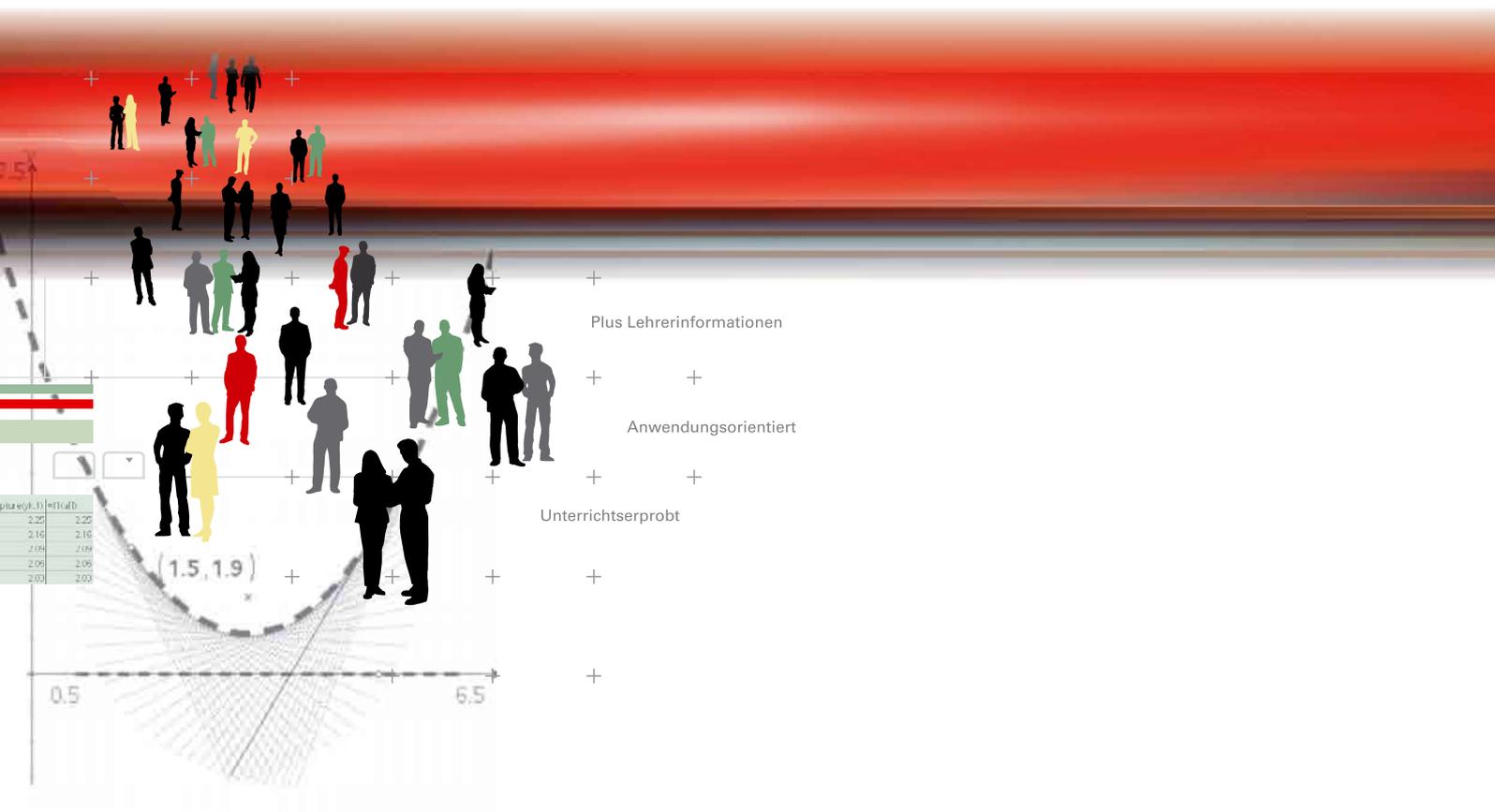


T<sup>3</sup>-BIOLOGIE

# Der Einsatz von Graphikrechnern und Taschencomputern im Biologieunterricht

Arbeitsblätter mit Unterrichtsbeispielen

Hans-Ulrich Lampe (Hrsg.)



T<sup>3</sup>- BIOLOGIE

## Der Einsatz von Graphikrechnern und Taschencomputern im Biologieunterricht

Arbeitsblätter mit Unterrichtsbeispielen

Hans-Ulrich Lampe (Hrsg.)



Redaktion:

Hans-Ulrich Lampe (Leitung), Tina Warnecke

Autoren:

Ute Assmann, Kathrin Becker, Sonja Brunk, Katrin Eilers, Hans-Ulrich Lampe,  
Bendine Lohse-Grimmer, Fritz Leppert, Cordula Rahn, Renate Voigt, Tanja Wehrse

© 2013 T<sup>3</sup>

Dieses Werk wurde in der Absicht erarbeitet, Lehrerinnen und Lehrern geeignete Materialien für den Unterricht an die Hand zu geben. Die Anfertigung einer notwendigen Anzahl von Fotokopien für den Einsatz in der Klasse, einer Lehrerfortbildung oder einem Seminar ist daher gestattet. Hierbei ist auf das Copyright von T<sup>3</sup> hinzuweisen. Jede Verwertung in anderen als den genannten oder den gesetzlich zugelassenen Fällen ist ohne schriftliche Genehmigung von T<sup>3</sup> nicht zulässig. Alle verwendeten Marken sind Eigentum ihrer Inhaber.

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Vorwort</b>	3
<b>Experimente ohne Messwerterfassung</b>	
Zahlen in der Biologie – Handhabung des GTR	6
Zuckerproduktion der Zuckerrübe	8
Modifikatorische Variabilität bei Bohnensamen	11
Wachstum einer Bohnenpflanze	15
$\chi^2$ -Test	19
<b>Experimente mit Messwerterfassung</b>	
Bergmannsche Klimaregel	24
Modellversuch zur Allenschen Regel	28
Atmung von Mehlwürmern in Abhängigkeit von der Temperatur (RGT-Regel)	31
Stärkeabbau durch Amylase	36
Kohlenstoffdioxid im Klassenraum	41
Sauerstoffverbrauch in der Ausatemluft	45
Luftaustausch beim Atmen (Spirometer)	47
Fotosynthese der Pflanzen am Beispiel der Kresse	55
Atmung der Pflanzen am Beispiel der Kresse	59
Modellversuch zum Membranpotenzial	63
<b>Anhang</b>	
Kurzanleitung TI-84 Plus	68
Kurzanleitung DataMate™	76



## Vorwort

Taschenrechner und Taschencomputer führen oft noch ein Schattendasein im Biologieunterricht. Aber diese Geräte befinden sich in der Tasche der Schülerinnen und Schüler: der meist grafikfähige Taschenrechner (GTR) oder sogar ein leistungsfähigeres Modell mit Computeralgebrasystem (CAS). Da liegt es nahe, deren Potenzial auch für das Fach Biologie zu nutzen. Darstellungen in Form von Tabellen und Graphen prägen die wissenschaftliche Auswertung von Experimenten. Mit Hilfe von GTR oder CAS können die Schülerinnen und Schüler diese Darstellungen selbst erstellen. In Kombination mit Sensoren werden Messungen zu biologischen Experimenten erfasst und können dann in Form von Tabellen oder Graphiken ausgewertet werden. Während den Schülerinnen und Schülern diese Techniken aus dem Mathematikunterricht meist bekannt sind, zeigt die Erfahrung, dass die Unterrichtenden im Fach Biologie noch große Berührungsängste haben. Um in dieser Situation Hilfestellungen zu geben, hat sich eine Gruppe von Biologielehrerinnen und -lehrern um realistische Einsatzmöglichkeiten von GTR- bzw. CAS-Geräten Gedanken gemacht. Die dabei entstandenen Materialien halten Sie hier in den Händen. Es sind Materialien, die im Unterricht und in Fortbildungsveranstaltungen sorgfältig erprobt wurden und die sich dabei bewährt haben. Die Materialien sind durchgehend aufgeteilt in Lehrerinformation mit Anleitungen und Tipps und (kopierfähige) Schülerarbeitsblätter, überwiegend mit Lösungsideen. Damit besteht einerseits die Möglichkeit, dass sich die Unterrichtenden in Ruhe mit den technischen Möglichkeiten vertraut machen können, andererseits können die Schülerinnen und Schüler mit den Anleitungen weitgehend selbständig arbeiten.

Als Technologien werden verwendet: TI-84 Plus bzw. Voyage™ 200 in Verbindung mit dem Messwerterfassungssystem CBL 2™, in einigen Experimenten auch die TI-Nspire™ Handheld- bzw. PC-Technologie in Verbindung mit dem Interface TI-Nspire™ Lab Cradle oder dem Adapter Vernier EasyLink®. Bis auf den Versuch mit dem Spirometer lassen sich die Versuche auf die jeweils anderen Systeme übertragen. Zum Einarbeiten in die Technologien dienen die Kurzanleitungen im Anhang. Weitergehende Unterstützung bietet das Online-Angebot unter [www.ti-unterrichtsmaterialien.net](http://www.ti-unterrichtsmaterialien.net)

Die Autoren wünschen ein erfolgreiches Arbeiten mit den Materialien.

Hans-Ulrich Lampe

Koordinator der T<sup>3</sup>-Projektgruppe Biologie



## **Experimente ohne Messwerterfassung**

- einfache Rechnungen durchführen
- Daten graphisch darstellen
- statistische Auswertungen erstellen
- Anleitungen im Anhang

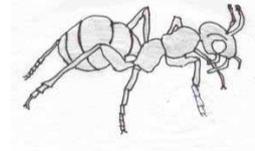
Taschenrechner und Taschencomputer werden abkürzend als TC bezeichnet.

## Zahlen in der Biologie – Handhabung des GTR - Arbeitsblatt -

Aus der Biologie werden einige Beispiele vorgestellt, bei deren genauerer Betrachtung bzw. Berechnung sich erstaunliche Zahlen ergeben. Es sind jeweils wenige einfache Rechenschritte notwendig. Die Durchführung dieser Rechenschritte mit dem GTR soll eine erste einfache Handhabung des Gerätes ermöglichen.

### Aufgabe 1: Ganz schön schwer

Ameisen schleppen manchmal Material mit recht großer Masse herum. Dabei können sie das 50-fache ihres Körpergewichts tragen.



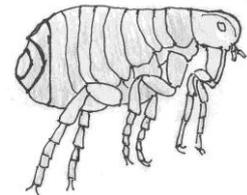
Berechne, wie viel Masse du tragen könntest, wenn du so stark wie eine Ameise wärest.

Wie vielen Mehlütten würde diese Masse etwa entsprechen?

Mein Körpergewicht ist \_\_\_\_\_. Ich könnte \_\_\_\_\_ an Masse tragen, das entspricht ungefähr \_\_\_\_\_ Mehlütten.

### Aufgabe 2: Ganz schön hoch

Ein Floh hat eine Körpergröße von ungefähr 1,5 mm und kann aus dem Stand ungefähr 21 cm hoch springen.

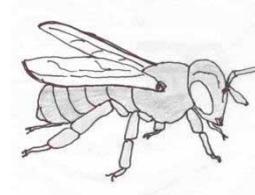


Berechne, wie hoch du aus dem Stand springen würdest, wenn man deine Körpergröße im Verhältnis berücksichtigen würde.

Meine Körpergröße ist \_\_\_\_\_. Ich könnte im Verhältnis zu meiner Körpergröße aus dem Stand \_\_\_\_\_ hoch springen.

### Aufgabe 3: Ganz schön fleißig

Eine Sammelbiene lebt ungefähr 6 Wochen. In dieser Zeit absolviert sie pro Tag durchschnittlich 5 Sammelflüge von je ungefähr 2 km Länge. Pro Flug bringt eine Sammelbiene ca. 40 mg Nektar mit. Durch den Reifeprozess in der Bienenwabe bleibt von dem Nektar nur  $\frac{1}{3}$  als Honig übrig.



Wie viel Nektar sammelt eine Biene in ihrem Leben? Wie viele Bienen sind ihr Leben damit beschäftigt, ein Glas Honig (500 g) zu sammeln?

Wie viele Flugkilometer stecken in einem Honigglas?

Eine Biene sammelt in ihrem Leben \_\_\_\_\_ Nektar. Für ein Glas Honig sind \_\_\_\_\_ Bienen im Einsatz. In einem Glas Honig stecken \_\_\_\_\_ Flugkilometer.

**Zahlen in der Biologie – Handhabung des GTR**

## Lösungen zum Schülerarbeitsblatt

1. Wird ein Körpergewicht von 40 kg angenommen, dann könnte man das 50-fache davon tragen, also 2000 kg oder 2 t. Das entspricht dann 2000 Mehlütten.
2.  $210 \text{ mm} : 1,5 \text{ mm} = 140$   
Der Floh überspringt das 140-fache seiner Körpergröße.  
Wird eine Schülergröße von 1,6 m angenommen, beträgt das 140-fache der Körpergröße 224 m. Damit könnte man leicht über den Kölner Dom (157 m) springen.
3.  $(6 * 7) \text{ Tage} * 5 \text{ Flüge/Tag} = 210 \text{ Flüge}$   
 $210 \text{ Flüge} * 40 \text{ mg/Flug} = 8400 \text{ mg}$   
Die Lebensleistung einer Sammelbiene sind 8400 mg Nektar.  
 $500\text{g} = 500.000 \text{ mg}$   
 $500.000 \text{ mg} * 3 = 1.500.000 \text{ mg}$   
 $1.500.000 \text{ mg} : 8400 \text{ mg} \approx 178$   
Für ein Glas Honig ist die Lebensleistung von ca. 178 Sammelbienen notwendig.  
 $1.500.000 \text{ mg} : 40 \text{ mg} = 37.500$   
Für ein Glas Honig sind 37.500 Flüge notwendig, jeder hat eine Länge von ca. 2 km, also sind es ca. 75.000 km Flugleistung. Das entspricht mehr als 1,5-mal den Äquator zu umfliegen.

## Wie viel Zucker erzeugt eine Zuckerrübe im Jahr?

- Arbeitsblatt -



### Die Zuckerrübe

Bis vor ca. 200 Jahren gewann man den Zucker ausschließlich aus dem in Übersee wachsenden Zuckerrohr und dementsprechend teuer war der Zucker. Erst durch die Züchtung von Zuckerrüben konnte Zucker in großen Mengen im Inland hergestellt werden und war damit für viele erschwinglich.

Die Zuckerrübe ist eine zweijährige Pflanze. Im ersten Jahr bildet sich nach der Keimung die Blattrosette und die im Boden sitzende Rübe, erst im zweiten Jahr blüht die Zuckerrübe und bildet Samen. Die Rübe wird aber im ersten Jahr geerntet, da die Zuckerproduktion dann am höchsten ist.

Eine Zuckerrübe hat ca. 25 Blätter, ein Blatt hat im Durchschnitt eine Fläche von 260 cm<sup>2</sup>. Die geerntete Rübe hat ein Gewicht von 700 bis 800 Gramm.

1. Schreibe die Wortgleichung der Fotosynthese auf. Erläutere die Bedeutung der Pflanzenteile für die Fotosynthese.

.....

.....

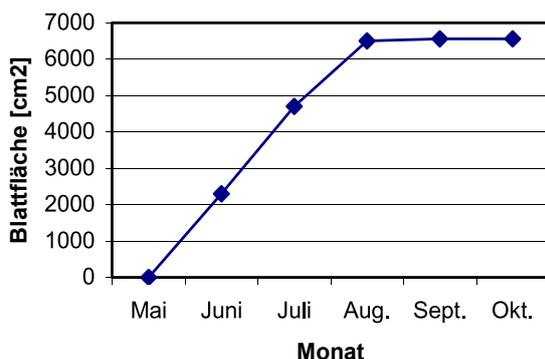
.....

.....

2. Forscher haben herausgefunden, dass 1 m<sup>2</sup> Blattoberfläche in 1 Stunde 1 g Glucose erzeugt. Schätze damit, wie viel Zucker eine Zuckerrübe im Jahr erzeugt.

.....

Du hast natürlich schon bemerkt, dass die Rübe erst wachsen muss und dass die Sonne nicht in jedem Monat gleich lange scheint. Also benötigen wir genauere Daten.



	Anzahl der Tage	durchschnittliche Sonnenscheindauer pro Tag
Mai bis Aug.	104	10
Sept. bis Okt.	61	6

3. Berechne unter Verwendung der Daten, wie viel Zucker die Rübe pro Monat von Mai bis Ende Oktober erzeugt hat. Vergleiche mit deiner Schätzung aus Aufgabe 2.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. Aus einer Rübe können 18% des Rübengewichts an Zucker gewonnen werden. Berechne die zu erwartende Zuckerausbeute. Erkläre, warum die Zahlen der Zuckerproduktion und die der Zuckerausbeute sehr voneinander abweichen. Erkläre, warum der Zuckergehalt nach der Ernte bei langer Lagerung noch weiter zurückgeht.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Die folgenden Aufgaben sind etwas für Zahlenakrobaten:

5. a) Auf einem Feld wachsen ganz viele Rüben. Die niedersächsischen Landwirte haben in einem Jahr auf insgesamt 96000 Hektar (ha) 6,2 Mio. Tonnen (t) Zuckerrüben geerntet. Ermittle die Anzahl der Rüben auf einem Feld mit der Fläche von 1 ha.

.....

.....

- b) Berechne die aus der diesjährigen Ernte zu erwartende Zuckermenge. Ein Zuckerpaket aus dem Supermarkt wiegt 1 kg. Wie viele Pakete können mit dieser Zuckermenge abgefüllt werden. Finde einen Vergleich, mit dem man sich diese Zahl vorstellen kann.

.....

.....

## Wie viel Zucker erzeugt eine Zuckerrübe im Jahr?

Lehrerinformation / Lösungen zum Schülerarbeitsblatt

Statt des Fotos ist eine mitgebrachte Rübe viel wirkungsvoller. Hieran lassen sich die Anzahl der Blätter, die gegenseitige Beschattung und die Größenunterschiede der Blätter analysieren. In arbeitsteiliger Gruppenarbeit kann auch die Blattfläche der Blätter nachgemessen werden (Karo-Folien auflegen) und ein besserer Durchschnittswert für die Blattfläche angegeben werden.

1. Kohlenstoffdioxid + Wasser  $\xrightarrow{\text{Licht}}$  Glucose + Sauerstoff  
Mit Hilfe von Licht und Kohlenstoffdioxid wird in den Blättern Glucose gebildet. Glucose wird in der Wurzel (Rübe) als Rohrzucker gespeichert.
2. Für die Rechnung werden angenommen: Blattfläche einer Zuckerrübe 0,65 m<sup>2</sup>, ca. 5\*30 Sonnenstunden im Monat, 6 Vegetationsmonate. Damit lässt sich eine Produktion von 585 g Zucker schätzen.
3. Eine übersichtliche Lösungsmöglichkeit bietet die Erstellung einer Liste in dem TC (hier TI-84 Plus):  
**L1**: Monat, **L2**: durchschn. Blattfläche in m<sup>2</sup>, **L3**: Tage im Monat, **L4**: Sonnenscheindauer pro Tag, **L5**: Produkt L2\*L3\*L4, **L6**: Summe von L6

L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
5	.05	15	10	7.5	FRWA	--
6	.23	30	10	69	-----	
7	.45	31	10	139.5		
8	.65	31	9	181.35		
9	.65	30	7	136.5		
10	.65	31	5	100.75		
-----	-----	-----	-----	-----		
L6()=sum(L5)						

Näherungsweise produziert eine Zuckerrübe ca. 635 g Zucker.

4. Bei einem Gewicht der Zuckerrübe von 800g sind 144 g als Zucker nutzbar. Die Zuckerrübe besteht auch aus anderen Stoffen, z.B. Cellulose, Eiweiß u.a., die nicht für die Zuckergewinnung nutzbar sind. Da die Zuckerrübe nach der Ernte noch „lebt“, aber ohne Blätter keine Energiezufuhr mehr hat, verbraucht sie den Zucker für den eigenen Stoffwechsel.
5. a) Eine Rechnung mit dem TC könnte nach Umrechnung aller Einheiten so aussehen. Es sind zwischen 80000 und 90000 Zuckerrüben auf dem Feld.

6200000/96000
64.58333333
64.6*1000000
64600000
Ans/800
80750

5. b) Es sind 1,12 Mill. Zuckertüten. Auf eine Palette passen 840 Zuckerpakete (14 Lagen à 60 Pakete), in einen LKW (19 m langer Sattelaufleger) passen 34 Paletten. Das ist eine ca 740 km lange LKW-Schlange (Strecke Kiel – München).

### Quelle:

verändert nach: Meyer, G.: Wie viel Zucker erzeugt die Zuckerrübe? In: Unterricht Biologie, Heft 140, Friedrich Verlag, 1988

## Modifikatorische Variabilität

- Lehrmaterial -

Durch Umwelteinflüsse werden unterschiedliche Ausprägungen von Merkmalen bewirkt. Individuen eines Klons zeigen, dass dieses auch bei gleichem Erbgut der Fall ist. Die Merkmale treten mit einer Variationsbreite um einen Mittelwert auf. Um dieses Phänomen zu veranschaulichen, werden Bohnensamen einer Sorte ausgemessen. Durch Auftragen der Samenanzahl pro Größenklasse in einem Diagramm, ergibt sich eine Variationskurve.

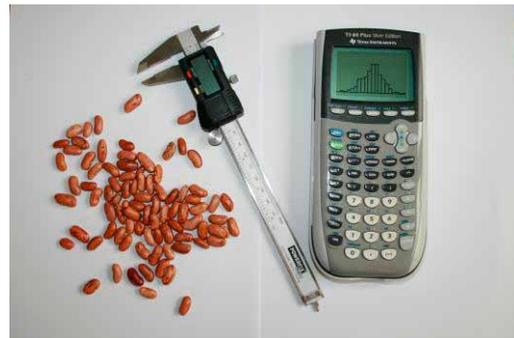
### Geräte

TC (hier TI-84 Plus)  
Messschieber oder Lineal

### Materialien

Bohnsamen einer Sorte (z.B. Kidney)  
(Packungen kaufen, die Varianzen aufweisen)

### Versuchsaufbau



### Versuchsdurchführung

Jeweils ca. 50 Samen einer Bohnensorte werden mit einem Messschieber ausgemessen und per Strichliste einer Größenklasse zugeordnet. Danach wird die Anzahl der Samen pro Klasse ausgezählt. Diese Werte werden in die Listen des TI-84 Plus übernommen. Anschließend lassen sich die erfassten Daten mit Hilfe des Plot-Menüs graphisch darstellen und mit Hilfe des Statistik-Menüs auswerten.

