

**Materialien für TI-82 STATS, TI-83 Plus,  
TI-84 Plus, TI-84 Plus Silver Edition, TI-89 Titanium,  
Voyage™ 200, CBL 2™, CBR 2™, Vernier LabPro®**

**Wolfgang Beer**

# ***Praktische Einführung in das Arbeiten mit Mess- werterfassungssystemen***

- Wärmeaustausch
- allgemeine Gasgleichung
- magnetische Flussdichte
- Mechanik (Kinematik,  
Dynamik)

 **TEXAS  
INSTRUMENTS**  
*TI Technologie - Beyond Numbers*

# Praktische Einführung in das Arbeiten mit Messwerterfassungssystemen

Wolfgang Beer

© 2006 Texas Instruments

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 Texas Instruments hinzuweisen. Alle Warenzeichen sind Eigentum ihrer Inhaber. Jede Verwertung in anderen als den genannten oder den gesetzlich zugelassenen Fällen ist ohne schriftliche Genehmigung von Texas Instruments nicht zulässig.

Layout: Texas Instruments, Wolfgang Beer  
Druck: Pinsker Druck und Medien

# Vorbetrachtung

Der Einzug von Datenloggern in den Physikunterricht hat längst begonnen. Dank Mikroelektronik und vor allem der Einführung von Normen ist es in den letzten Jahren möglich geworden, Sensoren verschiedenster Aufgabenfelder an ein- und demselben Gerät zu verwenden. Mittlerweile gibt es viele Sensoren- und Loggerhersteller. Von der amerikanischen Firma Vernier werden etwa 60 Sensoren für die Bereiche Physik, Chemie, Humanwissenschaft für das LabPro bzw. CBL 2<sup>TM</sup> angeboten. Diese sind für Lehrer der Naturwissenschaften insofern interessant, da sie optimal auf die grafikfähigen Taschenrechner und Computer-Algebra-Systeme (CAS-Rechner) von Texas Instruments abgestimmt sind. Versuche vollständig mit dem „Taschenrechner“ auswerten – davon träumten die Lehrer vor 20 Jahren noch.

In dieser Handreichung möchte ich physikalische Experimente insbesondere aus dem Bereich der Thermodynamik unter Anwendung der Vernier-Sensorik aufarbeiten, mit dem Ziel, Versuche einfach und zügig durchzuführen, Messwerte mit hoher Genauigkeit zu erfassen und die Ergebnisse eindrucksvoll zu präsentieren. Es werden Hinweise zur Dimensionierung und zum Aufbau sowie zur Auswertung mit dem TI-Rechner gegeben. Die Datenerfassung wurde mit dem LabPro von Vernier, einem Voyage<sup>TM</sup> 200 und einem TI-89 Titanium durchgeführt.

Einen Ausblick auf die Verwendung anderer Sensoren (Kraft, Druck, Feuchtigkeit, Geschwindigkeit) und ein paar Versuche zum Magnetfeld rundet die Sache ab. Ferner erhalten Sie viele Hinweise zur Benutzung des TI-Rechners, insbesondere für die Auswertung von Versuchsreihen, damit der Daten-, Listen- und Graphikeditor manch aufwändige Schreibaarbeit an der Tafel ersetzt. Informationen zu technischen Details und Hilfen, typischen Schulversuche und einer Übersicht der Sensoren finden Sie in der Handreichung „Grundlegendes zum Experimentieren mit dem LabPro/CBL 2<sup>TM</sup>“.

Ganze Industriezweige haben das erkannt und stellen uns alle erforderlichen Geräte zur Verfügung, die von Jahr zu Jahr immer kleiner und präziser werden. So wird es im Laufe des Jahres 2006 von Vernier einen Mehrfachsensoren geben, mit dem Kraft, Beschleunigung und Druck zeitlich gemessen und gespeichert werden können.

Die Übertragung der Daten zum Computer geschieht dann dank Bluetooth drahtlos.

Und es wohl nur noch eine Frage der Zeit sein, bis auch Ihr TI-Rechner mit Sensoren dieser Art Informationen drahtlos austauscht.



Viel Spaß beim Lesen und Experimentieren wünscht

W. Beer

# Inhaltsverzeichnis

## A) Versuche zur Wärmelehre

1. Der Temperatursensor TMP-BTA: Messen ist gut – Wissen ist besser ..... Seite 03
2. Wärmeaustausch zwischen Wassermengen: Ein Klassiker in Variationen Seite 07
3. Wärmeaustausch: Handversuch ..... Seite 11
4. Sieden von Wasser ..... Seite 12
5. Schmelzen von Schnee ..... Seite 15
6. Schmelzen von Kerzenwachs ..... Seite 20
7. Abkühlung durch Verdampfen: Ist der Wind wirklich kalt?..... Seite 24
8. Wann soll die Milch in den Kaffee?..... Seite 28
9. Die Isochore Zustandsänderung: Gesetz des Amontons ..... Seite 31
10. Die Isotherme Zustandsänderung: Boyle-Mariottesches Gesetz ..... Seite 37
11. Übersicht zur Grundgleichung der Thermodynamik ..... Seite 42
12. Ausblick: Langzeitmessung Raumklima ..... Seite 43

## B) Versuche zur Mechanik

13. Die geradlinig gleichförmige Bewegung mit Spielzeug ..... Seite 48
14. Dehnung von Gummi..... Seite 54

## C) Versuche zu Magnetfeld und Induktion

15. Das Magnetfeld der Erde..... Seite 61
16. Magnetischer Gummi ..... Seite 68
17. Elektromagnetische Induktion ..... Seite 70
18. Magnetische Flussdichte, Abhängigkeit von Spulenlänge..... Seite 77
19. Magnetische Flussdichte, Abhängigkeit von Spulenstrom ..... Seite 80

## D) Anhang und Tipps

20. Exkurs: Wo sind die aufgenommenen Daten? ..... Seite 85
21. Mathematischer Exkurs: Vom Graph zur Funktionsgleichung..... Seite 87
22. TI-Programm zum Auslesen des Batteriestatus ..... Seite 90

# 1. Der Temperatursensor TMP-BTA

Messen ist gut – wissen ist besser

Bei einem Alkohol- oder Quecksilberthermometer wartet man einige Sekunden ab und beobachtet die Bewegung der Säule bevor man abliest. Ob die digitalen Geräte schneller sind?

Die Temperatursonde TMP-BTA hat eine eigene Wärmekapazität. Das muss man bei Versuchen unbedingt beachten.

**Aufgabe:** Es soll das Trägheitsverhalten der TMP-BTA untersucht werden.  
Ferner ist nachzuweisen, dass das Abkühlen des Sondenstabes exponentiellen Charakter hat!

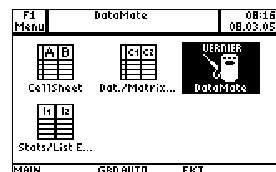
## Geräte:

- LabPro/CBL 2™
- TI-Rechner
- 1 – 2 Stainless-Steel Sonden
- TTP-BTA**
- ein Becher heißes Wasser



## Vorbereitung:

1. Stellen Sie sich heißes Wasser zur Verfügung.
2. Sind frische Batterien im LabPro/CBL 2™ oder ist das Netzteil angesteckt? Hat das Gerät nach der Stromversorgung den Selbsttest erfolgreich durchlaufen?
3. Stecken Sie den Stecker der Temperatursonde **TMP-BTA** in die Buchse **CH 1**.
4. Drücken Sie am LabPro/CBL 2™ die Taste QuickSetup.
5. Verbinden Sie das LabPro/CBL 2™ über das Link-Kabel mit dem TI-Rechner.
6. Starten Sie auf Ihrem TI-Rechner das Programm DataMate. Die Sonde wird erkannt und es wird die Raumtemperatur angezeigt.



## Durchführung der Versuche:

### Teil 1: Erwärmung

Stellen Sie jetzt den Time Graph Modus auf

- 1) Time Between Samples: 0,5
- 2) Number Of Samples: 180

Wir führen damit ein „Oversampling“ durch, das heißt, die Abtastrate übersteigt die eigentliche Sondencharakteristik. Das kann man ausnahmsweise mal so machen, weil im Versuch die Änderungsgeschwindigkeit der Temperatur recht klein ist.

- 1) Drücken Sie 1:SETUP

- 2) Wählen Sie  $\odot$  [ENTER] für MODE:TIME GRAPH-180

- 3) Drücken Sie

[2] - [2] - [0] - [5] - [ENTER] - [1] [8] [0] - [ENTER] - [1] - [1]

Jetzt haben Sie die oben genannten Einstellungen in DataMate definiert.

Hätten Sie gestern gedacht, dass Sie das heute können?

- 4) Die Sonde wird noch nicht eingetaucht! Starten Sie die Messung durch Drücken von [2] (Start).

- 5) Warten Sie etwa 5 Sekunden und stecken Sie die Sonde zügig in das heiße Wasser.

- 6) Beobachten Sie das Ansteigen der gemessenen Temperatur.

- 7) Staunen Sie, wie lange es dauert, bis ein solch großer Temperaturunterschied verlässlich gemessen werden kann.

Zur Registrierung des

Temperaturunterschiedes von  $\Delta T \approx 55K$  müssen etwa 15s Anpassungsdauer eingeplant werden.

F1→	F2→	F3→	F4→	F5→	F6→	F7→	F8→
Tools	Zoom	Trace	ReGraph	Math	Draw	Fen	...
CH 1:TEMP(C)						18.6	
MODE:TIME GRAPH-180.							
1:SETUP				4:ANALYZE			
2:START				5:TOOLS			
3:GRAPH				6:QUIT			
MAIN		GRD APPROX		FKT		HOLD	

F1→	F2→	F3→	F4→	F5→	F6→	F7→	F8→
Tools	Zoom	Trace	ReGraph	Math	Draw	Fen	...
CH 1:STAINLESS TEMP(C)							
CH 2:							
CH 3:							
CH 4:							
DIG1:							
DIG2:							
MODE:TIME GRAPH-180.							
1:OK				3:ZERO			
2:CALIBRATE				4:SAVE/LOAD			
MAIN		GRD APPROX		FKT		HOLD	

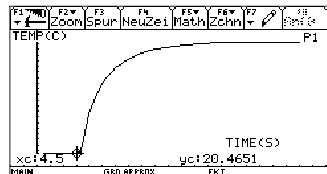


Abb: Eintauchen bei rund 4,5s

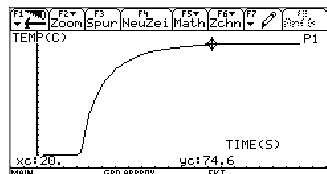


Abb: Temperaturanpassung erst nach 15s.

Wenn Sie jetzt der Meinung sind, dass dies viel sei, dann vergleichen Sie den Wert doch mal mit der Anpassungszeit eines Flüssigkeitsthermometers. Prüfen Sie es nach: Da gibt es wirklich keinen signifikanten Unterschied.

In den Specifications zur Sonde wird diese Zeit übrigens mit 11 bis 18s angegeben. Diese Werte beziehen sich sogar auf das Überstreichen des gesamten Messbereiches von  $-40^{\circ}C$  bis  $135^{\circ}C$ ! Mit den Verbrauchsangaben Ihres Autos im Prospekt und in Wirklichkeit verhält es sich übrigens genauso.

Die Genauigkeit der Sonde bei normalen Umgebungstemperaturen liegt nach den Angaben in den Specifications übrigens bei  $\pm 0,03K$  – wenn die Sonde richtig geeicht ist. Machen Sie sich den Spaß und vergleichen Sie die Anzeigewerte von zwei, drei oder vier angeschlossenen Thermo sonden. Dann erkennen Sie, dass  $\pm 0,3K$  der Realität näher kommt.

**Vorsicht! Betreiben Sie die Sonde nur im angegebenen Temperaturintervall! Überschreiten eines Grenzwertes um mehr als 10 – 20K führt zur endgültigen Zerstörung der Sonde. Messungen über Flammen sind also tabu!**

## Teil 2: Gezielte Abkühlung auf einen Referenzwert

Jetzt benötigen wir eine zweite **TMP-BTA** an **CH 2** des LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> und stecken diese in ein Glas mit kaltem Wasser. Die erste Sonde misst die Temperatur heißen Wassers, das haben wir ja noch auf dem Tisch stehen.

Wir warten nach unserer Erkenntnis aus Versuch 1 etwa 20s, bis feste Werte gemessen werden. In der Zwischenzeit stellen wir den Time-Graph neu ein:

- 1) Time Between Samples: 0,5s
- 2) Number Of Samples: 100

Nun starten Sie die Messreihe. Nach etwa 3s nehmen Sie die heiße Sonde aus dem Wasser und stecken sie in das Kaltwasser. Sie werden feststellen:

Erst nach 45 Sekunden hat sich die heiße TMP-BTA auf den Referenzwert (hier 17,7°C)

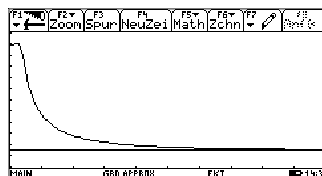
abgekühlt. Sie hätten erwartet, dass der Ausgleich schneller stattfindet? Ich auch.

Bitte zweifeln Sie jetzt nicht an der Güte dieses Produktes, denn in den seltensten Fällen geht es um so extreme Temperaturdifferenzen. Und wenn Sie trotzdem verlässlich solche messen wollen, dann müssen Sie eben den Stahlstab vorwärmen oder vorkühlen.

Ursache: Es wird nicht die eigentliche Mediumstemperatur gemessen wird, sondern die Temperatur des Stahlstiftes der Wärmekapazität C. Dazu muss der Stift aber erst die Temperatur des Mediums annehmen, ein Wärmeausgleich stattfindet.

*Das ist bei jedem klassischen Flüssigkeitsthermometer nicht anders!*

Die punktförmige **STS-BTA** ist zwar untauglich für Messungen in Flüssigkeiten, dafür aber nur so groß wie ein Stecknadelkopf. Ob sie deswegen auch schneller reagiert, wird sich in einem weiteren Versuch noch zeigen müssen.



CH1	CH2	CH3	CH4	CH5
0.	64.32	17.691	0.	0.
1.	65.083	17.691		
2.	65.25	17.714		
3.	66.	17.714		
4.	66.727	17.691		
5.	66.667	17.714		

Abb: Messwerte der ersten drei Sekunden

CH1	CH2	CH3	CH4	CH5
85.	47.	17.81	17.691	
96.	47.5	17.833	17.714	
97.	48.	17.833	17.691	
98.	48.5	17.81	17.691	
99.	49.	17.81	17.714	
100.	49.5	17.81	17.714	
101.	50.	17.786	17.691	

Abb.: Messwerte der letzten drei Sekunden

### Teil 3: Langsame Abkühlung auf Raumtemperatur

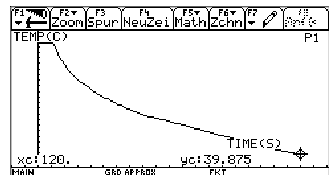
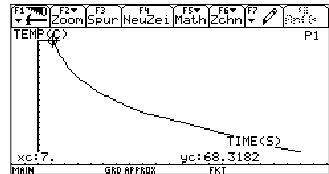
Zum Abschluss dieses Exkurses in die Sensorengüte soll noch gezeigt werden, wie langsam sich die **TMP-BTA** in Luft abkühlt:

Die Abbildungen zeigen:

Zum Zeitpunkt  $t=7s$  wird die Stahlstift-Sonde aus dem  $68,3^{\circ}C$  heißen Wasser gezogen und die Unterseite des Stiftes schnell über ein trockenes (!) Handtuch gezogen. Die restlichen Wasserpartikel verdampfen ganz schnell und die Sonde wird von der Raumluft  $\vartheta=20^{\circ}C$  gekühlt. Nach zwei Minuten ist der Stahlstift noch immer fast  $40^{\circ}C$  warm.

Eine gute Möglichkeit, den Begriff „Grenzwert“ zu umschreiben. In diesem Versuch dauert es fast 10 Minuten, bis die Sonde vollständig abgekühlt ist!

