere Kenngrößen, mit denen die Toxizität von Stoffen und ihr Gefährdungspotenzial in unterschiedlichen Kontexten dargestellt werden. Beispielsweise spielt der ADI-Wert (acceptable daily intake, auch: ETD-Wert, erlaubte Tagesdosis) eine große Rolle in der Lebensmittelindustrie. Er kennzeichnet die tägliche Menge pro Kilogramm Körpergewicht, die gesundheitlich unbedenklich für den Menschen ist. Der MAK-Wert (maximale Arbeitsplatz-Konzentration) wird in Deutschland von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Arbeitskontext festgeschrieben als der Grenzwert eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, der bei einer täglichen Expositionsdauer von acht Stunden auch langfristig nicht gesundheitsschädlich ist

<sup>2</sup> Eine Auswahl an LD<sub>50</sub>-Werten findet sich im Anhang.

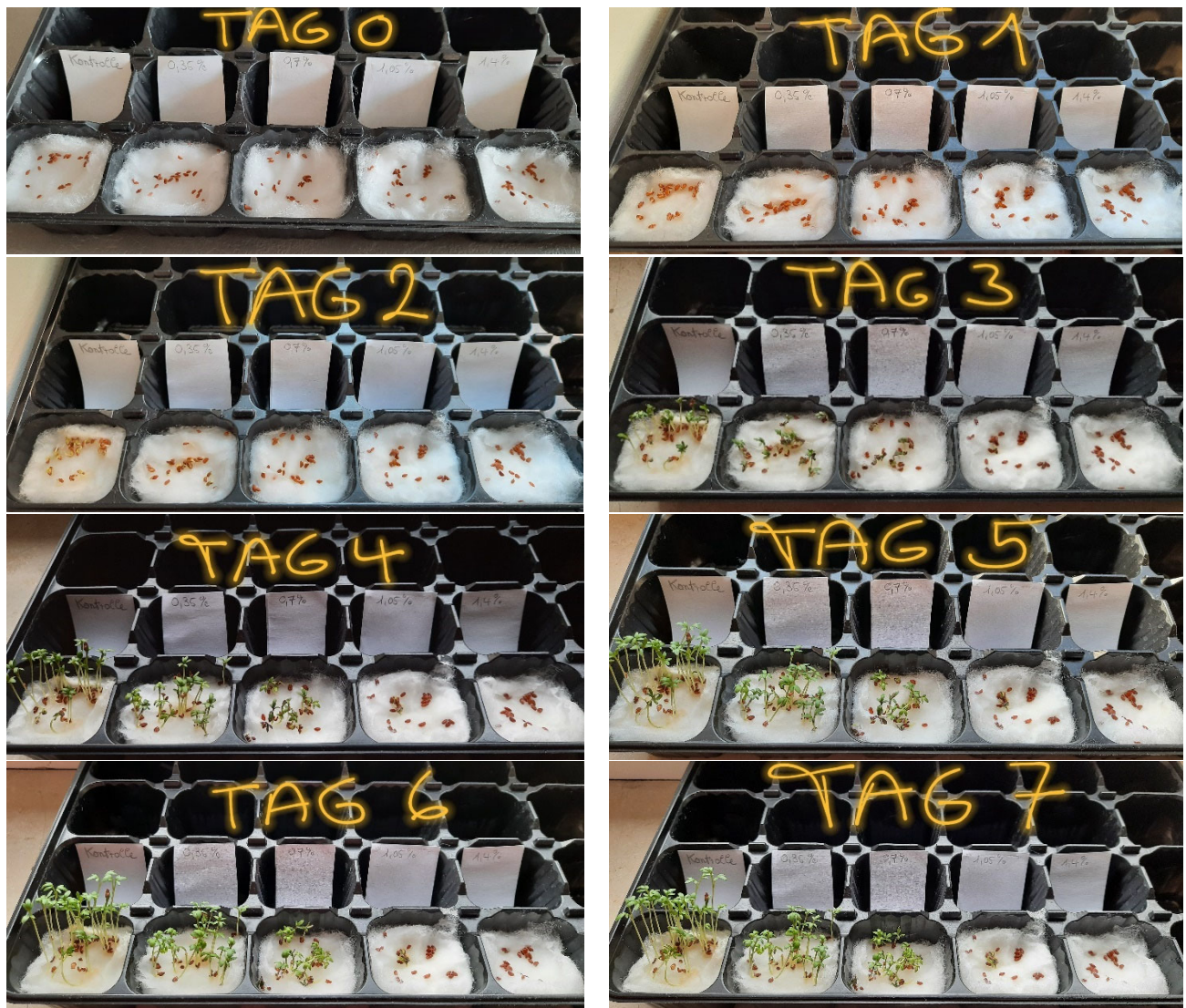
## B3.2 Experiment 1 – Umweltgift

Im ersten Experiment der Aufgabenrunde der IJSO 2026 wird der Fokus auf Gifte in der Umwelt gelegt. Zu betrachten sind neben den umweltgefährdenden Stoffen die Pflanzen als Organismen und das Erdreich als kontaminiertes System.

### Gartenkresse

Gartenkresse (*Lepidium sativum*) ist eine einjährige Kulturpflanze aus der Familie der Kreuzblütler mit ursprünglichem Verbreitungsgebiet in Vorderasien. Die Samen keimen innerhalb von zwei Tagen und wachsen binnen einer Woche zu Sprossen heran, die als Superfood (Vitamin C, Vitamin B, Vitamin A, Eisen, Calcium, Folsäure, Senfölglykoside) vielfach Verwendung in der Küche finden. Im Freien wächst die Pflanze bis zu einer Höhe von ca. 80 cm. Sie bildet im Sommer kleine weiße Blüten aus. Gartenkresse ist eher anspruchslos und gedeiht besonders gut auf humusreichen, feuchten Böden.

Ihre Keimung ist hingegen belastungsanfällig und so wird Gartenkresse als Detektorpflanze in der Bioindikation verwendet. Beim 'Kresstest' kann die Existenz von Schadstoffen in der Luft, im Boden oder im Wasser im Vergleich zur Kontrolle überprüft werden. Ein Beispiel ist das Bestimmen der Qualität von selbst hergestelltem Kompost mit dem Kresstest, um phytotoxische Stoffe vor der Anwendung des Kompostes auszuschließen.<sup>3</sup> Auch zeigt sich bei der Kresse-Keimung sehr deutlich Salzstress:



Abbildungen B3.3-B3.10: Wachstum von Gartenkresse über 7 Tage  
(von links nach rechts: Kontrolle, Salzlösungen der Konzentration 0,35 %, 0,7 %, 1,05 %, 1,4 %)

<sup>3</sup> Vgl. Anleitung des Forschungsinstituts für biologischen Landbau FiBL im Anhang.

## Salztoxizität

Kochsalz besteht größtenteils aus Natriumchlorid NaCl. Es wird entweder aus Sole gewonnen, in Bergwerken abgebaut oder aus Küstengewässern oder Salzseen gewonnen. Das natürliche Vorkommen ist geologisch zu differenzieren und lokal sehr unterschiedlich. Auch der Salzgehalt der Meere variiert stark: Durchschnittlich beträgt er 3,5 % und reicht von 1,2 % in der Ostsee über 3,8 % im Mittelmeer bis zu 25-33 % im Toten Meer. Das Tote Meer ist ein gutes Beispiel dafür, dass hohe Salzkonzentrationen schwierige Lebensbedingungen für die meisten Lebewesen sind. Hier können nur salztolerante Arten, nämlich halophile Mikroorganismen und Pflanzen überleben.

Der LD<sub>50</sub>-Wert von Kochsalz liegt bei Erwachsenen zwischen 0,5 und 5 g/kg Körpergewicht. Lebensbedrohende Mengen an Kochsalz können erwachsenen Personen nur zwanghaft verabreicht und intuitiv nicht freiwillig aufgenommen werden. Bei kleinen Kindern ist die Lage ganz anders und deutlich verschärft. Für Babys beträgt der LD<sub>50</sub>-Wert nur 12 mg/kg!

Wird dem Körper über längere Zeit zu viel Kochsalz zugeführt, gerät der körpereigene Wasserhaushalt stark durcheinander. Folgeschäden an den Nieren können auftreten. In Tierversuchen mit Mäusen zeigten sich als Folge von sehr hohen Salzdosen kognitive Defizite, Entzündungen und Bluthochdruck.

## Bodenversalzung und Gegenmaßnahmen

Bodenversalzung bedeutet eine erhöhte Anreicherung an leichtlöslichen Salzen im (Ober-)Boden. Dazu zählt Natriumchlorid, aber auch andere Ionenverbindungen.

Für das genaue Verständnis ist es hilfreich, die Wasserbilanz eines Bodens in den Blick zu nehmen. Neben dem natürlichen Zu- und Abfluss durch umgebende Wasserquellen wie Flüsse, Seen und Grundwasser sind von entscheidender Bedeutung die Niederschlagsmenge und das Maß an Verdunstung:

- Bei einer positiven Wasserbilanz ist die eintretende Menge an Wasser (Niederschläge) größer als die austretende Menge (Verdunstung), was dazu führt, dass das Wasser in den Unterboden abfließt und gelöste Ionen mit sich trägt. Dieser Effekt wird als Auswaschung bezeichnet.
- Bei einer negativen Wasserbilanz ist die austretende Menge an Wasser (Verdunstung) größer als die eintretende Menge (Niederschläge), wodurch Wasser aus dem Unterboden kapillar aufsteigt und die Salze aus den tieferen Schichten in den Oberboden mittransportiert, wo sie sich anreichern. Die Folge ist die Versalzung der entsprechenden Böden. Dies betrifft die ariden und semiariden Gebiete der Erde.

Zu weiteren natürlichen Ursachen zählt der Eintrag von Salzen in den Oberboden durch eindringendes Meerwasser und Gisch, vor allem in der Nähe von Küsten. Salzhaltiger Staub kann durch Winde transportiert und durch Niederschläge gelöst werden. Mineralisches Gestein verwittert durch Niederschläge und gelöste Salze gelangen auch auf diesem Weg in den Boden.

Dazu kommen weitere Formen der Versalzung, die direkt vom Menschen verursacht werden: Bei der Bewässerung ist Staunässe – aufgrund von Überbewässerung oder schlechter Drainage – problematisch. Anstatt zu versickern verdunstet ein großer Teil des Wassers. Die gelösten Salze verbleiben dann am Boden. Außerdem reichern sich Salze im Oberboden an, wenn salzhaltige Düngemittel zum Einsatz kommen und wenn die Bewässerung mit salzhaltigem Wasser vorgenommen wird. Ein Grund hierfür wäre die Versalzung des Grundwassers und der Brunnen, z. B. durch naheliegende Salzstöcke, oder versalzene Wasser, das aus Gezeitenflüssen entnommen wird.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Weiterführende Informationen in den Forschungsnachrichten der Leibniz-Gemeinschaft (08/2025): Globale Versalzungskrise. Die Versalzung von Gezeitenflüssen nimmt zu – mit Auswirkungen auf die Wasserversorgung. Verfügbar unter: <https://www.leibniz-gemeinschaft.de/ueber-uns/neues/forschungsnachrichten/forschungsnachrichten-single/newsdetails/versalzenes-trinkwasser>.

Bodenversalzung betrifft, getrieben durch den Klimawandel, immer mehr Regionen der Erde. Aufgrund geringerer Niederschlagsmengen und länger anhaltender Trockenperioden (oft früher einsetzend und mit durchschnittlich höheren Temperaturen) erniedrigt sich sukzessive der Anteil an Süßwasser in den Böden. Weiterhin problematisch ist der Anstieg des Meeresspiegels, der insbesondere die Küstenregionen der Kontinente in eine schwierige Lage versetzt. In einigen Küstengebieten wurde bisher eine Versiebenfachung der Salzkonzentration im Boden konstatiert. Aktuell lebt fast die Hälfte der Menschen in Küstenregionen; in tiefliegenden Küstenregionen sind es derzeit 600 Mio Menschen, bis ins 22. Jahrhundert können es Prognosen zufolge über eine Milliarde Menschen werden.