### Hinweise zur Auswertung

Die Variationskurve zeigt die Verteilung der Größenklassen. Von den extrem kleinen und extrem großen Samen gibt es nur sehr wenige. Je näher die Größenklasse zum Mittelwert liegt, umso mehr Samen enthält die Klasse. Die Werte streuen um den Mittelwert und zeigen damit eine Reaktionsnorm.

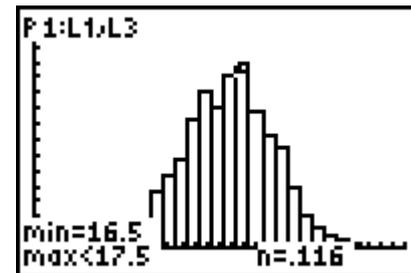
### Tipps und Tricks

Die ermittelten Werte der Lerngruppe lassen sich in einer Liste zusammenfassen, so dass man einen größeren Stichprobenumfang erhält. Insgesamt könnten so maximal 499 Bohnen ausgemessen werden.

Die Größenklassen lassen sich nachträglich im WINDOW-Menü über Xscl einstellen. Mit Hilfe des TI-84 Plus lassen sich der Mittelwert und die empirische Standardabweichung berechnen. Mit diesen Kenndaten können die aus der Graphik entnommenen Befunde weiter veranschaulicht werden.

## Graph

Dargestellt sind die Werte als relative Häufigkeiten in Klassen mit jeweils einer Breite von einem Millimeter  $[9 ; 10[$  ,  $[10 ; 11[$  , ... ,  $[25 - 26[$ . Die Säulen stehen auf der Klassenmitte. Die meisten Bohnen befinden sich in der Größenklasse 16 bis 17 mm. Der Stichprobenumfang beträgt hier 500 Bohnen.



Die WINDOW-Einstellungen sind wie nebenstehend einzutragen. Xmin= -0.5 sorgt dafür, dass die Säulen immer mittig über der Klassenmitte stehen. Mit Xscl kann die Klassenbreite verändert werden.

```
WINDOW
Xmin=-.5
Xmax=30
Xscl=1
Ymin=-.01
Ymax=.15
Yscl=.01
↓Xres=1
```

## Statistische Auswertung

Berechnet wurden hier der Mittelwert  $\bar{x}$  und die Standardabweichung  $\sigma_x$  (für n Freiheitsgrade) bzw.  $S_x$  für n-1 Freiheitsgrade.

(Auf dem zweiten Bildschirm folgen der Median und die Quartile.)

```
1-Var Stats
x̄=15.214
Σx=7607
Σx²=122353
Sx=3.642353288
σx=3.638709112
↓n=500
```

## Modifikatorische Variabilität

- Schülerarbeitsblatt -

Bohnsamen variieren in ihrer Länge. Solche Unterschiede im Phänotyp sind nicht nur auf das Erbgut zurückzuführen, sondern werden auch durch Umweltfaktoren wie z.B. Feuchtigkeit, Lichtangebot oder Temperatur verursacht. Um dieses näher zu betrachten, werden Samen einer Sorte nach ihrer Länge ausgewertet.

### Geräte

TI-84 Plus  
Messschieber oder Lineal

### Materialien

ca. 50 Bohnen

### Versuchsaufbau



### Versuchsdurchführung

Messt in Partnerarbeit die Länge von ca. 50 Bohnensamen aus. Benutzt die vorgegebene Tabelle und ordnet zuerst die gemessenen Samen durch eine Strichliste den Größenklassen zu. Danach tragt ihr in die Tabelle die Anzahl der Bohnen pro Größenklasse ein.

### Zählprotokoll

Länge in mm Klassen- mitte	Strichliste	Summe	Summe aller Gruppen	Länge in mm Klassen- mitte	Strichliste	Summe	Summe aller Gruppen
5,5				15,5			
6,5				16,5			
7,5				17,5			
8,5				18,5			
9,5				19,5			
10,5				20,5			
11,5				21,5			
12,5				22,5			
13,5				23,5			
14,5				24,5			

### Auswertung

- 1) Trage deine Werte in den Listeneditor ein.
- 2) Stelle die Werte in einem Säulendiagramm dar. Erläutere die Graphik.
- 3) Berechne den Mittelwert und die Standardabweichung.

## Modifikatorische Variabilität

### Lösungen zum Schülerarbeitsblatt

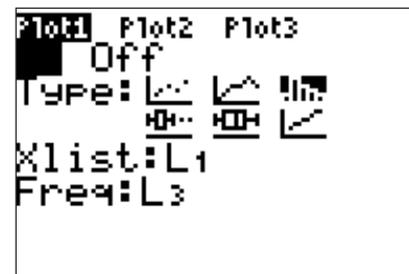
1) Messwerte eingeben:

- Unter L1 werden die Bohnenlängen in mm eingegeben. Für jede Klasse wird die Klassenmitte eingetragen. Die Klasse  $[5 ; 6[$  hat die Klassenmitte 5,5. Der Wert 5 gehört zum Intervall, der Wert 6 gehört zum nächsten Intervall.
- Unter L2 werden die ausgezählten Werte eingegeben.
- Unter L3 werden die relativen Häufigkeiten ausgegeben. Dazu muss der Listenkopf L3 mit ENTER aktiviert werden und dann in der Kommandozeile folgender Befehl eingetragen werden: "L2/sum(L2)".

L1	L2	L3
5.5	3	.006
6.5	4	.008
7.5	7	.014
8.5	9	.018
9.5	18	.036
10.5	23	.046
11.5	29	.058
L3 = L2 / sum(L2)		

2) Erstellung des Säulendiagramms:

Im Menü müssen die Einstellungen wie in der Abbildung vorgenommen werden.



Das Säulendiagramm zeigt die Verteilung der Größenklassen. Von den extrem kleinen und extrem großen Samen gibt es nur sehr wenige. Je näher die Größenklasse zum Mittelwert liegt, umso mehr Samen enthält die Klasse. Die Werte streuen um den Mittelwert und zeigen damit eine Reaktionsnorm.

3) Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung:

Der Mittelwert entspricht nicht dem Wert der höchsten Säule. Dies lässt sich mit der Form des Säulendiagramms erklären. Die Standardabweichung besagt, dass in einem Intervall von  $2\sigma$  um den Mittelwert ca. 68% der Bohnenlängen liegen.



## Wachstum einer Bohnenpflanze

- Lehrmaterial -

Bohnen sind einfach aufzuziehen und überraschen durch ihr erstaunliches Wachstum. Dieses fordert zu einem Wettbewerb heraus, wer die Bohne mit dem größten Längenwachstum hat. Außerdem kann mit einem Tagebuch die Dokumentation von Beobachtungen geübt werden. Als Versuchspflanze eignet sich die Gartenbohne (*Phaseolus*), die es als Buschbohne (bis 0,7 m, nicht windend) und Stangenbohne (3 – 4 m, windend) gibt. Auch die Feuerbohne ist reizvoll (2 – 4 m, windend). Bei letzterer bleiben die Keimblätter im Boden.

### Materialien

- Blumentopf
- Pflanzerde
- Holzstab zur Befestigung
- Zollstock
- Gießgefäß
- Bohnensamen
- Zylinder aus schwarzer Pappe

### Geräte

- TC (hier TI-84 Plus)

### Versuchsaufbau



### Versuchsdurchführung

Lasse die Bohnen einen Tag auf feuchtem Küchenpapier quellen. Fülle einen Blumentopf mit lockerer Pflanzerde, achte dabei auf einen Gießrand. Stecke die Bohne ca. 2 cm in die Erde. Gieße die Erde regelmäßig mit Wasser. Die Erde sollte aber immer nur feucht und nicht durchtränkt sein.

- 1) Stelle den Blumentopf in einen Raum mit konstanter Zimmertemperatur.
- 2) Wie Versuch 1), jedoch durch einen schwarzen Pappzylinder dunkel gehalten.

Kontrolliere möglichst täglich das Wachstum der Bohnenpflanze. Miss die Länge des Bohnensprosses und trage den Wert in das Protokoll ein.

Schreibe in einem Tagebuch deine Beobachtungen auf.

Damit der Spross gerade nach oben wächst, sollte man den Spross locker mit Binddraht oder Bindfaden an einem Holzstab befestigen.

### Hinweise zur Auswertung

Das Längenwachstum der Bohne erfolgt nicht gleichmäßig, sondern in Phasen mit unterschiedlicher Wachstumsintensität:

- Nach dem Erscheinen der Keimblätter ein geringes Wachstum.
- Starke Zunahme des Wachstums.
- Annähernd gleichmäßiges Wachstum, aber die höchste Wachstumsintensität.
- Abnahme des Wachstums bis zum Erreichen eines Endwertes.

Graphisch dargestellt ergibt sich eine sigmoide Kurve (logistisches Wachstum). Interessant ist der Vergleich des Längenwachstums von Pflanzen bei normaler Belich-

tung und Pflanzen, die im Dunkeln gehalten werden. Letztere weisen ein überlanges Sprosswachstum auf (Vergeilung oder Etiolement). Auch wenn die Umweltfaktoren der wachsenden Pflanze verändert wurden (Belichtung, Bewässerung, Düngung) sind immer sigmoide Kurven zu beobachten, die sich nur durch den Endwert unterscheiden.

Prinzipiell besteht das Wachstum aus der Zellteilung in der Vegetationszone (oberer Abschnitt der Sprossachse) mit anschließender Größenzunahme der Zellen durch Streckungs- und Differenzierungswachstum. Einige Zellen verbleiben jedoch stets in dem embryonalen, undifferenzierten Stadium.

### Tipps und Tricks

Variation des Versuchs in höheren Jahrgangsstufen mit Senf oder Kresse. Die Samen werden auf feuchtes Filterpapier ausgebracht. Auch hier wird die Länge des Sprosses gemessen, aber unter verschiedenen Bedingungen: Tageslicht bzw. weißes Dauerkunstlicht, ohne Licht, bei dunkelrotem Licht (ca. 735 nm) bzw. hellrotem Licht (ca. 665 nm). Hier lassen sich Überlegungen bezüglich des Umweltfaktors Licht und der Bedeutung des Phytochroms anschließen.

### Protokoll

Beispiel eines Wachstums bei Zimmertemperatur und Belichtung.

Tag	Länge in cm	Tag	Länge in cm
1-5	0	17	65,4
6	0,4	18	67,8
7	3,0	19	68,9
8	4,5	20	69,3
9	8,4	21	69,7
10	11,6	22	71,0
11	19,5	23	71,3
12	24,4	24	71,5
13	31,6	25	71,7
14	43,0	26	71,9
15	50,1	27	
16	56,0	28	

### Graphen

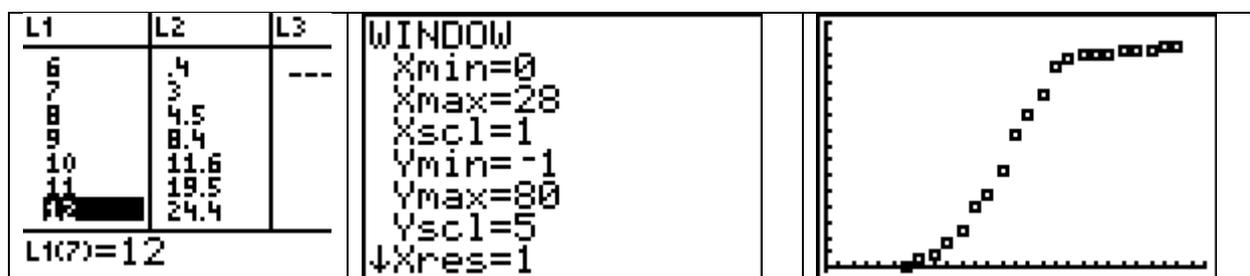


Abb.1: Listeneditor

Abb.2: WINDOW-Einstellung

Abb.3: Graph

Die größte Wachstumsintensität ist hier um den 13. Tag zu sehen, erkenntlich an dem Wendepunkt der Kurve.

## Wachstum einer Bohnenpflanze

- Arbeitsblatt -

Die Bohnenpflanze zeigt ein überraschend schnelles Längenwachstum.

### Materialien

- Blumentopf
- Pflanzerde
- Holzstab zur Befestigung
- Zollstock
- Gießgefäß
- Bohnensamen

### Geräte

- TC (hier TI-84 Plus)

### Versuchsaufbau



### Versuchsdurchführung

Lasse die Bohnen einen Tag auf feuchtem Küchenpapier quellen. Fülle einen Blumentopf mit lockerer Pflanzerde, achte dabei auf einen Gießrand. Stecke die Bohne ca. 2 cm in die Erde. Gieße die Erde regelmäßig mit Wasser. Die Erde sollte aber immer nur feucht und nicht durchtränkt sein.

- 1) Stelle den Blumentopf in einen Raum mit konstanter Zimmertemperatur.
- 2) Wie Versuch 1), jedoch durch einen schwarzen Pappzylinder dunkel gehalten.

Kontrolliere täglich das Wachstum der Bohnenpflanze. Miss die Länge des Bohnensprosses und trage den Wert in das Protokoll ein. Schreibe in einem Tagebuch deine Beobachtungen auf.

Damit der Spross gerade nach oben wächst, sollte man den Spross locker mit Binddraht oder Bindfaden an einem Holzstab befestigen.

### Auswertung

1. Trage deine Werte in den Listeneditor ein.
2. Stelle die Daten in einem Streudiagramm dar.
3. Beschreibe und erläutere das Bohnenwachstum.



## Statistische Auswertung mit dem $\chi^2$ -Test

- Lehrermaterial -

Im Rahmen der Verhaltensforschung finden sich Experimente zu folgender Hypothese:  
Mäuse in der Natur scheinen die Durchquerung freier Flächen zu vermeiden.

Hinweis: Die Versuchsarena kann auf einer großen Holzplatte errichtet werden. Dabei sollte auf Abwischbarkeit geachtet werden.

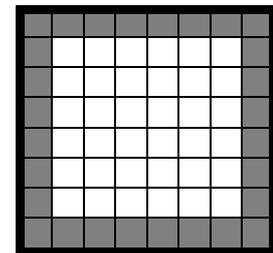


### Experiment 1

Zur Überprüfung der Hypothese wird die Maus in eine Versuchsfläche eingesetzt, die in acht mal acht Quadrate aufgeteilt ist und von einer Wand umgeben wird. Über fünf Minuten lang wird nun alle drei Sekunden notiert, ob sich die Maus auf einem Feld mit Wandkontakt aufhält oder nicht. Der Versuch liefert z.B. folgende **Messwerte**  $f_M$ :

$f_M$  (Aufenthalt im Wandbereich): 61

$f_M$  (Aufenthalt in der Mitte): 39



**Abb. 1**  
Versuchsfläche 1

Folgende **Erwartungswerte**  $f_E$  ergeben sich bei 100 Messwerten:

$f_E$  (28 Wandfelder):  $\frac{28}{64} \cdot 100 \approx 44$

$f_E$  (36 Mittelfelder):  $\frac{36}{64} \cdot 100 \approx 56$

### Experiment 2

Ein weiterer Versuch differenziert die vorherigen Wandfelder in Felder mit Wand (markiert mit einem dicken Strich) bzw. mit Kante (ohne Wand aber mit mindestens 70 cm Abstand vom Boden) oder Ecke. Auch hier wird über fünf Minuten lang alle drei Sekunden notiert, auf welchem Feld sich die Maus befindet. Der Versuch liefert z.B. folgende **Messwerte**  $f_M$ :

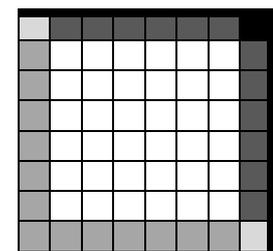
$f_M$  (Aufenthalt in der Mitte): 37

$f_M$  (Aufenthalt im Wandbereich): 28

$f_M$  (Aufenthalt im Randbereich – Feld mit Kante): 26

$f_M$  (Aufenthalt in der Ecke<sub>1</sub> – Feld mit Wand und Kante): 4

$f_M$  (Aufenthalt in der Ecke<sub>2</sub> – Feld mit zwei Wänden): 5



**Abb. 2**  
Versuchsfläche 2

Folgende **Erwartungswerte**  $f_E$  ergeben sich bei 100 Messwerten:

$$f_E \text{ (36 Mittelfelder): } \frac{36}{64} \cdot 100 \approx 56$$

$$f_E \text{ (12 Wandfelder): } \frac{12}{64} \cdot 100 \approx 19$$

$$f_E \text{ (13 Randfelder): } \frac{13}{64} \cdot 100 \approx 20$$

$$f_E \text{ (2 Felder mit Ecke}_1 \text{ (hellgrau))}: \frac{2}{64} \cdot 100 \approx 3$$

$$f_E \text{ (1 Feld mit Ecke}_2 \text{ (schwarz))}: \frac{1}{64} \cdot 100 \approx 2$$

Der  $\chi^2$ -Test ist ein statistisches Verfahren. Die Zufallsgröße  $\chi^2$  gibt die Abweichung der Messwerte vom Erwartungswert an und wird folgendermaßen berechnet:

$$\chi^2 = \sum_1^r \frac{(f_{M1} - f_{E1})^2}{f_{E1}} + \frac{(f_{M2} - f_{E2})^2}{f_{E2}} + \dots + \frac{(f_{Mr} - f_{Er})^2}{f_{Er}}$$

Alternativ wird wie in der Tabelle auf der nächsten Seite die Berechnung mithilfe eines TC (hier TI-84 Plus) durchgeführt.

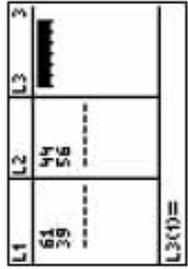
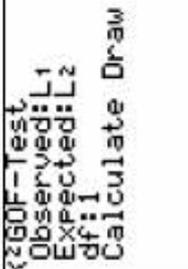
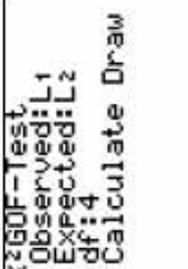
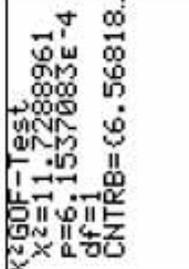
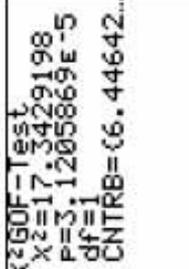
Für **Experiment 1** ergibt sich ein  $\chi^2$ -Wert von 11,73 (Freiheitsgrad von 1,  $p < 0,001$ ) bei **Experiment 2** ergibt sich ein  $\chi^2$ -Wert von 17,34 (Freiheitsgrad von 4,  $p < 0,01$ ).

Mit den Werten des  $\chi^2$ -Tests kann man überprüfen, mit welcher statistischen Sicherheit die oben genannte Hypothese zum Wandkontakt bei Mäusen angenommen werden kann.

Zur Interpretation des  $\chi^2$ -Tests müssen die Ergebnisse mit den Angaben in der nachfolgenden Wahrscheinlichkeitstabelle verglichen werden.

Anzahl der Freiheitsgrade	Irrtumswahrscheinlichkeit		
	$p = 0,05$ (5%)	$p = 0,01$ (1%)	$p = 0,001$ (0,1%)
1	3,84	6,64	<b>10,8</b>
2	5,99	9,21	13,8
3	7,82	11,3	16,3
4	9,49	<b>13,3</b>	18,5
5	11,1	15,1	20,5

Man erkennt, dass die Ergebnisse die Werte der Wahrscheinlichkeitstabelle überschreiten. Das bedeutet, dass die oben genannte Hypothese insgesamt mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 1% angenommen werden kann.

Was möchte ich?	Was gebe ich ein?	Was sehe ich?		Hinweise
		Beispiel 1	Beispiel 2	
Daten für den $\chi^2$ -Test in Listen eingeben	<b>STAT</b>			
	<b>ENTER</b>			In L1 werden die Messwerte $f_M$ eingetragen, in L2 die Erwartungswerte $f_e$
Den $\chi^2$ -Test durchführen	<b>STAT</b>			Mit der Cursortaste so lange nach unten scrollen, bis bei D: $\chi^2$ -GOF-Test... der $\chi^2$ -Test aufgerufen werden kann
	<b>ENTER</b>			Hier werden die <b>Listen</b> angegeben, in denen die Daten für den $\chi^2$ -Test stehen; die Zahl der Freiheitsgrade ( <b>df</b> ) ergibt sich aus der Anzahl der Variablen minus 1; <b>Calculate</b> muss angewählt werden
	<b>ENTER</b>			



---

## **Experimente mit Messwerterfassung**

Erweiterung des Taschenrechnereinsatzes mit Sensoren

- Temperatursensor
- CO<sub>2</sub>-Sensor
- O<sub>2</sub>-Sensor
- Colorimeter
- Spirometer
- Spannungsmesser

Taschenrechner und Taschencomputer werden abkürzend als TC bezeichnet, Messwerterfassungssysteme als MW.

## Bergmannsche Klimaregel

- Lehrmaterial -

Die relative Oberfläche eines Körpers hängt von der Körpergröße ab. Kleine gleichwarme Tiere haben im Vergleich zu großen Tieren mit ähnlichem Körperbau eine größere relative Oberfläche und kühlen daher schneller aus. Um die Körpertemperatur konstant zu halten, benötigen sie pro Gewichtseinheit laufend mehr Energie. Gemäß der Bergmann-Regel sind daher verwandte Tiere in kalten Regionen generell größer als in warmen. So lässt sich zum Beispiel beobachten, dass die Größe der Pinguin-Arten vom Äquator zur Antarktis hin zunimmt. Der Galapagos-Pinguin besitzt eine durchschnittliche Körpergröße von 53 cm, während die durchschnittliche Größe beim Kaiser-Pinguin 114 cm beträgt.

Ausgehend von dieser Beobachtung kann in einem Versuch die Fragestellung untersucht werden, welche Auswirkung eine unterschiedliche Körpergröße auf den Energiehaushalt eines gleichwarmen Tieres hat.