Der Graphenverlauf im rechten Bereich sieht zwar recht linear aus, ist er aber nicht, wie *Ihr* Nachmessen über 5 Minuten zeigen wird. Probieren Sie es aus!



### Teil 4: Tipps zur Weiterarbeit

Tipps zur Weiterarbeit (siehe auch „Mathematischer Exkurs“) oder für eine lustige Mathestunde:

- Nehmen Sie den Graphen und die Wertetabelle wie in Teil 2 beschrieben auf.
- Extrahieren Sie aus den Daten den schmalen Bereich, der nach einer Zerfallskurve aussieht.
- Prüfen Sie, ob sich die Abkühlung durch eine Funktion vom Typ  $f(x) = y_0 \cdot e^{-k \cdot x} + c$  beschreiben lässt.

Man kann es auch so formulieren:  $T(t) = T_1 + (T_0 - T_1) \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

Berechnen Sie  $k=\lambda$  und interpretieren Sie den Wert.

- Vergleichen Sie Ihr(e) Rechenergebnis(se) mit einer vom TI-Rechner durchgeführten Regression.
- Zeichnen Sie in das T-t-Diagramm die mathematische Berechnung mit ein.
- Lässt sich mit dem Versuch (oder ähnlicher Durchführung) der Begriff „Halbwertszeit“ beschreiben?

Vorbereitungsdauer: 3 Minuten

Versuchsdauer: etwa 10 Minuten



# 2. Wärmeaustausch zwischen Wassermengen

## Ein Klassiker in Variationen

Klassenstufe	6 bzw. 7; Thema „Wärmeübergang“; Klasse 11 „Thermische Energie“
Versuchsart:	halbquantitativ
Ziel	Kenntnis des graphischen Verlaufes der Temperatur bei Wärmeaufnahme bzw. Wärmeabgabe bei einem Mischungsvorgang

**Aufgabe:** Es soll der zeitliche Verlauf der Temperatur für einen Abkühlungs- und einen Erwärmungsprozess von Wasser analysiert werden!

Der Versuch eignet sich zum Kennen lernen der Geräte und deren Handhabung besonders gut.  
Nehmen Sie sich etwas Zeit und führen Sie ihn als Einstiegsversuch am heimischen Herd durch.  
Die Analyse mit dem TI-Rechner (Variante B) ist besonders schnell und einfach aufgebaut.



### Geräte:

Variante A	Variante B
für Beamer – User, Nutzung eines PC	schnell und sicher mit dem TI-Rechner
<ul style="list-style-type: none"> <li>- LabPro/CBL 2™, LoggerPro auf PC</li> <li>- zwei Stainless-Steel Sonden (TMP-BTA)</li> <li>- Messzylinder oder kleines Kalorimeter</li> <li>- Reagenzglas</li> <li>- optional: Beamer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- LabPro/CBL 2™, DataMate auf TI-Rechner</li> <li>- zwei Stainless-Steel Sonden (TMP-BTA)</li> <li>- Becherglas 300ml</li> <li>- Erlenmeyerkolben 100 - 150ml</li> <li>- optional: Overhead-Panel (View Screen™)</li> </ul>

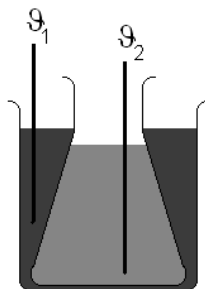
### Vorbereitung:

Variante A	Variante B
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sampling-Rate: <b>2 seconds/sample</b></li> <li>- Bei kleinen Wassermengen beträgt die Experimentierdauer etwa <b>3min.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Der Erlenmeyerkolben sollte nicht viel kleiner als das Becherglas sein (siehe Abb. unten)</li> </ul>


### **Vorher unbedingt Ausprobieren!**

- Reagenzglas in Messzylinder geben, evt. mit einem Füllkörper am Boden, damit das Reagenzglas nicht vollständig eintaucht; es sollte oben heraus schauen.
- Zum Test Reagenzglas zu etwa zwei Drittel füllen, Messzylinder bis zur Füllmarke des Reagenzglases mit kaltem Wasser füllen. Die Pegelstände in beiden Gefäßen sollten gleich sein. Merken Sie sich den Füllstand im Reagenzglas, entleeren Sie dieses wieder.
- Entnehmen Sie das Reagenzglas wieder und stecken Sie die erste Sonde (CH2) in das kalte Wasser.
- Heißes Wasser bereiten, Reagenzglas wie im Test mit heißem Wasser füllen. Zweite Sonde (CH1) in das heiße Wasser geben.
- Experiment kann starten, wenn die Sonden die Wassertemperaturen angenommen haben...

- Heißwasser bereiten
- Stromversorgung des LabPro/CBL 2™ sicherstellen.
- 100ml Kaltwasser in Becherglas geben.
- Sonden mit dem LabPro/CBL 2™ verbinden, Zuordnung kontrollieren.
- LabPro/CBL 2™ mit dem TI-Rechner verlinken.
- DataMate starten
- Modus: TimeGraph.
- Time between Samples: **5s**
- Number of Samples: **60**



### **Durchführung Variante A:**

Reagenzglas in das Wasser im Messzylinder stellen, .

Es empfiehlt sich, die Wassermengen in leichter Bewegung zu halten, damit es nicht zur unerwünschten Kreuzung der Graphen kommt. (Messcharakteristik der Sonden beachten.)

Zum vorzeitigen Beenden  drücken.



### **Hinweise:**

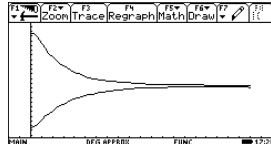
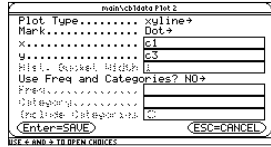
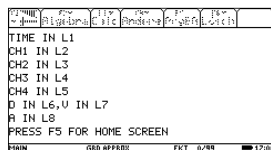
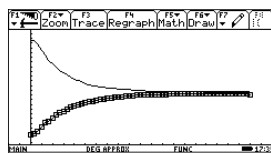
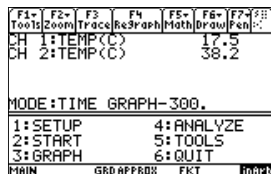
Die Dimensionierung der Wassermengen können Sie natürlich wie in Variante B vornehmen.

### **Auswertung:**

Darstellung des Diagramms; Zeichnen des Diagramms durch geeignete Messwertetripel; Interpretation des Diagramms.

## Durchführung Variante B:

1. Sind alle Geräte bereit? Werden im Display des TI-Rechners die Messwerte beider Sonden angezeigt?
2. Heißwasser vorsichtig in Erlenmeyerkolben gießen. Vorsicht! Verbrühungsgefahr.
3. Sonde 1 für Kaltwasser im Becher, Sonde 2 für Heißwasser im Erlenmeyerkolben.
4. Etwa 10 Sekunden warten, bis die Stahlstifte der Sonden die Temperatur angenommen haben.
5. Erlenmeyerkolben vorsichtig in das Becherglas stellen, der Kaltwasserstand steigt.
6. Experiment starten mit [2]
7. Leichtes, aber konstantes Auf- und Abbewegen des Erlenmeyerkolbens bei gleichzeitigem Halten der beiden Sonden, welche die Glaswände nicht berühren sollten, führt zu hervorragender Anschauung schon während der Messwerteaufnahme.
8. Experiment endet automatisch, es werden schon während der Messung zwei Graphen (Punktlinien) gezeigt. Am Ende wird der Graph automatisch auf die Bildschirmgröße zoomt. →
9. Der Graph von CH2 wird nach Abschluss der Messung als Box-Plot dargestellt. Das ist unschön.
10. Beenden Sie das Programm DataMate mit **ESC** Graph verlassen und [6] (Quit).
11. Ihre Messwerte stehen in Listen.
12. Starten Sie über die Schaltfläche [APPS] den **Data/Matrix**-Editor.
13. Wählen Sie **1:Current**, weil in der aktuellen Datei Ihre Werte abgespeichert sind.
14. Sie können hier all Ihre Messwerte einsehen.
15. Wechseln Sie in den **y-Editor**.
16. Wählen Sie **Plot2** aus. Drücken Sie [F3].  
 Plot Type: xylene  
 Mark: Dot  
 [ENTER]
17. Jetzt lassen Sie sich mit **GRAPH** die Kurven neu zeichnen und die lästigen Boxes sind weg.



Der 17stufige Versuch dauert insgesamt nicht länger als 10min. Während des Versuchsablaufes können die Schüler je nach Schulart/Wissensstand und Ziel des Versuches mit den bekannten Startwerten auch schon die erwartete Mischtemperatur ausrechnen.

Wählen Sie die Messdauer nicht zu groß oder brechen Sie den Versuch in Eigenverantwortung vorzeitig mit **STO** (Speichertaste) ab, denn in dieser Handversuch–Version wird ständig Wärme an die Umwelt abgegeben und beide Graphen werden „nach hinten hin absinken“, wenn der Temperatenausgleich mit der Umgebung „die Oberhand gewinnt“. In der Abbildung zu Punkt 17 können Sie diesen Effekt am letzten Messwert schon sehen.

Die hier verwendeten kleinen Wassermengen lassen ein vollständiges Eintauchen der Sondenstifte nicht zu. Für die Messgenauigkeit ist diese Tatsache wenig von Bedeutung. Die gemessene Mischtemperatur weicht von der erwarteten theoretischen Temperatur um etwa -5K ab. Es ergeben sich daraus viele Möglichkeiten zur Auswertung mit den Schülern.

### ***Sonstige Hinweise:***

Statt mit zwei Stainless-Steel-Sonden (**TMP-BTA**) kann auch eine und eine mit einem Luftballon abgedichtete Direkt-Sonde (**STS-BTA**) verwendet werden. Die STS-BTA darf jedoch *keinesfalls* direkten Kontakt zu einer Flüssigkeit bekommen! Die Wassermengen sollten

- möglichst gleich groß gewählt werden und
- beim Versuch nur leicht und vorsichtig durchmischt werden, ohne dass die Sonden die Gefäßwände berühren.

Hohe Messgenauigkeit wird erzielt, wenn als Außengefäß ein Kalorimeter und insgesamt Deckel(chen) verwendet werden.

Das Warmwasser gibt Energie an den Körper niedrigerer Temperatur ab. Darum sollte das Warmwasser nicht in das Außengefäß gegeben werden, weil während der Versuchsdauer zu viel Energie über die Gefäßwand aus dem System in die Umwelt abgeführt werden würde.

# 3. Wärmeaustausch

## Handversuch

Hier wurden rund 180ml heißes Wasser in einem Becherglas und etwa 250ml kaltes Wasser in einem Messbecher verwendet.

Die Messungen erfolgten mit **zwei TMP-BTA**

**Geräte:** 0,4l – Messbecher; Trinkglas;  
beide etwa gleich hoch und etwas  
verschiedene Durchmesser

**Messdauer:** 10min

**Messintervall:** 1,0s

**Arbeitsabfolge:**

- Wasser einfüllen
- Sonden hinzugeben
- 5 Sekunden warten, bis der Stahlstift „seine“ Temperatur annimmt
- Gläser ineinander stecken, vorsichtig abdecken  
Die Kaltsonde sollte das Warmwassergefäß möglichst nicht berühren.
- Nicht umrühren! Und wenn, dann nur mit einem automatischen Magnetrührer.
- Anordnung für die nächsten 10min **nicht anfassen**.



Natürlich kann man beide Kurven auch in einem Diagramm darstellen und den gemeinsamen Grenzwert für die Temperatur anschaulich ermitteln.

Vorbereitungsdauer: etwa 10min	Versuchsdauer: etwa 5 bis 10min
--------------------------------	---------------------------------

# 4. Sieden von Wasser

Klassenstufen:	7, 8
Versuchsart:	halbquantitativ, Demonstrationsversuch; je nach Voraussetzungen auch als Schülerversuch geeignet
Ziele:	Demonstration des Temperaturverhaltens bei Aggregatzustandsänderung; Begriff „Siedepunkt“

**Aufgabe:** Untersuchen Sie das Temperaturverhalten von Wasser bei gleichmäßiger Wärmezufuhr!

## Geräte:

- LabPro/CBL 2™ mit Netzteil
- TI-Rechner (z.B. Voyage™ 200)
- Stainless Steel Temperature Probe (TMP-BTA)
- Becherglas mind. 200ml  
Das Gefäß ist so zu dimensionieren, dass die TMP-BTA etwa mit 2/3 der Stahlstiftlänge eintaucht und ein Tauchsieder eingebracht werden kann.
- Reisetachsieder 300W oder Heizplatte bis max. 500W
- Stativstab, -fuß; Kreuzmuffe, Reagenzglashalter



## Vorbereitung:

1. **TMP-BTA** an **CH1** des LabPro/CBL 2™ anstecken.
2. Becherglas mit rund 200ml kaltem Wasser füllen und den noch stromlosen Tauchsieder hineingeben.
3. Stativstab vertikal befestigen und mit der Kreuzmuffe den Reagenzglashalter anbringen. Der Reagenzglashalter wird die Temperatursonde tragen. (Abb.) Diese wird etwas schräg und möglichst weit in das Wasser im Becherglas gesteckt und darf die Wendel des Tauchsieders und auch den Glasrand **nicht** berühren.

Mit dieser Befestigungsweise sollen die Messbedingungen konstant gehalten werden. Durchmischen des Wassers nicht nötig, das geschieht im Zuge der Erwärmung von selbst hinreichend stark.



4. LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> mit dem TI-Rechner verbinden
5. Starten von DataMate aus dem [APPS] - Menü.
6. Einstellen der Messparameter:

*Sampling-Rate für Live-Graph einstellen:*

[1] (setup) – „Mode“ auswählen – [2] (Time Graph) – [2] (Change Settings)

Time between samples: ..... **15** (sec.)

Number of samples: ..... **24**

Bestätigen Sie jetzt mit [1] (ok) – [1] (ok).

Das ergibt die Versuchsdauer: 15s · 24 = 6 min

### **Vorbetrachtung:**

Welche Einstellungen muss für Live-Graph vorgesehen werden?

Es wird eine Überschlagsrechnung vorgenommen. Beispiel:

$$t = \frac{Q}{P} = \frac{m \cdot c_w \cdot \Delta T}{P} = \frac{0,2\text{kg} \cdot 4,19\text{kJ} \cdot \text{s} \cdot 80\text{K}}{0,3\text{kJ} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}} \approx 223\text{s} \approx 4\text{min}$$

Man beachte den niedrigen Wirkungsgrad einer solchen Anlage.

→ Stark aufrunden und den Versuch vorzeitig beenden ist günstiger als wenn der Versuch kurz vor Erreichen des Siedepunktes automatisch stoppt!

So wird statt der berechneten 3,7min eine Versuchsdauer von **6min** eingestellt.

### **Durchführung:**

Nachdem Sie alle Geräte positioniert und den Rechner vorbereitet haben, stecken Sie den Stecker des Tauchsieders in die Steckdose. Starten Sie die Messreihe durch Drücken der Taste [2] (start).

Zur Vermeidung von Überhitzung des ViewScreen sollten Sie den Overhead-Projektor zwischenzeitlich abschalten, man kann zunächst sowieso nichts sehen.

In einer Tabelle kann während des Versuchslaufes erfasst werden, wie sich das Wasser bei welcher Temperatur verhält: Bläschenbildung, Rauschen usw.

Ferner kann man die effektive Volumenzunahme sehr gut beobachten.



Abb.: etwa 80°C

### **Auswertung und Probleme:**

Bei diesem Versuch kann man eigentlich kaum Fehler machen. Wichtig ist, dass die Apparatur während des Versuchslaufes unberührt bleibt und der Messfühler nur mit dem Wasser Kontakt hat. Man kann dann eine deutliche lineare Erwärmung feststellen, die bei Erreichen des Siedepunktes mit einem Knick zur Horizontalen endet.

→ Während der Aggregatzustandsänderung bleibt die Temperatur des Stoffes trotz Wärmezufuhr konstant.