Eine große Herausforderung ist der hohe und weiter steigende Trinkwasserbedarf. Dazu kommt, dass einerseits Süßwasser in der Landwirtschaft unmittelbar benötigt wird und dass andererseits gesunde Böden für den Anbau und als Weidegründe zur Verfügung stehen müssen. Versalzene Böden werden aufgegeben, wenn Gegenmaßnahmen (noch) nicht greifen oder zu spät kommen. In den USA betrifft das aktuell 20-25 % der Anbauflächen, in Syrien 30-35 %, in Ägypten 30-40 %, im Irak 50 %. Weltweit wird geforscht, um der Boden- sowie Gewässerversalzung unmittelbare und vor allem auch langfristige Strategien entgegenzuhalten. Ein Beispiel sind Züchtungen salztoleranter Kulturpflanzen und Modellversuche: Die Weizensorten Sakha-93 und Sakha-61 bringen Ernteerträge selbst bei hohem Salz- und Trockenstress. Auch salztolerante Mais- und Reispflanzen werden erforscht.

Klassische Maßnahmen gegen Bodenversalzung bestehen in der bewussten Umkehr der Ursachen:

- Positive Wasserbilanz: Durch erhöhte Bewässerung vergrößert sich der Effekt der Auswaschung und Salze werden beim Versickern in tiefere Bodenschichten abgeleitet.
- Keine Staunässe: Da sich die Verdunstung bei gestautem Wasser erhöht, ist es wichtig, effizient zu bewässern. Beispiele sind Tröpfchenbewässerung und Drainage.
- Bewässerung mit Regenwasser: Bewässert werden sollte mit möglichst salzarmem Wasser. Regenwasser bietet sich diesbezüglich an. Grundwasser hat demgegenüber einen höheren Salzgehalt.
- Kein oder wenig Einsatz von salzhaltigen Düngemitteln: Umso weniger salzhaltige Düngemittel genutzt werden, desto weniger Salze gelangen künstlich in den Boden.
- Vermeidung von Überschwemmungen durch Meerwasser: Durch Dämme, Schleusen und Wehre soll der Eintrag von Meerwasser in Küstenregionen und in Flüsse verringert bzw. verhindert werden.

### Schwermetalle im Boden

Es gibt keine einheitliche Definition für Schwermetalle. Meistens wird als Bezugswert eine Dichte über  $5 \text{ g/cm}^3$  herangezogen. Typischerweise werden die Edel- und Basismetalle, teilweise auch Halbmetalle wie Arsen und Germanium dazugezählt.

Dass Schwermetallbelastung in Ackerböden eine grundsätzliche Problematik darstellt, ist bekannt. Jedoch wird das weltweite Ausmaß erst durch eine großangelegte neue Studie aus dem Jahr 2025 um Deyi Hou von der Tsinghua Universität in Peking beziffert. Es wurden Daten aus 1.493 regionalen Studien mit insgesamt 796.084 Bodenproben verzeichnet und modelliert:

- ! 14-17 % der Ackerflächen auf der Erde (ca. 242 Millionen Hektar) sind mit mindestens einem giftigen Metall belastet, welches in einer Konzentration jenseits der landwirtschaftlichen Grenzwerte auftritt.
- ! 6,8 % aller Böden auf der Erde überschreiten die Grenzwerte für Umwelt und menschliche Gesundheit.
- ! 0,9-1,4 Milliarden Menschen leben in Hochrisikogebieten, in denen die Böden in gesundheitlich bedenklichen Konzentrationen mit Metallen kontaminiert sind.
- ! Cadmium belastet die meisten Böden, insbesondere in Süd- und Ostasien, Teilen des Nahen Ostens und Afrika. Auch Nickel, Chrom, Arsen, Kobalt, Blei und Kupfer sind in diversen Regionen in zu hohen Konzentrationen in den Böden vorhanden.
- ! Es lässt sich ein besonders stark kontaminierter eurasischer Gürtel von Südeuropa über den Nahen Osten über Südasien bis in den Süden Chinas umreißen (vgl. Abb. B3.11).

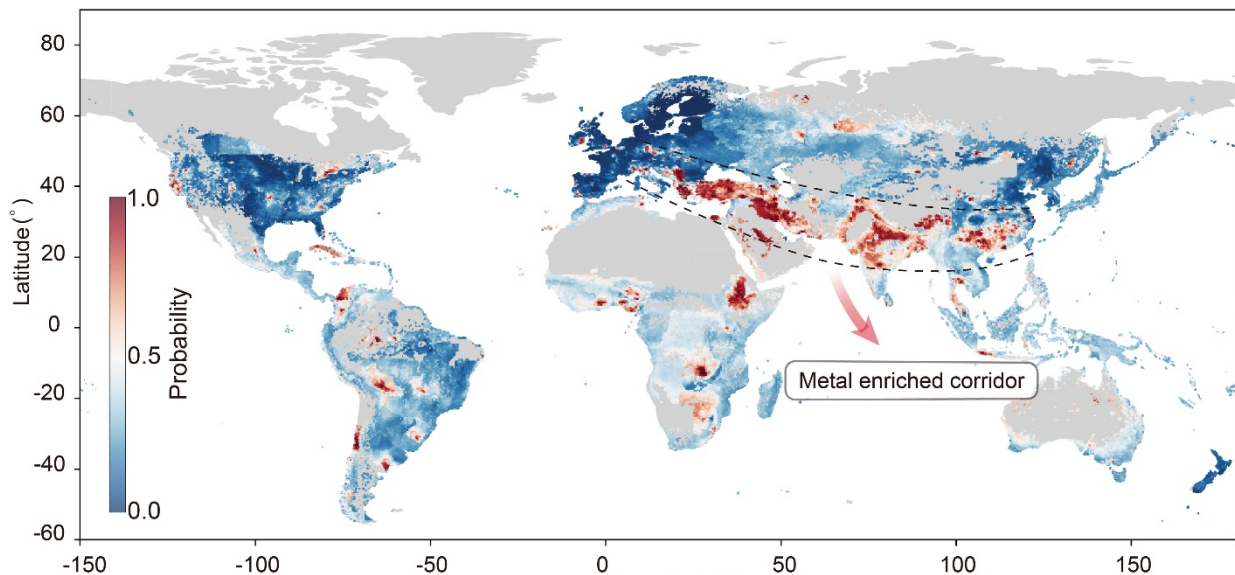


Abbildung B3.11: Weltweite Belastung von Ackerflächen mit Schwermetallen (Arsen, Cadmium, Kobalt, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei) in Bezug auf landwirtschaftliche Grenzwerte; kontaminierter Gürtel quer durch Eurasien  
Deyi Hou et al. (2025)

Wie auch beim Salz sind bei der Schwermetallanreicherung natürliche und anthropogene Ursachen zu benennen. Generell ist metallreiches Gestein einer natürlichen Verwitterung ausgesetzt. Die Metalle werden also ausgewaschen und verteilen sich über natürliche Abflüsse wie Flüsse. Darüber hinaus wurde seit der Bronzezeit von verschiedenen Kulturen und Völkern Bergbau betrieben, insbesondere im eurasischen Gürtel. Durch Winde werden erzhaltige Stäube weit verteilt. Metalle werden seit der Industrialisierung im großen Maßstab in teilweise aggressiven chemischen Verfahren aufgeschlossen. Dazu haben sich verschiedene Zweige der Metallindustrie etabliert. Durch Unglücke und (illegale) Entsorgungsproblematiken, z. B. von Schlacken, gelangen Metalle unkontrolliert in die Umwelt. Rund um diese Standorte, auch in der Nähe von Mülldeponien und Verkehrswegen sind oftmals hohe Schwermetallkonzentrationen im Boden messbar, was umso schwieriger ist, je saurer der Boden ist. Metalle, die in die Bodenschichten gelangen, reichern sich über lange Zeit dort an. Wenn sie von Pflanzen aufgenommen werden, nehmen sie ihren Weg in die Nahrungskette. Sie kontaminieren ebenso Wasser. Aufgrund ihrer toxischen Wirkung haben diese Metalle ein beträchtliches Gefahrenpotenzial für das ganze lokale Ökosystem und die menschliche Gesundheit. Sie reichern sich in Organismen an und haben meistens – natürlich je nach aufgenommener Menge – eine langfristig schädigende Wirkung, weshalb Schwermetallvergiftungen nicht selten erst nach längerer Zeit auffallen.

Einige Schwermetalle, z. B. Kupfer, Zink und Chrom, sind ein Sonderfall. Sie sind auch lebensnotwendige Spurenelemente und begünstigen in geringer Konzentration das Wachstum. Ihre toxische Wirkung tritt ab einer gewissen Konzentration ein (vgl. Abb. B3.12).

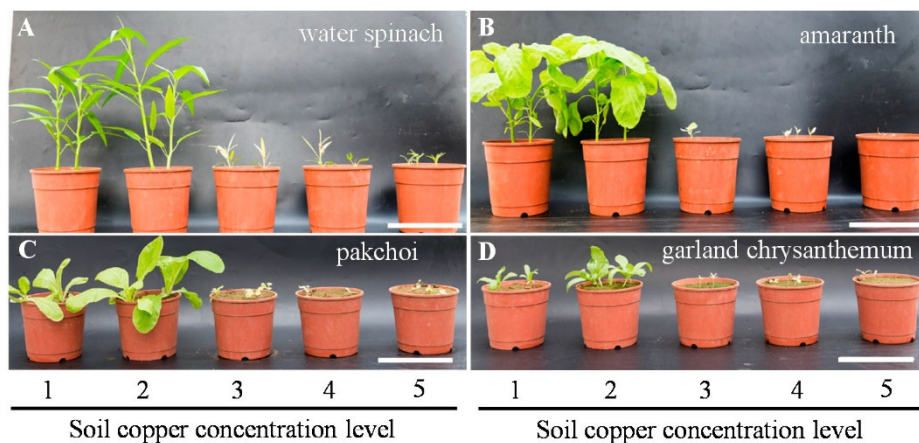


Abbildung B3.12: Wachstum von Wasserspinat, Amaranth, Pakchoi und Garland-Chrysantheme bei unterschiedlichen Kupfer-Konzentrationen (1 → 5) über 28 Tage  
Chiou, Hsu (2019)

## Bodensanierung und Superpflanzen

Wird der Boden nicht aktiv saniert, bleiben die Schwermetalle gespeichert. Sie werden nicht natürlich abgebaut. Bodensanierungen beanspruchen viel Zeit und sind nicht immer umsetzbar – erst recht nicht auf großen Arealen. Die Vermeidung einer Belastung ist also von größter Priorität.

Bei bereits kontaminierten Böden ist die wichtigste erste Maßnahme eine Bodenanalyse.

Die Belastungsproblematik und etwaige Gegenmaßnahmen hängen nicht nur vom Bodentyp, der betroffenen Fläche, der Menge an Wasser sowie der wachsenden Pflanzenart ab, sondern auch vom jeweiligen Schwermetall, da diese im/am Boden sehr unterschiedlich mobil sind. Cadmium wird beispielsweise gut von Pflanzen aufgenommen und führt zu einer inneren Kontamination. Dagegen haftet Blei eher an Pflanzen an und belastet sie äußerlich. Eine Schutzschicht aus Folie oder Mulch zwischen Boden und Pflanze, aber auch das Waschen der Pflanzen nach der Ernte und das Entfernen der äußeren Blätter könnte die Belastung der Ernte in diesem Fall schon verringern.