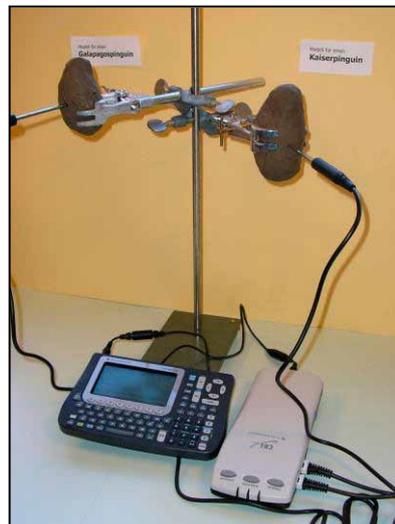
### Geräte

- TC (hier Voyage™ 200)
- MW (hier CBL 2™)
- Stativmaterial
- 2 Temperatursensoren

### Materialien

- Bastelton (Knetmasse, Kartoffeln)

### Versuchsaufbau



### Versuchsdurchführung

Zwei deutlich unterschiedlich große Knetkugeln werden im Wärmeofen auf mindestens 50°C erwärmt und mit den Temperatur-Sensoren so eingespannt, dass die Temperatur ungefähr in der Mitte der Körper gemessen wird. Über einen Zeitraum von 30 Minuten wird die Temperatur der „Körper“ erfasst.

### Einstellungen in ( z.B. DATAMATE)

Kanal 1: Temperatur-Sensor 1  
 Kanal 2: Temperatur-Sensor 2  
 MODE: TIME GRAPH 1800  
 TIME INTERVALL: 30 sec  
 NUMBER OF SAMPLES: 60  
 EXPERIMENT LENGTH: 30 min

### Hinweise zur Auswertung

Die Temperatur fällt unterschiedlich schnell ab, d.h. die Temperaturabnahme erfolgt in dem kleineren „Körper“ schneller. Daraus lässt sich ableiten, dass der Energie-

verlust von der Körpergröße abhängig ist. Dieser Sachverhalt basiert auf der Tatsache, dass bei kleineren Körpern das Verhältnis Oberfläche zu Volumen größer ist als bei größeren Körpern.

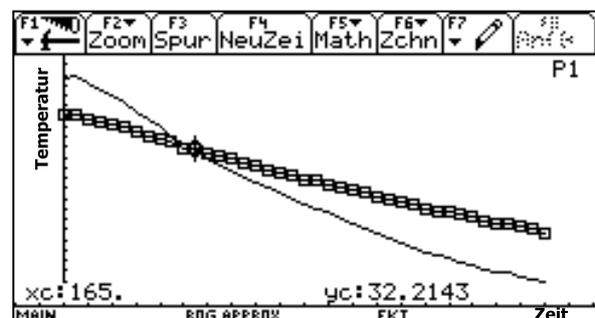
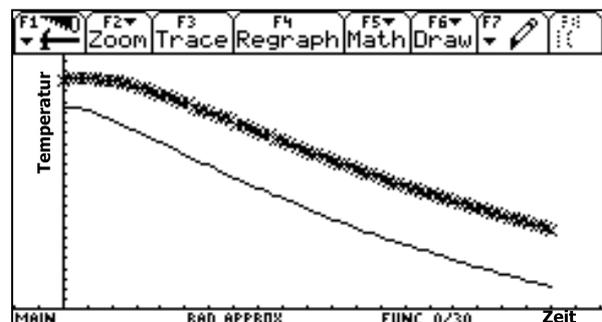
### Tipps und Tricks

- Es ist nicht unbedingt erforderlich, dass beiden Kugeln die gleiche Anfangstemperatur haben. Der Sachverhalt ist in der Grafik deutlicher erkennbar, wenn die kleinere Kugel eine höhere Ausgangstemperatur aufweist.
- Der Aufwärmvorgang im Wärmeofen (Einstellung mindestens 60 °C) benötigt mindestens 1 Stunde.
- Werden die Kugeln aus dem Wärmeschrank genommen, muss für die Messung alles vorbereitet sein, da der Abkühlungsprozess sofort und schnell beginnt.

### Graphen

In den Abbildungen ist die Temperaturabnahme während der Versuchsdauer dargestellt.

In der ersten Grafik hat die größere Kugel eine höhere Starttemperatur, in der zweiten Grafik die kleinere.



## Bergmannsche Klimaregel

- Arbeitsblatt -

Es lässt sich beobachten, dass die Größe der Pinguin-Arten vom Äquator zur Antarktis hin zunimmt. Der Galapagos-Pinguin besitzt eine durchschnittliche Körpergröße von 53 cm, während die durchschnittliche Größe beim Kaiser-Pinguin 114 cm beträgt.

Ausgehend von dieser Beobachtung wird in diesem Versuch die Fragestellung untersucht, welche Auswirkung eine unterschiedliche Körpergröße auf den Energiehaushalt eines gleichwarmen Tieres hat.

### Geräte

- TC (hier Voyage™ 200)
- MW (hier CBL 2™)
- Stativmaterial
- 2 Temperatur-Sensoren

### Materialien

- Bastelton (Knetmasse, Kartoffeln)

### Versuchsaufbau



### Einstellungen (z.B. in DATAMATE)

Kanal 1: Temperatur-Sensor 1  
Kanal 2: Temperatur-Sensor 2  
MODE: TIME GRAPH 1800  
TIME INTERVALL: 30 sec  
NUMBER OF SAMPLES: 60  
EXPERIMENT LENGTH: 30 min

### Versuchsdurchführung

Formen Sie aus der Knet- bzw. Tonmasse zwei deutlich unterschiedlich große Kugeln. Erwärmen Sie die Kugeln im Wärmeschrank auf mindestens 50°C. Bauen Sie das Stativmaterial entsprechend der Abbildung auf und bereiten Sie das CBL 2™ für die Datenmessung vor. Nachdem Sie die erwärmten Knetkugeln in die Stativklammern eingespannt haben, stechen Sie die Temperatur-Sensoren bis jeweils in die Mitte der Kugeln ein. Starten Sie die Messung.

### Auswertungsblatt / Protokoll

- 1) Beschreiben Sie den Verlauf der Kurven.
- 2) Interpretieren Sie die Ergebnisse der Temperaturmessung.
- 3) Erläutern Sie den Sachverhalt ökologisch, nehmen Sie dabei Bezug auf das Vorkommen unterschiedlicher Pinguin-Arten.

## **Bergmannsche Klimaregel**

### Lösungen zum Schülerarbeitsblatt

- 1) Die Temperatur nimmt in beiden Kugeln ab. Dabei fällt auf, dass die Temperaturänderung der kleineren Kugel größer ist als die der größeren.
- 2) Die schnellere Auskühlung der kleineren Kugel ist auf das ungünstigere Oberflächen-Volumen-Verhältnis zurückzuführen. (Mit zunehmendem Radius wächst die Oberfläche in der zweiten Potenz, das Volumen dagegen in der dritten.)
- 3) Gleichwarme Tiere weisen bei geometrisch ähnlichem Körper einen umso geringeren Wärmeverlust auf, je größer ihr Körpervolumen ist. Das heißt, je größer das Verhältnis Körperoberfläche zu Körpervolumen ist, umso größer ist der Energieverlust.  
Die durchschnittliche Körpergröße der verschiedenen Pinguin-Arten nimmt von den warmen Regionen zum Südpol hin zu. Damit ist die Wärmeabgabe über die Oberfläche bei den am Südpol lebenden Pinguinen relativ geringer als bei den kleineren Arten in wärmeren Gebieten. Durch den geringeren Energieverlust ist ihr Nahrungsbedarf bezogen auf das Körpergewicht ebenfalls geringer.

## Modellversuch zur Allenschen Regel

- Lehrermaterial -

### Geräte

- TC (hier Voyage™ 200)
- MW (hier CBL 2™)
- Wasserkocher
- 2 gut isolierte Glasgefäße
- großflächige Kupferbleche oder Aluminiumlöffel
- 2 Temperatursensoren

### Versuchsdurchführung

Wasser im Kocher erhitzen und beide Gefäße gleich befüllen.

In eines der Gefäße Kupferbleche oder Aluminiumlöffel einstellen, beide Temperatursensoren anschließen und in das heiße Wasser tauchen. Messung starten (Zeitraum 10 Minuten, Zeitintervall 20 Sekunden).

### Versuchsaufbau



### Einstellungen in DATAMATE

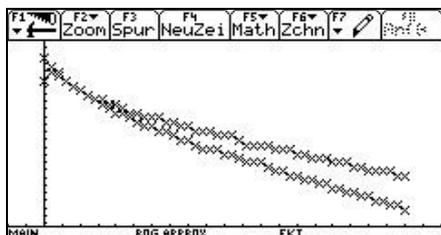
Kanal 1: Temperatursensor 1  
 Kanal 2: Temperatursensor 2  
 MODE: Time Graph 1800  
 TIME INTERVALL : 20 s  
 NUMBER OF SAMPLES: 50  
 EXPERIMENT LENGTH: 10 min (600 s)

### Tipps und Tricks

Die Versuchsgefäße müssen gut isoliert sein und sollten über Deckel oder Stopfen verschlossen werden können.

Die zur Verfügung stehende Anzahl solcher Gefäße entscheidet darüber, ob der Versuch als Schülerexperiment oder als Demonstrationsexperiment durchgeführt wird.

### Messwerte und Graphik



Die obere Kurve zeigt die Temperaturabnahme im Gefäß ohne „Metallohren“, die untere Kurve zeigt die Temperaturabnahme in dem Gefäß mit der zusätzlichen Möglichkeit der Wärmeabstrahlung über die Metallteile.

### Auswertung

In beiden Gefäßen erfolgt die Temperaturabnahme unterschiedlich schnell. Über die künstlichen „Ohren“ aus Metall wird die Wärme aus dem „Körper“ schneller abgeleitet. Gleichgroße Körper kühlen deutlich schneller aus, wenn über große Flächen die Wärme abgegeben wird.

## Modellversuch zur Allenschen Regel

- Arbeitsblatt -

Veranschaulichen Sie die Allenschen Regel mit Hilfe des folgenden Experiments.

### Geräte

- TC (hier Voyage™ 200)
- MW (hier CBL 2™)
- Wasserkocher
- 2 gut isolierte, verschließbare Gefäße
- 2 Kupferblechstreifen oder Aluminiumlöffel
- 2 Temperatursensoren

### Versuchsaufbau



### Einstellungen in DATAMATE

Anschließen der Geräte:

Beide Temperatursensoren an das CBL 2™ anschließen und den Voyage™ 200 mit dem CBL 2™ verbinden (CBL 2™ möglichst mit Netzkabel betreiben).

Erfassen der Messwerte:

- Applikationsbildschirm DATAMATE auswählen und abwarten bis automatisch Messelektroden erkannt werden
- Kanal 1: Temperatursensor 1
- Kanal 2: Temperatursensor 2
- MODE: TIME GRAPH 1800
- Time Intervall: 20 s
- Numbers of samples: 50
- Exp. length: 10 min (600 s)

### Versuchsdurchführung

Bringen Sie im Wasserkocher das Wasser zum Kochen und befüllen Sie beide Gefäße gleich.

Stellen Sie nun in eines der Gefäße die beiden Kupferblechstreifen bzw. Aluminiumlöffel so hinein, dass die Metallstücke ungefähr zur Hälfte aus dem Gefäß herausragen, das andere Gefäß wird nicht bestückt.

Verschließen Sie beide Gefäße und tauchen Sie nun in beide Gefäße je einen Temperatursensor durch den entsprechend vorbereiteten Deckel in das Wasser.

Starten Sie die Messung.

### Auswertung

- 1) Beschreiben Sie den Temperaturverlauf in beiden Gefäßen.
- 2) Erläutern Sie kurz die Allensche Regel an einem geeigneten Beispiel.
- 3) Stellen Sie nun Parallelen zwischen diesem Beispiel und der gewählten Versuchsanordnung auf.

## Modellversuch zur Allenschen Regel

### Lösungen zum Schülerarbeitsblatt

1. In beiden Gefäßen sinkt im Untersuchungszeitraum die Temperatur, dabei sinkt sie im Gefäß ohne „Metallohren“ deutlich schneller.
2. Die Allensche Regel ist nur für homoiotherme Tiere eines Verwandtschaftskreises gültig, z.B. für verschiedene Fuchsarten. Körperanhänge wie Ohrmuscheln, Schwanz oder/und Gliedmaßen von solchen Tieren verringern sich mit abnehmender Umgebungstemperatur im Hauptverbreitungsgebiet. So sind die Ohrmuscheln der südlichsten Fuchsart (Wüstenfuchs) verhältnismäßig groß, während die nördlichste Fuchsart (Polarfuchs) nur sehr kleine, im dichten Fell kaum sichtbare Ohrmuscheln aufweist. Für die Aufrechterhaltung einer relativ konstanten Körpertemperatur sind beim Polarfuchs kleine Ohrmuscheln wesentlich, da so der Wärmeverlust über diese Körperanhänge gering bleibt. Beim Wüstenfuchs erleichtern die großen Ohrmuscheln die in einer sehr warmen Umgebung überlebenswichtige Wärmeabgabe aus dem Körperinneren.
3. Die erleichterte Wärmeabgabe über große Körperanhänge wird durch das Gefäß mit den „Metallohren“ verdeutlicht, die Abkühlung des heißen Wassers erfolgt deutlich stärker als in dem anderen Gefäß, welches modellhaft für ein gleichgroßes homoiothermes Tier mit sehr kleinen Körperanhängen steht.

## Atmung von Mehlwürmern in Abhängigkeit von der Temperatur - Lehrmaterial -

Dieses Experiment ist für Schülerinnen und Schüler im besonderen Maße motivierend, da die RGT-Regel nicht wie sonst häufig mit Hilfe enzymatischer oder rein chemischer Reaktionen veranschaulicht werden kann, sondern mit lebenden Tieren gearbeitet wird.

### Geräte

- TC (hier TI-84 Plus)
- MW (hier CBL 2™)
- CO<sub>2</sub>-Sensor

### Materialien

- 1 Erlenmeyerkolben (250 ml)
- Thermometer
- 15 cm x 15 cm Gazestoff oder -beutel
- 1 Becherglas, breit (600 ml)
- 1 Becherglas (1000 ml)
- Isolationsmaterial (z.B. Luftpolsterfolie)
- Eiswürfel
- 10 Mehlwürmer

### Versuchsaufbau



Ansatz 1



Ansatz 2



Ansatz 3

### Versuchsdurchführung

Die CO<sub>2</sub>-Abgabe der Mehlwürmer wird bei drei unterschiedlichen Temperaturen gemessen. Für alle drei Ansätze werden die Würmer in einen Gazebeutel gegeben, der in einen Erlenmeyerkolben gehängt wird. Die Messwertaufzeichnung erfolgt jeweils über einen Zeitraum von zehn Minuten in einem einminütigen Abstand.

#### Ansatz 1: 8°C

Der Erlenmeyerkolben mit den Mehlwürmern wird im Kühlschrank auf minimal 8°C abgekühlt. Achtung: Diese Temperatur darf nicht unterschritten werden!

Der gekühlte Erlenmeyerkolben mit den Würmern wird in ein 8°C kaltes Wasserbad gestellt (kleines Becherglas), welches zur Isolation in das große Becherglas gehängt wird, um die Temperatur während der Messung in etwa konstant zu halten. Anschließend wird der Erlenmeyerkolben mit dem CO<sub>2</sub>-Sensor verschlossen.

Aufgrund der Trägheit der Sensoren sollte vor Beginn der Messwertaufzeichnung kurz gewartet werden.

#### Ansatz 2: Zimmertemperatur

Vor dem neuen Versuch sollte der Kolben mit den Mehlwürmern gelüftet werden.

Die Mehlwürmer in dem Erlenmeyerkolben werden auf Zimmertemperatur erwärmt und der Erlenmeyerkolben anschließend mit dem CO<sub>2</sub>-Sensor verschlossen.

Vor Beginn der Messwertaufzeichnung wird wieder kurz gewartet.

Ansatz 3: 40°C

Vor dem neuen Versuch sollte der Kolben mit den Mehlwürmern gelüftet werden. Der Erlenmeyerkolben mit den Würmern wird in ein maximal 40°C warmes Wasserbad gestellt (kleines Becherglas), welches zur Isolation in das große Becherglas gehängt wird, um die Temperatur während der Messung in etwa konstant zu halten. Dazu sollte das Wasserbad nach oben abgedichtet werden. Anschließend wird der Erlenmeyerkolben mit dem CO<sub>2</sub>-Sensor verschlossen. Achtung: Diese Temperatur sollte nicht überschritten werden!

Vor Beginn der Messwerterfassung wird wieder kurz gewartet.

**Einstellungen in DATAMATE**

CH 1: CO2 GAS (PPM)  
MODE: TIME GRAPH – 600  
TIME INTERVAL: 60 sec

*Hinweis:*

*Die Eingabe sollte nicht „fortlaufend“ erfolgen, sondern es werden 10 singuläre Messungen vorgenommen, da sonst aufgrund der Sensibilität des Sensors vom eigentlichen Phänomen deutlich ablenkende Ausschläge zu verzeichnen sind.*

**Hinweise zur Auswertung**Ansatz 1: 8°C

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration bleibt über den gesamten Versuchszeitraum nahezu konstant (Siehe L2 in Abb. 1 bzw. gepunkteter Graph in Abb.2). Die Bewegungslosigkeit der Tiere ist dabei – besonders im Kontrast zum vorherigen und nachfolgenden Verhalten – eindrucksvoll zu beobachten.

Ansatz 2: Zimmertemperatur

Bereits im Verlauf dieses kurzen Versuchszeitraums von jeweils 10 Minuten ist ein deutlicher Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration (Siehe L3 bzw. gekästelter Graph) und damit der Intensität des Atmungsprozesses der Tiere festzustellen.

Ansatz: 40°C

Bei erhöhter Temperatur steigt die Atmungsaktivität der Tiere deutlich. Dies ist an dem stärkeren Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration zu sehen (Siehe L4 bzw. gekreuzter Graph). Dass die Ursache dafür die erhöhte Bewegungsaktivität der Tiere ist, kann mit den Schülerinnen und Schülern an dieser Stelle leicht thematisiert werden, da die Aktivitätssteigerung der Tiere unmittelbar beobachtet werden kann.

**Tipps und Tricks**

Der Versuch kann natürlich auch mehrfach bzw. arbeitsteilig bei einer feineren Temperaturgradierung durchgeführt werden, um beispielsweise den Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Änderung des CO<sub>2</sub>-Konzentrationsanstieges zu untersuchen (Minimal- und Maximaltemperaturen beachten).

**Graphen**

L1	L2	L3	1	L2	L3	L4	4
0	1455	1420.6		1455	1420.6	1417.4	
60	1467.3	1616.1		1467.3	1616.1	1588.5	
120	1479.5	1713.9		1479.5	1713.9	1808.4	
180	1479.5	1750.5		1479.5	1750.5	2003.9	
240	1479.5	1933.8		1479.5	1933.8	2175	
300	1479.5	2007.1		1479.5	2007.1	2407.1	
360	1479.5	2056		1479.5	2056	2578.2	
L1 = {0, 60, 120, 18...			L4 = {1417.4, 1588...				

Abb. 1

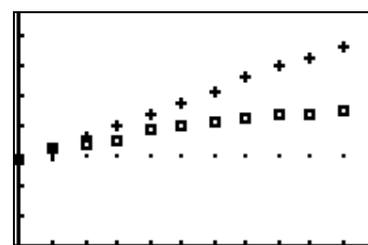


Abb. 2

## Atmung von Mehlwürmern in Abhängigkeit von der Temperatur

- Arbeitsblatt -

Es soll untersucht werden, welchen Einfluss die Temperatur auf die Stoffwechselaktivität hat.

### Geräte

- TC (hier TI-84 Plus)
- MW (hier CBL 2™)
- CO<sub>2</sub>-Sensor

### Materialien

- 1 Erlenmeyerkolben (250 ml)
- Thermometer
- 15 cm x 15 cm Gazestoff oder -beutel
- 1 Becherglas, breit ( 600 ml)
- 1 Becherglas (1000 ml)
- Isolationsmaterial (z.B. Luftpolsterfolie)
- Eiswürfel
- 10 Mehlwürmer



Ansatz 1



Ansatz 2



Ansatz 3

### Einstellungen in DATAMATE

CH 1: CO2 GAS(PPM)  
MODE: TIME GRAPH – 600  
TIME INTERVAL: 60 sec

### Versuchsdurchführung

Die Kohlenstoffdioxidabgabe der Mehlwürmer wird bei drei unterschiedlichen Temperaturen gemessen. Für alle drei Ansätze werden die Würmer in einen Gazebeutel gegeben, der in einen Erlenmeyerkolben gehängt wird. Die Messwerterfassung erfolgt jeweils über einen Zeitraum von zehn Minuten in einem einminütigen Abstand.

#### Ansatz 1: 8°C

Der Erlenmeyerkolben mit den Mehlwürmern wurde im Kühlschrank abgekühlt. Stelle mit Hilfe von Eiswürfeln ein 8°C kaltes Wasserbad (kleines Becherglas) her.

Der gekühlte Erlenmeyerkolben mit den Würmern wird nun in dieses Wasserbad gestellt, welches zur Isolation in das große Becherglas gehängt wird, um die Temperatur während der Messung in etwa konstant zu halten. Anschließend wird der Erlenmeyerkolben mit dem Kohlenstoffdioxid-Sensor verschlossen.

Vor Beginn der Messwerterfassung wird kurz gewartet.

**Achtung: Die Temperatur von 8°C darf nicht unterschritten werden!**

### Ansatz 2: Zimmertemperatur

Vor dem neuen Versuch wird der Kolben mit den Mehlwürmern gelüftet (Sensor entfernen und kurze Zeit warten).

Die Mehlwürmer in dem Erlenmeyerkolben werden auf Zimmertemperatur erwärmt und der Erlenmeyerkolben anschließend mit dem Kohlenstoffdioxid-Sensor verschlossen.

Vor Beginn der Messwerterfassung wird wieder kurz gewartet.

### Ansatz 3: 40°C

Vor dem neuen Versuch wird der Kolben mit den Mehlwürmern gelüftet.

Der Erlenmeyerkolben mit den Würmern wird in ein maximal 40°C warmes Wasserbad gestellt (kleines Becherglas), welches zur Isolation in das große Becherglas gehängt wird, um die Temperatur während der Messung in etwa konstant zu halten. Dazu sollte das Wasserbad nach oben mit dem Isolationsmaterial abgedichtet werden. Anschließend wird der Erlenmeyerkolben mit dem Kohlenstoffdioxid-Sensor verschlossen.