	Plot	EinSt	Cell	Obschr	Calc	Div	Stat
Drtn							
	G1	G2	G3	G4	G5		
1	0.	30.	0.	0.	0.		
2	15.	31.308					
3	30.	37.195					
4	45.	40.641					
5	60.	46.835					
6	75.	52.121					
7	90.	57.51					

Abb.: Messwerte im  
Data/Matrix-Editor

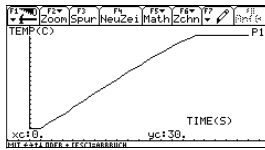


Abb.: Live-Graph in DataMate

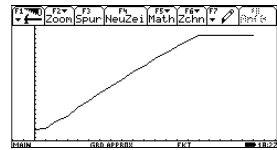


Abb.: Diagramm vom  
Dateneditor

### Varianten:

- Anhand der gegebenen Startwerte ( $m$ ,  $\vartheta_0$ ,  $P$ ) und der Dauer bis zum Erreichen des Siedepunktes kann man noch den Wirkungsgrad seines Versuchsaufbaus bestimmen.
- Wird ein Kalorimeter mit bekannter Wärmekapazität verwendet, kann man auf die thermische Leistung der verwendeten Wärmequelle (Tauchsieder) schlussfolgern.
- Verwenden Sie tief gefrorenes Eis und erhitzen Sie es im warmen Wasserbad. (s. Schmelzen von Wachs; Schmelzen von Schnee; Schmelzen von Eis)

Vorbereitungsdauer: etwa 2min (!)

Versuchsdauer: etwa 6min



# 5. Schmelzen von Schnee

Klassenstufen:	7, 8
Versuchsart:	quantitativ, Demonstrationsversuch
Ziele:	Demonstration des Temperaturverhaltens bei Aggregatzustandsänderung

**Aufgabe:** Schnee soll durch gleichmäßige Wärmezufuhr geschmolzen werden. Es ist die Temperatur–Zeit–Kurve für diesen Vorgang aufzunehmen und zu interpretieren.

## Geräte:

- LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> mit Netzteil
  - TI-Rechner
  - Stainless Steel Temperature Probe (TMP-BTA)
  - schlankes Gefäß, etwa 100ml (z.B. Messzylinder)
- Das Gefäß ist so zu dimensionieren, dass die TMP-BTA nach vollständigem Schmelzen möglichst mit 2/3 der Stahlstiftlänge im Schmelzwasser eintaucht.
- Schnee



## Vorbereitung:

1. Stromversorgung aller elektrischen Geräte gesichert?
2. Die TMP-BTA wird an CH1 des LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> angesteckt.
3. Verbinden des LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> mit dem verwendeten TI-Rechner.
4. Starten von DataMate und Einstellen der Aufnahmeparameter:

*Sampling-Rate für Live-Graph einstellen:*

- [1] (setup)
- „Mode“ auswählen
- [2] (Time Graph)
- [2] (Change Settings)
- Time between samples: **15** (sec.)
- Number of samples: **480**

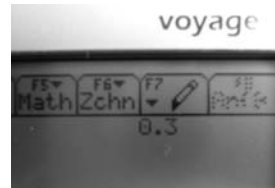
→ Dieser Versuch erfordert viel Geduld. 100ml Schnee bei 20°C Raumtemperatur vollständig zu schmelzen dauert gute 2 Stunden. Vorzeitiges Beenden des Versuchs mit [STO▶].

- Bestätigen mit [1].
- Und zurück zum Hauptmenü mit [1]. Fertig.



### Durchführung:

Füllen Sie den Messzylinder mit frischem Schnee (z.B. vom Fensterbrett) und stopfen Sie ihn leicht fest. Nun stecken Sie die **TMP-BTA** mittig in das Eis und beobachten auf dem Rechnerdisplay den aktuellen Temperaturmesswert. (Abb.) Er wird sich nach kurzer Abkühlungszeit bei  $0^{\circ}\text{C}$  oder sogar darunter einstellen. Günstig ist es, die **Sonde** in einem separaten Schneeball **vorzukühlen!**



Erst jetzt...

beginnen Sie die Messung mit [2] (start).

Zur Vermeidung von Überhitzung des ViewScreen™ sollten Sie den Overhead-Projektor zwischenzeitlich abschalten, man kann zunächst sowieso nichts sehen.

### Auswertung und ernste Fehlerquellen:

- Darstellung und Interpretation des Diagramms
- Nachweis, dass die Temperatur beim Wechsel des Aggregatzustandes trotz permanenter Wärmezufuhr konstant bleibt.
- Wenn Eis von  $\vartheta < 0^{\circ}\text{C}$  verwendet wurde, kann man deutlich drei Teilvorgänge unterscheiden:
  - I. Erwärmung des Eises auf  $0^{\circ}\text{C}$
  - II. konstante Temperatur bei der Umwandlung
  - III. Erwärmung des Wassers.



Im Test wurden 120ml Schnee vom Fensterbrett in einen Messzylinder gestopft und dann die Apparatur mit den oben genannten Einstellungen einfach einschaltet und sich weitgehend selbst überlassen.

Die Temperatur bleibt geringfügig über  $0^{\circ}\text{C}$  konstant, bis der Schnee bis auf einen ganz kleinen Rest vollständig geschmolzen ist.

**Vermeiden Sie es**, die Versuchsbedingungen zu ändern. Die Art bzw. die effektive Leistung der Wärmequelle muss unbedingt konstant bleiben.

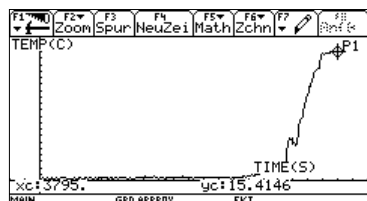


Abb.1



Das in der Abb. 1 deutlich erkennbare lokale Maximum kam zustande, weil der Versuch durch Anfassen beschleunigt werden sollte. Das Schmelzwasser wird punktuell warm, der Sensor verschiebt sich um wenige mm und schon ist die Temperatur wieder unten.

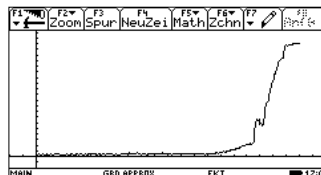
Das kann Ihnen früher oder später sicher auch mal passieren und zeugt von der Wichtigkeit konstanter Versuchsbedingungen.




Bleibt die Frage nach dem Sinn und der Durchführung einer Änderung in den Messdaten.

Hierzu ein paar Antworten aus meiner persönlichen Sicht:

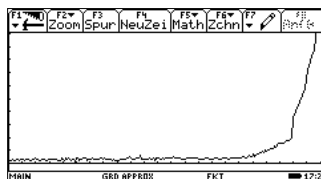
- A) Messdaten zu verändern macht generell keinen Sinn. Man sollte lieber die Ursachen erforschen, die zur Motivation der Datenmanipulation geführt haben.
- B) Sich ärgern ist klüger als mogeln.  
(Zitat aus einem nicht existierenden Handbuch.)
- C) Wir machen „Versuche“ bzw. „Experimente“. Diese sind nun mal dazu da, dass auch gehörig was schief gehen kann. Der wahre Forschergeist fängt gerade dann an, wenn sich die guten Ideen oder Theorien in Rauch auflösen.  
So konnte ich im Experiment feststellen, dass eine TMP-BTA im Rauch einer Flamme nach etwa 10 Sekunden zerstört ist und das LabPro danach umweltunabhängig konstante 160°C registriert. Das sind wahre Lerneffekte!
- D) Ich will trotzdem eine Möglichkeit zeigen, wie man die Kurve „glätten“ kann.

Dazu muss man in der Graphikdarstellung mit dem Cursor und  bzw.  die Intervallgrenzen des zu ändernden Abschnittes ansteuern. Am unteren Bildrand kann man dann bei „xc“ den jeweils zugehörigen Zeitpunkt ermitteln, den man sich



aufschreibt oder merkt. Jetzt wird DataMate bzw. der Graphik-Editor geschlossen und der Data/Matrix-Editor geöffnet. Dort sucht man in der Spalte c1 nach den notierten Intervallgrenzen und löscht mit  in der benachbarten Spalte c2, in der die Temperaturen stehen, alle Werte, die im betreffenden Intervall liegen. Nicht die in c1 stehenden Zeiten rauslöschen! Zum Schluss fährt man mit  an das untere Tabellenende und entfernt mit  so viele Zeiteinträge, dass c1 und c2 die gleiche Dimension haben. Wenn Ihnen bei dieser Prozedur ein Fehler unterläuft, können Sie die Messwerttabelle in den Müll verschieben und von vorn beginnen, denn die Windows® – Option „Rückgängig“ gibt es hier nicht.

Zum Abschluss lässt man sich mit [GRAPH] den Graphen neu zeichnen. Erst jetzt kann man die eigene Manipulationsqualität einschätzen und zu dem Schluss kommen: „Da hätte ich den Versuch auch noch mal machen können.“



**Tun Sie das also bitte Ihren Schülern nicht an!**

### ***Tipp:***

*Sollte Ihr Schnee auch bei Temperaturen über 0°C schmelzen, dann starten Sie den TI-Rechner neu und lassen auch den angeschlossenen Sensor neu erkennen! Dann ergeben sich echte 0,0°C.*

### **Sonstige Hinweise:**

- zu wenig Schnee (<20ml) bewirkt stark schwankende Messwerte (Reagenzglas ist ungeeignet) bei kurzer Versuchsdauer
- zu viel Schnee (>100ml) bewirkt „saubere“ Messwerte bei sehr langer Versuchsdauer
- starke Wärmezufuhr (z.B. Heizplatte) bewirkt Schmelztemperatur von angeblich 2-4°C,
- keine zusätzliche Wärmezufuhr (nur Raumluft) bewirkt gute Ergebnisse bei langer Versuchsdauer.
- Schnee überhaupt hat eine viel geringere Dichte als Wasser und es wird wenig Wasser von viel Schnee übrig bleiben. Zu gern steckt dann nur noch die Sondenspitze in der Schmelze und der Rest des Stabes hat Zimmerwärme. Das sollte vermieden werden.
- **Richtwert:** 100ml gestopfter Schnee von rund -1°C benötigt ohne zusätzliche Wärmezufuhr bei 18°C Raumtemperatur etwa 2 Stunden bis zum vollständigen Schmelzen. Anschließend erfolgt eine deutlich schnelle Erwärmung.
- Vorzeitiger Versuchsabbruch kann am TI-Rechner zu einer **Fehlermeldung** („SPEICHER“) führen. Lassen Sie sich nicht schocken! Starten Sie das Programm DataMate neu (ohne den Rechner auszuschalten!) und folgen Sie den Bildschirmanweisungen oder starten Sie den Data/Matrix-Editor und verwenden Sie hier die Tabelle Ihrer Messwerte zur graphischen Darstellung wie folgt:
  - a) **[F2]**(Plot-Einstellung) – **[F1]** (Defn);  
Plot-Typ: xy-Linie; Zeichen: Punkt; x: c1; y: c2;  
**[ENTER]**
  - b) Starten Sie „Diagramm“ bzw. „Graph“. Eine Kurve wird mehr oder weniger gut angezeigt.
  - c) Mit **[F2]** – **A** oder auch mit **[F2]** – **9** optimiert sich die Bildschirmanzeige automatisch für Ihre Messergebnisse.

### **Der Praxistest**

Die Schüler wissen zu Unterrichtsbeginn bereits, welcher Versuch durchgeführt werden soll, denn diese haben im Hausversuch (!) bereits die Schmelzkurve nach klassischer Art aufgenommen und protokolliert. Jetzt werden sie an die alternative Messtechnik herangeführt. Ein Schüler besorgt kurz vor Versuchsstart mit einem zur Verfügung gestellten Messbecher frischen Schnee vom Schulhof. Das Tafelbild wird vorbereitet, aus dem die Versuchsskizze, Messgeräte und der Versuchsablauf hervorgehen. Es fehlt nur noch der Graph. Der wird im Lauf der Stunde automatisch

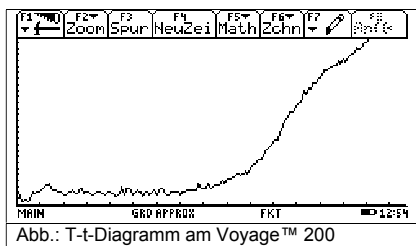


erstellt, während an anderen Themen gearbeitet werden kann, z.B. dem Lösen von Sachaufgaben oder der Planung neuer Versuche.

Die Abb. zeigt nachgestellt den Versuch vom Lehrertisch. Es wurde ein kegelförmiges Gefäß gewählt, damit bei zunehmender Schmelzwassermenge die Tauchtiefe der Sonde noch groß genug ist. Auf die Verwendung eines Deckels wurde im Interesse der Wärmezufuhr bewusst verzichtet, das Glasgefäß sollte nicht mit der Hand umschlossen werden, weil sich dann die Bedingungen ändern. Die Sonde ist unbedingt mittig zu positionieren, möglichst tief zu stecken und eventuell mit Stativmaterial und Reagenzglashalter zu fixieren.

Bei Einer Schneemenge von 200ml (leicht gestopft) reicht bei 23°C Raumtemperatur eine Unterrichtsstunde gerade so aus, damit noch der Graph von den Schülern übernommen werden kann.

Für die Darstellungen unten (Abb.14) wurden 300ml Schnee verwendet und etwa 75min lang im 30sec-Takt gemessen.



Vorbereitungsdauer: etwa 2min (!)

Versuchsdauer: etwa 30 - 300min

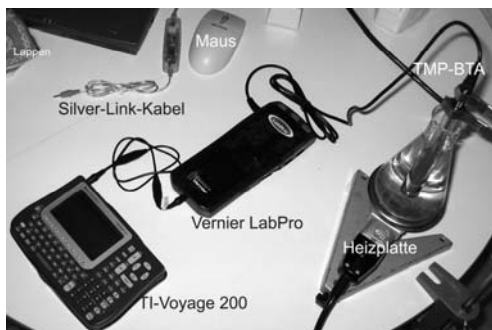
# 6. Schmelzen von Kerzenwachs

Klassenstufen:	7; 8; 11
Versuchsart:	halbquantitativ, Demonstrationsversuch; je nach Voraussetzungen auch als Schülerversuch geeignet
Ziele:	Demonstration des Temperaturverhaltens während der Aggregatzustandsänderung bei gleichmäßiger Wärmezufuhr

**Aufgabe:** Nehmen Sie die Temperatur-Zeit-Kurve für den Schmelzvorgang von Kerzenwachs auf! Interpretieren Sie das Diagramm!

## Geräte:

- LabPro/CBL 2™
- TI-Rechner
- Stainless Steel Temperature Probe (TMP-BTA)
- Reagenzglas mit Wachs
- Erlenmeyerkolben mind. 200ml
- Heizplatte max. 500W
- Stativstab, -fuß; Kreuzmuffe, zwei Reagenzglashalter
- Anschlusskabel
- Küchenpapier



## Vorbereitung:

Einmaliger Aufwand etwa 15min. Sie benötigen ein sauberes Reagenzglas, eine Haushaltskerze und ein Messer. Zerkleinern Sie das Wachs der Kerze mit dem Messer und füllen Sie die Wachsstücke in das Reagenzglas. Dieses müssen Sie jetzt im Wasserbad erhitzen, damit das Wachs sich verflüssigt. Stellen Sie dazu ein mit Wasser gefülltes Gefäß auf eine Heizplatte und tauchen Sie das Reagenzglas hinein. Ich empfehle, dieses dabei an einem Stativ mit Reagenzglashalter zu befestigen. (siehe Abb.1)

Die flüssige Wachsmenge wird so dimensioniert, dass das Reagenzglas damit zu 2/3 mit gefüllt ist.

Sie können jetzt das Wachs abkühlen lassen.

*Säubern Sie die obere Innenwand des Reagenzglases mit Zellstoff!*



Abb1.: „Wachsometer“

**Var. A:** Wachs kühlt ab. Infolge dessen bildet sich mittig ein etwa 6cm tiefes Loch von der Dicke der Celsius-Sonde; genau richtig! Die Sonde wird erst zum eigentlichen Versuchsbeginn eingebracht.