Ebenfalls spielt der pH-Wert des Bodens eine wesentliche Rolle. In sauren Böden ( $\text{pH} < 7$ ) sind die Metall-Ionen gut löslich: je saurer das Milieu, desto stärker dieser Effekt. Eine mögliche Gegenmaßnahme wäre also die Erhöhung des pH-Werts, beispielsweise durch Kalkung des Bodens. Hiermit wird nicht die Konzentration der Schwermetalle, sondern lediglich ihre Verfügbarkeit reduziert, was die Aufnahme durch Pflanzen erschwert.

Die sogenannte Phytosanierung ist eine Gegenmaßnahme, die darauf abzielt, Schwermetalle schrittweise aus dem Boden zu entfernen. Bestimmte Pflanzen, sogenannte Hyperakkumulatoren oder – breiter gefasst – Superpflanzen, werden gezielt flächig angebaut, um die Schwermetalle aus dem Boden zu entziehen und zu binden. Es handelt sich dabei um Pflanzen, die Schwermetall-Ionen in sehr hohen Konzentrationen aufnehmen und in den Vakuolen oft in Chelatkomplexen speichern. Diese Methode ist ökologisch, relativ kostengünstig, nicht invasiv und erhält die natürliche Struktur und Fruchtbarkeit des Bodens. Dennoch ist es ein langwieriges Verfahren, das über diverse Vegetationszyklen mehrfach angewendet werden muss und entsprechend der Wurzeltiefe nur eine Belastung des Oberbodens, nicht aber tiefere Bodenbelastungen reduziert. Zu beachten ist insbesondere, dass die Pflanzen in der Folge stark kontaminiert sind! Sie dürfen nicht kompostiert werden, sondern müssen gezielt entfernt und im Sondermüll entsorgt werden, damit die Schwermetalle nicht zurück in die Umwelt gelangen.

In Anbetracht des Ausmaßes der weltweiten Schwermetallbelastung ist das Potenzial dieser Maßnahme groß und wird intensiv erforscht. Grenzen bestehen aktuell beispielsweise noch im eher mäßigen Wachstum. Interessant ist, dass es auch Pflanzen gibt, die Seltene Erden wie Lanthan, Neodym oder Cer akkumulieren, deren Bedarf für den Technologiemarkt sehr hoch ist. Bei der Methode des Phytomining werden die Pflanzen bei der Entsorgung verbrannt und die Schwermetalle oder Seltenen Erden gezielt zurückgewonnen. Anders herum können Superpflanzen als Zeigerpflanzen für metallhaltige Böden eingesetzt werden.

Es sind heute über 700 Superpflanzen bekannt, vor allem aus der Familie der Kreuzblütler *Brassicaceae* und der tropischen Familie der *Phyllanthaceae*. Das Spektrum der Zielmetalle ist weit. Beispiele für Superpflanzen sind Sonnenblumen, Senfpflanzen, Petersilie, Sommerzypresse, Hallersche Schaumkresse und Schilfgras (auf sumpfigem Grund).



Abbildung B3.13: Hallersche Schaumkresse (*Arabidopsis halleri*)

### B3.3 Experimente 2.1 & 2.2 – Körpergift

Von der Umwelt kommen wir nun auf den Körper. Im Bezug auf die Experimente werden wasserlösliche Vitamine fettlöslichen gegenübergestellt und Einschätzungen über die Toxizität abgeleitet. Ein spannender und alltagsrelevanter Kontext ist die Beurteilung von Seefisch für unsere Ernährung.

#### Löslichkeit

Die Löslichkeit ist eine Stoffeigenschaft, die u. a. abhängig von der Temperatur ist. Wenn ein Stoff sich löst, verteilt er sich homogen in einem Lösungsmittel, meist in einer flüssigen Phase. Man unterscheidet (leicht, mäßig, schwer) löslich von unlöslich. Die Löslichkeit wird bestimmt von der Art und Polarität der Teilchen (Ionen, Atome, Moleküle) sowie von der Polarität des Lösungsmittels. Unter dem Merksatz "*Similia similibus solvuntur*. – Gleiches löst sich in Gleichem", wird auf die Polaritäten verwiesen: Polare Stoffe lösen sich in polaren Lösungsmitteln. Unpolare Stoffe lösen sich in unpolaren oder wenig polaren Lösungsmitteln. Zwischen den Teilchen treten je nach Polarität verschiedene Wechselwirkungen auf (Dipol-Dipol-Kräfte, Wasserstoffbrücken, van-der-Waals-Kräfte), mit denen die Löslichkeit näher erklärt werden kann.

Salze sind Ionenverbindungen; sie enthalten geladene, polare Teilchen. Moleküle können polar oder unpolar sein. Ladungsschwerpunkte, z. B. funktionelle Gruppen innerhalb des Moleküls charakterisieren polare Verbindungen.

Typische Bezeichnungen für Löslichkeiten sind:

- hydrophil (von altgr. *hýdor* „Wasser“ + *phílos* „Freund“) = wasserliebend; gute Löslichkeit in Wasser und polaren Lösungsmitteln
- hydrophob (von altgr. *hýdor* „Wasser“ + *phóbos* „Furcht“) = wasserfürchtend/-meidend; schlechte Löslichkeit in Wasser und polaren Lösungsmitteln
- lipophil (von altgr. *lípos* „Fett“ + *phílos* „Freund“) = fettliebend; gute Löslichkeit in Fetten/Ölen und unpolaren Lösungsmitteln
- lipophob (von altgr. *lípos* „Fett“ + *phóbos* „Furcht“) = fettfürchtend/-meidend; schlechte Löslichkeit in in Fetten/Ölen und unpolaren Lösungsmitteln  
→ Hydrophile Stoffe sind meist auch lipophob. Lipophile Stoffe sind meist auch hydrophob.
- amphiphil (von altgr. *amphí* „auf beiden Seiten“ + *phílos* „Freund“) für Löslichkeit in Fetten/Ölen/unpolaren Lösungsmitteln UND Wasser/polaren Lösungsmitteln; Moleküle mit polaren und unpolaren Molekülteilen, z. B. Tenside

**Vitamin C (L-Ascorbinsäure)** ist ein Beispiel für einen hydrophilen, lipophoben Stoff. Das Molekül enthält mehrere Strukturelemente bzw. funktionelle Gruppen, die den polaren Charakter begründen: Die Carbonylgruppe (-CO), zwei enolische Hydroxylgruppen und zwei weitere Hydroxylgruppen (-OH).

Im Gegensatz dazu ist **Provitamin A (beta-Carotin)** ein Beispiel für einen lipophilen, hydrophoben Stoff. Die Verbindung besteht ausschließlich aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen, die als lange, ungesättigte Kohlenwasserstoffkette mit Methylgruppen (-CH<sub>3</sub>) und endständigen Ringstrukturen aufgebaut sind. All diese Strukturelemente sind unpolar.

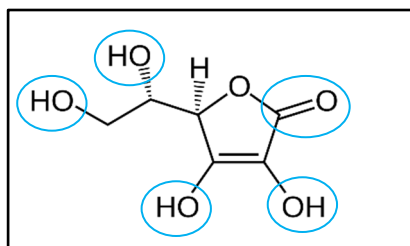


Abbildung B3.14: Vitamin C (L-Ascorbinsäure), funktionelle Gruppen farbig markiert

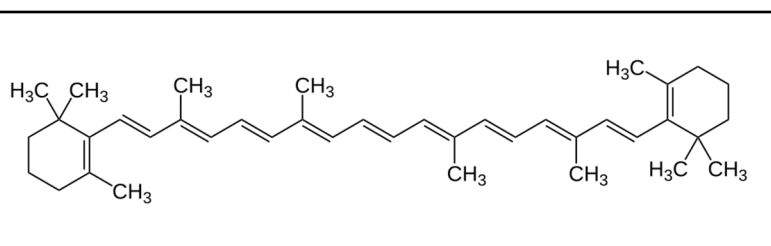


Abbildung B3.15: Provitamin A (beta-Carotin)

## Vitamine

Der Begriff Vitamin leitet sich von lat. *vita* = Leben ab. Vitamine als essenzielle Mikronährstoffe sind lebensnotwendig und müssen regelmäßig über die Nahrung zugeführt werden, da sie nicht selbst vom Körper gebildet werden können (mit Ausnahme von Vitamin D3, B3, K2 und B7; Menge ggf. aber nicht ausreichend).

Einige werden in Form von Vorstufen, den Provitaminen, aufgenommen und vom Körper in die entsprechenden Vitamine umgewandelt. Ein Beispiel ist beta-Carotin (Provitamin A). Beta-Carotin wird mit Sauerstoff und durch das Enzym  $\beta$ -Carotin-15,15'-Dioxygenase an Position 15 in zwei all-*trans*-Retinal-Moleküle gespalten (vgl. Abb. B3.16). All-*trans*-Retinal wird in der Folge zu Retinol (Vitamin A<sub>1</sub>) reduziert.

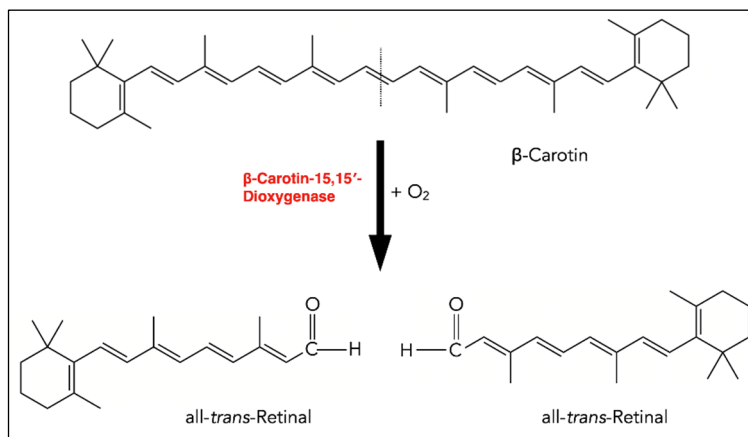


Abbildung B3.16: Enzymatische Spaltung von beta-Carotin

Ulrich Helmich ([www.u-helmich.de](http://www.u-helmich.de))

Vitamine sind als Katalysatoren an Stoffwechselprozessen beteiligt. Es gibt Referenzwerte für die empfohlene Tagesmenge als Teil einer gesunden Ernährung, gleichermaßen aber auch Obergrenzen, ab denen Vitamine toxisch wirken können. Die LD<sub>50</sub>-Werte sind im Vergleich zu anderen Stoffen weniger präzise und sollen vielmehr eine relative Einschätzung der Toxizität geben, die relevant für die Dosierungsempfehlungen ist. Nicht alle Vitamine liegen isoliert und standardisiert als Präparat für die Durchführung von Toxizitätsstudien vor; sie existieren in verschiedenen Formen und Oxidationszuständen.

| Vitamin                            | Tagesbedarf | Löslichkeit in Wasser | LD <sub>50</sub> [mg/kg] (Ratte, oral) |
|------------------------------------|-------------|-----------------------|----------------------------------------|
| A: Retinol                         | 1-3 mg      | unlöslich             | 2500                                   |
| B <sub>1</sub> : Aneurin (Thiamin) | 1-2 mg      | 500 g/L               | 301 (subkutan)                         |
| B <sub>2</sub> : Riboflavin        | 1-2 mg      | 70 mg/L               | >10.000                                |
| B <sub>5</sub> : Pantothensäure    | 10-50 mg    | 350 g/L               | >10.000                                |
| B <sub>6</sub> : Pyridoxin         | 2-4 mg      | 120 g/L               | 4000                                   |
| B <sub>7</sub> : Biotin            | 10 mg       | 220 mg/L              |                                        |
| B <sub>12</sub> : Cobalamin        | 0,01 mg     | 12 g/L                | 5000                                   |
| C: Ascorbinsäure                   | 50-100 mg   | 330 g/L               | 11.900                                 |
| D: Ergocalciferol                  | 0,01 mg     | 50 mg/L               | 10                                     |
| E: Tocopherol                      | 30 mg       | 1 mg/L                |                                        |
| K: Phyllochinon                    | 1-5 mg      | *                     |                                        |

Tabelle B3.2: Übersicht über Daten der Vitamine (Auswahl)

Quelle: Strey, K. (2021): Die Welt der Gifte. Lehmanns Media GmbH, S. 355.