Vor Beginn der Messwerterfassung wird wieder kurz gewartet.

**Achtung: Die Temperatur von 40°C darf nicht überschritten werden!**

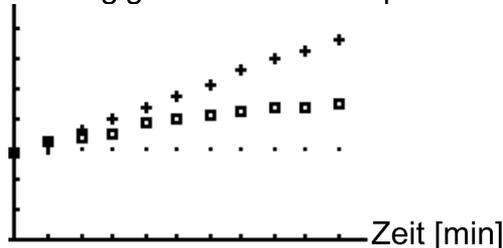
### **Auswertung**

1. Stellen Sie die Messergebnisse in einem Diagramm dar. Achten Sie dabei auch auf die Beschriftung und Skalierung der Achsen.
2. Erklären Sie, warum man keine Kurve, sondern nur einzelne Punkte einzeichnen darf.
3. Erläutern Sie die Messergebnisse der Kohlenstoffdioxidkonzentration für die drei Ansätze anhand des Diagramms.
4. Je aktiver Lebewesen sind, desto größer ist ihr Energiebedarf. Die Energie wird im Stoffwechselprozess der Zellatmung zur Verfügung gestellt. Für die Zellatmung ist unter anderem Sauerstoff notwendig und Kohlenstoffdioxid wird freigesetzt.  
Erläutern Sie, was man aus dem Verlauf der Kohlenstoffdioxidkonzentration schließen kann.

## Atmung von Mehlwürmern in Abhängigkeit von der Temperatur

Lösungen zum Schülerarbeitsblatt

- 1 Kohlenstoffdioxidkonzentration  
in Abhängigkeit von der Temperatur



- 2 Die Messwerterfassung erfolgt diskret und nicht kontinuierlich, d.h. gesicherte Daten über die Gaskonzentrationen zwischen den Messungen liegen nicht vor.
- 3 Die Kohlenstoffdioxidkonzentration bei 8°C bleibt über den gesamten Versuchverlauf in etwa konstant.  
Bei Zimmertemperatur steigt die Kohlenstoffdioxidkonzentration langsam aber gleichmäßig an.  
Bei 40°C steigt die Kohlenstoffdioxidkonzentration deutlich an. Am Versuchsende ist sie gegenüber dem Anfangswert auf mehr als das Doppelte angestiegen.
- 4 Bei 8°C wurde von den Mehlwürmern eine kaum messbare Menge Kohlenstoffdioxid abgegeben. Daraus lässt sich schließen, dass die Tiere kaum Zellatmung betrieben haben und somit kaum aktiv waren (Kältestarre).  
Bei Zimmertemperatur haben die Mehlwürmer kontinuierlich Kohlenstoffdioxid abgegeben, es ist eine Stoffwechselaktivität in Form der Zellatmung messbar.  
Bei 40°C war eine starke Kohlenstoffdioxidabgabe zu beobachten, das heißt, die Atmungsrate der Tiere war deutlich höher als bei Zimmertemperatur.  
Schlussfolgerung: Bei 8°C kommt der Stoffwechsel der Tiere nahezu zum Erliegen, mit zunehmender Temperatur steigt die Stoffwechselrate (Zellatmungsrate) messbar an.

## Stärkeabbau durch Amylase

- Lehrmaterial -

Im Verlauf des Stärkeabbaus werden die Stärkemoleküle durch Amylase in Maltose-Moleküle gespalten. Dies geschieht im Verlauf der Verdauung bereits im Mund durch die Enzyme des Speichels. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist temperatur- und konzentrationsabhängig. Hinzu kommt, dass die Aktivität der Enzyme durch die Belegung des aktiven Zentrums trotz Konzentrationserhöhung des Substrates (hier Stärke) nicht beliebig gesteigert, evtl. sogar gehemmt werden kann (Substrathemmung). Mit Hilfe der Entfärbung des Jod-Stärke-Komplexes kann dieser enzymatische Abbau kolorimetrisch nachverfolgt werden.

### Geräte

- TC ( hier TI-84 Plus)
- MW (hier EasyLink®)
- Sensor: Colorimeter

### Materialien

- 250ml Erlenmeyerkolben zum Aufkochen der Stärkelösung
- 50 ml Becherglas für Speichel- oder Amylase-Lösung
- 1-2 ml Pipetten oder Spritzen
  
- Stärke
- Amylase (ersatzweise Speichel-Aufschwemmung)
- destilliertes Wasser
- Lugolsche Lösung (Jod-Kaliumjodid-Lösung)

### Versuchsaufbau



### Versuchsdurchführung

- Vorbereitung:** In ca. 100 ml dest. Wasser eine sehr kleine Spatelspitze Stärke aufkochen, bis eine klare Lösung entsteht, und abkühlen lassen. (Der Stärke-Jod-Komplex zerfällt bei Temperaturen über 55°C.) Die Lösung mit 4-6 Tropfen Lugolscher Lösung versetzen. Die Lösung so lange mit Wasser verdünnen bis eine blaue, leicht durchscheinende Lösung entsteht. Zu dunkle Lösungen sind für das Colorimeter ungeeignet. Der Absorptionswert sollte zwischen 1,0 bis 0,5 liegen. Eine kleine Spatelspitze Amylase wird in 30 ml Wasser gelöst. Es eignet sich natürlich auch Mundspeichel, der mit Wasser verdünnt wird, damit er nicht zu trübe erscheint. Dazu 1-2 ml Speichel sammeln und mit dest. Wasser im Erlenmeyerkolben auf ca. 10 ml verdünnen.
- Vorversuch:** 2 ml Jod-Stärke-Lösung in die Küvette füllen und die Reaktion mit max. 0,5 ml der Enzymlösung starten. Das Gemisch sollte sich wie oben beschrieben langsam entfärben. Die grob gemessene Zeit sollte als Richtwert für den Hauptversuch bzw. die Einstellung am Taschenrechner dienen.

c) Hauptversuch: Verfolgung der Entfärbung mit dem Colorimeter

- mit Hilfe der Pfeiltasten die LED-Wellenlänge 560 nm auswählen
- Den Null-Wert bestimmen, indem man eine Küvette mit Wasser (Lösungsmittel) und 0,5 ml Enzymlösung bzw. Speichellösung in das Colorimeter stellt, den Deckel verschließt und am Gerät auf „cal“ drückt. Nach Verlöschen der roten LED am Colorimeter müsste der angezeigte Wert „null“ sein.
- Wasserküvette entnehmen
- 2 ml Jod-Stärke-Lösung in die Küvette füllen und max. 0,5 ml Speichel oder Amylase-Lösung mit der Spritze dazu geben, die Küvette in das Colorimeter stellen, den Deckel schließen und sofort die Messwertaufnahme starten.
- Die Aufzeichnung der Messreihe sollte über ca. 10 Minuten erfolgen. Bei höheren Temperaturen verläuft die Reaktion allerdings schneller.

**Einstellungen in ( z.B. DATAMATE)**

Kanal 1: Colorimeter

MODE: TIME GRAPH 600

TIME INTERVALL: 5 sec

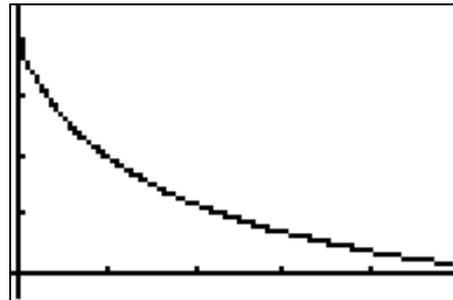
NUMBER OF SAMPLES: 120

EXPERIMENT LENGTH: 10 min

**Graph**

Die konzentrationsabhängige Abnahme der Absorption ist zu erkennen. Die Abnahme der Absorption steht für die fortschreitende Entfärbung der Lösung. Wenn die gesamte Menge an Amylose zu Maltose abgebaut ist, ist die Lösung klar.

**Grafik**



## Stärkeabbau durch Amylase

- Arbeitsblatt -

Im Verlauf des Stärkeabbaus werden die Stärkemoleküle durch Amylase in Maltose-Moleküle gespalten. Dies geschieht im Verlauf der Verdauung bereits im Mund durch die Enzyme des Speichels. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist temperatur- und konzentrationsabhängig. Mit Hilfe der Entfärbung des Jod-Stärke-Komplexes kann dieser enzymatische Abbau kolorimetrisch nachverfolgt werden.

### Geräte

- TC (hier TI-84 Plus)
- MW (hier EasyLink<sup>®</sup>)
- Sensor: Colorimeter

### Materialien ( auch Chemikalien)

- 250ml Erlenmeyerkolben zum Aufkochen der Stärkelösung
- 50 ml Becherglas für Speichel- oder Amylase-Lösung
- 1-2 ml Pipetten oder Spritzen
- Stärke
- Amylase (ersatzweise Speichel-Aufschwemmung)
- destilliertes Wasser
- Lugolsche Lösung (Jod-Kaliumjodid-Lösung)

### Versuchsaufbau



### Einstellungen (z.B. in DATAMATE)

Kanal 1: Colorimeter  
MODE: TIME GRAPH 600  
TIME INTERVALL: 5 sec  
NUMBER OF SAMPLES: 120  
EXPERIMENT LENGTH: 10 min

### Versuchsdurchführung

- a) Vorbereitung: In ca. 100 ml dest. Wasser eine sehr kleine Spatelspitze Stärke aufkochen, bis eine klare Lösung entsteht, und abkühlen lassen. Die Lösung mit einigen Tropfen Lugolscher Lösung versetzen. Die Lösung so lange mit Wasser verdünnen bis eine blaue, leicht durchscheinende Lösung entsteht. Zu dunkle Lösungen sind für das Colorimeter ungeeignet. Der Absorptionswert sollte zwischen 1,0 bis 0,5 liegen.  
1-2 ml Speichel sammeln und mit dest. Wasser im Erlenmeyerkolben auf ca. 10 ml verdünnen oder eine sehr kleine Spatelspitze Amylase in 30 ml Wasser lösen.

- b) Vorversuch: 2 ml Jod-Stärke-Lösung in die Küvette füllen und die Reaktion mit max. 0,5 ml der Enzymlösung starten. Das Gemisch sollte sich wie oben beschrieben langsam entfärben. Die grob gemessene Zeit sollte als Richtwert für den Hauptversuch bzw. die Einstellung am Taschenrechner dienen.
- c) Hauptversuch: Verfolgung der Entfärbung mit dem Colorimeter
- Mit Hilfe der Pfeiltasten die LED-Wellenlänge 560nm auswählen
  - Den Null-Wert bestimmen, indem man eine Küvette mit Wasser (Lösungsmittel) und 0,5 ml Enzymlösung bzw. Speichellösung in das Colorimeter stellt, den Deckel verschließt und am Gerät auf „cal“ drückt. Nach Verlöschen der roten LED am Colorimeter müsste der angezeigte Wert „null“ sein.
  - Wasserküvette entnehmen
  - 2 ml Jod-Stärke-Lösung in die Küvette füllen und max. 0,5 ml Speichel oder Amylase-Lösung mit der Spritze dazu geben, die Küvette in das Colorimeter stellen, den Deckel schließen und sofort die Messwertaufnahme starten.
  - Die Aufzeichnung der Messreihe sollte über ca. 10 Minuten erfolgen. Bei höheren Temperaturen verläuft die Reaktion allerdings schneller.

### **Auswertung**

- 1) Beschreiben Sie die Graphik.
- 2) Erklären Sie die genannten Befunde.
- 3) Erläutern Sie die Auswirkungen, die eine Temperaturerhöhung auf den Versuchsverlauf hat.
- 4) Erläutern Sie die Auswirkungen, die eine stärkere Verdünnung der Speichellösung auf den Versuchsverlauf hat.

## Stärkeabbau durch Amylase

### Lösungen zum Schülerarbeitsblatt

- 1) Der Absorptionswert ist bei Versuchsbeginn sehr hoch (je nach Konzentrationsverhältnissen, z.B. 1), nimmt dann exponentiell ab und sinkt eventuell bis auf null.
- 2) Bei Versuchsbeginn liegt die höchste Amylase-Konzentration vor. Die Amylose-Moleküle werden durch die Lugolsche Lösung blau gefärbt. So kommt der hohe Absorptionswert der Lösung zustande. Die Amylose wird durch das Enzym Amylase zu Maltose abgebaut. Somit sind mit zunehmender Versuchsdauer immer weniger Amylose-Moleküle im Ansatz vorhanden. Die Färbung nimmt ab. Sind alle Amylose-Moleküle umgesetzt worden, ist die Lösung klar und der Absorptionswert fällt auf null. Da die Enzymaktivität von der Substratkonzentration abhängt, läuft die Reaktion am Anfang schnell ab und wird mit abnehmender Substratkonzentration immer langsamer.
- 3) Bei einer höheren Temperatur ist die Eigenbewegung der Teilchen größer. Substrat- und Enzymmoleküle treffen häufiger aufeinander. Dies hat eine Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit zur Folge. Die aufgenommenen Messwerte nehmen schneller ab. Der Absorptionswert Null wird schneller erreicht.
- 4) Bei einer geringeren Enzymkonzentration treffen pro Zeiteinheit weniger Enzymmoleküle auf Substratmoleküle. Somit läuft die Reaktion langsamer ab. Die Absorption nimmt langsamer ab und es dauert länger bis keine Absorption mehr gemessen wird.

## Kohlenstoffdioxid im Klassenraum

- Lehrmaterial -

Durch Atmung geben die Schülerinnen und Schüler während des Unterrichts Kohlenstoffdioxid an die Luft im Klassenraum ab. So steigt der  $\text{CO}_2$ -Gehalt in der Raumluft kontinuierlich an. Dieser Anstieg kann als Beleg für die Atmung gemessen werden. Die gemessenen Werte zu Beginn und am Ende einer Unterrichtsstunde lassen sich durch Berechnungen ausgehend von einer durchschnittlichen  $\text{CO}_2$ -Abgabe pro Person und Zeit theoretisch bestätigen.

Messungen unter verschiedenen Bedingungen können Abhängigkeiten aufzeigen, so z.B. von der Anzahl der Personen im Raum, von der Raumgröße oder von der Betätigungsart der Anwesenden.

Die Bedeutung regelmäßigen Lüftens kann eindrucksvoll veranschaulicht werden.

### Geräte

- TC ( hier TI-84 Plus)
- MW (hier CBL 2<sup>TM</sup>)
- $\text{CO}_2$ -Sensor

### Versuchsaufbau



### Versuchsdurchführung

Das Klassenzimmer wird zu Beginn der Unterrichtsstunde durch weites Öffnen der Fenster gelüftet. Der  $\text{CO}_2$ -Sensor wird so positioniert, dass er in geringer Höhe über dem Boden hängt. Nach dem Schließen der Fenster wird die Messung gestartet. Zusatz: Kurz vor Ende des Messvorgangs wird der Raum gelüftet.

### Einstellungen in ( z.B. DATAMATE)

Kanal 1:  $\text{CO}_2$ -Sensor (PPM)  
MODE: TIME GRAPH 2700  
TIME INTERVALL: 10 s  
NUMBER OF SAMPLES: 270  
EXPERIMENT LENGTH: 45 min

### Hinweise zur Auswertung

Die  $\text{CO}_2$ -Konzentration beträgt in der Außenluft ca. 0,037% bzw. ca. 370 ppm. Die Messwerte beginnen mit einem gegenüber der Außenluft erhöhten Wert (z.B. 600 – 800 ppm) und nehmen kontinuierlich zu. Innerhalb von 40 Minuten steigt der Wert deutlich an. Werte von 2000 oder sogar 3000 ppm sind zu erwarten. Mit Beginn des Lüftens nimmt der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Raumluft schnell wieder ab.

## Tipps und Tricks

Kohlenstoffdioxid ist schwerer als Luft, deshalb sollte der Sensor während der Messung ungefähr in einer Höhe von 10 bis 30 cm über dem Boden hängen.

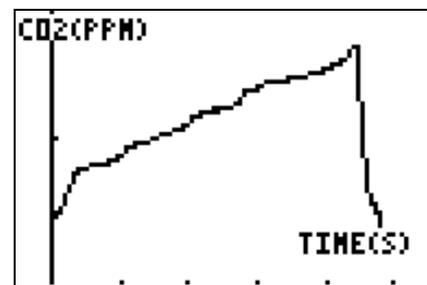
Zur Lüftung des Raumes ist es sinnvoll, die Fensterflügel weit zu öffnen. Ein Kippen der Fenster, wie es in vielen Klassenräumen aus Sicherheitsgründen nur möglich ist, lässt keinen richtigen Luftaustausch zu.

Nach Möglichkeit sollte die Klassenzimmertür während der Messung geschlossen bleiben.

Bei der Einstellung der Messdauer ist darauf zu achten, dass die Messung innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit beendet wird. Das Lüften am Ende des Versuchs muss entsprechend vorher eingeleitet werden.

Der Versuch lässt sich in verschiedenen Varianten durchführen. Zum Beispiel könnte man den Einfluss der Personenanzahl bzw. der Raumgröße untersuchen. Die Ausübung unterschiedlicher Tätigkeiten (Klassenarbeit) der anwesenden Personen ist ebenfalls ein interessanter Faktor.

## Graph



## Ergänzung

Die DIN EN 13779 bewertet die Konzentrationen von CO<sub>2</sub> (über dem Gehalt in der Außenluft) für Innenräumen:

Hohe Raumluftqualität	< 400 ppm
Mittlere Raumluftqualität	400 - 600 ppm
Mäßige Raumluftqualität	600 - 1.000 ppm
Niedrige Raumluftqualität	> 1.000 ppm

Danach sollte eine Konzentration von 1000 ppm nicht überschritten werden. Anhand der Messwerte kann festgestellt werden, nach wie viel Minuten dieser Wert erreicht wird. Dieses Zeitintervall kann als zeitliches Maß zwischen zwei Lüftungsvorgängen genommen werden.

## Kohlenstoffdioxid im Klassenraum

- Arbeitsblatt -

Menschen nehmen bei der Atmung Sauerstoff auf und geben Kohlenstoffdioxid an die Raumluft ab, damit steigt die CO<sub>2</sub>-Konzentration an. Beim Lüften strömt frische Luft von außen in den Raum (Frischluft-Dusche) und verdrängt die verbrauchte Luft, so dass die Raumluftqualität wieder ansteigt. Eine zu hohe Kohlenstoffdioxid-Konzentration ist häufig Ursache für Müdigkeit, Konzentrationsmangel und Kopfschmerzen. Ab einem CO<sub>2</sub>-Wert von 1000 ppm wird die Raumluftqualität nach DIN EN 13779 als niedrig eingestuft. Ein Lüften ist dann dringend erforderlich.

### Geräte

- TC (hier TI-84 Plus)
- MW (hier CBL 2<sup>TM</sup>)
- CO<sub>2</sub>-Sensor

### Versuchsaufbau



### Einstellungen (z.B. in DATAMATE)

Kanal 1: CO<sub>2</sub>-Sensor (PPM)

MODE: TIME GRAPH 2700

TIME INTERVALL: 10 s

NUMBER OF SAMPLES: 270

EXPERIMENT LENGTH: 45 min

### Versuchsdurchführung

Lass den CO<sub>2</sub>-Sensor für die Messung von einem Tisch so weit herunterhängen, dass er sich wenige Zentimeter über dem Boden befindet. Lüfte zu Beginn des Experimentes Euren Klassenraum, indem Du für mindestens zwei Minuten alle Fenster weit öffnest. Dann schließ die Fenster und starte die Messung.

Während der jetzt stattfindenden Unterrichtsstunde wird der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft gemessen. Öffne nach 40 Minuten, d.h. kurz vor Ende der Messung, erneut die Fenster zum Lüften.

### Auswertungsblatt / Protokoll

- 1) Beschreibe und interpretiere den Verlauf des Graphen.
- 2) Entwickle mit Hilfe der Information und deiner Messergebnisse einen Lüftungsplan für eurer Klassenzimmer.
- 3) Die durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Abgabe eines Menschen beträgt 230 cm<sup>3</sup> pro Minute. Berechne, wie viel Liter Kohlenstoffdioxid zu Beginn des Versuchs in deinem Klassenraum vorhanden war, wie viel Liter während des Versuchs dazu gekommen sind und wie viele am Ende des Versuchs ungefähr vorhanden sein müssten. Prüfe, ob dieses rechnerische Ergebnis Deine Messwerte bestätigt.

## Kohlenstoffdioxid im Klassenraum

### Lösungen zum Schülerarbeitsblatt

- 1 Die  $\text{CO}_2$ -Konzentration nimmt von einem gegenüber der Außenluft erhöhten Wert (z.B. 600 - 800 ppm) kontinuierlich zu. Innerhalb von 40 Minuten steigt der Wert je nach Raumgröße, Anzahl der Personen im Raum und in Abhängigkeit von weiteren Parametern (undichte Fenster) deutlich an. Werte von 2000 oder sogar 3000 ppm sind zu erwarten.  
Mit Beginn des Lüftens nimmt der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Raumluft schnell wieder ab.

Die Interpretation der Kurven sollte folgende Aspekte enthalten:

- Benennen der Messgrößen auf der Abszisse und der Ordinate
- Beschreibung der Kohlenstoffdioxid-Kurve
- Benutzung von Zahlenwerten bei der Beschreibung

- 2 Eine Konzentration von 1000 ppm sollte nicht überschritten werden. Anhand der Messwerte kann festgestellt werden, nach wie viel Minuten dieser Wert erreicht wird. Dieses Zeitintervall kann als zeitliches Maß zwischen zwei Lüftungsvorgängen genommen werden.  
Zusatzinformation: Richtiges Lüften erfolgt durch weites Öffnen der Fenster. Bei einem Kippen der Fenster wird die Luft nicht richtig ausgetauscht.
- 3 Eine Vermessung des Klassenraums ergibt z.B.:  $h = 3 \text{ m}$ ,  $l = 8,31 \text{ m}$ ,  $b = 7,1 \text{ m}$ .  
Damit ist  $V = 177 \text{ m}^3$  und bei einem  $\text{CO}_2$ -Startwert von 1197 ppm ergibt sich, dass zu Beginn der Messung ca. 211,9 l Kohlenstoffdioxid im Raum waren.  
Für eine Versuchsdauer von 55 min wurde nach 50 Minuten gelüftet. Dann kommen bei 28 Personen im Raum insgesamt ungefähr 322 l  $\text{CO}_2$  dazu. Es müssten sich danach ca. 534 l  $\text{CO}_2$  im Klassenzimmer befinden.  
Die Messung hat vor dem Lüften einen Höchstwert von 2969 ppm  $\text{CO}_2$  ergeben. Dieses entspricht einer Menge von 525 l Kohlenstoffdioxid. Damit wird die Messung durch die Rechnung hinreichend genau bestätigt.