Bevor das Wachs richtig fest geworden ist, fügen Sie die **TMP-BTA** ein. Stecken Sie die Sonde vorsichtig, absolut mittig und senkrecht in das Wachs. Die vordere Stabspitze darf den Reagenzglasboden nicht berühren (etwa 1cm Abstand). Fixieren Sie die Anordnung mit Stativmaterial und zwei Reagenzglasaltern. (Für Glas und Sonde.)

Die TMP – BTA darf den Rand des Glasgefäßes **nicht** berühren.

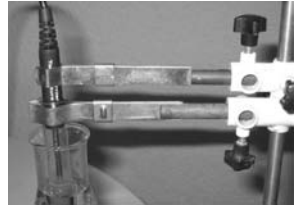


Abb.: Befestigung ist wichtig.

### **Sampling-Rate für Live-Graph einstellen:**

[1] (setup) – „Mode“ auswählen – [2] (Time Graph) – [2] (Change Settings)

Time between samples: ... **15** (sec.)

Number of samples: ..... **36**

Bestätigen Sie jetzt mit [1] (ok) – [1] (ok).

Versuchdauer:  $15s \cdot 36 = 9\text{min}$  ; Das reicht aus!

### **Vorbetrachtung:**

- Ist Wachs eher ein guter oder ein schlechter Wärmeleiter? Wie kann man das einfach belegen?
- In welcher Größenordnung wird die Schmelztemperatur erwartet?
- Man führe den Versuch mit einem klassischen Flüssigkeitsthermometer durch, welches man in einer kleinen Menge flüssigen Wachses einhärten lässt.

### **Durchführung:**

- Sind Sonde und Reagenzglas fixiert?  
Bei sorgfältigem Arbeiten werden nirgendwo Wachsflecken zurückbleiben!
  - Wenn die Sonde noch nicht steckt, muss das Wachs erst leicht vorgewärmt werden, um den Stift einzuführen. Erhitzen Sie aber nicht die Sonde!!!!  
Zur Kühlung des Wachses stellen wir einfach das Reagenzglas in kaltes Wasser.
1. Leeren Erlenmeyerkolben auf die abgeschaltete Heizplatte stellen.
  2. Reagenzglas mit dem festen Wachs und der Sonde in den zunächst leeren Erlenmeyerkolben stellen.
  3. Nur so viel Wasser in den Erlenmeyerkolben füllen, dass dessen Füllstand und die Oberkante des Wachses im Reagenzglas gleich sind.
  4. Reagenzglas mit Sonde und deren Halterung aus dem Wasser nehmen (!).



Abb.: Es geht los...

5. Heizplatte einschalten und das Wasser auf *etwa* 80°C vorheizen. In der Zwischenzeit werden die TMP-BTA mit dem LabPro/CBL 2™ und das LabPro/CBL 2™ mit dem TI-Rechner verbunden.
6. DataMate am TI-Rechner starten.
7. Wenn das Wasser heiß genug erscheint, taucht man das präparierte Reagenzglas in den auf der Heizplatte verbleibenden Erlenmeyerkolben und drückt sogleich **[2]** zum Starten des Versuchs.
8. Jetzt kann man beobachten, wie
  - a) die Wachstemperatur langsam ansteigt und
  - b) der Schmelzvorgang von außen nach innen rasch einsetzt.
9. Der Versuch endet automatisch nach der voreingestellten Zeit. Dennoch kann man durch Drücken von **[STO]** jederzeit abbrechen oder beenden, falls sich Probleme ergeben. Das nachfolgende Abkühlen des Wachses sollte in kaltem Wasser erfolgen und geschieht in der Regel sehr schnell. (Wachstemperatur am Rechner kontrollieren!)
10. Experiment beliebig oft wiederholen.

### Auswertung und Probleme:

Auf dem TI-Rechner werden Sie bei Verwendung der oben beschriebenen Apparatur folgende Graphen erhalten:

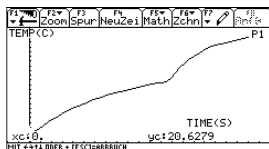


Abb.1:  
Time between samples: 10s

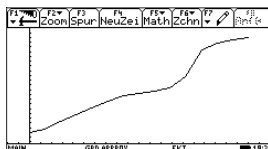


Abb.2:  
Time between samples: 30s



Abb.: Gleich geschafft...

Man wird in jedem Fall einen eindeutigen „Knick“ mit deutlicher Vergrößerung des Kurvenanstieges erkennen können. Genau zu diesem Zeitpunkt wird das letzte Klümpchen Wachs geschmolzen sein. Lassen Sie das beobachten! Erst ab jetzt folgt ein deutlich schnelleres Ansteigen der Temperatur des flüssigen Wachses. Das nachfolgende Abflachen entsteht bei Erreichen der Maximaltemperatur des Wassers auf der Heizquelle.

Das Reagenzglas hat ein großes Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen. Daher läuft der Versuch relativ schnell ab und das im Diagramm erwartete Plateau bleibt aus. Während sich das feste Wachs im Zentrum noch erwärmt wird an der Außenseite die Flüssigkeit schon schmelzen.

ABER: Das geschmolzene Wachs erhitzt sich noch nicht auf die Temperatur des



Wassers. Es wird Wärme nach innen geleitet und zur Aggregatzustandsänderung benötigt. Die Temperatur steigt im ersten Intervall deshalb nicht linear an, der Quotient  $\frac{d\theta}{dt}$  verkleinert sich bis das Wachs vollständig geschmolzen ist. Erst danach (zuletzt wird ein kleiner Krümel an der Spitze der Celsius-Sonde hängen) steigt die Temperatur stärker und nähert sich schließlich dem Maximalwert 100°C (hier: 90°C; das äußere Wasser siedet leicht).

Die beiden Abbildungen (Abb.1 und Abb.2) zeigen deutlich die Auswirkung der eingestellten Sampling-Rate.

*Wenn Sie mehr Zeit für den Versuch zur Verfügung haben, dann verwenden Sie eine größere Wachsmenge in einem breiteren Gefäß mit möglichst kleinem Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen, z.B. einen Rundkolben mit schlanker Öffnung, der im Becherglas erhitzt wird. Sie werden ein etwas deutlicheres Umwandlungsplateau mit  $\frac{d\theta}{dt} \rightarrow 0$  erhalten.*

Vorbereitungsdauer: etwa 20min	Versuchsdauer: etwa 10min
--------------------------------	---------------------------

# 7. Abkühlung durch Verdampfen

## Ist Wind wirklich kalt?

Klassenstufe	7, 8, 11
Versuchsart:	halbquantitativ; Demonstrationsversuch
Ziele	Nachweis der Abkühlung eines mit Flüssigkeit benetzten Körpers bei Verdampfen der Flüssigkeit Den Schülern soll das Lesen von Graphen näher gebracht werden.

**Aufgabe:** Es soll die kühlende Wirkung beim Verdampfen einer Flüssigkeit demonstriert werden.  
(Warum wird es im Kühlschrank kalt?)

### **Geräte:**

- LabPro/CBL 2™
- TI-Rechner
- ViewScreen™
- eine Stainless-Steel Sonde (TMP-BTA)
- eine Flasche Nagellackentferner oder Ethanol oder sogar Äther
- ein kleiner Wattebausch
- ein kleiner Handventilator oder auch einfach ein Stück Pappe zum Wedeln



### **Das Prinzip:**

Es wird eine Messreihe (Live-Graph Temp-Zeit) ermittelt. Die mit Alkohol benetzte Temperatursonde kühlt sich beim Trocknen stark ab. Nach dem Verdampfen erwärmt sie sich wieder.

Der Versuch ist hinsichtlich der Gerätschaften sehr anspruchslos. Wenn Sie mit dem TI-Rechner, dann entsteht ein minimaler Vorbereitungs- und Arbeitsaufwand, denn Sie müssen nur einschalten, nass machen und pusten.

Hier wird die Verwendung des TI-Rechners mit dem ViewScreen™ beschrieben.

## Vorbereitung:

Positionieren Sie das LabPro/CBL 2<sup>TM</sup>, Ihren TI-Rechner und die anderen Geräte übersichtlich auf dem Tisch. Legen Sie den ViewScreen<sup>TM</sup> auf den Overhead-Projektor und führen Sie das Anschlusskabel zum Lehrertisch.

- Sind die Akkus geladen? Oder ist das Netzteil am LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> gesteckt? Wie steht es mit dem Batteriestatus im TI-Rechner?  
Steckt das Netzteil des ViewScreen<sup>TM</sup>?  
(Das ist wichtig! Sonst sind die Batterien vom TI-Rechner bald leer!)
- Verbinden des LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> mit dem TI-Rechner über das schwarze Link-Kabel.
- Anstecken der **TMP-BTA**-Sonde an **CH1** des LabPro/CBL 2<sup>TM</sup>.
- (optional) Befestigen der Sonde horizontal an Stativmaterial z.B. mit einem Reagenzglashalter (wie im Kapitel „Schmelzen von Wachs“).
- Verbinden Sie den ViewScreen<sup>TM</sup> mit dem TI-Rechner (Abb. rechts beachten!).
- Belassen Sie die Grundeinstellung von DataMate bei oder stellen Sie ein:  
Time between samples: .. **1** (sec.)  
Number of samples: ..... **180**  
Bestätigen mit **1** (ok) – **1** (ok)

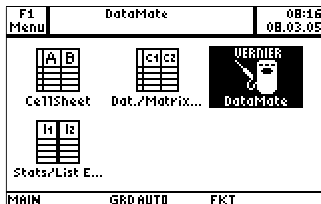


Abb.: Starten Sie DataMate

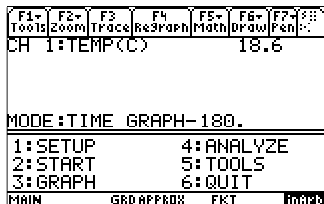


Abb.: Raumtemperatur in °C

## Durchführung:

- Einschalten aller Geräte: TI-Rechner, Overhead-Projektor. Die Schüler können die Anzeige durch Projektion an die Wand deutlich sehen und eigenständig den Messwert für die Temperatur ablesen.
- Nachfolgend wird davon ausgegangen, dass Sie genau eine TMP-BTA besitzen. Wenn Sie zwei solche Sonden verwenden können, dann stecken Sie die zweite an CH2 und positionieren diese in der Nähe der ersten Sonde. Sie wird weder berührt noch zum Experimentieren verwendet und dient ausschließlich als Referenz für alle anderen Messungen.
- Jetzt wird zunächst gezeigt, dass ein Ventilator nicht kühlt, sondern das menschliche Empfinden nur täuscht!
  - Weisen Sie darauf hin, dass der aktuelle Messwert die Raumtemperatur in der Umgebung des Lehrertisches wiedergibt.

3.2. Belüften Sie einen freiwilligen Probanden aus der ersten Reihe mit Ihrem Ventilator. Hoffentlich sagt er „Oh, das ist aber schön kühl.“

3.3. Belüften Sie nun die TMP-BTA Sonde. Lassen Sie die Temperatur beobachten!

Wenn Sie den Luftstrom so ausrichten, dass er von einer evt. vorhandenen Wandheizung wegläuft (wie in meinem Unterricht) dann staunen die Schüler, dass sich die Temperatur sogar (um wenige Zehntel °C) erhöht. Ansonsten bleibt die Temperatur vom Luftstrom hervorragend unbeeinflusst.

*Hausauftrag: Begründung für die merkwürdige Empfindung des Menschen finden lassen.*

4. Nun wird gezeigt, dass der Alkohol bzw. die verwendete Flüssigkeit beinahe Raumtemperatur hat!

Die Flüssigkeitstemperatur sollte über 20°C liegen.

4.1. Die TMP-BTA wird aus ihrer Halterung genommen (falls das so war).

4.2. Messen der aktuellen Raumtemperatur.

4.3. Messen der Temperatur der Verdampfungsflüssigkeit. Die Sonde steckt jetzt in der Flüssigkeit!

5. Nun demonstrieren Sie den echten Kühleffekt.

5.1. Starten Sie den Live-Graph durch Drücken von  (start).

5.2. Nach etwa fünf Sekunden nehmen Sie die Sonde aus der Flüssigkeit!

**Varianten:**


A) Bewegen Sie die Sonde langsam hin und her durch die Luft. Keine Hektik aufkommen lassen und nicht schütteln!

B) Halten Sie die Sonde in der Hand oder stecken Sie sie in die Halterung und belüften Sie diese mit dem Handventilator. Ein leichter Luftzug ist dabei besser als ein Sturm.

C) Halten Sie die Sonde und belüften Sie durch Wedeln mit einem kleinen Stück Pappe.

5.3. Beobachten Sie die Temperatur. Im Minimum werden Sie fast bis auf 10°C herunterkühlen können! Der Live-Graph wird zunächst fast eine gerade Linie zeigen. Das ändert sich nach Abschluss der Messreihe. Normalerweise reichen die eingestellten 180sec. völlig aus, damit sich die Sonde wieder auf Raumtemperatur erwärmt.

a) Wenn nicht, müssen Sie das Intervall verlängern.

b) Wenn das Intervall zu lang ist, beenden Sie die Messung durch Drücken von .

5.4. Säubern Sie die Sonde, indem Sie den Stab mit einem trockenen Tuch oder Zellstoff abwischen.



Den Punkt 5.3. können Sie auch etwas „extremer“ durchführen:

- Umwickeln Sie dazu den Stahlstift mit wenig Watte. Diese müssen Sie an beiden Stiftenden mit Gummi o.ä. befestigen, sonst fliegt die Watte weg. Befestigen Sie die Sonde horizontal.  
Warten Sie ein paar Sekunden, damit wieder Raumtemperatur angezeigt wird.
- Stellen Sie den Live-Graph Modus auf ein Messintervall von 5 Minuten (**300s;  $\Delta t=1s$** )  
Das geht so:  
[1] - [C] (Mode:Time Graph) - [ENTER] - [2] - [2] - [1] - [ENTER] - 300 - [ENTER] - [1] - [1]
- Starten Sie den Live-Graph durch Drücken von [2] (Start).
- Träufeln Sie ein paar Tropfen Flüssigkeit auf die Watte.
- Belüften Sie die Watte mit dem Handventilator oder der Wedel-Pappe.
- Sie werden Temperaturen unter 10°C nachweisen!
- Wenn die Watte getrocknet ist, erwärmt sich die Sonde wieder auf Raumtemperatur.
- Vorzeitiges Beenden der Messreihe mit [STO] .

### Auswertung:

Bei Benutzung von Nagellackentferner (22°C) erreicht man bei Umgebungstemperaturen von 21°C

- ohne Umwicklung mit Watte o.ä. durch reines Trocknen des Stahlstiftes etwa 12°C
- mit Umwicklung und Tränkung der Watte plus leichtes Ventilieren etwa 8°C als tiefste Temperaturen.

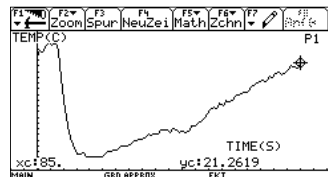


Abb.: Messung ohne Umwicklung

Weil die Schüler den Graphenverlauf und die Temperaturangaben an der Wandprojektion live erleben können, ist hier keine Überzeugungsarbeit nötig, sondern die Messwerte sprechen für sich. Selbst für sonst weniger naturwissenschaftlich begabte Schüler der Klassenstufe 8 ist es nicht schwer, den Graphenverlauf zu deuten.

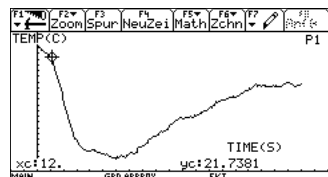


Abb.: Messung mit Umwicklung von mit Nagellackentferner getränkter Watte. Lüftung mit Ventilator.