Die Lücke\* bei Vitamin K ist darauf zurückzuführen, dass dieses Vitamin in der Regel in Lipiden gelöst vorliegt, was der Messung der Löslichkeit in Wasser entgegensteht. Grundsätzlich werden wasser- und fettlösliche Vitamine differenziert. Als Eselsbrücke für die fettlöslichen Vitamine A, D, E und K lässt sich der Begriff EDEKA merken. Für die Ernährung ist zu berücksichtigen, dass die fettlöslichen Vitamine nur in Kombination mit Öl/Fett vom Körper aufgenommen werden können. Karotten, ein besonders Vitamin A-haltiges Gemüse, sollten beispielsweise immer mit Öl/Fett zubereitet werden, z. B. als Rohkostsalat mit Nüssen.

Die Löslichkeit spielt eine wesentliche Rolle bei der Toxizität, denn wasserlösliche Stoffe können leicht über den Urin wieder ausgeschieden werden. Die Gefahr bei den fettlöslichen Vitaminen A und D ist, dass sie sich im Fettgewebe des Körpers sowie in der Leber anreichern. Da Vitamin D eine wesentliche Rolle bei der Regulierung des Calcium- sowie Phosphatstoffwechsels spielt, führt eine Überdosierung an Vitamin D zu einer erhöhten Freisetzung an Calcium im Körper. Über einen längeren Zeitraum hinweg kann die Folge eine Hyperkalzämie sein, die mit diversen ernstzunehmenden Symptomen einhergeht. Das Risiko einer Vitamin C-Vergiftung ist dagegen sehr gering (LD<sub>50</sub>= 11900: Für eine akute Vergiftung müssten 800 g (!) Vitamin C aufgenommen werden). Überschüsse werden über die Nieren wieder ausgeschieden. Eine erhöhte Aufnahme über längere Zeit hinweg erhöht allerdings das Risiko für Nierensteine.

## Bioakkumulation & -magnifikation: Seefisch essen oder nicht?

Die (Schad-) Stoffkonzentration in Organismen erfolgt nach bestimmten ökologischen Zusammenhängen:

Unter Bioakkumulation (von altgr. *bios* „Leben“ + lat. *accumulare* „anhäufen“) versteht man die Anreicherung eines Stoffes in einem Organismus durch Aufnahme aus der Nahrung oder über die Körperoberfläche aus der Umwelt. Vor allem lipophile Stoffe, z. B. Schadstoffe aus Industrieabfällen oder Pestiziden werden langfristig im Fettgewebe gespeichert und reichern sich über einen längeren Zeitraum an.

Die Biomagnifikation (von lat. *magnificatio* „Vergrößerung“) ist eine Unterform der Bioakkumulation. Betrachtet wird ausschließlich die Stoffaufnahme über die Nahrung und im Verlauf der unterschiedlichen ökologischen Stufen innerhalb der Nahrungskette, die auch als trophische Ebenen bezeichnet werden. Der Anreicherungsfaktor erhöht sich entlang der Nahrungskette. Lebewesen an der Spitze der Nahrungskette sind am stärksten belastet.

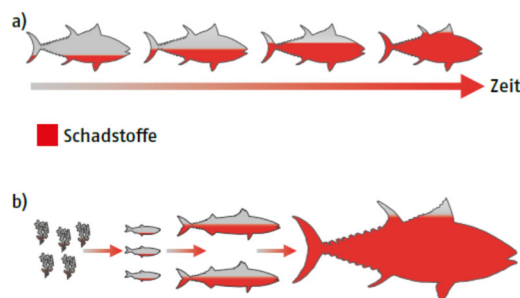


Abbildung B3.17: Bioakkumulation (a) und Biomagnifikation (b)

Seefisch ist Bestandteil einer gesunden und vielseitigen Ernährung des Menschen – EIGENTLICH, doch wie sieht es unter Berücksichtigung der Bioakkumulation und -magnifikation aus? So interessant Fisch ernährungsphysiologisch auch ist, so kritisch sollte er auf der anderen Seite beurteilt werden. Die Fragen, ob Seefisch auf dem individuellen Speiseplan stehen sollte, und wenn ja: welcher, wie viel und wie oft sind sehr relevant. Verschiedene Aspekte sprechen dafür und dagegen:

+: Für die menschliche Gesundheit bietet fettreicher Seefisch viele Vorteile. Er ist eine ausgezeichnete Quelle für hochwertige Proteine und enthält die für den Körper wertvollen Omega-3-Fettsäuren. Darüber hinaus liefert Seefisch wichtige Vitamine (z. B. D und B12) sowie Spurenelemente wie Jod und Selen.

-: Allerdings bestehen potenziellen Risiken. Seefisch, insbesondere größere Arten, kann mit Toxinen belastet sein, beispielsweise mit Schwermetallen wie Quecksilber oder Umweltgiften wie Dioxinen. Diese Belastung steigt mit der Lebensdauer des Fisches und seiner Position in der Nahrungskette. Zusätzlich stellt Mikroplastik, das in Seefisch gefunden werden kann, eine unbekannte, potenziell schädliche Komponente dar. Die langfristigen Auswirkungen einer Aufnahme von Mikroplastik auf den menschlichen Organismus, vor allem auf den Hormonhaushalt, sind bisher noch nicht vollständig erforscht.

Die Abwägung der Frage wird umso schwieriger unter Berücksichtigung globaler ökologischer und sozialer Folgen, die mit unserem Konsum von Fisch einhergehen. Es bestehen komplexe Zusammenhänge sowie Wechselwirkungen zwischen den Fischbeständen, den Ökosystemen, der Fischerei, dem Klimawandel und der Ernährungssicherheit, die weit über die individuelle Ernährung hinausgehen. Pro Wildlife e.V., eine Organisation, die sich für den Schutz von Wildtieren und ihren Lebensräumen einsetzt, formuliert in diesem Kontext zehn konkrete Argumente gegen Fischkonsum, die zum Weiterdenken anregen:

- Überfischung der Meere
- Gesundheitsrisiken für Menschen
- Problem Beifang
- Fragen des Tierschutzes
- Belastung für Ökosysteme (Grundschleppnetze, „Fishing down the foodweb“, Geisternetze)
- Delfine als Fischköder
- Mangelware Fisch in ärmeren Küstenländern
- Folgen der Aquakultur
- Unzuverlässigkeit des Ökosiegels MSC
- Fang in Schutzgebieten

## B3.4 Experiment 3 – Giftpfeil

Das Physikexperiment der Aufgabenrunde dreht sich um den Flug eines Geschosses: in unserem Themenfeld der Flug eines Giftpfeils, der aus praktischen Gründen übertragen wird auf den Flug einer Katapultkugel. Im theoretischen Hintergrund gelangen wir vom militärischen Vorteil der Hunnen zur indigenen Bevölkerung Südamerikas und dem Pfeilgift Curare.

### Die Physik des Fluges eines Geschosses

Der Flug der meisten Geschosse, sei es der Pfeil beim Bogenschießen, die Kugel beim Katapult oder der Ball beim Werfen, kann durch die Theorie des schrägen Wurfes beschrieben und analysiert werden. Kennzeichen ist der Abschusswinkel  $\alpha$ ; der Abschuss erfolgt also nicht rein senkrecht oder waagerecht. Somit spielen im

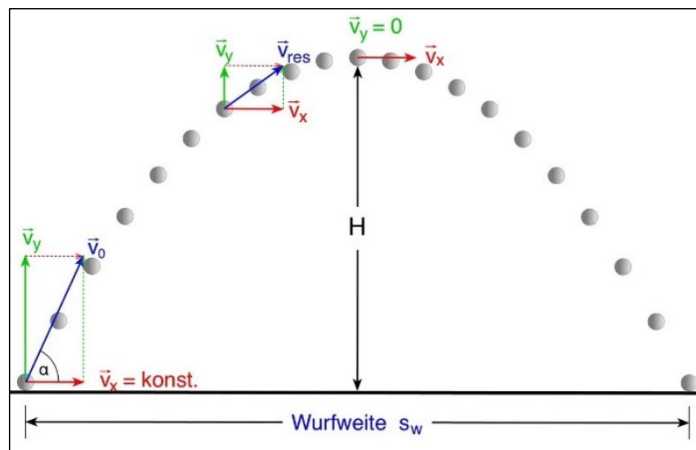


Abbildung B3.18: Der schräge Wurf

Flug die horizontale und vertikale Komponente eine Rolle. Beide beeinflussen sich nicht, können also getrennt voneinander betrachtet werden. Die Gesamtbewegung resultiert aus der Überlagerung, der sogenannten Superposition, der horizontalen und vertikalen Bewegung.

Aufgrund der wirkenden Kräfte handelt es sich um eine parabelförmige Bewegung, die als Flugbahn im Profil sichtbar wird (vgl. Abb. B3.18). Nach dem Abschuss unter dem Winkel  $\alpha$  steigt das Geschoss kontinuierlich an, erreicht den Scheitelpunkt, sinkt danach und trifft auf den Boden auf.

Die Geschwindigkeit des Geschosses wird in die horizontale Geschwindigkeitskomponente  $v_x$  und die vertikale Komponente  $v_y$  zerlegt (in Abb. B3.18 mit Vektoren dargestellt, in Abb. B3.19 im jeweiligen Verlauf):

- Beim idealisierten schrägen Wurf wird zur Vereinfachung die Luftreibung vernachlässigt und die horizontale Geschwindigkeit  $v_x$  bleibt konstant. In der Realität hat der Luftwiderstand einen Einfluss auf  $v_x$ , was man in Abb. B3.19 deutlich erkennt, und somit auch auf die Flugweite.  $v_x$  wird durch die Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  und den Abschusswinkel  $\alpha$  bestimmt:

$$v_x = v_0 \times \cos \alpha$$

- In vertikaler Richtung wirkt die Gewichtskraft auf das Geschoss. Es wird mit der Erdbeschleunigung  $g$  nach unten beschleunigt. Die vertikale Geschwindigkeit  $v_y$  nimmt linear ab; sie ist zunächst positiv, erreicht am Scheitelpunkt den Wert null und wird dann negativ.  $v_y$  berechnet sich zu jedem Zeitpunkt  $t$  aus der Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$ , dem Abschusswinkel  $\alpha$  sowie der Gravitation  $g$ :

$$v_y = v_0 \times \sin \alpha - gt$$

Der Betrag der Gesamtgeschwindigkeit  $v$  ergibt sich aus beiden Komponenten  $v_x$  &  $v_y$ , was grafisch einer nach oben geöffneten Parabel entspricht. Im idealisierten schrägen Wurf erreicht die Gesamtgeschwindigkeit vor dem Aufprall auf den Boden den anfänglichen Wert. In der Realität ist das aufgrund der Luftreibung nicht so:

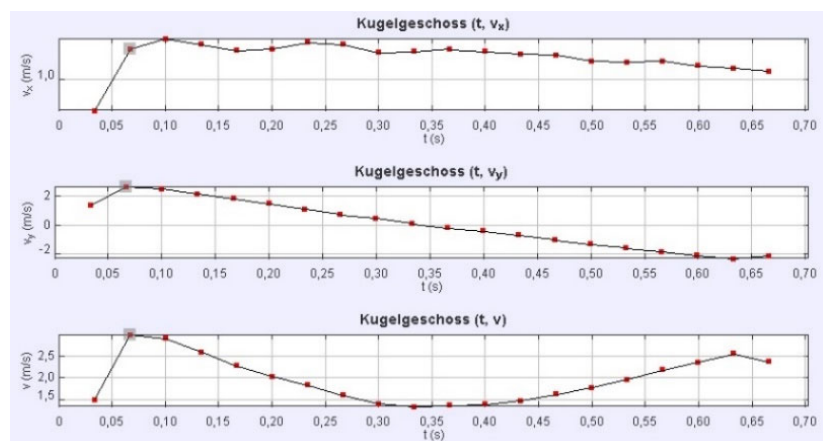


Abbildung B3.19: Experimentell ermittelte Verläufe von  $v_x$  (oben),  $v_y$  (Mitte) und dem Betrag der Gesamtgeschwindigkeit  $v$  (unten)

Die Luftreibung/der Luftwiderstand wird im idealisierten schrägen Wurf zwar vernachlässigt, hat in der Realität jedoch auch einen Einfluss auf die Flugbahn. Durch die abnehmende Geschwindigkeit des Geschosses verringert sich seine Flugweite. Die Flugkurve ist dadurch unsymmetrisch. Dies wird als ballistische Kurve bezeichnet (vgl. Abb. B3.20).