## Sauerstoffverbrauch in der Atemluft

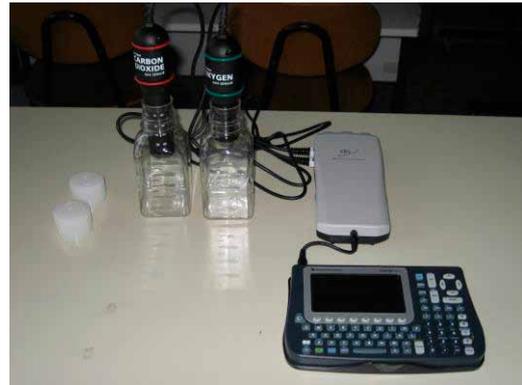
- Lehrmaterial -

Der Nachweis mit Kalkwasser liefert den Beweis der Entstehung von Kohlenstoffdioxid in der Atemluft. Der Nachweis, dass Sauerstoff entzogen wird, ist mit den herkömmlichen Methoden für die Sekundarstufe I hingegen schlecht nachweisbar. Hier bietet der Sauerstoffsensor einen entscheidenden Vorteil, den Verbrauch von Sauerstoff leicht nachzuweisen.

### Geräte

- TC (hier Voyage™ 200)
- MW (hier CBL 2™)
- O<sub>2</sub>-Sensor

### Versuchsaufbau



### Versuchsdurchführung

Der Gehalt an Sauerstoff wird vor und nach dem Ausatmen mit den Sensoren innerhalb des definierten Zeitintervalls gemessen. Dazu wird vor der Messung der Sensor in die Außenluft gehalten. Nach Ausatmen in das Messgefäß wird dieses verschlossen und geschüttelt. Anschließend wird der Sensor in das Messgefäß eingesteckt und die Messung erfolgt. Die Messungen können durch vorherige körperliche Aktivität variiert werden.

### Einstellungen in ( z.B. DATAMATE)

Kanal 1: O<sub>2</sub>-Sensor (PCT)

MODE: EVENTS WITH ENTRY

5 Einzelmessungen mit dem Sensor an der Außenluft

5 Einzelmessungen mit dem Sensor nach Ausatmung im Messgefäß

### Graph

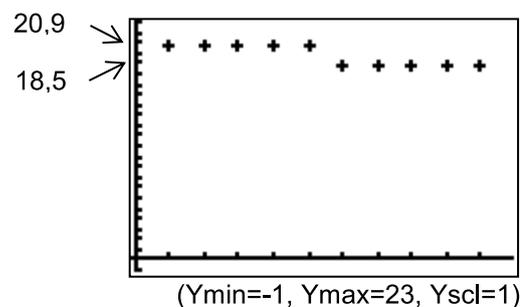
Die ersten fünf Messwerte zeigen den Sauerstoffgehalt in der Außenluft. Die weiteren fünf Messwerte zeigen den Sauerstoffgehalt in der ausgeatmeten Luft während einer Ruhephase.

Die Messwerte zeigen:

Inspirationsluft 20,9 Vol%

Expirationsluft 18,5 Vol%

Damit ist ein Sauerstoffverbrauch nachgewiesen.



## Sauerstoffverbrauch in der Atemluft

- Arbeitsblatt -

Der menschliche Körper atmet Luft ein. In unserem Körper wird der Atemluft Sauerstoff entnommen, so dass die Luft, die wir ausatmen weniger Sauerstoff enthält als die Luft beim Einatmen. Dieser Sachverhalt soll in einem Experiment überprüft werden.

### Geräte

- TC (hier Voyage™ 200)
- MW (hier CBL 2™)
- O<sub>2</sub>-Sensor

### Versuchsaufbau



### Einstellungen (z.B. in DATAMATE)

Kanal 1: O<sub>2</sub>-Sensor (PCT)  
MODE: EVENTS WITH ENTRY

### Versuchsdurchführung

Der Gehalt an Sauerstoff wird vor und nach dem Ausatmen mit den Sensoren gemessen. Dazu wird vor der Messung der Sensor in die Außenluft gehalten und es werden fünf Messungen durchgeführt. Nach Ausatmen in das Messgefäß wird dieses verschlossen und geschüttelt. Anschließend wird der Sensor in das Messgefäß eingesteckt und es werden weitere fünf Messungen durchgeführt.

### Ergänzung

Die Messung der Ausatemluft erfolgt nach 10 Kniebeugen.

### Auswertungsblatt / Protokoll

Beschreibe und interpretiere die Messwerte.

## Luftaustausch beim Atmen

- Lehrermaterial -

Bei jedem Atemzug tauscht der Mensch in Ruhe und unter Belastung ein gewisses Luftvolumen aus. Mit einem Spirometer misst der Arzt bei der Sport- oder Vorsorgeuntersuchung das Atemvolumen. Man unterscheidet hierbei zwischen:

- Atemzugvolumen: Luftvolumen, das bei einem Ein- und Ausatemvorgang ausgetauscht wird (ca. 0,5 l).
- Vitalkapazität: Luftvolumen, das nach maximalen Einatmen maximal ausgeatmet werden kann (ca. 4,5 – 5 l).
- Totalkapazität: Summe von Vitalkapazität und Restvolumen. Auch bei der maximalen Ausatmung bleibt noch ein Restvolumen (ca. 1 -1,5 l) in der Lunge. Dieses Restvolumen ist jedoch nicht messbar.

Ein ähnliches Gerät, wie es der Arzt nutzt, ist das Spirometer von VERNIER, das in Verbindung mit der TI-Nspire™ CX Technologie unter Verwendung der Applikation VERNIER DataQuest™ zu realistischen Ergebnissen führt.

### Geräte

- TC (hier TI-Nspire™ CX)
- MW (hier TI-Nspire™ Lab Cradle oder EasyLink®)
- Spirometer (Vernier SPR-BTA)
- Bakterienfilter (fakultativ)
- Pappröhren als Mundstück
- Nasenklammer

### Versuchsaufbau



### Versuchsdurchführung

Es werden zwei Versuche beschrieben:

1. Messen der Durchflussrate beim normalen Ein- und Ausatmen und Bestimmung des Ausatemvolumens.
2. Messen des maximalen Ausatemvolumens.

Vorbereitung: 5 min, Durchführung: 15 min.

### Tipps und Tricks

Das Spirometer misst den Luftdurchfluss in der Einheit Liter pro Sekunde. Hierzu wird die Druckdifferenz zwischen zwei durch ein Drahtnetz getrennten Kammern gemessen. Zum Messen den Sensor senkrecht halten und das Ein- und Ausatmen auf der mit „INLET“ beschrifteten Seite durchführen.

Sollen mehrere Schülerinnen und Schüler den Versuch durchführen, muss aus hy-

gienischen Gründen das Mundstück gewechselt werden (Ersatz kaufen oder aus Kartonrollen zurechtschneiden, mittlerweile gibt es auch abwaschbare PVC-Mundstücke). Es ist auch denkbar, dass durch das Gerät nur ausgeatmet wird. Der Bakterienfilter bietet auch einen Schutz. Der Durchflussmesseinsatz kann zur Reinigung (Geschirrspüler) abgenommen werden. Beim Wiedereinsetzen auf eine feste Verbindung achten (Klickgeräusch).

Eine bedenkenswerte Alternative stellt die Nutzung eines PC mit der TI-Nspire™ - Software dar. Die beschriebenen Versuche können dann über einen Beamer als Demonstrationsversuche durchgeführt werden. Das Lab Cradle wird dann ohne Handheld über USB an den PC angeschlossen, für den EasyLink®-Adapter benötigt man ein Zwischenkabel von Mini-USB auf Standard-USB.

Das Spirometer misst die Durchflussrate in l/s . Aufgrund der hohen Datenmenge hat sich der Anschluss an einen TI-84 Plus oder Voyage™ 200 über CBL 2™ nicht bewährt.

### Einstellungen im TI-Nspire™-Menü

Die nachfolgende Beschreibung der Einstellungen berücksichtigt die wichtigsten Schritte. Für weitere Informationen sei auf [Keunecke/Tewes] verwiesen.

Öffnen Sie ein neues Dokument und wählen Sie „7: Vernier DataQuest hinzufügen“ aus. Dies geschieht auch automatisch, wenn das VERNIER-Spirometer über das Lab Cradle oder den EasyLink®-Adapter mit dem TI-Nspire™ verbunden wird.

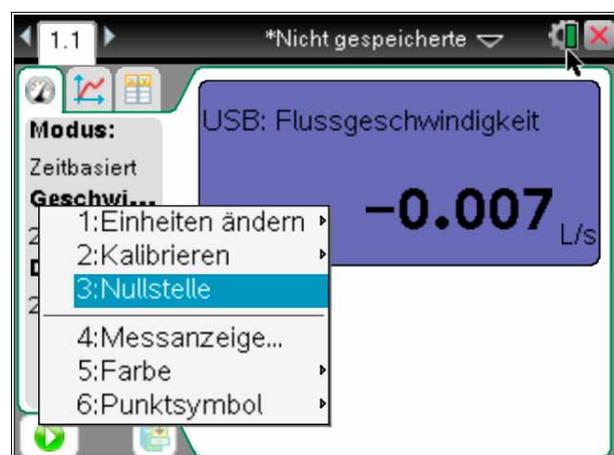
Beim Einstecken des USB-Steckers wird der Sensor sofort erkannt. In der **Messansicht** erscheint die momentane Messgröße und die Maßeinheit. Dass dieser Wert u.U., ohne Atemaktivität, sehr von Null abweicht, sollte noch nicht beunruhigen.

Aus dieser Ansicht wird das Experiment durch einen Klick auf den Button unten links (grün unterlegter Pfeil) gestartet.

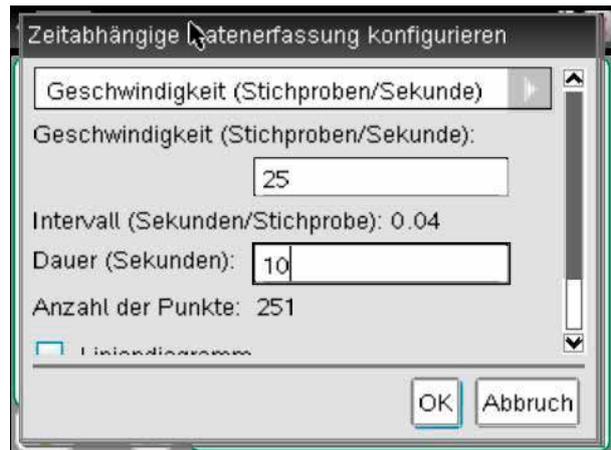


Über die Taste [menu] wird das Experiment eingerichtet und ausgewertet. Bei der PC-Software kann das Menü in der „Werkzeugpalette Dokumente“ dauerhaft eingeblendet werden. Bei der PC-Software führt ein rechter Mausklick auf die entsprechenden Bildabschnitte zu den Kontextmenüs, bei dem Handheld nimmt man [ctrl] und [menu].

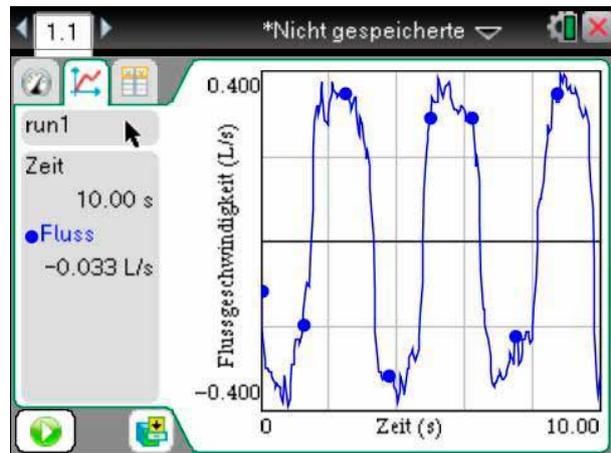
In der Abbildung ist so der Sensor auf (annähernd) Null gesetzt worden.



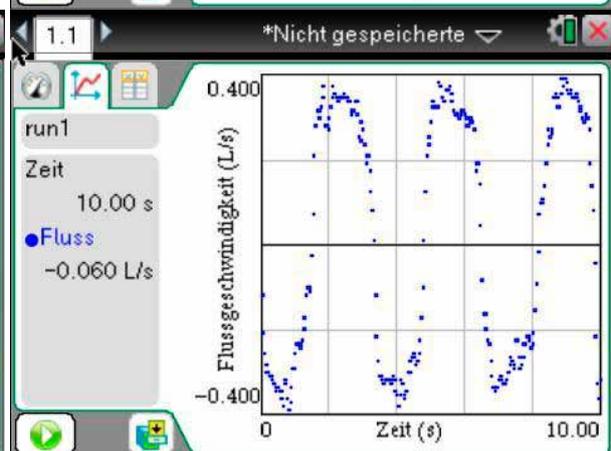
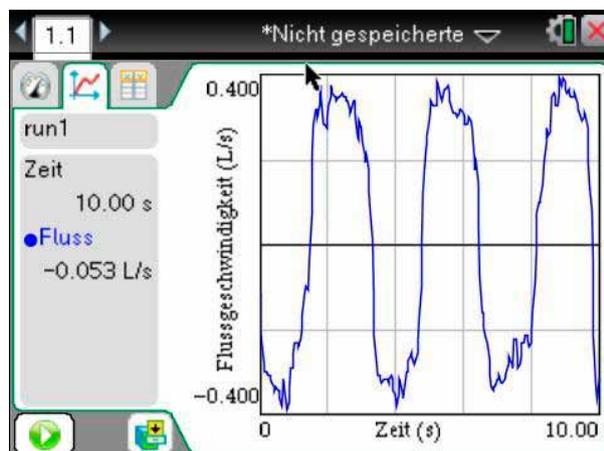
In gleicher Weise werden die Modi der Datenerfassung durch Anklicken der Messparameterleiste eingestellt. Hier muss eigentlich nur die Dauer des Experiments verstellt werden.



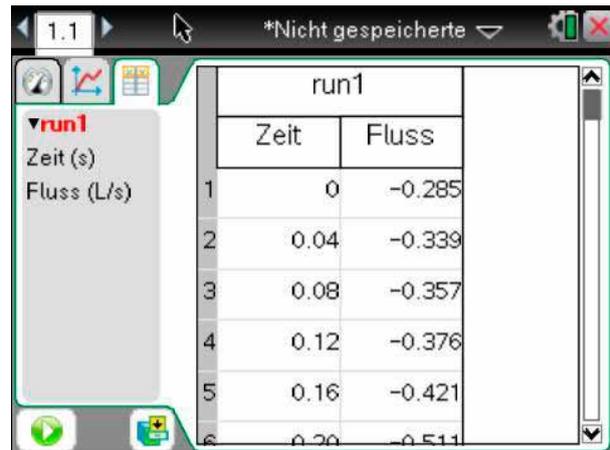
Nach dem Starten einer Messung wechselt die Applikation in die **Graphansicht**. Die Datenerfassung endet automatisch nach der voreingestellten Dauer. Eine Wiederholung der Datenerfassung überschreibt die Daten. Mit einem Klick auf den Speichern-Button rechts neben dem Startbutton kann die Messung vorher gespeichert werden. Für eine erneute Messung wechselt man in die Messansicht und setzt die Anzeige nach Bedarf erneut auf Null.



Stören die Marker-Punkte, so können sie über „6:Optionen“, „1: Punktoptionen...“ ausgeblendet werden. Entfernt man das Häkchen, so werden die einzelnen Datenpunkte unverbunden angezeigt.



Die **Tabellenansicht** wird zur Auswertung nicht unbedingt benötigt. Sie dient als Messprotokoll und ist z.B. in eine Tabellenkalkulation übertragbar. Weiterhin lässt sie ein Ablesen der mittleren Durchflussgeschwindigkeit zu einem Zeitpunkt bzw. der Zeitintervalle einzelner Atemvorgänge zu.

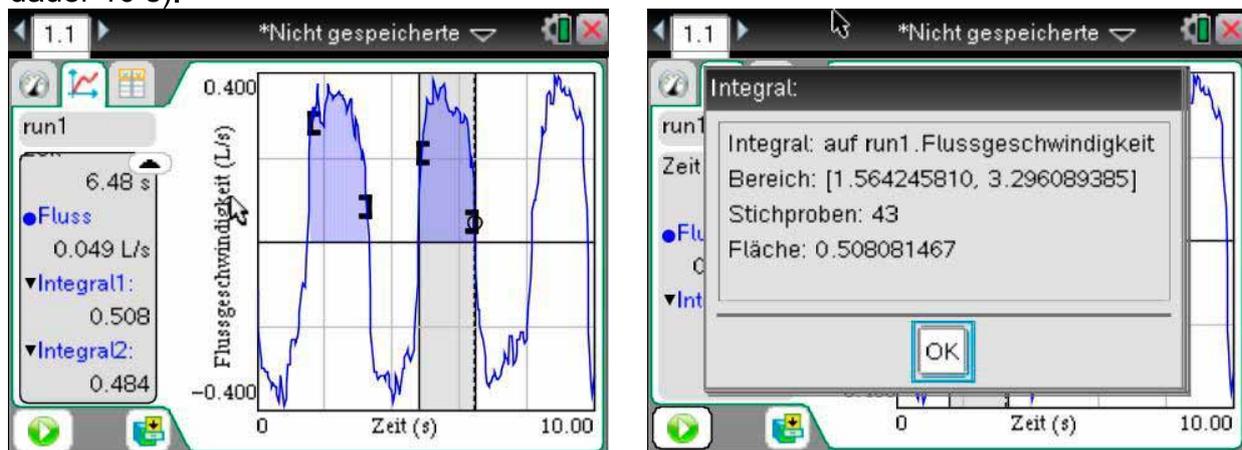


run1		
	Zeit	Fluss
1	0	-0.285
2	0.04	-0.339
3	0.08	-0.357
4	0.12	-0.376
5	0.16	-0.421
6	0.20	-0.511

## Hinweise zur Auswertung

### 1. Messen der Durchflussrate beim normalen Ein- und Ausatmen und Bestimmung des Ausatemvolumens.

Es wird durch das Spirometer mit normalen Atemzügen ein- und ausgeatmet (Messdauer 10 s).



Jeder Datenpunkt gibt den Durchfluss an Atemluft in einem Zeitabschnitt von 0,04 s wieder (mittlere Durchflussgeschwindigkeit). Aus den Datenpunkten lässt sich daher das Atemvolumen nicht direkt ablesen. Datenpunkte oberhalb der Zeitachse repräsentieren das Ausatmen, unterhalb entsprechend das Einatmen, die Achsendurchgänge den Übergang von Ein- zu Ausatemzügen. Die Durchflussgeschwindigkeit nimmt jeweils zu, erreicht in den Extrempunkten ein Maximum und nimmt dann wieder bis zum (kurzen) Stillstand ab.

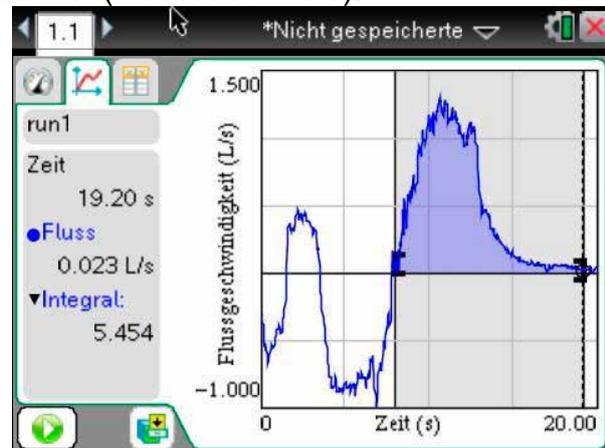
Zur Auswertung wird das interessierende Intervall des Graphen angeklickt. Dabei erscheint ein Kreis, der mit dem Cursor über den Graphen bewegt werden kann. Das Intervall wird markiert, indem man mit gedrückter [ctrl]-Taste den Anfangspunkt anklickt, den Cursor zum Endpunkt zieht und wieder klickt. Da nur die Messpunkte erfasst sind, kann u.U. nicht genau der Achsendurchgang angewählt werden. Das Ausatemvolumen wird nun durch die Fläche unter dem Graphen repräsentiert (Integral). Zur Berechnung dieser Fläche wählt man unter „4: Analysieren“ „4: Integral“ aus und erhält den Flächeninhaltswert. Dieser wird hier als 0,508 Liter interpretiert und entspricht den Erwartungen. Mit den anderen Ausatemintervallen kann man genauso verfahren und so ein gemittelttes Atemvolumen bestimmen.

Mit dem Menüpunkt „4: Analysieren“ „8: Entfernen“ werden die Markierungen wieder gelöscht.

## 2. Messen des maximalen Ausatemvolumens

Es wird durch das Spirometer zunächst normal ein- und ausgeatmet, dann maximal eingeatmet und schließlich maximal ausgeatmet (Messdauer 20 s).

In gleicher Weise wie oben wird das maximale Ausatemvolumen bestimmt. Bei diesem Beispiel betrachtet man das Zeitintervall von 7,93 s bis 19,22 s. Die errechnete Vitalkapazität von ca. 5,45 l entspricht wiederum den Erwartungen.