**Die zum Verdampfen erforderliche Wärme (Energie) wird der Flüssigkeit und dem die Flüssigkeit tragenden Körper entzogen. Dabei kühlt sich das gesamte System unter die Umgebungstemperatur ab.**

Vorbereitungsdauer: etwa 5 Minuten

Versuchsdauer: ab 10 Minuten

# 8. Wann soll die Milch in den Kaffee?

Klassenstufe	Das ist ein Versuch für den Physiklehrer! Zum Spaß auch für verständnisvolle Schüler der Klassen 11/12.
Versuchsart:	halbquantitativ
Ziele	Es soll untersucht werden, welche Auswirkung der Zeitpunkt des Einsetzens eines Mischungsvorganges auf die Endtemperatur hat.

**Aufgabe:** Beeinflusst der Zeitpunkt des Hinzugießens von Milch in den Kaffee das Erreichen der Trinktemperatur?  
Soll die Milch gleich in den Kaffee oder später?

## Geräte:

- LabPro/CBL 2™
- TI-Rechner
- zwei Temperatursonden **TMP-BTA**
- zwei gleichartige Tassen
- zwei kleine Gefäße, etwa 10ml
- frisch gebrühter Kaffee
- kalte Milch



## Vorbereitung:

Wir bereiten ausreichend Kaffee für die beiden gleich großen Tassen.

Die beiden Temperaturfühler **TMP-BTA** werden mit dem LabPro/CBL 2™ an **CH1** und **CH2** und der TI-Rechner wird mit dem LabPro/CBL 2™ verbunden.

Der TI-Rechner wird eingeschaltet und das Programm DataMate gestartet.

Jetzt setzen wir die Live-Graph-Einstellungen:

Time between samples:.. **2** (sec.)

Number of samples:..... **450**

Bestätigen mit  (ok) –  (ok)

## Vorbetrachtung:

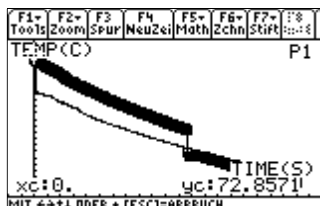
Unmittelbar nach dem Eingießen von Kaffee in eine Tasse ist der Temperaturunterschied zwischen Flüssigkeit und Umgebung maximal. Die Abkühlung in Luft erfolgt exponentiell, also in den ersten Minuten am stärksten, weil bei großem Temperaturunterschied die Wärmeleistung und damit die Wärmeabstrahlung größer ist als bei kleineren Temperaturunterschieden. Daher wird vermutet, dass ein Hinzufügen von kühlender Milch nach einer gewissen Abkühlphase eine stärkere Auswirkung haben kann als das sofortige Eingießen der Milch.

### Durchführung:

1. Wir füllen unmittelbar hintereinander in beide Tassen die gleiche Menge Kaffee. Alternativ wird im zeitlichen Wechsel in kleinen Schritten aufgefüllt.
2. In jede Tasse wird ein Messfühler eingebracht und auf Umrühren verzichtet. Warten Sie jetzt ab, bis sich etwa die gleichen Temperaturen einstellen bzw. bis die gemessenen Temperaturen zu sinken beginnen. (Messcharakteristik; Versuch zur TMP-BTA beachten!)
3. Starten der Messreihe mit der Taste **[2]** (start).
4. Nun gießen wir in die Tasse 1 (mit der Sonde an CH1) die vorbereitete Milchmenge hinzu. Die Temperatur der Milch ist hier nicht von Bedeutung, nur eben kalt sollte sie sein.
5. Nach der Zeit  $t_{\text{warte}}$  geben wir die zweite Milchmenge in Tasse 2 (mit der Sonde an CH2). Der Zeitpunkt wird so gewählt, dass er etwa dem Erreichen des Mittelwertes der Kaffee- und der Milchttemperatur entspricht. Wählen Sie bei einem Einzelexperiment  $t_{\text{warte}}=7\text{min}$ , die Messreihenmitte. Sind viele Kaffeetrinker im Haus oder führen Sie die Messung mehrmals durch, dann können Sie auch die Wartezeit variieren (1 bis 9 Minuten) und somit den „optimalen Milchpunkt“ suchen.
6. Die Messreihe endet automatisch nach der voreingestellten Zeit. Vorzeitiges Beenden mit der Taste **[STOP]**.

### Beispielergbnis; Auswertung:

Der Live-Graph in DataMate kann bei gleichzeitiger Verwendung mehrerer Sensoren äußerst suspekt aussehen. Das liegt daran, dass unser TI-Rechner mitdenkt und dem Benutzer jeden Graphen im gleichen Bild mit verschiedenen Darstellungsweisen präsentiert. Da wir aber in der Lage sind unserer Messergebnisse zu deuten, schalten wir zur besseren Ansicht den Box-Plot aus.



Dazu verlassen wir mit **[ESC]** - **[6]** - **[F5]** das Programm und wechseln über **[♦]** - **[Y=]** in den Y-Editor. Hier finden wir Plot 1 und Plot 2.

Der erste Plot wird als Punktlinie gezeichnet, der zweite als Box-Plot.

Wir wählen Plot 2: und **[ENTER]**. Als Zeichen (Mark) wählen wir Punkt (Dot) statt Box (Box) und **[ENTER]**.

Es spricht übrigens nichts dagegen, wenn Sie über **[MODE]** **[F3]** die Sprache auf Deutsch stellen.



Jetzt erstrahlen die Kurven in neuem Glanz. Hier im Beispiel auf einem TI-89 Titanium.

Die Kurve 1 sinkt gleich zu Beginn des Versuchs ab, mit Beginn der Messung kam hier gleich die Milch hinzu. Natürlich kann man auch ein paar Sekunden warten.

Kurve 2 zeigt deutlich den Milchpunkt für Tasse 2.

Nur allein nach dem Graphen zu urteilen wäre jetzt aber ziemlich vermessen. Wir kennen doch die Auflösung gar nicht. Entweder wir kosten das leckere Getränk oder wir schauen im Data/Matrix-Editor nach dem Rechten. Dort finden wir nämlich in der „aktuellen Datei“ alle Messwerte wieder. → [APPS] → Data/Matrix-Editor [ENTER].

In der Abbildung sehen wir die Startwerte der Messung inkl. Milcheinguss zur 4. Sekunde.

Hier sehen wir die Phase des Milcheingießens in die zweite Tasse (Spalte c3, 527. Sekunde)

Sie sollten nun versuchen, ein ähnliches Ergebnis zu erhalten. Je nach Tassenform, Tassenmaterial ( $C_{Tasse}$ ), Kaffeemenge und verwendeter Milchmenge werden die Temperaturunterschiede mehr oder weniger stark sein.

Entscheidend für den Trinker ist jedoch nur die Endtemperatur.

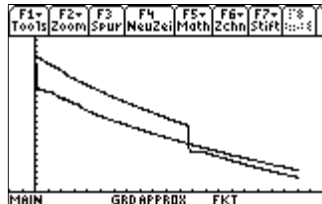
Bei 200ml Kaffee, 10ml Milch, einer Anfangstemperatur von etwa 72°C bzw. 8°C (Milch) und einer Abkühlzeit (ohne Rühren) von je 15min ergibt sich eine Trinktemperatur von

- 50°C, wenn die Milch gleich in den Kaffee gegeben wird und
- 48,6°C, wenn die Milch nach 528s in den Kaffee kommt.

Nun ist Ihnen aber in der Abb. zum Start der Messung bereits aufgefallen, dass der Kaffee in Tasse 1 schon um 0,97K heißer ist als der Kaffee in Tasse 2. Gleich nach dem Einmischen in Tasse 2 ist der Unterschied 1,38K und zu Versuchsende sind es 1,35K. Wir werden nach diesen Messwerten also, wenn wir ehrlich sind, nicht von einem Unterschied reden können.

### Also wann sollte man nun den Kaffee trinken?

Am besten noch bevor er kalt ist. Und am besten so, wie man ihn mag.



F1→ Tools	F2→ PlotEinSt	F3→ Zell	F4→ Übschr	F5→ Calc	F6→ Div	F7→ Stat
DATN						
	c1	c2	c3			
1	0.	72.857	71.905			
2	2.	72.762	71.81			
3	4.	67.826	71.714			
4	6.	66.292	71.619			
r1c1=0.						
MAIN GED APPROX FKT						

Abb.: Start der Messung

F1→ Tools	F2→ PlotEinSt	F3→ Zell	F4→ Übschr	F5→ Calc	F6→ Div	F7→ Stat
DATN						
	c1	c2	c3			
263	524.	55.067	58.517			
264	526.	55.067	58.448			
265	528.	55.033	54.226			
266	530.	55.	53.625			
r265c1=528.						
MAIN GED APPROX FKT						

F1→ Tools	F2→ PlotEinSt	F3→ Zell	F4→ Übschr	F5→ Calc	F6→ Div	F7→ Stat
DATN						
	c1	c2	c3			
448	894.	50.088	48.706			
449	896.	50.059	48.677			
450	898.	50.029	48.647			
451	900.	50.	48.647			
r451c1=900.						
MAIN GED APPROX FKT						

Abb.: Ende der Messung

Vorbereitungsdauer: 15 Minuten

Versuchsdauer: etwa 20 Minuten



## 9. Die Isochore Zustandsänderung

$$p \cdot V = m \cdot R_s \cdot T$$

Nachdem wir jetzt recht einfache Demonstrationsversuche für die Sekundarstufe 1 kennen gelernt haben, widmen wir uns den folgenden Jahrgängen und erbringen Nachweise für die grundlegenden Zustandsänderungen.

Die nachfolgenden Versuche können auch von Schülerinnen und Schülern durchgeführt werden. In jedem Fall ist zu empfehlen, wenigstens Schüler assistieren zu lassen. Ferner erweist sich hier die Verwendung des TI-Presenter™ oder des ViewScreen™ als sehr nützlich.

### Gesetz des Amontons

Klassenstufe	11; 12
Versuchsart:	quantitativ; als DE und als SE geeignet
Ziele	Finden bzw. Nachweis des Zusammenhangs $p \sim T$ ; $V = \text{const.}$

**Aufgabe:** Es ist der Zusammenhang zwischen Temperatur und Druck bei konstantem Volumen einer abgeschlossenen Gasmenge zu finden.

#### **Geräte:**

- LabPro/CBL 2™
- TI-Rechner
- Temperatursonde **TMP-BTA**
- Gasdrucksensor **GPS-BTA** mit Zubehör
- kleiner Erlenmeyerkolben
- Becherglas oder Alu-Topf
- Heizplatte (max. 300W)
- Stativmaterial zur Befestigung
- zwei Reagenzglashalter



#### **Vorbereitung:**

- a. Das LabPro/CBL 2™ wird mit vier geladenen Akkus oder LR6-Batterien bestückt. Evt. ist das zugehörige Netzteil zu verwenden.  
Hat das Gerät den Selbsttest erfolgreich durchlaufen? („TüTü-ToTo-TuTü“)
- b. **TMP-BTA** an **CH1** und die **GPS-BTA** an **CH2**.

- c. Versuch gemäß Skizze / Foto aufbauen. Die Luftmenge im Erlenmeyerkolben muss wirklich abgeschlossen und selbiger innen absolut trocken sein. Einzelheiten dazu im Kapitel „Durchführung“.
- d. Das LabPro/CBL 2™ über das schwarze Link-Kabel mit dem TI-Rechner.
- e. TI-Rechner einschalten und das Programm DataMate starten.

**Achtung:** Der Erlenmeyerkolben muss innen unbedingt absolut trocken sein, weil Wasser eine sehr hohe spezifische Wärmekapazität hat und mit der Energiezufuhr Wärme aufnehmen würde, welcher dann unserer Luft quasi fehlen würde.

**Empfehlungswerte:**

Glaskolben: 25ml

Alutopf: 250ml

Heizplatte 150W

Einst. DataMate gem. Abb.1

F1=Tools	F2=Zoom	F3=Trace	F4=ReGraph	F5=Math	F6=Draw	F7=Pen	F8=
TIME GRAPH SETTINGS							
TIME INTERVAL:				2.			
NUMBER OF SAMPLES:				300.			
EXPERIMENT LENGTH:				600.			
1:OK		3:ADVANCED					
2:CHANGE TIME SETTINGS							
MAIN		GRAPH MENU		FRT			

Abb.1



**Vorbetrachtung:**

Für eine abgeschlossene Gasmenge ist bei Zustandsänderungen der Quotient

$$\frac{p \cdot V}{T} \text{ konstant. Es gilt } \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0}.$$

Darin bedeuten  $p_0=1013,25\text{hPa}$  und  $T_0=273,15\text{K}$ , das sind die so genannten Normalbedingungen.  $V_0$  ist das Volumen, welches eine Gasmenge unter diesen Bedingungen einnimmt. Das Gesetz ist nur für ein ideales Gas streng gültig; es wird von den realen Gasen in guter Näherung erfüllt.

Eine Zustandsänderung erfolgt isochor, wenn sich während der Änderung von Druck und Temperatur das Volumen des Gases nicht verändert.

Es gilt  $\frac{p}{T} = \text{const.}$  (Guillaume Amontons, 1663-1705).

Zur numerischen Bestätigung dieses Zusammenhanges muss die **Temperatur in K (Absoluttemperatur)** in die Rechnung eingehen!

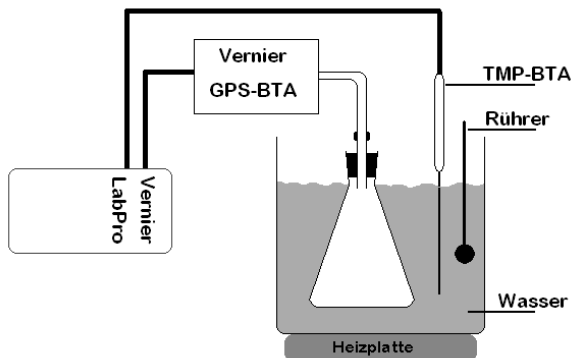
**Modell „Ideales Gas“:**

1. Der Moleküldurchmesser ist sehr viel kleiner als ihre gegenseitigen Abstände.
2. Die Moleküle üben, außer im Moment ihres Zusammenstoßes, keine Kräfte aufeinander aus.
3. Alle Stöße zwischen den Molekülen oder zwischen Molekül und Gefäßwand erfolgen elastisch.
4. Die Bewegung der Moleküle im Raum erfolgt völlig unregelmäßig (molekulare Unordnung).



### Durchführung:

**Hinweis:** Die Schraubverbindungen an der GPS-BTA und deren Zubehör müssen mit Fingerspitzengefühl behandelt werden! Das extrem dünne und kurze Plastik-Gewinde muss mit größter Vorsicht behandelt werden, damit der Sensor nicht unbrauchbar wird. Den Versuchsaufbau bzw. die Zusammensetzung der Gerätschaften ist in den folgenden Bildern gezeigt.



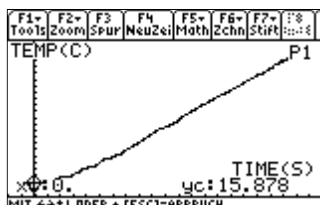
1. Der GPS-BTA liegt ein Schlauch bei. Dieser wird nach Bedarf am Stutzen des kleineren (schwarzen) Gummistopfens befestigt.  
Wird der weiße Stopfen benutzt, muss während des Versuches der Hahn und das dritte Loch unbedingt geschlossen gehalten werden!
2. Mit dem Stopfen wird der Erlenmeyerkolben gasdicht verschlossen.  
Die Verbindung zum Drucksensor ist erst kurz vor Versuchsbeginn herzustellen!
3. Der Glaskolben wird so befestigt, dass er in dem auf der noch kalten Heizplatte stehenden Topf schwebt. Der Glaskolben darf dabei keinesfalls den Topf berühren.  
Gleiches gilt für die vertikal eingebrachte Temperatursonde **TMP-BTA**.
4. In den Topf wird kaltes Wasser bis etwa 5mm unter den Rand des Erlenmeyerkolbens gefüllt.
5. Spätestens jetzt den TI-Rechner einschalten und die Messwerte kontrollieren.
6. Der Druckschlauch wird mit Respekt vor dem Gewinde mit der **GPS-BTA** verbunden.  
Sind die Time-Graph-Settings wie oben (Abb.1) gezeigt eingestellt?
7. Heizplatte einschalten.
8. Die Messreihe wird gestartet, wenn eine deutliche Temperaturzunahme registriert wird. Alternativ ist die Platte gut vorzuheizen und die Messung beginnt mit Aufstellen des Topfes.