Ballistische Kurve  
(mit Luftwiderstand)

Wurfparabel  
(ohne Luftwiderstand)

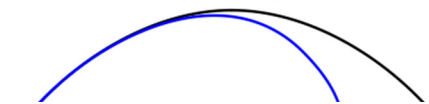


Abbildung B3.20: Symmetrisch parabolische und ballistische Flugkurve

In Sonderfällen verlängert sich die Flugkurve über die theoretische Parabel hinaus, z. B. beim Diskuswurf. Dies ist auf eine Auftriebskraft zurückzuführen, die während des Fluges auf den Diskus wirkt. Auch rotierende Geschosse haben eine veränderte Flugkurve. Ein Beispiel ist die 'Bananenflanke' im Fußball.

### Bogenschießen: Wer weiter schießt, hat einen militärischen Vorteil

Auf den Flug eines Geschosses, hier sei nun näher der Bogenschuss betrachtet, haben darüber hinaus weitere Parameter einen Einfluss:

- Der **Abschusswinkel** ist ein maßgeblicher Faktor. Weder ein zu steiler noch ein zu flacher Abschuss führt zu einer großen Reichweite. Unter idealisierten Bedingungen beträgt der Abschusswinkel eines Pfeiles für maximale Reichweite theoretisch  $45^\circ$ . Da die Flugbahn in Wirklichkeit neben der Luftreibung auch durch **das Gewicht und die Form des Pfeiles sowie seine Befiederung** mitbeeinflusst wird, liegt der tatsächlich beste Abschusswinkel knapp unter  $45^\circ$ . Je nach Pfeilart müsste er experimentell ermittelt werden. Wenn es um das Treffen eines konkreten Zieles geht, muss der Abschusswinkel gemäß der Entfernung angepasst werden, was in der Praxis viel Erfahrung erfordert. Eine Online-Simulation auf LEIFiPhysik lädt dazu ein, sich als Bogenschütze auszuprobieren:

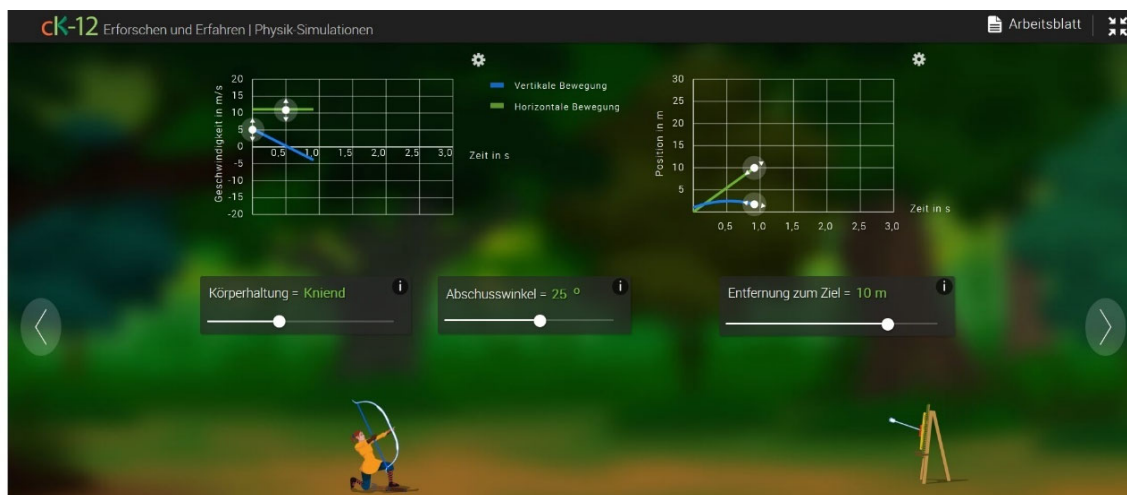


Abbildung B3.21: Simulation eines Bogenschusses

LEIFiPhysik ([www.leifiphysik.de](http://www.leifiphysik.de))

- Die Flugweite  $s$  steht in der Theorie in einem quadratischen Verhältnis zur **Abschussgeschwindigkeit**  $v_0$ .

$$s = \frac{v_0^2 \times \sin 2\alpha}{g}$$

Eine beispielsweise doppelt so hohe Abschussgeschwindigkeit führt entsprechend zu einer vierfachen Flugweite. Für den Abschuss wird die im Bogen gespeicherte Energie in Bewegungsenergie umgewandelt. Die beim Spannen des Bogens aufgebrauchte Zugkraft bestimmt die Abschussgeschwindigkeit des Pfeils. Die **Bauweise des Bogens, also seine Form, Länge und Flexibilität, und somit die Auslenkung und Spannung der Bogensehne** haben erheblichen Einfluss darauf, wie effizient die Energie beim Pfeilabschuss übertragen wird. Langbögen z. B. verteilen die Zugkraft auf eine längere Strecke. In der Praxis ist zudem ein gutes Handling des Bogens relevant: Im gespannten Zustand muss der Bogen ruhig gehalten werden können, damit der Schuss ohne Vibration und Energieverlust verläuft.

Es zeigt sich: Die Bauweise eines Bogens ist entscheidend für den Bogenschuss. Im Laufe der Geschichte gab es eine breite Vielfalt an Bögen, angepasst an die Epoche, Kultur und den jeweiligen Verwendungszweck. Wird der Bogen als Kriegswaffe eingesetzt, ergeben sich je nach Bauweise militärische Vor- oder Nachteile, die militärhistorisch äußerst spannend sind.

Als Beispiel seien die Hunnen angeführt. Sie setzten sogenannte Kompositbögen ein, die zu dieser Zeit ein großer militärischer Trumpf waren. Sie bestehen aus mehreren Materialien, die durch Hautleim fixiert werden. Die Konstruktion ermöglichte eine außerordentlich hohe Zugkraft und somit eine höhere Geschwindigkeit, Flugweite und Durchschlagskraft der Pfeile. In der Bogentechnologie waren sie den anderen Völkern ihrer Zeit überlegen und strategisch formierten sie eine äußerst starke, mobile leichte Kavallerie, wodurch ihnen der militärische Durchbruch gen Europa gelang.



*Abbildung B3.22: Hunnische Bogen*

### Das Pfeilgift Curare

Curare bezeichnet eine Gruppe hochgiftiger Alkaloide, die aus Blätter- und Rinden-Extrakten von Lianen-Arten im Amazonasgebiet gewonnen werden. Verschiedene indigene Völker nutzen es bei der Jagd als Gift, indem sie die Pfeilspitze damit versehen. Es werden drei Unterarten unterschieden:

- Tubo-Curare (Tubocurarin als Hauptkomponente neben Curin, Chondocurarin und Chondocurin; Aufbewahrung in Bambusrohren)
- Topf-Curare (Tubocurarin und Curarin als Hauptkomponenten; Aufbewahrung in Tontöpfen)
- Calebassen-Curare (hochgiftig!; 40 Alkaloide, darunter hauptsächlich Toxferin I; Aufbewahrung in ausgehöhlten Kürbissen)

Wenn das Gift über die Blutbahn aufgenommen wird, ist es tödlich. Über den Magen-Darm-Trakt wird es dagegen kaum aufgenommen. Das spiegelt sich in den LD<sub>50</sub>-Werten wider, hier beispielhaft für Tubocurarinindichlorid:

LD<sub>50</sub> (Maus, oral): 150 mg/kg | LD<sub>50</sub> (Maus, intravenös): 130 µg/kg

Nur dadurch kann es überhaupt für die Jagd eingesetzt werden, denn die Beute kann gefahrlos verzehrt werden.

Der Wirkmechanismus nach der Aufnahme über die Blutbahn führt zu einer Lähmung der Muskulatur: Curare blockiert im neuromuskulären Übergang den Acetylcholin-Rezeptor ohne ihn zu aktivieren. Der körpereigene Neurotransmitter Acetylcholin, der nach dem Nervenimpuls für die Muskelkontraktion notwendig ist, kann nicht mehr an den Rezeptor binden. Die Folge ist eine vollständige Muskelrelaxation. Der Herzmuskel sowie das zentrale Nervensystem sind davon weitgehend ausgenommen. Der Tod tritt also bei vollem Bewusstsein und Schmerzempfinden durch Lähmung der Atemmuskulatur und Atemstillstand ein.

Durch Forschungsreisende gelang Curare im 19. Jahrhundert nach Europa und die Alkaloide wurden genauer erforscht. In der Pharmakologie und Medizin waren sie von großem Interesse. Zunächst ab den 1860er Jahren zur symptomatischen Behandlung von Wundstarrkrampf eingesetzt, verlagerte sich der medizinische Schwerpunkt auf die Anästhesie. Man hatte erkannt, dass durch künstliche Beatmung bis zum Nachlassen der Giftwirkung die Person am Leben gehalten werden konnte. Tubocurarin wurde ab den 1940er Jahren als Muskelrelaxans bei Operationen gebräuchlich. Aufgrund diverser Nebenwirkungen findet es in der modernen Anästhesie keine Anwendung mehr und wurde durch alternative Substanzen abgelöst.

Der exotische Charakter von Curare, seine Anwendung und tückische Wirkung führten zu zahlreichen Mythen um das Gift. Es ist für Laien kaum vorstellbar, dass ein Gift intravenös, aber nicht oral wirkt. Es bestand die Fehlvorstellung von Curare-vergifteten Mahlzeiten oder Getränken, die sich literarisch z. B. im 1917 erschienenen Kriminalroman „Der Fall Deruga“ von Ricarda Huch zeigt.

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, wie der Einfluss verschiedener Stoffe auf das Wachstum von Pflanzen untersucht werden könnte. Welche Stoffe sind von Interesse, um einen relevanten und aktuellen Umweltkontext im Experiment abzubilden? Welche Pflanze kommt für das Experiment in Frage? Welche sind die Stoffkonzentrationen, die den toxischen Einfluss des Stoffes zeigen? Welche Gefäße eignen sich und was sind ihre jeweiligen Vor- und Nachteile? Wie lange muss das Wachstum untersucht werden, um aussagekräftige und gut auswertbare Versuchsergebnisse zu erhalten? Welche Fehlerquellen müssen berücksichtigt werden? Fragen über Fragen!

Weitergehende Versuche können aber auch Erkenntnisse vertiefen oder weitere Aspekte verdeutlichen. Vielleicht lassen sich mit den hier genannten Hinweisen Forscherfragen und neue Projekte entwickeln, die weit über die IJSO-Aufgaben hinausreichen.

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 die 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.