### Literatur:

Keunecke, K.-H./Tewes, M.(Hrsg.): Anleitung zur Datenerfassung und Auswertung mithilfe der TI-Nspire™ Technologie (Betriebssystem TI-Nspire™ 3.x), T<sup>3</sup> Deutschland, 2011

(<http://www.ti-unterrichtsmaterialien.net/index.php?id=1&detail=1049>)

## Luftaustausch beim Atmen

- Arbeitsblatt -

### Geräte

- TC (hier TI-Nspire™ CX)
- MW (hier TI-Nspire™ Lab Cradle oder EasyLink®)
- Spirometer (Vernier SPR-BTA)
- Pappröhren als Mundstück
- Nasenklammer

### Versuchsaufbau



### Einstellungen im TI-Nspire™-Menü

Vernier DataQuest

Messmethode: Zeitbasiert

Geschwindigkeit (Proben/Sekunde): 25

Dauer (Sekunden): 10 bzw. 20

Messwertanzeige auf Null stellen: menu-Taste → 1: Experiment → 9: Sensoren einrichten → 3: Nullstelle

### Versuchsdurchführung

#### Versuch 1:

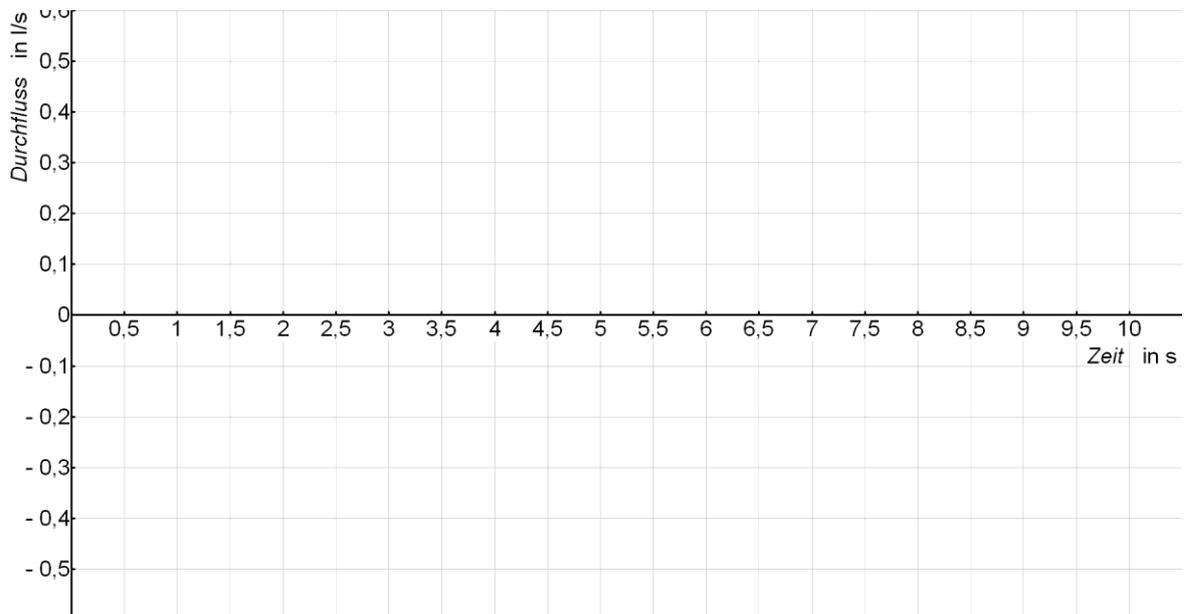
Baue den Versuch entsprechend der Abbildung auf. Setze dich auf einen Stuhl und halte das Spirometer mit der Seite „Inlet“ zu dir aufrecht in der Hand.

Dauer des Experiments 10 s

- a) Setze die Nasenklammer auf und atme durch den Mund gleichmäßig durch das Spirometer ein und aus. Starte nach der Eingewöhnungsphase die Messung und atme weiter gleichmäßig ein und aus.
- b) Übertrage den zeitlichen Verlauf der Messwerte in das Koordinatensystem. Beschrifte die Bereiche der Messung mit „Einatmen“ bzw. „Ausatmen“. Beschreibe den Verlauf. (Hinweis: Jeder Messpunkt gibt die Luftdurchflussmenge in Liter für eine Zeit von 0,04 Sekunden an.)
- c) Bestimme dein durchschnittliches Ausatemvolumen. Vergleiche mit den Werten deiner Mitschüler.

## Protokoll zu Versuch 1

b)



---

---

---

---

Bei ruhigem Atmen beträgt das Atemzugvolumen ca. \_\_\_\_\_ Liter.

### Versuch 2:

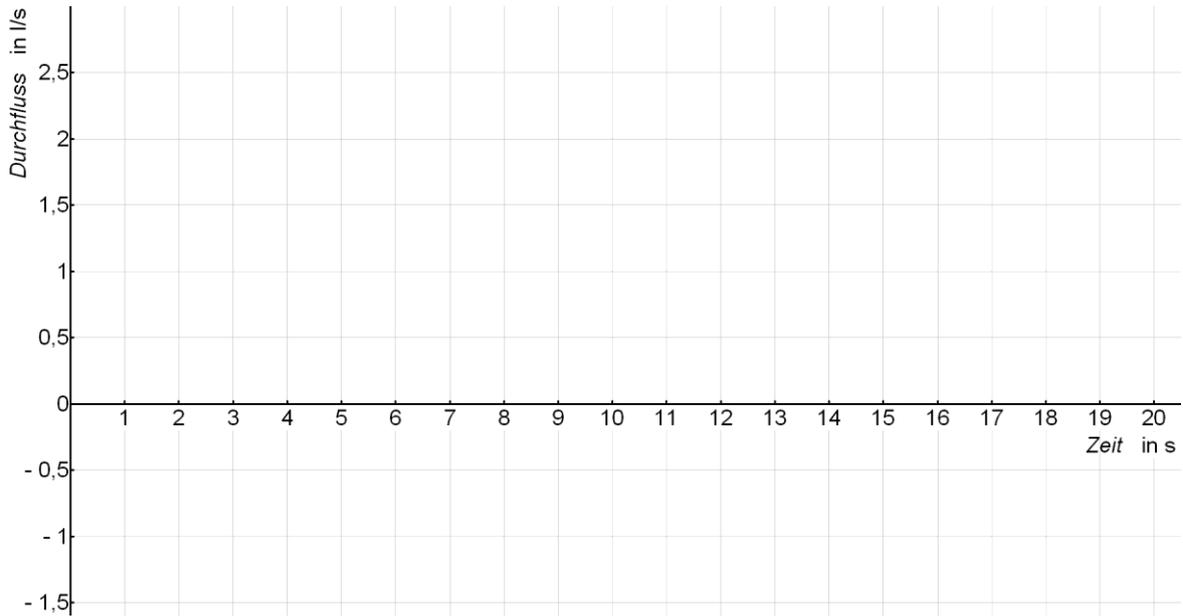
Baue den Versuch entsprechend der Abbildung auf. Stelle dich hin und halte das Spirometer mit der Seite „Inlet“ zu dir aufrecht in der Hand.

Länge des Experiments: 20 s

- Setze die Nasenklammer auf und atme durch den Mund gleichmäßig durch das Spirometer ein und aus. Starte die Messung und atme einmal ein und aus, dann ganz tief einatmen und ganz tief ausatmen.
- Übertrage den zeitlichen Verlauf der Messwerte in das Koordinatensystem. Markiere den Bereich des tiefen Ausatmens. Beschreibe die Unterschiede zu Versuch 1.
- Bestimme dein maximales Ausatemvolumen. Vergleiche mit den Werten deiner Mitschüler und begründe eventuelle Unterschiede.

**Protokoll zu Versuch 2**

b)



---

---

---

---

Atmet man ganz tief ein und dann ganz tief aus (Bereich von \_\_\_\_\_ bis \_\_\_\_\_ Sekunden) beträgt das Ausatemvolumen ca. \_\_\_\_\_ Liter. Dieses nennt man die Vitalkapazität.

c)

---

---

---

---

## Fotosynthese der Pflanzen am Beispiel der Kresse

- Lehrermaterial -

Bezogen auf die Fragestellung „Wie ernähren sich Pflanzen?“ bietet dieser Versuch erstmals die Möglichkeit, das Phänomen der Fotosynthese quantitativ und ohne „nachzuhelfen“ zu erfassen.

### Geräte

- TC (hier TI-84 Plus)
- MW (hier CBL 2™)
- CO<sub>2</sub>-Sensor
- O<sub>2</sub>-Sensor

### Materialien

- 3 Erlenmeyerkolben (250 ml)
- Pflanzenlampen (ggf. herkömmliche Leuchten)
- Kresse (ganze Pflanzen)

### Versuchsaufbau



Abb. 1

### Versuchsdurchführung

Je 9 cm<sup>2</sup> Nährboden, der dicht mit Kresse bewachsen ist, wird in die beiden Erlenmeyerkolben gegeben. Es ist darauf zu achten, dass der Nährboden während des Versuchs relativ trocken ist.

Beide Erlenmeyerkolben werden mit dem CO<sub>2</sub>- bzw. O<sub>2</sub>-Sensor verschlossen und beleuchtet. Dabei sollte der Abstand von Kolben und Leuchte ausreichend groß sein, um eine messbare Wärmezunahme im Kolben zu verhindern.

Aufgrund der Trägheit der Sensoren sollte vor Beginn der Messwerterfassung zwei Minuten gewartet werden.

Die Messwerterfassung erfolgt im Abstand von je einer Minute, es werden 10 Messwerte erfasst.

Im Anschluss wird ein Kontrollversuch durchgeführt. Dazu wird dieselbe Messung der CO<sub>2</sub>-Konzentration unter Beleuchtung in einem neuen Erlenmeyerkolben nochmals durchgeführt, in dem eine hohe Luftfeuchtigkeit herrscht.

### Einstellungen in DATAMATE

CH 1: CO2 GAS(PPM)

CH 2: O2 GAS(PCT)

MODE: TIME GRAPH – 600

TIME INTERVAL: 60 sec

*Hinweis: Durch die Einstellung erfolgt die Messung nicht fortlaufend, d.h. es werden 10 singuläre Messungen vorgenommen, da sonst aufgrund der Sensibilität des Sensors vom eigentlichen Phänomen ablenkende Ausschläge zu verzeichnen sind.*

### Hinweise zur Auswertung

Bereits im Verlauf dieses kurzen Versuchszeitraums von 10 Minuten ist ein deutlicher Abfall der CO<sub>2</sub>-Konzentration und damit der Prozess der Fotosynthese an sich festzustellen. Die Beleuchtung der Pflanzen erhöht die Fotosyntheserate gegenüber einer nicht beleuchteten Pflanze. Im zweiten Fall wäre eine extrem lange Messwertfassung für eine quantitative Untersuchung notwendig.

Ein Anstieg der O<sub>2</sub>-Konzentration, hier in Prozent (pct) gemessen, kann aufgrund des geringen Konzentrationsunterschieds zu Beginn und am Ende des Versuchs nur in seltenen Fällen nachgewiesen werden (Abb. 2 und 3). Bei der Auswertung mit den Schülern muss thematisiert werden, dass der Zahlenwert der Sauerstoffkonzentration durch die Einheit geringer ist als der des Kohlenstoffdioxids, in der Realität aber um ein vielfaches höher. Um Fehlvorstellungen zu vermeiden, sollten die Messwerte von den Schülern daher nicht in einer Graphik dargestellt werden.

Der Kontrollversuch zeigt, dass die Abnahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration nicht von der Luftfeuchtigkeit und der Temperatur abhängt.

### Tipps und Tricks

Verlässliche Messreihen erhält man ebenfalls, wenn man gleichzeitig beide Sensoren bei einer Basilikumpflanze verwendet. In diesem Fall benötigt man eine Glasglocke sowie Klebeband zum Verschließen der oberen Öffnung.



### Graphen

L1	L2	L3	1
0	562.07	21.33	
60	549.85	21.33	
120	545.85	21.33	
180	542.06	21.33	
240	537.63	21.33	
300	525.42	21.33	
360	513.2	21.33	

L1 = {0, 60, 120, 180, 240, 300, 360}

Abb. 2

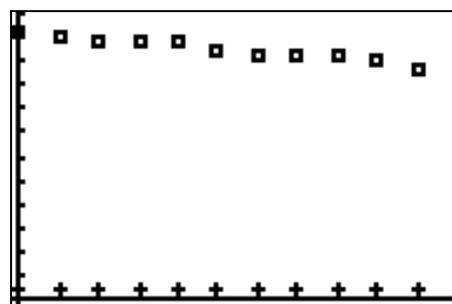


Abb. 3

## Fotosynthese der Pflanzen am Beispiel der Kresse

- Arbeitsblatt -

Pflanzen ernähren sich durch den Prozess der Fotosynthese, der für uns bis jetzt nur indirekt durch den Nachweis einer Sauerstoffabgabe (Glimmspanprobe) und eine Kohlenstoffdioxidaufnahme (Kalkwasserprobe) messbar wurde. Dieser Versuch bietet dir die Möglichkeit, das Phänomen der Fotosynthese direkt über die Konzentration der beiden Gase nachzuweisen.

### Geräte

- TC (hier TI-84 Plus)
- MW (hier CBL 2™)
- CO<sub>2</sub>-Sensor
- O<sub>2</sub>-Sensor

### Materialien

- 3 Erlenmeyerkolben (250 ml)
- Pflanzenlampen
- Kresse (ganze Pflanzen)



Abb. 1

### Einstellungen in DATAMATE

CH 1: CO<sub>2</sub> GAS (PPM)

CH 2: O<sub>2</sub> GAS (PCT)

MODE: TIME GRAPH – 600

TIME INTERVAL: 60 sec

### Versuchsdurchführung

Je ein Stück Nährboden (ca. Größe einer 2-Euro-Münze), der dicht mit Kresse bewachsen ist, wird in die beiden Erlenmeyerkolben gegeben. Beide Erlenmeyerkolben werden mit den beiden Sensoren verschlossen und beleuchtet. Dabei sollte der Abstand von Kolben und Leuchte ausreichend groß sein, um eine messbare Wärmezunahme im Kolben zu verhindern.

Vor Beginn der Messwerterfassung wird zwei Minuten gewartet. Die Messwerterfassung erfolgt im Abstand von je einer Minute, es werden 10 Messwerte erfasst.

Im Anschluss wird ein Kontrollversuch durchgeführt. Dazu wird dieselbe Messung der Kohlenstoffdioxidkonzentration unter Beleuchtung in einem neuen Erlenmeyerkolben nochmals durchgeführt, in dem eine hohe Luftfeuchtigkeit herrscht.

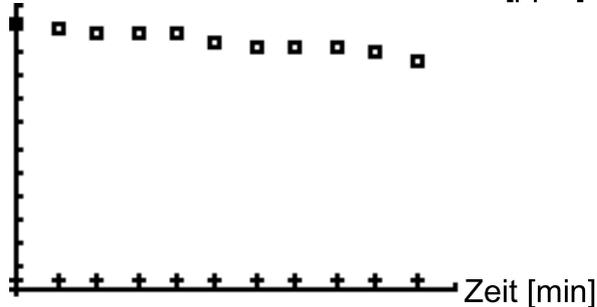
### Auswertungsblatt / Protokoll

1. Stellen Sie die Messergebnisse in zwei Diagrammen dar. Achten Sie dabei auch auf die Beschriftung und Skalierung der Achsen.
2. Erklären Sie, warum man nur einzelne Punkte einzeichnen darf.
3. Beschreiben Sie die Messergebnisse der Kohlenstoffdioxid- und der Sauerstoffkonzentration anhand der Diagramme.
4. Erläutern Sie, was man aus dem Verlauf der Kohlenstoffdioxidkonzentration schließen kann.
5. Stellen Sie eine Vermutung dazu auf, warum die Sauerstoffkonzentration unverändert bleibt.
6. Begründen Sie, warum der Kontrollversuch notwendig ist.

## Fotosynthese der Pflanzen am Beispiel der Kresse

### Lösungen zum Schülerarbeitsblatt

- 1) Sauerstoff- [pct]  
u. Kohlenstoffdioxidkonzentration [ppm]



- 2) Die Messwerterfassung erfolgt diskret (singulär) und nicht kontinuierlich, d.h. gesicherte Daten über die Gaskonzentrationen zwischen den Messungen liegen nicht vor.
- 3) Die Kohlenstoffdioxidkonzentration fällt langsam aber etwa gleichmäßig ab. Die Sauerstoffkonzentration bleibt konstant.
- 4) Die Pflanze hat während des Versuchs Kohlenstoffdioxid aufgenommen.
- 5) Die Sauerstoffkonzentration der Luft beträgt etwa 21%. Sollte die Pflanze Sauerstoff abgegeben haben, war die Menge so gering, dass diese nicht messbar war.
- 6) Der Kontrollversuch zeigt, dass die Abnahme der Kohlenstoffdioxidkonzentration nicht von der Luftfeuchtigkeit oder der Temperatur abhängt.

## Atmung der Pflanzen am Beispiel der Kresse

- Lehrmaterial -

Bezogen auf die Fragestellung „Wie ernähren sich Pflanzen?“ bietet dieser Versuch erstmals die Möglichkeit, das Phänomen, dass auch Pflanzen atmen, experimentell und quantitativ zu erarbeiten.

### Geräte

- TC (hier TI-84 Plus)
- MW (hier CBL 2™)
- CO<sub>2</sub>-Sensor
- O<sub>2</sub>-Sensor

### Materialien

- 2 Erlenmeyerkolben (250 ml)
- Alufolie
- Kresse (ganze Pflanzen)

### Versuchsaufbau



Abb. 1

### Versuchsdurchführung

Je 9 cm<sup>2</sup> Nährboden, der dicht mit Kresse bewachsen ist, wird in die beiden Erlenmeyerkolben gegeben. Es ist darauf zu achten, dass der Nährboden während des Versuchs relativ trocken ist.

Beide Erlenmeyerkolben werden mit Alufolie vollständig abgedunkelt und mit dem CO<sub>2</sub>- bzw. O<sub>2</sub>-Sensor verschlossen.

Aufgrund der Trägheit der Sensoren sollte vor Beginn der Messwerterfassung zwei Minuten gewartet werden (siehe Auswertung).

Die Messwerterfassung erfolgt im Abstand von je einer Minute, es werden 10 Messwerte erfasst.

### Einstellungen in ( z.B. DATAMATE)

CH 1: CO2 GAS(PPM)

CH 2: O2 GAS(PCT)

MODE: TIME GRAPH – 600

TIME INTERVAL: 60 sec

*Hinweis: Durch die Einstellung erfolgt die Messung nicht fortlaufend, d.h. es werden 10 singuläre Messungen vorgenommen, da sonst aufgrund der Sensibilität des Sensors vom eigentlichen Phänomen ablenkende Ausschläge zu verzeichnen sind.*

### Hinweise zur Auswertung

Bereits im Verlauf dieses kurzen Versuchszeitraums von 10 Minuten ist ein deutlicher Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration von ca. 660 ppm auf ca. 900 ppm und damit der Atmungsprozess der Pflanze an sich festzustellen. Dieser erfolgt unabhängig von der Tageszeit (nicht nur nachts, wie von Schülerinnen und Schülern oft vermutet). Aufgrund der Trägheit des Sensors kann die Atmungsaktivität der Pflanze nicht unmittelbar nach der Verdunklung nachgewiesen werden.

Das gleichzeitige Ablaufen von Atmung und Fotosynthese kann mit diesem Versuch leider immer noch nicht nachgewiesen werden. Um die häufige Schülervorstellung, dass Pflanzen entweder nur Atmung oder nur Fotosynthese betreiben, nicht unnötig zu verstärken, sollte mit der Messwerterfassung nach der Verdunkelung nicht länger als 2 Minuten gewartet werden.

Eine Abnahme der O<sub>2</sub>-Konzentration, hier in Prozent (pct) gemessen, kann aufgrund des geringen Konzentrationsunterschieds zu Beginn und am Ende des Versuchs nur in seltenen Fällen nachgewiesen werden (Abb. 2 und 3). Bei der Auswertung mit den Schülern muss thematisiert werden, dass der Zahlenwert der Sauerstoffkonzentration durch die Einheit geringer ist als der des Kohlenstoffdioxids, in der Realität aber um ein vielfaches höher. Um Fehlvorstellungen zu vermeiden, sollten die Messwerte von den Schülern daher nicht in einer Graphik dargestellt werden.

### Tipps und Tricks

Verlässliche Messreihen erhält man ebenfalls, wenn man gleichzeitig beide Sensoren bei einer Basilikumpflanze verwendet. In diesem Fall benötigt man eine Glasglocke sowie Klebeband zum Verschließen der oberen Öffnung.



### Graphen

L1	L2	L3
0	659.82	20.399
60	696.48	20.399
120	708.7	20.399
180	720.92	20.399
240	745.36	20.399
300	806.45	20.399
360	843.11	20.399

L3 = (20.3994, 20.3994, ...)

Abb. 2

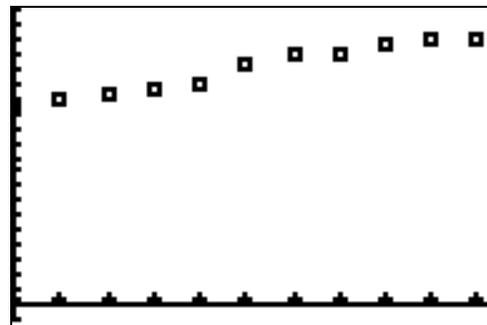


Abb. 3

## Atmung der Pflanzen am Beispiel der Kresse

- Arbeitsblatt -

Pflanzen ernähren sich durch den Prozess der Fotosynthese, der für uns durch die Messung der Sauerstoffabgabe und Kohlenstoffdioxidaufnahme aus der Umgebungsluft messbar ist. Gleichzeitig aber betreiben sie wie wir Atmung. Dieses kannst du im Folgenden nachweisen.

### Geräte

- TC (hier TI-84 Plus)
- MW (hier CBL 2™)
- CO<sub>2</sub>-Sensor
- O<sub>2</sub>-Sensor

### Materialien

- 2 Erlenmeyerkolben (250 ml)
- Alufolie
- Kresse (ganze Pflanzen)



Abb. 1

### Einstellungen (z.B. in DATAMATE)

CH 1: CO2 GAS (PPM)

CH 2: O2 GAS (PCT)

MODE: TIME GRAPH – 600

TIME INTERVAL: 60 sec

### Versuchsdurchführung

Je ein Stück Nährboden (ca. Größe einer 2-Euro-Münze), der dicht mit Kresse bewachsen ist, wird in die beiden Erlenmeyerkolben gegeben.

Beide Erlenmeyerkolben werden mit Alufolie vollständig abgedunkelt und jeweils mit einem Sensor verschlossen.

Vor Beginn der Messwerterfassung werden zwei Minuten gewartet.

Die Messwerterfassung erfolgt im Abstand von je einer Minute, es werden 10 Messwerte erfasst.