## Ergebnisse:

Die Proportionalität zwischen  $p$  und  $T$  kann erstaunlich gut nachgewiesen werden, das würde man bei der verwendeten Luftmenge von real etwa 30ml bei  $dT=50K$  nicht erwarten. Der Quotient  $p/T$  ist in guter Näherung konstant und betrug im Versuch im Mittel 338Pa/K, eine erstaunliche Genauigkeit!

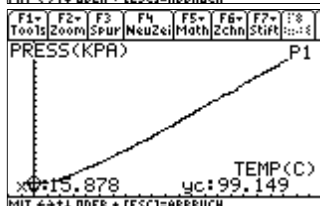
### Temperatur–Zeit–Diagramm

In der ersten Phase der Messung steigt die Temperatur nicht linear an. Dies zeugt davon, dass die Messreihe zu früh gestartet wurde, die Heizplatte sich noch in der Erwärmungsphase befand.

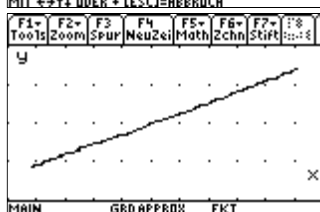


### Druck–Temperatur–Diagramm

Mit  $\text{[ESC]}$  kann man eine Darstellung verlassen. Dann gelangt man in das Diagramm–Menü zur Auswahl weiterer Darstellungen. Wir wählen CH2 vs. CH1 für das p-T-Diagramm. Die Temperaturachse trägt jedoch die ME  $^{\circ}\text{C}$ .



Zur numerischen Analyse ist der anfängliche Parabelbogen aus dem p-T-Diagramm zu entfernen. Leicht lässt sich dann mit Hilfe der Wertepaare in den entsprechenden Listen auf einen linearen Zusammenhang und den Anstieg der Geraden schließen. Und das geht so:



## Auswertung und Darstellung:

Ihre Messwerte werden in Listen gespeichert. Wenn Sie die Sonden wie oben beschrieben angeschlossen haben, stehen die Zeiten in L1, die Temperaturen in L2 und die Drücke in L3. Durch Aufrufen von  $\text{[VAR-LINK]}$  am TI-Rechner können Sie die Listeninhalte abrufen. Scrollen Sie im angezeigten Menü so weit nach unten, bis Sie die Listen finden. Prüfen Sie die Inhalte kurz ab, indem Sie die gewünschte Liste auswählen und dann  $\text{[F6]}$  drücken (bzw.  $\text{[2nd]} + \text{[F1]}$ ).



Abb.: Datenflut vom Quotienten  $p/T$ . Natürlich rechnet der TI-Rechner mit maximaler Genauigkeit. Der Glaube an drei Nachkommastellen sollte genügen.

Jetzt erstellen wir neue Listen durch Rechnungen mit den Messwerten. Das geht so:

In L2 stehen die Temperaturen. Wir rechnen „L2+273,15“ und speichern das Ergebnis sofort in der noch leeren Liste L4 ab. Wir drücken:

L2[+]273.15[STO]L4[ENTER]

Die Liste L4 beinhaltet jetzt die Absoluttemperaturen. Die Abbildung zeigt noch die ersten Elemente von L4.

Jetzt berechnen wir für alle Wertepaare den Quotienten p/T und speichern die Ergebnisse in der freien Liste L5 ab. Tastenkombination:

L3[÷]L4[STO]L5[ENTER]

Um nicht mit so gigantischer (Un-)Genauigkeit zu protzen würde ich lieber eingeben:

runde(L3[÷]L4,3)[STO]L5[ENTER]

Dann haben die Werte nur drei Kommastellen.

Jetzt können wir den [Y=] y-Editor starten, in welchem im Matheunterricht auch immer die Funktionen definiert werden.

Wir wählen hier den Eintrag „Plot2“. [ENTER]

Für die Darstellung definieren wir den Plot2 wie hier angegeben.

(Temp auf x und Druck auf y in Linienform)

Im [WINDOW] Fenster-Editor wird das Fenster am besten manuell festgelegt, indem die Intervallgrenzen der Daten von T und p gerundet eingegeben werden.

Hurra, wir erhalten eine Gerade. Prima.

Jetzt berechnen Sie noch den Anstieg. Sie werden für Luft etwa 340Pa/K erhalten.

Alternativ lassen Sie im Data/Matrix-Editor mit [F5] eine [5:LinRegr] lineare Regression ausführen.

Dann ist auch x=L4 und y=L3

Das Ergebnis könnte Sie überzeugen.

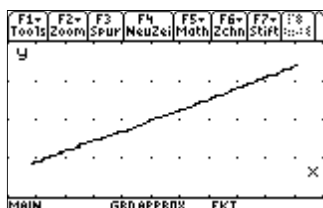
F1+	F2+	F3+	F4+	F5+	F6+
Tools	At3eBrd	Calc	Andere	Pr3En	Losch
12					
15.878 15.8537 15.8537					
12+273.15÷14					
MAIN GED APPROX FKT 1/99					
F1+	F2+	F3+	F4+	F5+	F6+
Tools	At3eBrd	Calc	Andere	Pr3En	Losch
15.878 15.8537 15.8537					
12 + 273.15 ÷ 14					
289.028 289.0037 289.0					
13					
14 ÷ 15					
.343042888578 .3430717					
13/14÷15					
MAIN GED APPROX FKT 1/99					

Abb.: Dividieren ist schön.

Runden ist besser.

main\cb1data Plot 2	
Plot-Typ .....	yxLinie →
Zeichen .....	Funkt →
X .....	14
Y .....	12
xip, yip, xeq, yeq .....	5
Mit Haufr3k. u. Klassen? NEIN →	
xres, yres .....	
xliste, yliste .....	
HK x liste, y liste .....	12
Enter=SICH	ESC=ABBR
MAIN GED APPROX FKT	

F1+	F2+
Tools	Zoom
xMin=285.	
xMax=340.	
xSc1=5.	
yMin=95.	
yMax=115.	
ySc1=5.	
xres=2	
MAIN GED APPROX FKT	



## Noch etwas Physik:

Luft hat unter *Normalbedingungen* eine Dichte von  $\rho_0 = 1,292 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

Die spezifische Gaskonstante beträgt  $R_S = 286,8 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$ .

Aus der universellen Gasgleichung  $p \cdot V = m \cdot R_S \cdot T$  folgt über die Dichtedefinition

$$\frac{p_0}{T_0} = \rho \cdot R_S.$$

Unter Normalbedingungen (also für Temperaturen um  $0^\circ\text{C}$ ) sollten wir

$\frac{p}{T} \approx 370 \frac{\text{J}}{\text{m}^3\text{K}}$  erhalten. Dies ist ein absolut theoretischer Wert, der sich aus den oben

genannten Konstanten ergibt. Nun wird unsere Luft aber keineswegs die hier

bezeichnete Dichte haben, denn Temperatur und Druck sind höher als unter

Normalbedingungen. Dennoch gelingt es mit dem Versuch,  $\frac{p}{T} \approx 340 \frac{\text{J}}{\text{m}^3\text{K}}$  zu ermitteln, eine

erstaunliche Genauigkeit, die Sie auch bei Verwendung des speziell für diesen Versuch konstruierten p-V-T-Gerätes mit großem U-Rohr-Manometer und einem Luftvolumen von  $V=1000\text{cm}^3$  kaum übertreffen können.

Der Vorteil der hier beschriebenen Variante mit dem Gasdruck-Sensor ist aber, dass der Arbeitsaufwand erheblich geringer und die Messwertaufnahme deutlich einfacher ist. Innerhalb weniger Minuten erhalten Sie hunderte Wertepaare. Nur mit so großen Anzahlen von Wertepaaren macht die Bildung eines Mittelwertes Sinn. So sparen Sie im Unterricht sehr viel Zeit bei gleichem Effekt und Endergebnis.

Vorbereitungsdauer: 10 Minuten	Versuchsdauer: etwa 30 Minuten
--------------------------------	--------------------------------

# 10. Isotherme Zustandsänderung

## Boyle-Mariottesches Gesetz

Klassenstufe	11; 12; Grund- und Leistungsfach
Versuchsart:	halbquantitativ, quantitativ
Ziele	Finden bzw. Nachweis des Zusammenhangs $p \sim \frac{1}{V}$ ; $T = \text{const.}$

**Aufgabe:** Welcher Zusammenhang besteht zwischen Volumen und Druck bei konstanter Temperatur einer abgeschlossenen Gasmenge?

### Geräte:

- LabPro/CBL 2™
- TI-Rechner mit DataMate
- ViewScreen™ zur Projektion der Wertaufnahme
- Gasdrucksensor **GPS-BTA**
- Kolbenprober (Zubehör GPS-BTA)



### Vorbereitung:

1. Sicherstellung der Stromversorgung des LabPro/CBL 2™ und der angeschlossenen Geräte.
2. **GPS-BTA** mit **CH1** des LabPro/CBL 2™ verbinden.
3. **DataMate** am TI-Rechner starten. Das Programm erkennt den angeschlossenen Sensor und gibt den aktuellen Luftdruck in kPa an.
4. Startvolumen 10cm³: Es wird der Kolbenprober verwendet, welcher dem GPS-BTA beiliegt (und auch immer schön dort bleiben sollte!). Dieser hat an seiner Spitze das notwendige Anschlussgewinde.
5. Der Kolbenprober wird direkt mit dem GPS verbunden. Die Verbindung sollte mit **Feingefühl** festgedreht werden (Hinweise siehe Gesetz des Amontons).
6. Nun ist der TI-Rechner auf manuelle Eingabe vorzubereiten (**Events with entry**). Dazu gehen Sie in DataMate folgendermaßen vor:

- a) [1] drücken für Setup.  
 b) Mit  $\odot$  oder  $\ominus$  wird der Eintrag „Mode:...“ angewählt.  
 Dann [ENTER] drücken.

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Tools	Zoom	Trace	ReGraph	Math	Draw	Pen	...
CH 1: GAS PRESSURE (KPA)							
CH 2:							
CH 3:							
CH 4:							
DIG1:							
DIG2:							
MODE: TIME GRAPH-900.							
1: OK				3: ZERO			
2: CALIBRATE				4: SAVE/LOAD			
MAIN		GRAPHPROX		FKT			

- c) Da nur ein Messwert (Druck) mit dem Sensor erfasst wird und der zugehörige zweite Messwert (Volumen) extern ablesen wird, müssen wir die Option 3: EVENTS WITH ENTRY auswählen. → [3] drücken.

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Tools	Zoom	Trace	ReGraph	Math	Draw	Pen	...
SELECT MODE							
1: LOG DATA							
2: TIME GRAPH							
3: EVENTS WITH ENTRY							
4: SINGLE POINT							
5: SELECTED EVENTS							
6: RETURN TO SETUP SCREEN							
MAIN		GRAPHPROX		FKT			

- d) Taste [1] drücken, um zum Hauptbildschirm zurückzukehren.

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Tools	Zoom	Trace	ReGraph	Math	Draw	Pen	...
CH 1: GAS PRESSURE (KPA)							
CH 2:							
CH 3:							
CH 4:							
DIG1:							
DIG2:							
MODE: EVENTS WITH ENTRY							
1: OK				3: ZERO			
2: CALIBRATE				4: SAVE/LOAD			
MAIN		GRAPHPROX		FKT			

### Vorbetrachtung:

Für ideale Gase gilt die Gleichung  $\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0}$ . Luft erfüllt die Kriterien des idealen

Gases nicht, es ist also davon auszugehen, dass für  $T = \text{const.}$  nicht exakt  $p_x \cdot V_x = \text{const.}$  nachgewiesen werden kann. Trotzdem gelingt es mit dem Drucksensor und dem angeschlossenen Kolbenprober in erstaunlicher Qualität, die isotherme Zustandsänderung zu demonstrieren.

Die Kompression bzw. Expansion des Gases muss langsam erfolgen, damit ein Wärmeaustausch mit der Umgebung stattfinden kann und die Gastemperatur konstant bleibt. Schnelle Kompressionen mit sofortiger Messung führen zu Messfehlern, weil sich dabei die Gastemperatur verändert (Luftpumpeneffekt). Sie sollten daher auch vermeiden, den Volumenbereich des Kolbenprobers während des Versuches zu berühren, weil Sie mit der Berührung Wärme zuführen (Fehlerhafte p-Werte)!

### Durchführungshinweise:

Im Normalfall reicht eine Person zur Bedienung des Experimentiergerätes und zur Eingabe am Rechner aus. Dennoch ist dieser Versuch für ein 2er-Team sehr gut geeignet: Person A stellt die Gasvolumina am Kolbenprober ein und Person B gibt Werte und Bestätigungen in den Rechner. Die Volumina müssen so genau wie möglich eingestellt werden, da bereits kleinste Volumenänderungen eine deutliche Druckänderung bewirken.



### Durchführungsvarianten:

Die Punkte A, B und C beziehen sich auf den Punkt 4 der Vorbereitung.

#### A. Nur Kompression

Der Kolben wird auf  $20\text{cm}^3$  gezogen. → Spritze mit Sensor verbinden.

Das Gas wird in Schritten von  $1\text{--}2\text{ cm}^3$  komprimiert.

#### B. Expansion und Kompression

Der Kolben wird auf  $10\text{cm}^3$  gezogen. → Spritze mit Sensor verbinden.

Versuchsbeginn mit Unterdruck bei  $20\text{cm}^3$ . Von da an wird dann das Volumen in Schritten von  $1\text{--}2\text{cm}^3$  bis auf etwa  $4\text{cm}^3$  verringert / komprimiert.

#### C. Nur Expansion

Der Kolben wird auf  $5\text{cm}^3$  gezogen. → Spritze mit Sensor verbinden.

Das Gas wird in Schritten von  $1\text{--}2\text{cm}^3$  bis auf  $20\text{cm}^3$  expandiert.

### Durchführung:

1. Der Kolbenprober ist mit dem Startwert ( $10\text{cm}^3$ ) am Drucksensor dicht verschraubt, alle Geräte sind stand-by, wie in Abschnitt „Vorbereitung“ beschrieben.  
[2] drücken für „Start“.
2. Der Kolben wird auf  $20\text{cm}^3$  gezogen. (Unterdruck! Nicht wackeln!)

Man muss darauf achten, dass die abgeschlossene Gasmenge nicht mit den Händen umschlossen wird. Der Kolbenprober sollte nur am hinteren Ende angefasst werden!

3. Im TI-Rechnerdisplay wird der Momentandruck gezeigt. Typisch für alle Digitalgeräte wird auch hier ein nervöses Zahlenspiel zu beobachten sein.

Links neben dem Druck steht die Nummer des Messwertes. Nicht lange warten!!

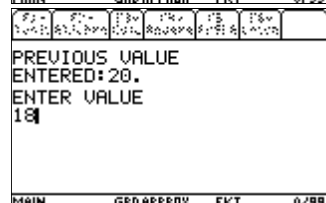
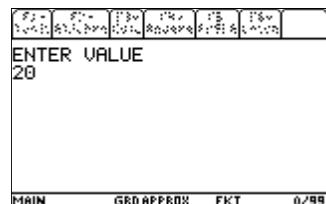
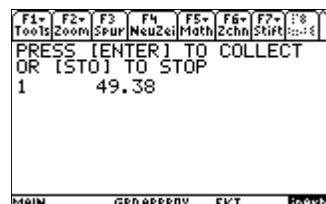
Den Druck mit [ENTER] bestätigen.

4. Jetzt verlangt das Programm nach der zweiten Koordinate:

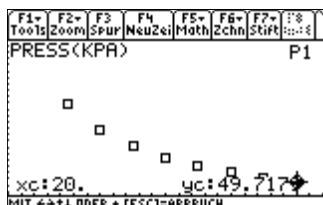
Wir geben das aktuelle Volumen als Zahl (in  $\text{cm}^3$ ) ein: 20; [ENTER]

5. Verringerung des Volumens um 1 bis  $2\text{cm}^3$  und Wiederholung der Schritte 4. und 5 bis minimal  $5\text{cm}^3$ .