### Zum Thema Umweltgift

- Wie wachsen andere Pflanzen in den gleichen Salzwasserkonzentrationen? / Welche Salzkonzentrationen beeinflussen das Wachstum anderer Pflanzen?
- Welchen Einfluss hat Salzwasser auf ausgewachsene Kresse?
- Wie wächst Kresse in verschiedenen Konzentrationen von xy (Essig, Reinigungsmittel, Spülmittel, Waschmittel, Weichspüler...)?
- Wie wächst Kresse in verschiedenen Konzentrationen von Dünger? / Welche ist die ideale Menge an Dünger? / Wie unterscheidet sich die ideale Menge an Dünger bei verschiedenen Pflanzen?

Da die Schülerinnen und Schüler knapp eine Woche mit dem Experiment zum Kressewachstum beschäftigt sind, werden ihnen dabei sicher viele weiterführende Fragen kommen. Aus der Küche kennen sie Gartenkresse. Die Pflanze hat den „Ruf“, nicht sehr empfindlich zu sein und tendenziell eher zu wuchern als nicht anzuwachsen. Auf der anderen Seite verblüfft das Versuchsergebnis vielleicht, denn die untersuchten Salzkonzentrationen erscheinen nicht hoch, insbesondere dann nicht, wenn man sie mit dem fast dreifach so hohen durchschnittlichen Salzgehalt von Meerwasser in Bezug setzt. Gartenkresse ist im Vergleich zu anderen Pflanzen nicht sehr salzempfindlich. Andere Gemüsepflanzen zeigen noch deutlich mehr Salzstress, z. B. Bohnen und Salat. Auf der anderen Seite des Spektrums stehen natürlich halotolerante oder halophile Pflanzen, die bekannt dafür sind, dass sie hervorragend in Küstengebieten oder in salzhaltigen Straßenrandböden entlang von Autobahnen (Einsatz von Streusalz im Winter) wachsen.

Bei den Wachstumsuntersuchungen könnte neben dem Keimen und Anwachsen von Samen alternativ der Einfluss auf ausgewachsene Pflanzen betrachtet werden. Natürlich nicht nur bei Gartenkresse, die übrigens in den Gemüseabteilungen vieler Supermärkte fertig angezogen erhältlich ist, sondern auch bei anderen Pflanzen (z. B. fertig gezogene Küchenkräuter oder Gemüsepflanzen im Topf).

Auch die Wirkung anderer Stoffe auf das Pflanzenwachstum kann in den Fokus genommen werden. Essig als Untersuchungslösung eröffnet den Umweltkontext zur Bodenversauerung. Ansonsten liegen

Alltagschemikalien nahe. Um die Toxizität von Produkten genau einzustufen und Auswirkungen auf ihre Entsorgung oder den Eintrag in die Umwelt abschätzen zu können, werden in Laboren diverse Produkttests durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler können im Rahmen einer eigenen Forscherfrage als Produkttester agieren und dürfen hier gerne kreativ werden. Hieraus kann sich in Gruppen, AGs oder im Klassenverband ein größeres Projektvorhaben entwickeln, in dem einzelne Schülerinnen und Schüler bzw. Kleingruppen je ein Produkt testen und die Ergebnisse untereinander austauschen, vorstellen, vergleichen und evaluieren.



*Abbildung C1: Kressewachstum mit verschiedenen Kupferproben ohne erkennbare Unterschiede  
(Hinweis: Bei eigenen Forscherfragen muss man sich in der Regel in mehreren Durchgängen an die kritischen Konzentrationen herantesten, um Wachstumsunterschiede überhaupt erst zu erkennen.)*

Interessant zu untersuchen ist auch der Einfluss von Dünger auf das Wachstum. Diese Fragestellung knüpft an die Aufgabe 1d an. Im Handel sind sehr viele Düngemittel erhältlich, von pflanzenspezifischen bis zu universellen Produkten mineralischen, organischen oder synthetischen Ursprungs. Der Einsatz von Düngemitteln und die Überdüngung wird in den Medien kontrovers diskutiert. Sollte ich düngen oder nicht? Wenn ja, wie und womit? Die Meinungen von Privatpersonen mit grünem Daumen, Gärtnern, Produktvertretern, Landwirten, Naturschützern, Umweltberatern und (unabhängigen) Wissenschaftlern geht hier auseinander. Doch wie kommt das? Wer vertritt welche Interessen und Werte? Und was bedeutet das für die persönliche Nutzungsentscheidung? Der Hintergrund von Düngemitteln eignet sich ideal für eigene Testungen, Recherchen und Diskussionen. Mit Schülerinnen und Schülern der Mittelstufe könnte man im Klassenverband eine Fishbowl-Diskussion anleiten und durchführen. Gefördert wird mit diesem Kontext insbesondere der Kompetenzbereich Bewertung.

## Zum Thema Körpergift

- Verändert die Menge an gelösten Karottenraspeln die Farbintensität?
- Kann ich so viel Vitamin C in Wasser geben, dass es sich nicht mehr vollständig löst?
- Wie lösen sich andere Vitamine in Wasser und Öl?
- Wie kann die Zubereitung bestimmter Gemüsearten in der Küche bestmöglich auf die Löslichkeit der enthaltenen Vitamine abgestimmt werden?

Im Experiment 2.1 lässt sich untersuchen, ob die Menge an Karottenraspeln einen Einfluss auf die Farbintensität der Ölschicht hat. Anders als in der Anleitung angegeben müsste dafür die Menge an Raspeln langsam erhöht werden. Auch im Experiment 2.2 lässt sich die Menge an zugegebenem Vitamin C sukzessive erhöhen, sodass überprüft werden kann, inwiefern sich dies auf die Löslichkeit in Wasser auswirkt.

Natürlich wäre es interessant, andere Vitamine auf ihre Löslichkeit zu testen. Als Teil der Nahrungsergänzung sind in vielen Haushalten Vitaminpräparate sowieso vorhanden ist. Als problematisch stellt sich leider heraus, dass nahezu alle Vitamine außer Vitamin C im Handel in Kombinationspräparaten verkauft werden oder dass einzelne Vitamine mit Zusatzstoffen aufgefüllt bzw. stabilisiert werden, wodurch spezifische Löslichkeitsuntersuchen unmöglich sind. Vitamin D gibt es beispielsweise entweder in Ölkapseln oder in Pulverkapseln mit mikrokristalliner Cellulose als Füllstoff. Eventuell stoßen Ihre Schülerinnen und Schüler auf ein geeignetes Präparat oder ein gezielt zu untersuchendes Gemüse.

Vom Gemüse ist es nicht weit zum Kochen und Essen. Die naheliegende Praxisfrage ist, welche Konsequenzen die Löslichkeit der jeweiligen Vitamine für die Zubereitung von Gemüse in der Küche haben sollte, damit der Körper die Vitamine bestmöglich aufnehmen kann. Neue Rezepte können entwickelt (und ausprobiert) werden oder bestehende kritisch hinterfragt und angepasst werden. Eine konkrete Motivation könnte übrigens darin liegen, zu checken, wie gut der eigene Körper mit Vitaminen versorgt ist (bei der Hausärztin/beim Hausarzt überprüfbar) und ob Bedarf besteht, gezielt nachzuversorgen.

## Zum Thema Giftpfeil

- Welche Ergebnisse erziele ich bei Experiment 3 mit anderen Flugobjekten?
- Wie unterscheiden sich die Geschwindigkeits-Zeit-Diagramme verschiedener Flugobjekte?
- Welche Ergebnisse würde ich erzielen, wenn ich Experiment 3 im Vakuum durchführen könnte?
- Wie sieht das perfekte Katapult aus?
- Wie sieht das perfekte Geschoss aus?
- Mit welcher Katapulteinstellung und welchem Geschoss kann ich am weitesten schießen?  
(kompetitiv mit anderen Schülerinnen und Schülern)

Mit der Bearbeitung von Aufgabe 3d) fällt der Aspekt der Luftreibung auf. Anders als beim idealen schrägen Wurf, bei dem die Luftreibung vernachlässigt wird, hat sie in unserem Experiment einen deutlichen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Alu-Geschosses. Wie wäre das mit anderen Flugobjekten? Welche Rolle spielt die Oberfläche und Form des Geschosses? Der Flug verschiedener Geschosse kann rein praktisch untersucht und verglichen werden. Wenn Zugang zur *Tracker*-Software besteht, können mit dem Tracken ebenfalls die jeweiligen Geschwindigkeits-Zeit-Diagramme analysiert und verglichen werden.

Im Vakuum wäre die Luftreibung nicht gegeben. Was würde das für den Flug des Geschosses bedeuten? Gibt es Möglichkeiten, das praktisch zu überprüfen? Gibt es Beispiele für reale Flugobjekte im Vakuum?

Das Experiment 3 ist eine Steilvorlage für einen darüber hinausführenden Weitschuss-Wettbewerb. Dabei stellen sich die Fragen nach dem idealen Geschoss sowie dem idealen Katapult/der idealen Katapulteinstellung (bzw. der passenden Kombination aus Geschoss und Katapult). Es könnte einerseits vom hier vorgegebenen Katapult-Modell ausgegangen werden oder der Bau eines alternativen Katapults ganz freigelassen und möglicherweise auch andere Materialien zugelassen werden. Der Kreativität der Schülerinnen und Schüler steht nichts im Wege. Die Rahmenbedingungen müssen natürlich im Vorwege klar abgesprochen werden. Im Internet gibt es diverse Bauanleitungen für andere Katapult-Konstruktionen, die Inspiration bieten. Mit dem Ziel vor Augen, das eigene Katapult für den Weitschuss zu optimieren, müssen verschiedene Einstellungen getestet und das passende Geschoss gefunden werden. Der kompetitive Stil dieser Forscherfrage ist besonders motivierend. Sie könnten die Eigenkonstruktionen der Schülerinnen und Schüler in der Schule ausstellen und würdigen, falls es dafür eine Möglichkeit gibt.

---

Ergänzend zur „Vorsicht giftig!“-Teilnahme, eigenen Forscherfragen und der eventuellen Ausdehnung auf eine Projektarbeit finden Sie im Anhang ein Toxi-Kreuzwortgitter für Ihre Schülerinnen und Schüler. Wir wünschen viel Freude beim Knobeln!

### D1 Literatur

- Asselborn, W.; Jäckel, M. et al. [Hg.]. (2013): Chemie heute – Sekundarbereich I Gesamtband. Schroedel.
- Binnewies, M.; Finze, M. et al. (2016): Allgemeine und anorganische Chemie. Springer Spektrum.
- Bödeker, W., Moebus, S. (2023): Das Paracelsus-Prinzip „Allein die Dosis macht, dass ein Ding (k)ein Gift sei“ – ein nicht mehr zeitgemäßer Lehrsatz und ätiologischer Mythos. Springer Medizin. Verfügbar unter: <https://www.springermedizin.de/pharmakologie-und-toxikologie/das-paracelsus-prinzip-allein-die-dosis-macht-dass-ein-ding-k-ei/25361664>.
- Brown, T. L.; LeMay, H. E.; Bursten, B. E.; Bruice, P. Y. (2013): Chemie für die gymnasiale Oberstufe. Pearson.
- Campbell, N. A.; Reece, J. B. et al. (2016): Campbell Biologie – Gymnasiale Oberstufe. Pearson.
- Chiou, W.-Y.; Hsu, F.-C. (2019): Copper Toxicity and Prediction Models of Copper Content in Leafy Vegetables. *Sustainability*, 11, 6215. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/su11226215>.
- Deyi Hou et al (2025): Global soil pollution by toxic metals threatens agriculture and human health. *Science* 388, 316-321. Verfügbar unter: 10.1126/science.adr5214.
- Fuchs, J.; Weidmann, G. (2018): Kompostqualität mittels Kresstests bestimmen. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL Schweiz.
- Grehn, J.; Krause, J. (2020): Metzler Physik. Westermann.
- Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (2019): Global Harmonisiertes System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien. Verfügbar unter: [https://www.dguv.de/medien/ifa/de/fac/ghs\\_verordnung/ghs-2019.pdf](https://www.dguv.de/medien/ifa/de/fac/ghs_verordnung/ghs-2019.pdf).
- Marquardt H., Schäfer S.G., Barth H. (2019): Toxikologie. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur des Landes Schleswig-Holstein (2022): Fachanforderungen Chemie.
- Strey, K. (2021): Die Welt der Gifte. Lehmanns Media GmbH.
- Zeeck, A.; Grond, S. et al. (2014): Chemie für Mediziner. Urban & Fischer.