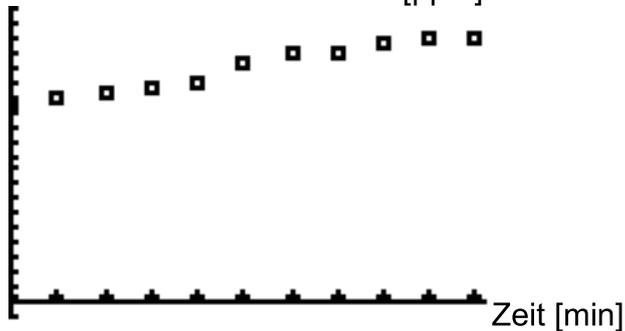
### Auswertungsblatt / Protokoll

1. Stellen Sie die Messergebnisse in zwei Diagrammen dar. Achten Sie dabei auch auf die Beschriftung und Skalierung der Achsen.
2. Erklären Sie, warum man nur einzelne Punkte einzeichnen darf.
3. Beschreiben Sie die Messergebnisse der Kohlenstoffdioxid- und der Sauerstoffkonzentration anhand der Diagramme.
4. Interpretieren Sie den Verlauf der Kohlenstoffdioxidkonzentration.
5. Stellen Sie eine Vermutung dazu auf, warum die Sauerstoffkonzentration unverändert bleibt.

## Atmung der Pflanzen am Beispiel der Kresse

Lösungen zum Schülerarbeitsblatt

- 1) Sauerstoff- [pct] u.  
Kohlenstoffdioxidkonzentration [ppm]



- 2) Die Messwerterfassung erfolgt diskret und nicht kontinuierlich, d.h. gesicherte Daten über die Gaskonzentrationen zwischen den Messungen liegen nicht vor.
- 3) Die Kohlenstoffdioxidkonzentration steigt langsam aber etwa gleichmäßig an. Die Sauerstoffkonzentration bleibt konstant.
- 4) Die Pflanze hat während des Versuchs Kohlenstoffdioxid abgegeben.
- 5) Die Sauerstoffkonzentration der Luft beträgt etwa 21%. Sollte die Pflanze Sauerstoff aufgenommen haben, war die Menge so gering, dass diese nicht messbar war.

## Modellversuche zum Membranpotenzial

- Lehrmaterial -

### Geräte

- TC (hier TI-Nspire™)
- MW (hier EasyLink® oder TI-Nspire™ Lab Cradle)
- Differentialspannungssensor (DVP)
- Gefäß mit der Möglichkeit, Filterpapier oder Kunststoffmembranen einzuspannen
- 2 Kupferblechelektroden
- Becherglas 100 ml
- Spatel

### Chemikalien

- dest. Wasser
- Kochsalz

### Versuchsdurchführung

Zwei Experimente werden durchgeführt:

Zunächst wird eine konzentrierte Kochsalzlösung aus ca. 8-10 Spatelspitzen Kochsalz und ca. 50 ml dest. Wasser hergestellt.

#### Experiment A

Ein passendes Stück Filterpapier wird in das Gefäß eingespannt und beide Kammern zu ca. 2/3 mit destilliertem Wasser aufgefüllt. In jede Kammer wird je eine Kupferblechelektrode platziert und die Elektrodenklemmen des mit dem Rechner verbundenen Spannungssensors an je eine Kupferblechelektrode angeschlossen.

Die Messung wird gestartet. Unmittelbar nach dem Starten wird ca. die Hälfte der konzentrierten Kochsalzlösung in die Kammer gegeben, deren Kupferblechelektrode mit der **schwarzen** Elektrodenklemme verbunden ist.

#### Experiment B

Alle Arbeitsschritte aus Experiment A werden wiederholt, jetzt wird aber ein passendes Stück selektiv permeable Membran in das Gefäß eingespannt.

(Gut geeignet sind Einmachfolie oder Folien für das Osmometer.)

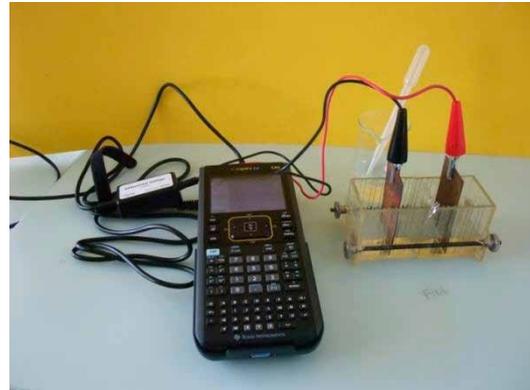
### Einstellungen

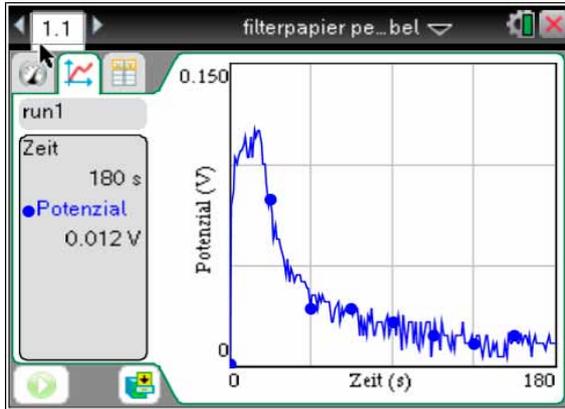
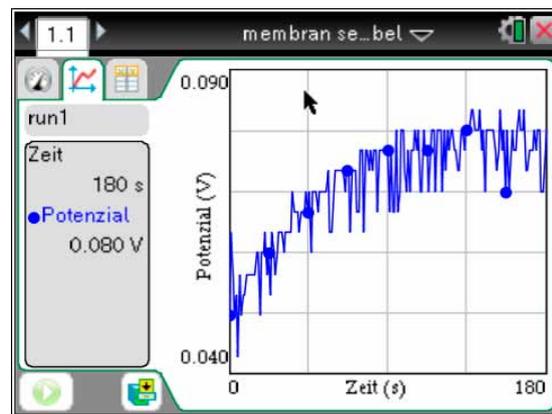
Es wird eine Messwerterfassung nach dem Modus „Zeitgraph“ eingerichtet, dabei soll pro Sekunde ein Messwert erfasst werden über einen Zeitraum von 300 s.

### Tipps und Tricks

Es ist gleichgültig, in welche der beiden Kammern die Salzlösung zugefüllt wird, bei einer anderen Wahl der Kammern erscheint jedoch eine spiegelverkehrte Kurve, deren Interpretation den Schülerinnen und Schülern eventuell schwerer fällt.

### Versuchsaufbau



**Grafik A****Grafik B****Auswertung**

- A:** Die Spannung steigt schnell an und sinkt dann allmählich wieder ab, bei der gewählten Experimentierdauer wird der Ausgangswert nicht ganz erreicht. Dieser Spannungsverlauf lässt sich mit der vollständigen Durchlässigkeit des Filterpapiers für Natrium- und Chloridionen erklären. Zuerst diffundieren die kleineren (und dadurch schnelleren) Natriumionen durch das Filterpapier, durch die einsetzende Ladungstrennung verändert sich die Spannung deutlich. Nach und nach diffundieren auch die größeren Chloridionen durch das Filterpapier, so dass die Ladungstrennung allmählich aufgehoben wird und die gemessene Spannung allmählich auf den Ausgangswert zurückgeht.
- B:** Auch hier steigt die Spannung an, bleibt aber im Verlauf des Experiments konstant. Aufgrund der selektiven Permeabilität der Kunststoffmembran können nur die Natriumionen die Membran passieren, die einsetzende Ladungstrennung bleibt permanent erhalten, da die größeren Chloridionen die Membran nicht passieren können.

Mit Hilfe der Modelleexperimente lässt sich der Zusammenhang zwischen Membrandurchlässigkeit, Ionenwanderung und Membranspannung gut veranschaulichen. Die Experimente könnten gut im Rahmen eines Stationsbetriebes zum Thema „Bau und Funktion von Zellmembranen“ (speziell Nervenzellmembranen) eingesetzt werden. Je nach Ausstattung und zur Verfügung stehenden Zeit können sie auch als Demonstrationsexperimente eingesetzt werden, dabei können die entsprechenden Kurvenverläufe mit Hilfe der TI-Nspire™ Lehrersoftware relativ einfach über Laptop und Beamer präsentiert werden.

## Modellversuche zum Membranpotenzial

### Arbeitsblatt

Ermitteln Sie die unterschiedlichen Membranpotentialverläufe bei einfachen Ionenwanderungen durch eine permeable bzw. eine semipermeable Membran.

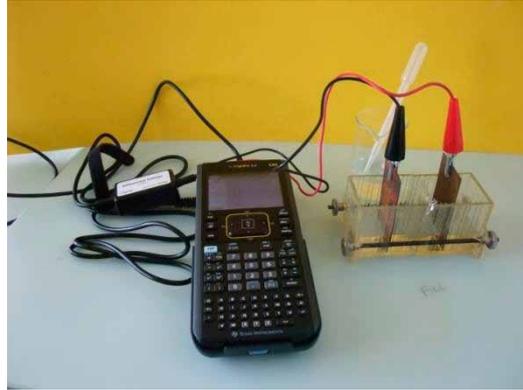
#### Geräte

- TC (hier TI-Nspire™)
- MW (hier EasyLink® oder TI-Nspire™ Lab Cradle)
- Differentialspannungssensor (DVP)
- Versuchsgefäß
- 2 Kupferblechelektroden
- Becherglas 100 ml
- Spatel

#### Chemikalien

- dest. Wasser
- Kochsalz

#### Versuchsaufbau



#### Einstellungen

Richten Sie eine Messwerterfassung nach dem Modus „Zeitgraph“ ein, dabei soll pro Sekunde ein Messwert erfasst werden über einen Zeitraum von 300 s.

#### Versuchsdurchführung

Stellen Sie aus ca. 8-10 Spatelspitzen Kochsalz und ca. 50 ml dest. Wasser eine konzentrierte Kochsalzlösung her.

#### Experiment A

Spannen Sie ein passendes Stück Filterpapier in das Gefäß ein und füllen Sie beide Kammern zu ca. 2/3 mit destilliertem Wasser. Platzieren Sie eine Kupferblechelektrode in je eine Kammer und schließen Sie die Elektrodenklemmen des mit dem Rechner verbundenen Spannungssensors an je eine Kupferblechelektrode an.

Starten Sie nun die Messung und geben Sie unmittelbar nach dem Starten ca. die Hälfte der konzentrierten Kochsalzlösung in die Kammer, deren Kupferblechelektrode mit der **schwarzen** Elektrodenklemme verbunden ist.

#### Experiment B

Wiederholen Sie alle Arbeitsschritte aus Experiment A, spannen Sie aber jetzt ein passendes Stück Kunststoffmembran in das Gefäß ein.

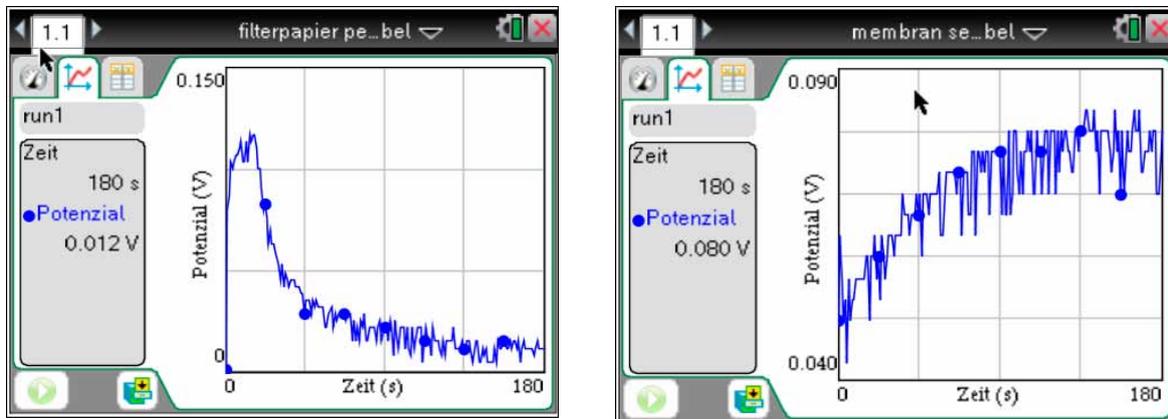
#### Auswertung

1. Skizzieren Sie vereinfacht den Verlauf der Spannung bei den Experimenten A und B in ein Zeit-Spannungs-Diagramm.
2. Erklären Sie den Spannungsverlauf für beide Experimente.  
(Hinweis: Filterpapier ist vollständig permeabel, die Kunststoffmembran ist nur für die kleineren Natriumionen durchlässig, nicht aber für die großen Chloridionen. Beachten Sie, dass kleinere Teilchen schneller diffundieren können als große Teilchen.)
3. Vergleichen Sie die Ionenwanderungen bei Experiment B mit den Verhältnissen an unerregten Nervenzellmembranen.

## Modellversuche zum Membranpotenzial

### Lösungen zum Schülerarbeitsblatt

Zu 1



Zu 2

**A:** Der schnelle Anstieg der Spannung zu Beginn lässt sich mit der Ladungstrennung aufgrund der rasch diffundierenden kleinen Natriumionen erklären. Nach kurzer Zeit geht diese Ladungstrennung allerdings zurück, da nun auch die größeren Chloridionen das Filterpapier ungehindert durchdringen, also sinkt die Spannung ab. Wenn in beiden Kammern die gleiche Salzkonzentration vorliegt, müsste die Spannung auf null gefallen sein.

**B:** Hier stellt sich ein permanentes Membranpotential ein, das nur von der Diffusion der kleinen Natriumionen abhängt. Diese Natriumionen diffundieren durch die Kunststoffmembran aufgrund des Konzentrationsgefälles, allerdings diffundieren mit zunehmender Ladungstrennung auch wieder Natriumionen zurück aufgrund des Ladungsgefälles. Es stellt sich ein Gleichgewicht zwischen beiden Diffusionsereignissen ein und die Spannung ändert sich nicht mehr.

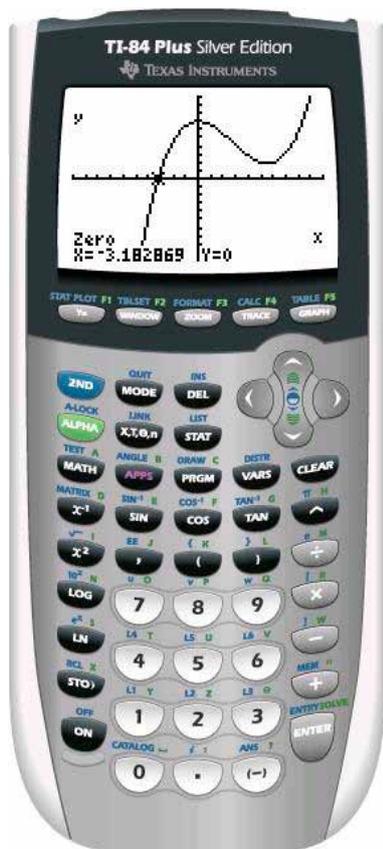
Zu 3

Beim RP handelt es sich nicht um ein Gleichgewichtspotenzial wie bei Experiment B, da die Nervenzellmembran außer für Natriumionen auch noch für andere Ionenarten permeabel ist. Eine Ladungstrennung und damit ein messbares Membranpotenzial wird an der Nervenzellmembran durch einen permanenten Kaliumionenausstrom erreicht, der nur möglich ist, weil durch die andauernde Arbeit der aktiven  $K^+/Na^+$ -ATPase das Konzentrationsgefälle zwischen Nervenzellinnerem und extrazellulärer Flüssigkeit aufrecht gehalten wird.

## Anhang

- Kleines Handbuch für die ersten Schritte mit dem TI-84 Plus
- Kurzanleitung für das CBL 2™ (Applikation DataMate™ )
- Anleitung zur Applikation Vernier DataQuest™ auf dem TI-Nsipro™ unter <http://www.ti-unterrichtsmaterialien.net/index.php?id=1&detail=1049>
- Weitere Hilfen und Informationen unter [www.ti-unterrichtsmaterialien.net](http://www.ti-unterrichtsmaterialien.net)

## Kurzanleitung TI-84 Plus Rechnermodelle



Graphiktafelfeld

Cursortasten

Sondertasten

Es wird das Betriebssystem 2.55MP vorausgesetzt.  
Bei Eingabe von:  $\boxed{2\text{nd}}$   $\boxed{[\text{MEM}]}$  erscheint:

TI-84 Plus Silver Edition  
2.55MP

### Aufbau der Tastatur

Die Tasten sind mehrfach belegt:

**Erstbelegung:** Schrift auf der Taste.

**Zweitbelegung:** blaue Schrift links über der Taste, wird erreicht über  $\boxed{2\text{nd}}$ , Taste.

**Drittbelegung:** grüne Schrift rechts über der Taste, wird erreicht über  $\boxed{[\text{ALPHA}]}$ , Taste.

### Cursortastefeld

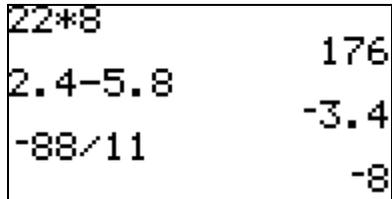
Taste	Erstbelegung	Zweitbelegung mit $\boxed{2\text{nd}}$
$\uparrow$	Cursor nach oben, scrollen des Bildschirms nach oben.	Kontrastverstärkung (Zeichen werden dunkler).
$\downarrow$	Cursor nach unten, scrollen des Bildschirms nach unten.	Kontrastabschwächung (Zeichen werden heller).
$\leftarrow$	Cursor / Bildschirm ( $\leftarrow$ ) nach links.	Setzt den Cursor an den Anfang der Zeile.
$\rightarrow$	Cursor / Bildschirm ( $\rightarrow$ ) nach rechts.	Setzt den Cursor an das Ende der Eingabe.

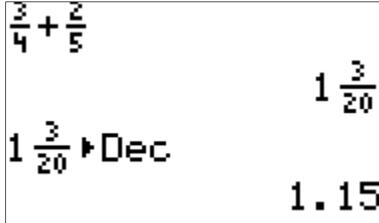
### ALPHA-Taste

$\boxed{[\text{ALPHA}]}$	danach eine der Tasten $\boxed{[Y=]}$ , $\boxed{[\text{WINDOW}]}$ , $\boxed{[\text{ZOOM}]}$ oder $\boxed{[\text{TRACE}]}$ .	Es klappen Menüs auf. Verlassen mit der Taste $\boxed{[\text{GRAPH}]}$ .
--------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------

### Bibliothek

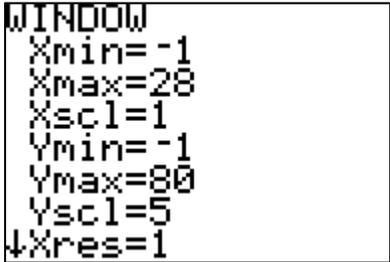
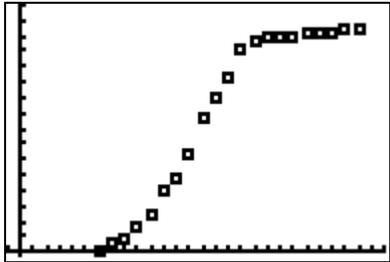
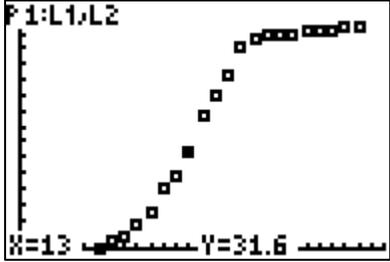
$\boxed{2\text{nd}}$ $\boxed{[\text{CATALOG}]}$	Hierüber erreicht man alle Befehle in alphabetischer Reihenfolge. Mit Cursor $\downarrow$ oder $\uparrow$ auswählen und mit $\boxed{[\text{ENTER}]}$ übernehmen.
----------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Grundrechenarten und Eingaben			
Was möchte ich?	Was gebe ich ein?	Was sehe ich?	Hinweise
<b>Ein- und Ausschalten</b>	$\boxed{\text{ON}}$  $\boxed{2\text{nd}} \boxed{\text{ON}}$		Es ist ein leerer oder mit den letzten Rechnungen vollgeschriebener Bildschirm (Hauptbildschirm) zu sehen. Auf jeden Fall wartet ein blinkender Cursor auf eine Eingabe.
Den Bildschirm <b>löschen</b> .	$\boxed{\text{CLEAR}}$		Der ganze Bildschirm ist jetzt "gereinigt".
<b>Hilfe!</b> Ich finde den Hauptbildschirm nicht wieder!	$\boxed{2\text{nd}} \boxed{\text{MODE}}$		
<b>Addieren, Subtrahieren, Multiplizieren, Dividieren:</b> z.B.: $22 \cdot 8 = 176$ $2,4 - 5,8 = -3,4$ $-88 : 11 = -8$	$\boxed{2} \boxed{2} \boxed{\times} \boxed{8} \boxed{\text{ENTER}}$  $\boxed{2} \boxed{.} \boxed{4} \boxed{-} \boxed{5} \boxed{.} \boxed{8} \boxed{\text{ENTER}}$  $\boxed{(-)} \boxed{8} \boxed{8} \boxed{\div} \boxed{1} \boxed{1} \boxed{\text{ENTER}}$		Die Aufgaben werden so eingegeben, wie sie gerechnet werden. <b>Unterschied:</b> anstatt • „=" wird $\boxed{\text{ENTER}}$ gedrückt • 2,4 wird 2.4 eingegeben. Die Lösung findet man eine Zeile tiefer auf der rechten Seite. Für das – <b>Vorzeichen bei negativen Zahlen</b> ist die Taste $\boxed{(-)}$ zu wählen, <b>nicht</b> die Taste $\boxed{-}$ .
Einzelne Zahlen oder Zeichen <b>löschen</b> .	Mit den Cursor-Tasten $\boxed{\rightarrow}$ $\boxed{\leftarrow}$ auf das Zeichen gehen, das gelöscht werden soll und mit der Taste $\boxed{\text{DEL}}$ das Zeichen löschen.		
Ein neues <b>Zeichen eingeben</b> .	Mit den Cursor-Tasten an die Stelle gehen, an der das neue Zeichen stehen soll, dann $\boxed{2\text{nd}} \boxed{\text{DEL}}$ und das fehlende Zeichen eintippen.		Der Cursor verändert sich im „Insert“-Modus in einen blinkenden Strich, dieser bleibt bis zum nächsten $\boxed{\text{ENTER}}$ bestehen.