Die Abbildung zeigt, dass DataMate als Gedankenstütze den zuletzt eingegebenen Wert noch mal anzeigt.



- Bei einem Volumen von etwa  $4\text{cm}^3$  herrscht ein Druck von ca. 220kPa.  
Das ist für die Drucksonde auch fast der größtmögliche Messwert. Gemäß Handbuch endet der Messbereich bei 210kPa.  
Der Arbeitsbereich des Sensors sollte im Interesse der Wertegenauigkeit nicht voll ausgereizt werden.
- Während des Versuchs werden im Hintergrund der Anzeige alle gespeicherten Wertepaare als Box in einem automatisch gezoomten Diagramm gezeichnet.
- Das Versuchsende wird mit **[STO]** definiert.  
Man erhält ein p-V-Box-Plot-Diagramm. Die Wertepaare können mit  $\odot$  nach links bzw. mit  $\ominus$  nach rechts abgefragt werden.



### Auswertung und Ergebnisse:

Das Programm DataMate kann nach der Wertaufnahme verlassen werden. Die gesamte Darstellung wird optimiert und die Wertepaare numerisch geprüft.

- Starten des Data/Matrix-Editors aus dem **[APPS]** - Menü.

Öffnen der „aktuellen“ Datei.

- Mit **[F2]** wird der Plot neu definiert.  
Typischerweise entscheiden wir uns für ein x-y-Liniendiagramm und lassen uns die Wertepaare aber nicht als (dann unsichtbaren) Punkt, sondern als Box zeichnen.  
x – Achse: Volumen, also Spalte 1 (c1)  
y – Achse: Druck, also Spalte 2 (c2)

- Mit **[GRAPH]** **[F2]** **[9]** wird der Zusammenhang aufgezeichnet und das Diagramm an die Fenstergröße des Rechners angepasst.

Hinweis:

Im y-Editor sollten jetzt alle anderen Plots und Funktionen deaktiviert sein, sofern welche definiert sind. Abbruch der Zeichnung mit **[ON]**.

F1=	F2=	F3=	F4=	F5=	F6=	F7=	F8=
Tools	PlotEinSt	Zell	Ubschr	Calc	Dio	Stat	
DATN							
	c1		c2		c3		
1	20.		49,718				
2	18.		55,62				
3	16.		62,033				
4	14.		70,83				
r1c3=							
MAIN GRD APPROX FKT							

main\cb1data Plot 1

Plot-Typ ..... **Box**

Zeichen ..... **Box**

X ..... **c1**

Y ..... **c2**

Wsp. Sp. : : : : : **1**

Mit Häufigk. u. Klassen? **NEIN**

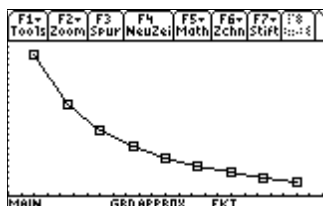
Wsp. : : : : : **1**

X-Liste : : : : : **1**

Y-Liste : : : : : **1**

Enter=SICH ESC=ABBR

MIT <-> ODER <-> UNTERMENU OFFNEN



4. Zur weiteren numerischen Auswertung kann man den Listenwerten Maßeinheiten zuordnen. Dazu wechselt man in den HOME-Modus des Rechners und multipliziert die Maßeinheit einfach an den Listennamen an. Das Ergebnis wird gleich in einer neuen Liste gespeichert. Maßeinheiten werden wie Konstanten mit einem Unterstrich beginnend eingegeben.

F1+	F2+	F3+	F4+	F5+	F6+
Tools	Algebra	Calc	Andere	PrSEn	LoSch
11=1912.85055556					
11·cm <sup>3</sup> ÷ 14					
(2.·E-5·cm <sup>3</sup> 1.8E-5·cm <sup>3</sup> )					
12·1000·Pa ÷ 15					
(97730.2·Pa 108286.·Pa)					
12*1000_pa÷15					
MAIN	GED APPROX	FKT	6/99		

Man beachte, dass der TI-Rechner die Angabe „\_kpa“ nicht versteht. Mit „\_k“ ruft man am Voyage™ 200 und TI-89 Titanium die Boltzmann-Konstante auf. Daher muss man die Maßeinheit „Kelvin“ übrigens als „\_K“ definieren. Großschreibung muss nicht beachtet werden, darum kümmert sich der Rechner selber. Physikalische Größen mit Maßeinheiten werden Ihnen auch Probleme beim Zeichnen von Graphen bereiten, der Graphenaufbau endet mit der Fehlermeldung „Datentyp“.

Wir schreiben die Maßeinheit kPa also mit „\*1000\_pa“.

L1 und L2 sollen uns im Original erhalten bleiben.  
L3 lassen wir aus optischen Gründen leer.

L1 cm<sup>3</sup> [STO] L4 [ENTER]  
L2 [X]\_pa [STO] L5 [ENTER]

F1+ Tools	F2+ Plots	F3+ List	F4+ Calc	F5+ Distr	F6+ Tests	F7+ Ints	
11	12			13			14
20.	97.73			0.			2.E-5...
18.	108.29			-----			1.8E-...
16.	121.4						1.6E-...
14.	137.8						1.4E-...
12.	158.91						1.2E-...
11.	173.27						1.1E-...
11=(20.,18.,16.,14.,12.,11.)							
MAIN    GED APPROX    FKT    1/11							

Mit der Operation  $14 \times 15 = p \cdot V$  lässt sich die Güte der Wertepaare prüfen.

L4 [X] L5 [STO] L6 [ENTER]  
mittelw(L6) [ENTER]

Die Produkte weichen nur schwach voneinander ab. Der Mittelwert liegt bei 1J.

F1+	F2+	F3+	F4+	F5+	F6+
Tools	Algebra	Calc	Andere	PrSEn	LoSch
12·1000·Pa ÷ 15					
(49717.9·Pa 55620.1·Pa)					
14·15 ÷ 16					
(1.994358·J 1.0011618·J)					
Mittelw(16)					
.974268266667·J					
Mittelw(L6)					
MAIN	GED APPROX	FKT	2/99		

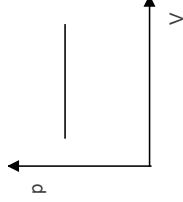
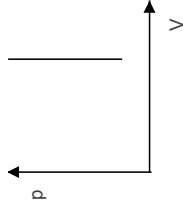
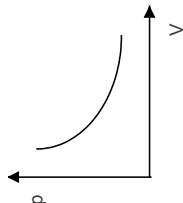
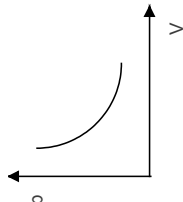
Je nach Bedarf können noch weitere umfangreiche statistische Analysen vorgenommen werden. Hier nur der Aufruf des kleinsten und größten Wertes von  $p \cdot V$  sowie der Standardabweichung.

F1+	F2+	F3+	F4+	F5+	F6+
Tools	Algebra	Calc	Andere	PrSEn	LoSch
Mittelw(16)					
.974268266667·J					
Stdabw(16)					
.029477984621·J					
min(16)					
.909636·J					
Max(16)					
1.0011618·J					
Max(L6)					
MAIN	GED APPROX	FKT	10/99		

Vorbereitungsdauer: 3 Minuten

Versuchsdauer: etwa 5 Minuten  
Auswertung: bis zu 40 Minuten

# 11. Übersicht zur Grundgleichung der Thermodynamik

<u>Isobare Änderung</u>	<u>Isochore Änderung</u>	<u>Isotherme Änderung</u>	<u>Adiabatische Änderung</u>
<i>Es ändern sich:</i> Temperatur, Volumen	<i>Es ändern sich:</i> Druck, Temperatur	<i>Es ändern sich:</i> Druck, Volumen	<i>Es ändern sich:</i> Druck, Volumen und Temperatur
<i>Es bleibt konstant:</i> Druck	<i>Es bleibt konstant:</i> Volumen	<i>Es bleibt konstant:</i> Temperatur	<i>Es bleibt konstant:</i> Wärmemenge des Gases
<i>Beispiel:</i> Ausdehnung der Raumluft bei Temperaturanstieg und geöffneten Fenstern	<i>Beispiel:</i> Erwärmung eines mit Gas gefüllten und geschlossenen Hohlkörpers	<i>Beispiel:</i> Zusammendrücken eines Gummiballs langsameres Aufpumpen eines Reifens	<i>Beispiel:</i> Verdichtungstakt im Dieselmotor
			
<i>Volumenarbeit:</i> $W = -p \cdot (V_1 - V_0)$	<i>Volumenarbeit:</i> $W = 0$	<i>Volumenarbeit:</i> $W = -m \cdot R_s \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_1}{V_0}\right)$	<i>Volumenarbeit:</i> $W = -m \cdot R_s \cdot T \cdot \frac{1}{\kappa - 1} \cdot \ln(T_1 - T_0)$
<i>Erster Hauptsatz:</i> $Q = dU + W$	<i>Erster Hauptsatz:</i> $dU = Q$	<i>Erster Hauptsatz:</i> $Q = -W$	<i>Erster Hauptsatz:</i> $Q = 0$ oder $dU = W$
(zugeführte Wärme führt zur Änderung der inneren Energie und zur Expansion)	(zugeführte Wärme führt NUR zur Änderung der inneren Energie)	(am Gas verrichtete Arbeit wird als Wärme ohne eine Temperaturerhöhung sofort wieder abgegeben)	(am Gas verrichtete Arbeit führt NUR zur Temperaturerhöhung, es findet jedoch kein Wärmeaustausch mit der Umwelt statt)

# 12. Ausblick

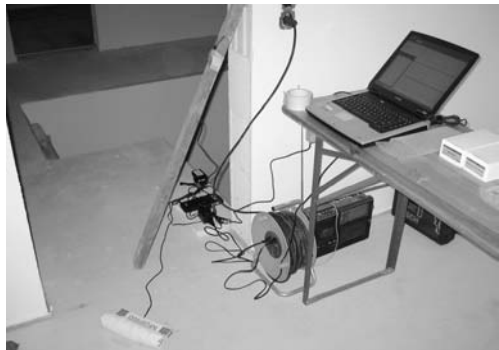
## Langzeitmessung zum Raumklima

Klassenstufe:	7, 8
Versuchsart:	halbquantitativer Langzeitversuch; Hausversuch
Ziele:	a) Veranschaulichen der klimatischen Verhältnisse in Wohnräumen b) Training im Umgang mit Diagrammen

**Aufgabe:** In einem neu gebauten Wohnraum mit Fußbodenheizung soll über 24 Stunden die Luftfeuchte, die Raum- und die Estrichtemperatur gemessen werden. Die vierte Größe ist frei wählbar, hier: Luftdruck.

### Geräte:

- LabPro/CBL 2<sup>TM</sup>
- Computer mit LoggerPro
- 2 Temperatursonden STS-BTA, TMP-BTA
- Barometer; BAR-BTA
- Hygrometer; RH-BTA bzw. RH-DIN



### Vorbereitung:

Das LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> muss mit dem mitgelieferten Netzteil betrieben werden. Batterien sind nicht geeignet.

Wir verbinden die Sonden mit dem LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> und das LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> über das mitgelieferte USB-Kabel mit dem Computer.

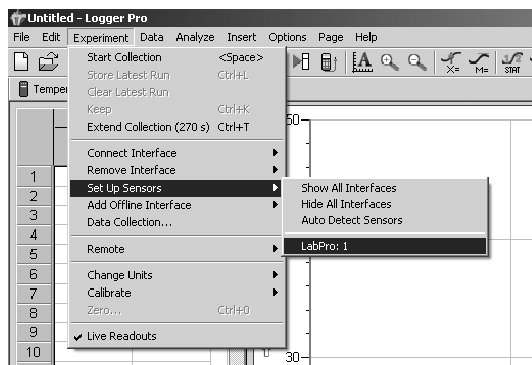
Nun wird das Datensammlerprogramm LoggerPro gestartet.

### Durchführung:

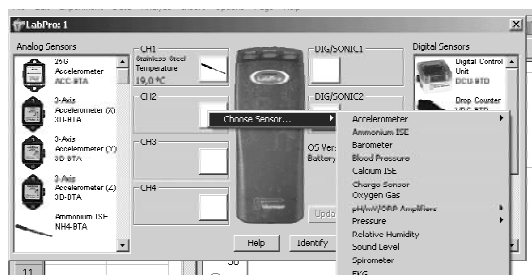
1. Der Sensor **RH-BTA** wird auch als **RH-DIN** ausgeliefert. Dieser ist nicht mit dem typischen Right-Hand-Stecker, sondern mit einem DIN-Stecker („Dioden-Stecker“) versehen. Sie müssen den mitgelieferten Adapter DIN → BTA verwenden.
2. Die Geräte werden so im Raum positioniert, dass die gesammelten Daten nicht durch zufällige Störgrößen beeinflusst werden.
3. **STS-BTA** mit Klebeband am Fußboden oder an der Heizung befestigen  
**TMP-BTA** in etwa 1,50m Höhe möglichst frei im Raum positionieren.
  - Schützen Sie alle Geräte vor ungewollter Beschädigung!
  - Halten Sie Schreibzeug und Papier für Notizen zu Ereignissen bereit.

4. Bis auf den „Relative Humidity Sensor RH-BTA“ werden alle Sensoren automatisch erkannt. Den RH-BTA muss man zunächst manuell definieren.  
Das geht so:

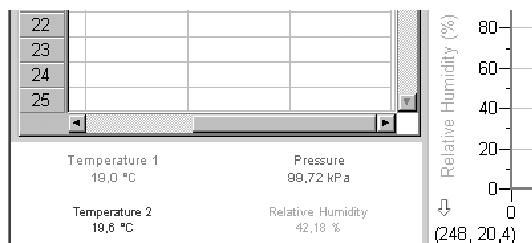
5. Wir starten LoggerPro und wählen  
Experiment → Setup  
Sensors → LabPro 1  
(Wenn Sie mit mehreren  
Geräten an mehreren USB-  
Ports gleichzeitig arbeiten,  
wählen Sie das Gerät aus,  
an dem der RH-BTA  
angeschlossen ist.)



6. Wir klicken im folgenden  
Fenster auf die weiße  
Quadratfläche neben dem  
Kanal, an dem der  
Sensor angeschlossen  
ist. Aus der angezeigten  
Liste von „Choose  
Sensor...“ wählen wir den  
Eintrag „Relative  
Humidity“. Fertig!  
Mit der Schaltfläche  
„Close“ schließen Sie das  
Fenster.



7. Wenn alle Geräte  
miteinander verbunden  
sind, können wir auf dem  
Display des Computers  
die aktuellen Messwerte  
ablesen. In der  
LoggerPro-Version 3.4.1  
wird schon in der  
Grundeinstellung jede  
Größe unten links im Bild  
vergrößert angezeigt.



8. Nun stellen wir die Zeitbasis für den Versuch ein. Dazu klicken wir auf die kleine Schaltfläche mit der Stoppuhr im Diagramm. Im nachfolgenden Fenster definieren wir die Versuchslänge und die Anzahl der Abtastungen pro Zeiteinheit. Die Werte können manuell eingetippt oder mit dem Schieberegler gewählt werden.



**Data Collection**

Collection | Triggering

Mode: Time Based ☐ Repeat

Length: 24 hours ☐ Sample at Time Zero

☒ Enhanced Timing Accuracy (Use With AC Power Only) ☐ Triggering is disabled

Sampling Rate: Slow  Fast

12 samples/hour 0,083333 hours/sample

☐ Oversampling Samples to be Collected: 280

Tables and Graphs will be updated during collection.

Help Done Abbrechen

9. Wir beginnen die Messung möglichst zu einer vollen Stunde, dann fällt uns das Zuordnen von speziellen Ereignissen zu den Graphen leichter.