### D2 Linksammlung

#### Allgemeines

- <https://www.barmer.de/gesundheits-verstehen/leben/ernaehrung/zu-viel-wasser-trinken-1127656>
- <https://www.aerzteblatt.de/archiv/ursachen-diagnostik-und-therapie-haeufiger-vergiftungen-62f1d38e-879d-4d13-8ac1-aa3c10334449>
- <https://www.msmanuals.com/de/profi/verletzungen-vergiftungen/vergiftung/allgemeine-grundlagen-zu-vergiftungen>
- <https://bolz-intec.de/glossary/ld50/>

#### Umweltgift

- <https://www.mein-schoener-garten.de/pflanzen/gemuese/gartenkresse>
- <https://www.zentrum-der-gesundheit.de/ernaehrung/lebensmittel/kraeuter/kresse>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Gartenkresse>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Kresstest>
- [http://orgprints.org/35343/1/PA\\_054\\_Kresstest-Kompost\\_finalized\\_QR.pdf](http://orgprints.org/35343/1/PA_054_Kresstest-Kompost_finalized_QR.pdf)
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Speisesalz>
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Totes\\_Meer](https://de.wikipedia.org/wiki/Totes_Meer)
- Salz: Fluch und Segen (ARTE, 2023), aktuell nicht mehr online verfügbar.
- <https://farms.klim.eco/article/salzige-bden>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Versalzung>
- <https://www.leibniz-gemeinschaft.de/ueber-uns/neues/forschungsnachrichten/forschungsnachrichten-single/newsdetails/versalzenes-trinkwasser>
- <https://www.daserste.de/information/wissen-kultur/w-wie-wissen/sendung/2010/salztoleranter-weizen-100.html>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Schwermetalle>
- <https://www.wissenschaft.de/erde-umwelt/wo-schwermetalle-im-boden-gefaehrlich-werden/>
- <https://www.boden-fachzentrum.de/bodenqualitaet/schadstoffe-im-boden/schwermetalle-im-boden>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Bodenkontamination>
- <https://www.mineral-check.com/koennen-schwermetalle-durch-pflanzen-entfernt-werden-die-loesung-heisst-phytosanierung/>
- <https://www.plantura.garden/gruenes-leben/pflanzen-kuriositaeten/superpflanzen>
- <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/journal/pflueck-auf>

## Körpergift

<https://de.wikipedia.org/wiki/L%C3%B6slichkeit>  
<https://www.msmanuals.com/de/heim/ern%C3%A4hrungsst%C3%B6rungen/vitamine/vitamine-im-%C3%BCberblick>  
<https://www.u-helmich.de/el/05-Vitamine/A-Vitamine/Vitamine-A.html>  
<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/bioakkumulation/1505>  
<https://www.spektrum.de/lexikon/ernaehrung/biomagnifikation/1103>  
<https://www.prowildlife.de/aktuelles/hintergrund/10-argumente-gegen-fischkonsum/>

## Giftpfeil

<https://physikunterricht-online.de/jahrgang-10/schiefer-wurf/>  
<https://www.leifiphysik.de/mechanik/waagerechter-und-schraeger-wurf/grundwissen/schraeger-wurf-nach-oben-mit-anfangshoehe>  
<https://www.leifiphysik.de/mechanik/waagerechter-und-schraeger-wurf/versuche/bogenschiessen-ck-12-simulation>  
<https://www.leifiphysik.de/mechanik/energieerhaltung-und-umwandlung/versuche/pfeil-und-bogen-ck-12-simulation>  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Bogen\\_\(Waffe\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Bogen_(Waffe))  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Hunnen>  
<https://www.tu-braunschweig.de/pharmaziegeschichte/arzneimittelhistorische-sammlung/objekt-des-monats-2024/curare-august>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Curare>

## D3 Bildnachweise

Bildnachweis zu Abbildungen B2.1-B2.8:

Skizze: Heike Luxenburger-Becker; Fotos: M. Hänel, IPN

Bildnachweis zu Abbildungen B3.1-B3.22:

B3.1 Suvorov, D.; Zaitseva, N.; Shur, P. Z.; Zelenkin, S. (2022): Assessment of potential hazards of the inadvertently present chemicals in food.

URL: [https://www.researchgate.net/figure/Score-according-to-the-class-of-toxicity-of-substances-established-by-LD50-value\\_tbl1\\_364792795](https://www.researchgate.net/figure/Score-according-to-the-class-of-toxicity-of-substances-established-by-LD50-value_tbl1_364792795)

B3.2 DGUV Informationsportal: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (2019): Global Harmonisiertes System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien, S. 46f.

URL: [https://www.dguv.de/medien/ifa/de/fac/ghs\\_verordnung/ghs-2019.pdf](https://www.dguv.de/medien/ifa/de/fac/ghs_verordnung/ghs-2019.pdf)

B3.3-B3.10 Fotos: M. Hänel, IPN

B3.11 Deyi Hou et al (2025): Global soil pollution by toxic metals threatens agriculture and human health. *Science* **388**, 316-321. Verfügbar unter: 10.1126/science.adr5214.

B3.12 Chiou, W.-Y.; Hsu, F.-C. (2019): Copper Toxicity and Prediction Models of Copper Content in Leafy Vegetables. *Sustainability*, 11, 6215. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/su11226215>.

B3.13 HermannSchachner unter gemeinfrei

URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8952864>

B3.14 Yikrazuul unter gemeinfrei

URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5886009>

B3.15: Zyirkon (Diskussion) unter gemeinfrei

URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=174459085>

B3.16 Abbildung von Ulrich Helmich unter public domain mit freundlicher Genehmigung für Veröffentlichungen, die der Förderung des Unterrichts dienen

URL: <https://www.u-helmich.de/el/05-Vitamine/A-Vitamine/Vitamine-A.html>

B3.17 E. Kaiser, IPN

B3.18 Abbildung mit freundlicher Genehmigung von Marc Evers

URL: <https://physikunterricht-online.de/jahrgang-10/schiefer-wurf/>

B3.19: M. Hänel, IPN; Diagramme mit der Software *Tracker* erstellt

B3.20 Abbildung mit freundlicher Genehmigung von Marc Evers

URL: <https://physikunterricht-online.de/jahrgang-10/schiefer-wurf/>

B3.21 Abbildung mit freundlicher Genehmigung vom Leifi-Support

<https://www.leifiphysik.de/mechanik/waagerechter-und-schraeger-wurf/versuche/bogenschiessen-ck-12-simulation>

B3.22 Abbildung mit freundlicher Genehmigung von Frank Wiesenberg

Hunnischer Bogen hergestellt von Grózer Archery, Ungarn

URL: [http://www.roemischer-vicus.de/fotos\\_bogenschiessen/f\\_bog\\_grozer\\_hun\\_E3\\_50\\_PICT1067.htm](http://www.roemischer-vicus.de/fotos_bogenschiessen/f_bog_grozer_hun_E3_50_PICT1067.htm)

Bildnachweis zu Abbildung C1:

Foto: M. Hänel, IPN

**Tab. 1-3** Auswahl von LD<sub>50</sub>-Werten für Ratten (orale Aufnahme)

| Stoff                   | Herkunft           | LD <sub>50</sub> mg/kg           |
|-------------------------|--------------------|----------------------------------|
| Botulinumtoxin          | Botulinum          | 0,00000003 i.v.<br>0,000004 s.c. |
| Tetanustoxin            | Tetanus            | 0,0000001                        |
| Maitotoxin-1            | Algen              | 0,00005                          |
| Diphtherietoxin         | Diphtherie         | 0,0003                           |
| Rizin                   | Wunderbaum         | 0,0022 i.v.                      |
| Dioxin                  | Chemieabfall       | 0,02                             |
| Amanitin                | Knollenblätterpilz | 0,1 i.p.                         |
| Tetrodotoxin            | Kugelfisch         | 0,334                            |
| Quecksilber(II)-chlorid | Holzschutz         | 1                                |
| Parathion (E 605)       | Pflanzenschutz     | 2                                |
| Strychnin               | Brechnuss          | 2,4                              |
| weißer Phosphor         | Grundstoff         | 3                                |
| Tabun                   | Giftaerosol        | 3,7                              |
| Aflatoxin B1            | Schimmelpilz       | 4,8                              |
| Kaliumcyanid            | Cyanidlaugerei     | 5                                |
| Arsenik                 | Mäusebutter        | 14,6                             |
| LSD                     | Halluzinogen       | 16 i.v.                          |
| Thalliumsulfat          | Rattengift         | 16                               |
| Senfgas                 | Giftaerosol        | 17                               |
| Digoxin                 | roter Fingerhut    | 17,8 (Maus)                      |
| Heroin                  | Opiat              | 23 i.v.                          |
| Nikotin                 | Tabak              | 50                               |
| DDT                     | Insektizid         | 87                               |
| Kokain                  | Kokablätter        | 99                               |
| Phenobarbital           | Schlafmittel       | 162                              |
| Coffein                 | Kaffee             | 192                              |
| Quecksilber(I)-chlorid  | Elektroden         | 210                              |
| Morphin                 | Schmerzmittel      | 335                              |
| Kaliumpermanganat       | Oxidationsmittel   | 750                              |
| Silbernitrat            | Höllenstein        | 1.100                            |
| Schwefelkohlenstoff     | Lösungsmittel      | 1.200                            |
| 1-Propanol              | Lösungsmittel      | 1.870                            |
| Kaliumchlorid           | Salz               | 2.600                            |
| Natriumchlorid          | Kochsalz           | 3.000                            |
| Methanol                | Lösungsmittel      | 5.630                            |
| Ethanol                 | Alkohol            | 7.060                            |
| Ascorbinsäure           | Vitamin C          | 11.900                           |
| Saccharose              | Zucker             | 32.500                           |
| Wasser                  | Leitungswasser     | 100.000                          |

aus: Strey, K. (2021): Die Welt der Gifte. Lehmanns Media GmbH, S. 7.  
Auszug mit freundlicher Genehmigung von Lehmanns Media GmbH, ppa. Volker Thurner

# Kompostqualität mittels Kresstests bestimmen

## Problem

Kompost ist ein wertvoller Recyclingdünger, mit dem organische Abfälle in den Produktionsprozess zurückgeführt und die Bodenfruchtbarkeit gefördert werden. Für den Einsatz im Gartenbau und in der Landwirtschaft darf Kompost keine pflanzenschädlichen Stoffe oder Krankheitserreger enthalten. Ein zu junger oder ein unkontrolliert verrotteter oder gelagerter Kompost kann phytotoxische Substanzen enthalten.

## Lösung

Mit Hilfe des offenen und des geschlossenen Kresstests kann die Phytotoxizität eines Komposts geprüft werden. Während der offene Kresstest als grober Indikator dient, zeigt der geschlossene Kresstest schon eine geringe Toxizität des Kompostes an, da die Pflanzen auch mit Gasen aus toxischen Verbindungen in Berührung kommen.

Es empfiehlt sich, jeweils beide Tests durchzuführen, da der offene Kresstest nicht immer auf einen pflanzenverträglichen Kompost schliessen lässt.

## Vorteile

Die Kresse reagiert sensibel auf Störungen im Substrat. Die Kresstests sind einfach durchzuführen und zu interpretieren und es wird lediglich leicht zu beschaffendes Material benötigt.