Grundrechenarten und Eingaben			
Was möchte ich?	Was gebe ich ein?	Was sehe ich?	Hinweise
Eine zurückliegende Eingabe (z.B. eine Formel) noch einmal verwenden	Mit der Cursor-Taste $\uparrow$ nach oben scrollen, gewünschten Ausdruck mit $\boxed{\text{ENTER}}$ „kopieren“.  oder $\boxed{2\text{nd}} \boxed{\text{ENTER}}$ evtl. mehrmals hintereinander		Je nach Umfang der eingegebenen Ausdrücke können sehr viele Eingaben zurückgeholt werden.
Wie soll mein Ergebnis aussehen?  0,123456789 oder auf zwei Stellen <b>gerundet</b> 0,12	$\boxed{\text{MODE}}$ Taste drücken. Mit der Cursor-Taste $\downarrow$ zu FLOAT gehen, mit Cursor-Taste $\rightarrow$ gewünschte Nachkommastellenanzahl einstellen und dann $\boxed{\text{ENTER}}$ .  Mit $\boxed{2\text{nd}} \boxed{\text{MODE}}$ zurück in den Hauptbildschirm.		Bei der Grundeinstellung ist mit FLOAT die Fließkommadarstellung eingestellt. Mit NORMAL, SCI, ENG wird das Zahlenformat eingestellt. DEGREE steht für Gradzahlen und RADIAN für das Bogenmaß. Für alle anderen Einstellungen sollte jeweils die linke Möglichkeit markiert sein.
<b>Brüche</b> eingeben  $\frac{3}{4} + \frac{2}{5}$	$\boxed{\text{ALPHA}} \boxed{Y=}$ n/d $\boxed{3}$ $\rightarrow$ $\boxed{4}$ $\rightarrow$ $\boxed{\div}$ $\boxed{\text{ALPHA}}$ $\boxed{Y=}$ n/d $\boxed{2}$ $\rightarrow$ $\boxed{5}$ $\rightarrow$ $\boxed{\text{ENTER}}$ $\boxed{\text{MATH}}$ , $\triangleright$ Dec		Das Ergebnis wird als Bruchzahlausgabe gegeben. Soll das Ergebnis als Dezimalzahl erscheinen, kann dieses über $\boxed{\text{MATH}}$ , $\triangleright$ Dec geschehen.
<b>Potenzen</b> eingeben  $4^3$	$\boxed{4}$ $\boxed{\wedge}$ $\boxed{3}$ $\rightarrow$ $\boxed{\text{ENTER}}$		

Arbeiten mit Tabellen und Listen – Eingabe von Tabellen			
Was möchte ich?	Was gebe ich ein?	Was sehe ich?	Hinweise
<p>Eine <b>Tabelle</b> mit Daten erstellen.</p> <p>Dazu die <b>Listen</b> öffnen.</p>	<p><b>[STAT]</b></p> <p>1: Edit..., <b>[ENTER]</b></p>		<p>Es stehen 6 Listen zur Verfügung.</p> <p>In jeder Liste können bis zu 499 Eingaben erfasst werden.</p>
<p>Werte in die <b>Tabellenspalten</b> eintragen.</p>	<p>unterhalb des Listenkopfes (L1)</p> <p>5.5 <b>[ENTER]</b> , 6.5 <b>[ENTER]</b> , ...</p> <p>ebenso unterhalb von L2</p> <p>.....</p>		<p>Mit dem Cursor kann man in dem ganzen Tabellenfeld herumwandern.</p> <p>Überall, wo der dunkle Balken erscheint, können nach Drücken von <b>[ENTER]</b> Eingaben gemacht werden.</p> <p>Im Listenkopf (L1, L2,...) <b>keine</b> Eingaben vornehmen.</p>
<p><b>Löschen</b> von Tabellenwerten oder Tabellenspalten</p>	<p>mit <b>[↓]</b> <b>[↑]</b> auf das Zeichen, dann <b>[DEL]</b></p> <p>mit <b>[↑]</b> auf den Listenkopf (z.B. L1), <b>[CLEAR]</b>, <b>[ENTER]</b></p>		
<p><b>Hilfe!</b></p> <p>Meine Liste ist weg.</p>	<p><b>[STAT]</b> , 5: SetUpEditor, <b>[ENTER]</b></p> <p>im Hauptbildschirm <b>[ENTER]</b></p>		<p>Die Listen sind nur scheinbar gelöscht, sie werden im Hintergrund gespeichert und mit dem Befehl wieder aktiviert.</p>
<p><b>Einfügen</b> von Werten in eine bestehende Tabelle.</p>	<p>mit <b>[↓]</b> <b>[↑]</b> unterhalb des fehlenden Wertes, dann <b>[2nd]</b> <b>[DEL]</b></p> <p>Wert eingeben, <b>[ENTER]</b></p>		<p>Oberhalb des fehlenden Wertes erscheint eine 0, die dann mit dem gewünschten Wert überschrieben wird.</p>
<p><b>Kopieren</b> einer Liste in eine neue, freie Liste</p>	<p>mit <b>[↑]</b> auf den Listenkopf (z.B. L3), <b>[ENTER]</b> , =, <b>[2nd]</b> <b>[1]</b>, <b>[ENTER]</b></p>		<p>Damit können die Werte aus Liste 2 gespeichert werden, wenn der Platz in Liste 2 für eine neue Eingabe benötigt wird.</p> <p>Listennamen immer nur über die Tasten <b>[2nd]</b>, numerischer Wert eingeben.</p>

Arbeit mit Tabellen und Listen – Zeichen von Diagrammen (Plotten)			
Was möchte ich?	Was gebe ich ein?	Was sehe ich?	Hinweise
Vorbereitungen:	<code>2nd</code> <code>Y=</code>		<p>STATS PLOTS bedeutet, dass der TC Daten in einem Diagramm darstellen soll.</p> <p>Dazu können gleichzeitig maximal 3 Diagramme gezeichnet werden.</p> <p>OFF bedeutet, dass der Plot ausgestellt ist.</p>
Plot 1 aufrufen und eine <b>Punkt-wolke</b> einstellen	mit <code>↓</code> <code>↑</code> auf 1: gehen, <code>ENTER</code> Cursor auf ON, <code>ENTER</code> Cursor auf Type, auswählen, <code>ENTER</code> Cursor auf Xlist, Liste eintragen, <code>ENTER</code> Cursor auf Ylist, Liste eintragen, <code>ENTER</code> Cursor auf Zeichenstil für den Datenpunkt, <code>ENTER</code>		<p>Mit OFF wird der Plot wieder ausgeschaltet.</p> <p>Xlist ist immer die unabhängige Größe, Ylist immer die abhängige.</p> <p>Listennamen werden so eingegeben: z.B. für L1: <code>2nd</code> , <code>1</code></p>
<b>Diagramm zeichnen</b>	<code>GRAPH</code>		<p>Es werden nicht alle Datenpunkte dargestellt, das kann verbessert werden.</p>
<b>Hilfe!</b> Ich sehe nicht alle Datenpunkte.  Ich möchte einen <b>übersichtlichen Bildausschnitt</b> einstellen.	Herausfinden, in welchen Grenzen eine <i>ideale</i> Zeichnung anzufertigen wäre. Zwischen welchen unteren und oberen Grenzen liegen die x (L1) und y (L2) Werte in der Tabelle?.		<p>In diesem Beispiel lesen wir ab:</p> <p>Der kleinste x (L1)-Wert ist <b>6</b>, der größte <b>26</b>.</p> <p>Der kleinste y (L2)-Wert ist <b>0,4</b>, der größte <b>71,9</b>.</p>

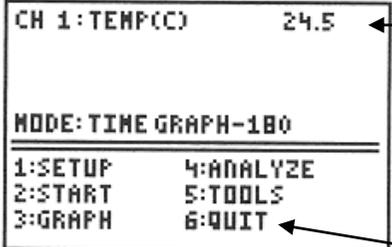
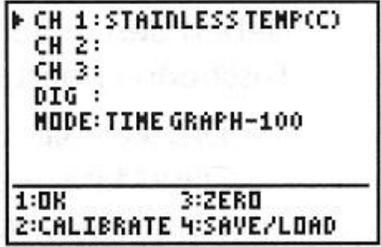
Arbeit mit Tabellen und Listen – Fenster (Window) einstellen			
Was möchte ich?	Was gebe ich ein?	Was sehe ich?	Hinweise
Bildschirm ( <b>Window</b> ) besser einstellen	<code>WINDOW</code>		Um alle Punkte gut sehen zu können, ist es zweckmäßig, als kleinsten und größten x-Wert (Xmin und Xmax) Zahlen einzugeben, die etwas kleiner als der kleinste und etwas größer als der größte Wert sind, die wir abgelesen haben.
Zeichnung (Plot) neu erstellen	<code>GRAPH</code>		Wählt man Xmin= -1 und Ymin= -1 , sind auch die Koordinatenachsen gut sichtbar. Xscl Skaleneinheit auf der x-Achse, Yscl Skaleneinheit auf der y-Achse, xres Zeichengenauigkeit (je kleiner der Wert, desto genauer).
In dem Diagramm die <b>Werte der Datenpunkte</b> ablesen ( <b>TRACE</b> ).	<code>GRAPH</code> <code>TRACE</code> , mit den Cursor-Tasten <code>▶</code> <code>◀</code> die Datenpunkte anspringen  <i>Falls es nicht klappt:</i> <code>2nd</code> <code>ZOOM</code> mit <code>▼</code> <code>▲</code> auf <code>CoordOn</code> , <code>ENTER</code>		Stellt man im <code>FORMAT</code> -Fenster <code>CoordOn</code> ein, dann kann man die Werte zu den Datenpunkten ablesen. Man kann auch eine x-Koordinate über die Tastatur eingeben Oben links im Bildschirm kann man die Plot-Informationen ablesen. Das wird über <code>2nd</code> <code>ZOOM</code> , <code>ExprOn</code> / <code>ExprOff</code> ein- bzw. abgestellt.

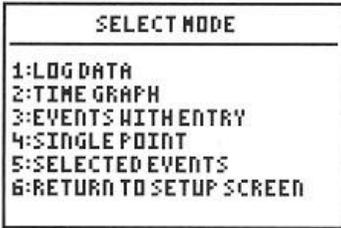
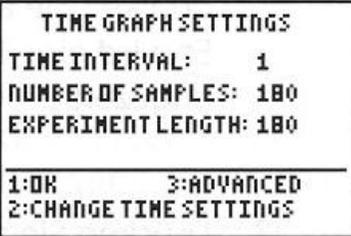
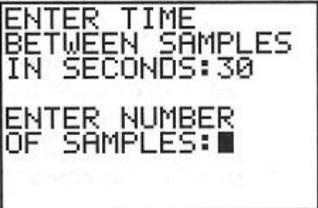
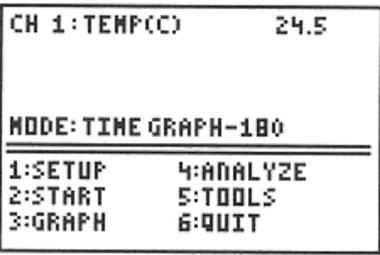
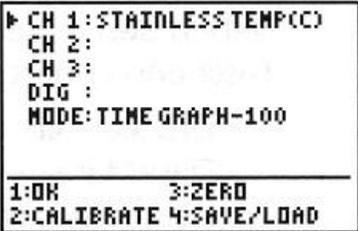
Arbeit mit Tabellen und Listen – Fehlermeldungen			
Was möchte ich?	Was gebe ich ein?	Was sehe ich?	Hinweise
<p><b>Hilfe!</b> Es kommt die Fehlermeldung <b>DIM MISMATCH</b>.</p>		<pre>ERR: DIM MISMATCH Quit ----- L1      L2      L3      Z 21      69.7 22      71 23      71.3 24      71.5 25      71.7 26 ----- L2(21) =</pre>	<p>Die häufigste Fehlerursache ist, dass die beiden Listen nicht gleich lang sind (Dimensions-Fehler).</p>
<p><b>Hilfe!</b> Die Koordinatenachsen sind nicht zu sehen (<b>FORMAT</b>).</p>	<p>mit <math>\downarrow</math> <math>\uparrow</math> auf <b>2nd</b> <b>ZOOM</b>, <b>ENTER</b></p>	<pre>RectGC PolarGC CoordOff CoordOn GridOff GridOn AxesOn AxesOff LabelOff LabelOn ExprOn ExprOff</pre>	<p>Viele Spiele stellen im Graphikbildschirm die Achsen aus. Mit AxesON kann das rückgängig gemacht werden.</p>
<p><b>Hilfe!</b> Es kommt die Fehlermeldung <b>INVALID DIM</b></p>		<pre>ERR: INVALID DIM Quit ----- Plot1 Plot2 Plot3 Off Type: Off Xlist: L1 Ylist: L3 Mark: +</pre>	<p>Im eingestellten Plot ist die Xlist- bzw. Ylist-Eintragung nicht passend.  Hier ist für die Ylist die leere Tabellenspalte L3 eingetragen.</p>

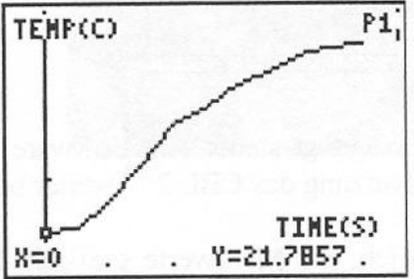
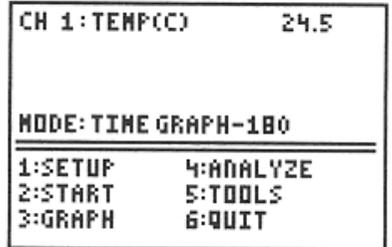
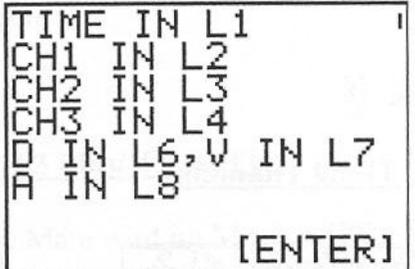
Arbeit mit Tabellen und Listen – Zeichen von zwei Diagrammen																											
Was möchte ich?	Was gebe ich ein?	Was sehe ich?	Hinweise																								
Ein Diagramm mit zwei Datenreihen erstellen, die von einer Größe abhängen.	<p><b>STAT</b></p> <p>1: Edit..., <b>ENTER</b></p> <p>In die Listen L1 bis L3 die Werte eingeben</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>L1</th> <th>L2</th> <th>L3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1.5</td><td>63.9</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.6</td><td>43.3</td></tr> <tr><td>3</td><td>4.3</td><td>52.3</td></tr> <tr><td>4</td><td>7.4</td><td>44.1</td></tr> <tr><td>5</td><td>11.8</td><td>55.2</td></tr> <tr><td>6</td><td>14.9</td><td>70.1</td></tr> <tr><td>7</td><td>16.9</td><td>80.6</td></tr> </tbody> </table> <p>L3(?) = 80.6</p>	L1	L2	L3	1	1.5	63.9	2	1.6	43.3	3	4.3	52.3	4	7.4	44.1	5	11.8	55.2	6	14.9	70.1	7	16.9	80.6	
L1	L2	L3																									
1	1.5	63.9																									
2	1.6	43.3																									
3	4.3	52.3																									
4	7.4	44.1																									
5	11.8	55.2																									
6	14.9	70.1																									
7	16.9	80.6																									
<p><b>Plot</b> einstellen: Die Werte zu Liste L2 als Quadrate (□) und die von Liste L3 als Kreuze (+) darstellen.</p>	<p><b>2nd</b> <b>Y=</b> mit <b>↓</b> <b>↑</b> auf 2: gehen, <b>ENTER</b></p> <p>Cursor auf ON, <b>ENTER</b></p> <p>Cursor auf Type, auswählen, <b>ENTER</b></p> <p>Cursor auf Xlist, Liste eintragen, <b>ENTER</b></p> <p>Cursor auf Ylist, Liste eintragen, <b>ENTER</b></p> <p>Cursor auf Zeichenstil für den Datenpunkt, <b>ENTER</b></p>	<p>Plot1 <b>Off</b> Plot3 <b>Off</b></p> <p>Type: <b>□</b> <b>+</b> <b>○</b></p> <p>Xlist: L1</p> <p>Ylist: L3</p> <p>Mark: <b>□</b> <b>+</b> <b>○</b></p>	Zusätzlich zum schon aktivierten, d.h. eingestellten Plot1, wird der Plot2 aktiviert.																								
<b>WINDOW</b> einstellen	<p><b>WINDOW</b></p>	<p>WINDOW</p> <p>Xmin=0</p> <p>Xmax=13</p> <p>Xscl=1</p> <p>Ymin=0</p> <p>Ymax=85</p> <p>Yscl=5</p> <p>Xres=1</p>	<p>Ymax wird passend für die Liste L2 und L3 gewählt,</p> <p>Yscl entsprechend wählen (bei zu kleinen Skaleneinheiten entsteht der Eindruck einer dick gezeichneten Achse).</p>																								
<b>Diagramme zeichnen</b>	<p><b>GRAPH</b></p>		<p>Beide Tabellen sind in einem Bildschirm graphisch dargestellt.</p> <p><b>Wichtig:</b> Die Plots vor einer Weiterarbeit an einer neuen Aufgabe wieder ausschalten.</p>																								

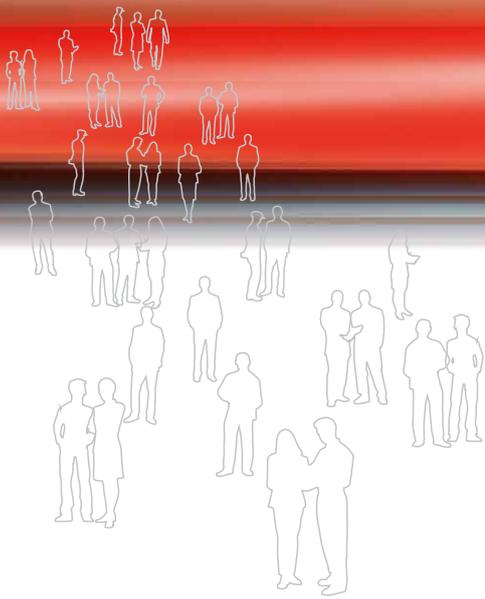
### Das Messwerterfassungsprogramm DataMate™

Diese Kurzanleitung berücksichtigt nur die wichtigsten Einstellungen des Messwerterfassungsprogramms DataMate. Für weitere Informationen wird das ausführliche Handbuch empfohlen.

		Menü-Ebenen	
<p><b>Eine Messung durchführen</b> GTR, CBL 2™ verkabeln, Messsensor(en) anschließen, DataMate unter APPS aufrufen.</p>			
<p><b>Messung einrichten</b> Schaltzentrale ist der „Main-Screen“: Der/die Messsensor/en werden automatisch angezeigt, unter MODE steht die verwendete Messmethode Die Untermenüs werden mit der Eingabe der Ziffer ausgewählt.</p>		<p>In der Bildschirmecke rechts oben sieht man einen kleinen Laufbalken. Dieser zeigt immer an, dass auf eine Eingabe gewartet wird.</p> <p>DataMate nur über 6: Quit verlassen</p>	
<p><b>1: SETUP</b> Oberhalb der Trennlinie werden die Positionen mit dem Cursor angelaufen und mit ENTER geöffnet. Unterhalb der Trennlinie erfolgt die Auswahl über Ziffern. Mit 1:OK gelangt man wieder zum Main-Screen.</p>		<p>2: Calibrate: Die Kalibrierung ist nur für geeignete Sensoren geschaltet z.B. pH-Sensor .</p> <p>4: Save/Load führt zu einem Untermenü zur Verwaltung von Messungen.</p>	

<p><b>Messmethode auswählen</b> mit dem Cursor auf MODE laufen und ENTER drücken</p> <p>Methode über Ziffer wählen</p>				<p>5: SELECTED EVENTS ist eine Einzelmessung nach Drücken von ENTER.</p>
<p><b>2: TIME GRAPH</b> Ist die Standardmessmethode Jeder Messsensor hat eine automatische Standardeinstellung, die geändert werden kann</p>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intervall zwischen den Messwerten in Sekunden</li> <li>• Anzahl der Messwerte</li> <li>• Dauer des Experiments in Sekunden (ergibt sich als Produkt der ersten beiden Eingaben)</li> </ul>	
			<p>2: CHANGE TIME SETTINGS Die automatischen Vorgaben können den eigenen Vorstellungen angepasst werden.</p>	
			<p>1: OK führt zum SETUP-Screen zurück</p> <p>nochmals 1: OK führt zum Main-Screen zurück</p>	

<p><b>Messung durchführen</b>                  Mit den gewählten Einstellungen wird die Messung durch Drücken von 1: START begonnen. Das CBL 2™ gibt einen Ton zu Beginn und zu Ende der Messung.</p>			<p>Die Messwerte werden bei TIME GRAPH in Echtzeit in einem Diagramm angezeigt.</p> <p>Am Ende der Messung erscheint das Diagramm.</p>	
<p><b>Zum Main-Screen zurück</b>                  ENTER drücken führt in den Main-Screen zurück. Die Messung kann nun wiederholt werden, dabei werden ohne vorherige Speicherung alle Daten überschrieben.</p>		<p>Unter 5: TOOLS kann eine Messreihe gespeichert werden, so dass eine neue Messung die Daten nicht überschreibt.</p>		
<p><b>Verlassen von DataMate</b>                  Nach Eingabe von 6: QUIT erscheint der Hinweis, in welchen Listen die Daten gespeichert sind. Mit ENTER gelangt man wieder in den TC-Modus zurück.</p>		<p>Die Daten in den Listen können nun mit den üblichen Listen- und Plot-Befehlen individuell bearbeitet werden.</p>		

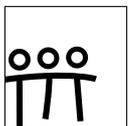


T<sup>3</sup>-BIOLOGIE

# Der Einsatz von Graphikrechnern und Taschencomputern im Biologieunterricht

Arbeitsblätter mit Unterrichtsbeispielen

Hans-Ulrich Lampe (Hrsg.)



T<sup>3</sup> DEUTSCHLAND

[www.t3deutschland.de](http://www.t3deutschland.de)



[education.ti.com/deutschland](http://education.ti.com/deutschland)

Weitere Materialien finden Sie unter:  
[www.ti-unterrichtsmaterialien.net](http://www.ti-unterrichtsmaterialien.net)