## Vorgehen

- **Offener Kresstest:** Füllen Sie einen Topf von zirka 10 cm Durchmesser mit kommerziellem Universalsubstrat und einen zweiten Topf mit dem zu untersuchenden Kompost.
- **Geschlossener Kresstest:** Füllen Sie ein verschliessbares, transparentes Glas- oder Kunststoffgefäss halbvoll mit kommerziellem Universalsubstrat und ein zweites Gefäss mit dem Kompost.
- Säen Sie pro Gefäss zirka 1 g Kresse und geben Sie ein wenig Wasser hinzu. Verschliessen Sie die Gefässe des geschlossenen Kresstests luftdicht. Stellen Sie die Töpfe dann an einen hellen Ort mit Zimmertemperatur (z.B. auf die Fensterbank).
- Vergleichen Sie nach 5 Tagen das Pflanzenwachstum in den beiden Töpfen.



Links: Offener Kresstest. Die schlecht entwickelte Kresse in den Töpfen der unteren Reihe deutet auf einen Kompost mit phytotoxischer Wirkung hin. Rechts: Geschlossener Kresstest. Der Kompost im rechten Gefäss wirkt phytotoxisch.

(Fotos: Jacques Fuchs, Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Frick)

## Checkliste für die Umsetzung

### Thema

Bodenqualität und -fruchtbarkeit, Nährstoffverfügbarkeit, Schädlings- und Krankheitsregulierung, Unkrautregulierung

### Geographischer Anwendungsbereich

Wo Kompost zur Verfügung steht

### Anwendungszeitpunkt

Vor der Anwendung des Kompostes

### Erforderlicher Zeitaufwand

1 Stunde / 5 Tage

### Wirkungsdauer

Mit Kompost gedüngte Kulturen

### Erforderliche Geräte

Zwei Gefässe, Kressesamen

### Idealer Einsatz

Bei selber hergestelltem oder bei erworbenem Kompost von fraglicher Qualität

## Auswerten des Kresstests

### 1. Offener Kresstest (wenig empfindlich)

Ist die Pflanzenmasse im fraglichen Topf nach 5 Tagen weniger als halb so gross wie diejenige im Topf mit der Gartenerde, so ist der untersuchte Kompost phytotoxisch. Handelt es sich um jungen Kompost, sollte dieser nochmals umgesetzt und reifen gelassen werden. Handelt es sich um einen reifen Kompost, sollte dieser einem neuen Kompost beigemischt werden, damit die pflanzenschädlichen Substanzen abgebaut werden. Der Kompost sollte bei der Rotte mindestens 70 °C erreichen.

### 2. Geschlossener Kresstest (sehr empfindlich)

Wenn die Wurzeln der Kresse im komposthaltigen Gefäss nach 5 Tagen mindestens 70 % der Länge der Kresse in der Gartenerde aufweisen, kann der Kompost sowohl als Düngemittel für den Acker- und Gemüsebau, als auch bedenkenlos als Substrat für Jungpflanzen und Töpfe verwendet werden.

## Teilen der Ergebnisse

Nutzen Sie die Kommentarfunktion auf der Organic Farm Knowledge-Plattform, um Ihre Erfahrungen mit anderen Praktikern, Beratern und Forschern zu teilen! Wenn Sie Fragen zur Methode haben, wenden Sie sich bitte per E-Mail an die Kontaktperson.



## Weiterführende Informationen

### Links

- Unter [www.biophyt.ch](http://www.biophyt.ch) stehen umfassende Informationen zur Herstellung von hochwertigem Kompost in deutscher, französischer und englischer Sprache zur Verfügung.

## Über dieses Practice Abstract und das OK-Net Arable-Projekt

### Herausgeber:

Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Schweiz  
Ackerstrasse 113, Postfach 219, CH-5070 Frick  
Tel. +41 62 865 72 72, [info.suisse@fibl.org](mailto:info.suisse@fibl.org), [www.fibl.org](http://www.fibl.org)

IFOAM EU, Rue du Commerce 124, BE-1000 Brussels  
Tel. +32 2 280 12 23, [info@ifoam-eu.org](mailto:info@ifoam-eu.org), [www.ifoam-eu.org](http://www.ifoam-eu.org)

**Autoren:** Jacques Fuchs, Gilles Weidmann (FiBL)

**Kontakt:** [jacques.fuchs@fibl.org](mailto:jacques.fuchs@fibl.org)

**Permalink:** [Orgprints.org/35343](https://orgprints.org/35343)

**OK-Net Arable:** Dieses Practice Abstract wurde im Rahmen des Organic Knowledge Network Arable-Projekts erarbeitet. OK-Net Arable fördert den Austausch von Wissen unter den Bauern, landwirtschaftlichen Beratern und Wissenschaftlern mit dem Ziel, die Produktivität und Produktequalität

im ökologischen Ackerbau in Europa zu erhöhen. Das Projekt läuft von März 2015 bis Februar 2018.

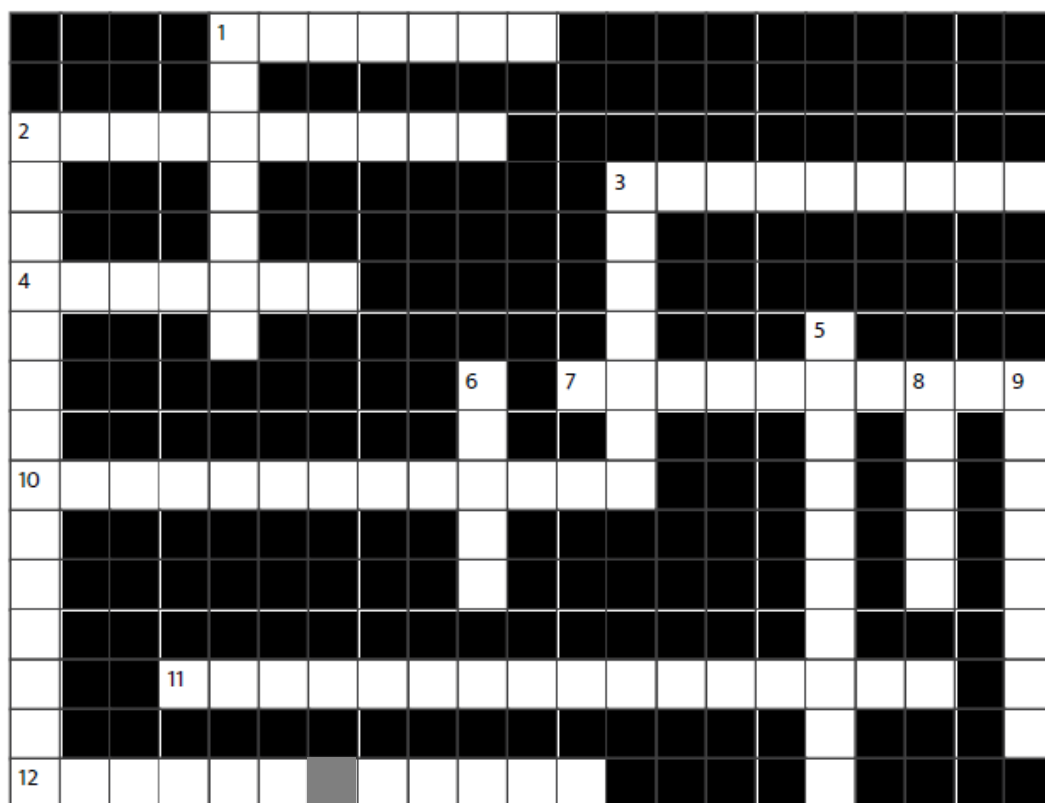
**Projektwebsite:** [www.ok-net-arable.eu](http://www.ok-net-arable.eu)

**Projektpartner:** IFOAM EU Group (Projektkoordination), BE; Organic Research Centre, UK; Bioland Beratung GmbH, DE; Aarhus University (ICROFS), DK; Associazione Italiana, per l'Agricoltura Biologica (AIAB), IT; European Forum for Agricultural and Rural Advisory Services (EUFAS); Centro Internazionale di Studi Agronomici Mediterranei - Istituto Agronomico Mediterraneo Di Bari (IAMM), IT; FiBL Projekte GmbH, DE; FiBL Österreich, AT; FiBL Schweiz, CH; Ökológiai Mezőgazdasági Kutatóintézet (ÖMKI), HU; Con Marche Bio, IT; Estonian Organic Farming Foundation, EE; BioForum Vlaanderen, BE; Institut Technique de l'Agriculture Biologique, FR; SEGES, DK; Bioselena, Bulgaria

© 2018



### Toxi-Kreuzwortgitter



#### Waagerecht:

- 1: Ein Gegengift wird auch als \_\_\_\_\_ bezeichnet.
- 2: 20 der 25 tödlichsten Gifttiere leben in \_\_\_\_\_.
- 3: Ein bekanntes historisches Schlangengift-Opfer.
- 4: Sehr giftiges Schwermetall, das viele Böden belastet.
- 7: Die besondere Gefahr am hochgiftigen Gas Kohlenstoffmonoxid (auch „silent killer“ genannt) liegt darin, dass es \_\_\_\_\_ ist.
- 10: Diese Pflanzen können Schwermetall-Ionen in sehr hohen Konzentrationen aufnehmen und speichern.
- 11: Das GHS09-Symbol zeigt an, dass ein Stoff schädlich oder (sehr) giftig für \_\_\_\_\_ ist.
- 12: Wichtigster Wert, um die Giftigkeit von Stoffen in Bezug auf ihre Aufnahmemenge zu beschreiben.

#### Senkrecht:

- 1: Anderes Nervengift, das wie Curare die Neurotransmitter-Rezeptoren blockiert und die Muskeln lähmt.
- 2: Ein wichtiger Faktor für die Flugbahn eines Giftpfeils ist der \_\_\_\_\_.
- 3: Der toxische Wirkstoff in Grün- und Schwarztee.
- 5: Für Hunde und Katzen giftiger Stoff in Schokolade.
- 6: „Dosis sola facit venenum – allein die \_\_\_\_\_ macht das Gift.“ (Paracelsus)
- 8: Die fettlöslichen Vitamine A und D reichern sich vor allem im Fettgewebe des Körpers und in welchem Organ an?
- 9: Das giftigste Tier der Welt, gemessen an der Stärke des Giftes.

# Toxi-Kreuzwortgitter: Lösungen

|    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
|    |   |   | A | N | T | I | D | O | T |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|    |   |   | T |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 2  | A | U | S | T | R | A | L | I | E | N |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| B  |   |   |   | O |   |   |   |   |   |   | K | L | E | O | P | A | T | R | A |   |   |   |  |
| S  |   |   |   | P |   |   |   |   |   |   | O |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 4  | C | A | D | M | I | U | M |   |   |   | F |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| H  |   |   |   | N |   |   |   |   |   |   | F |   |   |   | 5 | T |   |   |   |   |   |   |  |
| U  |   |   |   |   |   |   |   |   | M |   | G | E | R | U | C | H | S | 8 | L | O | 9 | S |  |
| S  |   |   |   |   |   |   |   |   | E |   | I |   |   |   | E |   | E |   | E |   | E |   |  |
| 15 | S | U | P | E | R | P | F | L | A | N | Z | E | N |   |   | O |   | B |   | E |   |   |  |
| W  |   |   |   |   |   |   |   |   | G |   |   |   |   |   |   | B |   | E |   | W |   |   |  |
| I  |   |   |   |   |   |   |   |   | E |   |   |   |   |   |   | R |   | R |   | E |   |   |  |
| N  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | O |   |   |   | S |   |   |  |
| K  |   |   |   | W | A | S | S | E | R | O | R | G | A | N | I | S | M | E | N |   | P |   |  |
| E  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | I |   |   |   | E |   |   |  |
| 12 | L | E | T | A | L | E |   |   |   | D | O | S | I | S |   |   |   | N |   |   |   |   |  |