### Beispielergbnis

Nachfolgend ist eine Messreihe nach den oben genannten Kriterien in einem neu gebauten Haus gezeigt. Das Haus wurde zu dem Zeitpunkt bei Außentemperaturen um +10°C gerade „getrocknet“. Als Heizung wird hier eine Kollektor–Erdwärmepumpe verwendet. Kurz vor Beginn der Datenaufnahme wurde ausgiebig gelüftet, was das Ansteigen der Lufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit erklärt. Interessant ist hier auch die Verzögerung der Temperaturwirkungen: Die Raumlufttemperatur wird erst etwa eine Stunde nach Einschalten der Heizung ansteigen und während sich der Estrich bereits abkühlt nimmt die Lufttemperatur weiter zu. Das liegt an den Temperaturdifferenzen und dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik. Das steile Ansteigen der Lufttemperatur zur 17. Stunde ist mit einer Fehleinwirkung zu erklären: Die Sonnenstrahlen haben den TMP-BTA erfasst. Solche Entdeckungen macht man nur per Zufall. Hier war es gegen 10 Uhr, als das Haus gelüftet werden sollte.

Erstaunlich sind ferner die enorme Luftfeuchte und deren Änderung bei Lüftungsprozessen. Hier kann man schlussfolgern, dass etwa alle 5-6h ein Durchlüften Sinn macht und zum Stoßlüften eine Dauer von 10-15min zum Austausch der Luft ausreicht.

### Geht das mit meinem TI-Rechner auch?

Ja! Aber das hängt vom Zustand der Batterien ab. Das LabPro und auch das CBL 2<sup>TM</sup> können am Netzteil betrieben werden und Daten über sehr lange Zeiträume erfassen. Ein angeschlossener TI-Rechner steigt bei solchen Versuchen gern mal mit einer Fehlermeldung aus. Alternativ programmieren Sie das LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> mit dem Steuerbefehl 3 für den Stand–Alone–Modus und lesen die Daten nachfolgend in den TI–Rechner ein. Dieses Verfahren ist an anderer Stelle beschrieben. Erstellen Sie ein eigenes Programm für das CBL 2<sup>TM</sup>/LabPro für eine Langzeitmessung, die im Minutenbereich überschaubar ist:

Rufen Sie den Programmeditor auf und geben Sie das neue Programm ein:

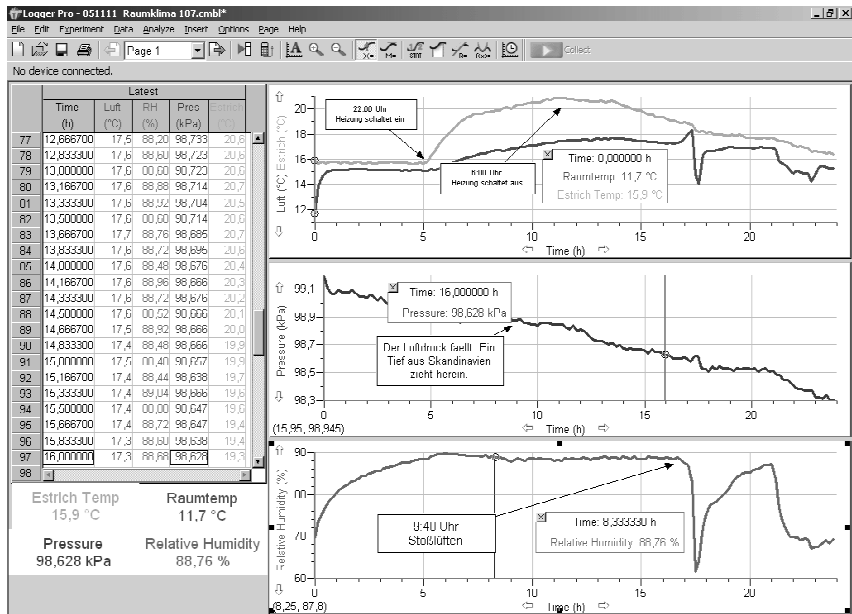
```
: langzeit()  
: Prgm  
: NeuAufg  
: LÖEA  
: LÖBild  
: Zeige „Remote - Programmierung des LabPro!“  
: Zeige „LANGZEITMESSUNG !!“  
: Zeige „“  
: Zeige „1. Rechner mit LabPro verbinden.“  
: Zeige „“  
: Zeige „2. Enter drücken.“  
: Pause  
: LÖEA  
: Sende {1999,1000,148}  
: Text „Jetzt Quick-Setup drücken“  
: Zeige „Messintervall in Minuten?“  
: GibEin interv  
: Zeige „Anzahl der Kanäle?“  
: GibEin n  
: LÖEA  
: GanzZahl(12280/n) [STO]dat  
: GanzZahl(dat*interv) [STO]k  
: String(k) [STO]sk  
: Zeige „Gesamte Messdauer in Minuten?“  
: Zeige „Maximal „&sk“ Minuten möglich.“  
: GibEin dauer  
: GanzZahl(dauer/interv) [STO]points  
: If GanzZahl(points)>dat Then  
: Zeige „Das war zu viel. Ich nehme“  
: Zeige „den Maximalwert.“ &sk  
: Pause  
: dat [STO]points  
: EndIf  
: GanzZahl(60*interv) [STO]tme  
: Sende {3,tme,points}  
: LÖEA  
: Zeige „Kabel trennen.“  
: Zeige „Start/Stop drücken.“  
: Zeige „Mit q das Programm beenden.“  
: Zeige "Oder Neueinstellungen vornehmen."  
: Loop  
: getKey()[STO]key  
: While key=0  
:   getKey()[STO]key  
: EndWhile  
: If key=Ord("q") Then  
: LÖEA  
: EntfVar interv,dat,n,k,tme,dat,sk,points,dauer,key  
: Zeige "Zum Beenden F5 drücken."  
: Stop  
: Else  
:   langzeit()  
: EndIf  
: EndLoop
```



Nun können Sie nach Herzenslust das CBL 2<sup>TM</sup> oder das LabPro anweisen, über einen ganzen Tag oder länger Daten zu erfassen.

Bei vier angeschlossenen Sensoren können wir uns theoretisch erlauben, jede halbe Minute über einen Zeitraum von 24h = 1440min Messwerte zu erfassen. Das reicht für die meisten Versuche in viel zu hoher Genauigkeit aus.

Nachfolgend zum oben genannten Beispiel ein ScreenShot aus dem dort verwendeten Computerprogramm LoggerPro.



### Sonstige Hinweise, Varianten:

Der Versuch eignet sich hervorragend als Schülerexperiment bzw. Hausexperiment.

Vorbereitungsdauer: 15 Minuten

Versuchsdauer: etwa 24 Stunden

# 13. Die geradlinig gleichförmige Bewegung mit Spielzeug

Klassenstufe	Sekundarstufe 1; Klassen 7-9; Wellenlehre Klasse 11
Versuchsart:	halbquantitativ
Ziele	Darstellen der Zusammenhänge $s - t$ und $v - t$ .

**Aufgabe:** Es sollen die Gesetze der geradlinig gleichförmigen Bewegung demonstriert werden!

## Geräte:

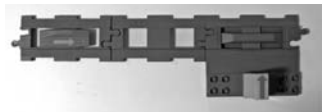
- LabPro/CBL 2<sup>TM</sup>
- TI-Rechner
- CBR 2<sup>TM</sup>
- Spielzeugeisenbahn (LEGO®-DUPLO®); E-Lok mit ca. 1m Schienenstrang, Fahrtrichtungszeiger und Startplatz; Solches Spielzeug wartet in des Schülers Kinderzimmer häufig auf Anwendung!



## Vorbereitung:

### A) Verwendung des dargestellten Spielzeuges

Wir bestücken die Lok mit Batterien oder Akkus und bauen einen geraden Schienenstrang aus den Einzelelementen auf. In der Abb. wird rechts der Startplatz der Lok und links der Umkehrpunkt (Reiter) gezeigt. Es wird eine Gesamtlänge von etwa 1m benötigt.



Die Lok muss mit einem Reflektor ausgestattet werden, z.B. mit glatten Bausteinen auf der dem CBR 2<sup>TM</sup> zugewandten Seite. Der Bewegungsdetektor wird im Abstand von 20cm (MD-2, Modell 2005) bzw. 50cm (MD-1) in Fahrtrichtung der Bahn auf den Lehrertisch aufgestellt, das Sende / Empfangsteil nach oben geklappt (s. Abbildung oben). Man beachte die Sendecharakteristik. Die Abstrahlung muss ganz leicht schräg nach oben erfolgen, um Reflexionen vom Untergrund zu minimieren. Große bewegliche Teile müssen aus dem Empfangsbereich des CBR 2<sup>TM</sup> entfernt werden.

### B) Verwendung eines anderen Fahrzeuges

Bei Verwendung eines anderen geradlinig gleichförmig bewegten Körpers verfährt man analog zum Fall A).

- Die Eigengeschwindigkeit des Fahrzeuges sollte bis etwa 0,5m/s betragen, damit man das Experiment durch Blickkontakt gut verfolgen kann. Es wird eine (einfache) Fahrstrecke von etwa 1m eingerichtet, an der Start- und evt.

Umkehrpunkt bzw. einen Endpunkt festgelegt werden. Die Gesamtstrecke sollte maximal 2m betragen, damit auf die Verwendung eines Reflektors am Fahrzeug verzichtet werden kann. Man bedenke, dass der CBR 2<sup>TM</sup> vom fahrenden Körper während der gesamten Messdauer lückenlos ein Echo empfangen muss. Wenn uns dieser Aufbau gelingt, werden wir beinahe perfekte Graphen darstellen können.

- a) Fahrstrecke/Fahrtrichtung definieren.
- b) Die Sendekapsel des CBR 2<sup>TM</sup> (2) wird um etwa 80° nach oben geklappt.
- c) Sonde so positionieren, dass sich das Fahrzeug nachfolgend senkrecht von der Ultraschallkapsel weg bewegt.
- d) In jedem Fall sollte mit einer Uhr oder durch Zählen die gesamte für die Messung relevante Fahrtzeit vorher ermittelt werden.

Anfangsabstand CBR 2<sup>TM</sup> : 50cm

Anfangsabstand CBR 2<sup>TM</sup>: 20cm

### **Hinweise:**

Im einfachsten Fall starten wir die Messung und unmittelbar danach startet das Fahrzeug mit der Bewegung. Wenn die Masse in Relation zur Antriebskraft gering ist, wird der Beschleunigungsvorgang in den Diagrammen in DataMate kaum sichtbar sein. Die s-t-Linie beginnt nicht im Koordinatenursprung, doch das ist für die Bewegungsart ja schließlich völlig unerheblich.

Wir nutzen die Möglichkeit des Triggering. Das bedeutet, dass das LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> die Messung automatisch startet, sobald es eine Bewegung nach den vorgegebenden Kriterien registriert. Die Verfahrensweise zur Definition der Triggerwerte wird in der folgenden Durchführung im Punkt 8 beschrieben.

Wenn auf das Triggering verzichtet werden soll und die Messung per Hand gestartet wird, dann muss der Durchführungspunkt 8 übersprungen werden!

### **Durchführung:**

Es wird die Durchführung unter Verwendung des Voyage<sup>TM</sup> 200 bzw. TI-89 Titanium beschrieben. Der Aufbau ist schnell und unkompliziert. Mit dem ViewScreen<sup>TM</sup> und einem Overhead-Projektor projizieren Sie die Graphen an die Wand.


7. Versuchsaufbau mit sorgfältiger Positionierung der Geräte (s. Abb. oben).
8. Verbinden des CBR 2<sup>TM</sup> mit dem LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> über das der Sonde beiliegende Kabel.

Der CBR 2<sup>TM</sup> arbeitet digital. Wir müssen den Stecker am LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> auf der rechten Seite in einen der beiden digitalen Eingänge („Left-Hand-Stecker“) stecken.



9. Verbinden des LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> über das Link-Kabel mit dem TI-Rechner. (siehe Abbildung)
10. TI-Rechner einschalten und DataMate starten.

11. DataMate erkennt den Sensor automatisch. Sollte dies nicht der Fall sein, ziehen Sie den Left-Hand-Stecker von der Digital-Eingang am LabPro/CBL 2™ ab und stecken ihn in den anderen Eingang oder drücken Sie Quick-Setup. Spätestens jetzt führt das Gerät einen Sensor-Check durch und wird Ihre Sonde erkennen.
12. Das periodische Knacken vom Detector ist normal. Die Sonde misst jede Sekunde den aktuellen Objektabstand, der auch im Display angezeigt wird.
13. Durchlaufen Sie die folgende Setup-Routine, um DataMate auf den Messvorgang vorzubereiten!

- a.  drücken.

F1-Tools	F2-Zoom	F3-Trace	F4-ResGraph	F5-Math	F6-Draw	F7-Pen	F8-
DIG1:MOTION(M)							2.366
MODE:TIME GRAPH-5.							
1:SETUP				4:ANALYZE			
2:START				5:TOOLS			
3:GRAPH				6:QUIT			

- b. Mit  bzw.  den Eintrag MODE: auswählen

MAIN		GRD APPROX		FKT		GRAPH	
F1-Tools	F2-Zoom	F3-Trace	F4-ResGraph	F5-Math	F6-Draw	F7-Pen	F8-
CH 1:							
CH 2:							
CH 3:							
CH 4:							
DIG1:MOTION(M)							
DIG2:							
MODE:TIME GRAPH-5.							
1:OK				3:ZERO			
2:CALIBRATE				4:SAVE/LOAD			
MAIN		GRD APPROX		FKT		GRAPH	

- c. Wir wählen 2:TIME GRAPH durch Drücken von .

F1-Tools	F2-Zoom	F3-Trace	F4-ResGraph	F5-Math	F6-Draw	F7-Pen	F8-Exit
SELECT MODE							
1:LOG DATA							
2:TIME GRAPH							
3:EVENTS WITH ENTRY							
4:SINGLE POINT							
5:SELECTED EVENTS							
6:RETURN TO SETUP SCREEN							

- d. Nun geben wir die Dauer der Messintervalle und die Anzahl der Messungen ein.
- e. Der Wert „Time between samples“ steht standardmäßig auf 0.05. Dieser Wert ist für den Versuch mit den hier vorgeschlagenen Mitteln zu klein! Das Verrutschen der Schienen um wenige mm beim Anfahren und Umkehren wird den geplanten Graphenverlauf genauso beeinträchtigen wie eventuelle Vertikalbewegungen an den Schienenstößen.
- Verzichten Sie nur dann auf die Schienen, wenn

MAIN		GRD APPROX		FKT	
ENTER TIME		BETWEEN SAMPLES		IN SECONDS:	
.1		ENTER NUMBER		OF SAMPLES:	
110		MAIN		GRD APPROX	
		FKT		5/99	

- a) die Messung nur in eine Richtung erfolgen soll und

F1-Tools	F2-Zoom	F3-Trace	F4-ResGraph	F5-Math	F6-Draw	F7-Pen	F8-Exit
TIME GRAPH SETTINGS							
TIME INTERVAL:				0.1			
NUMBER OF SAMPLES:				110.			
EXPERIMENT LENGTH:				11.			
1:OK				3:ADVANCED			
2:CHANGE TIME SETTINGS							
MAIN		GRAPH PRG		FMT			

b) das Fahrzeug perfekt geradlinig fährt

14. Die Setup-Routine ist noch nicht beendet, wir müssen noch das Triggering einstellen.

- Wir drücken **[3]** für den erweiterten Modus und erhalten nebenstehende Informationen.
- Wir drücken **[3]** für CHANGE TRIGGERING
- Wir drücken **[1]**, denn ab einer gewissen (Mindest-)Entfernung soll der Messvorgang starten.
- Wir drücken **[1]** für den Fall, dass ein Grenzwert überschritten wird.

F1=	F2=	F3=	F4=	F5=	F6=	F7=	F8=
Tools	Zoom	Trace	ResGraph	Math	Draw	Pen	Plot
ADV. TIME GRAPH SETTINGS							
LIVE GRAPH: DISTANCE							
YMIN		YMAX		YSCL			
0.		6.		1.			
TRIGGERING: NONE							
1: OK							
2: CHANGE GRAPH SETTINGS							
3: CHANGE TRIGGERING							
MAIN				GRD APPROX FKT			

F1=	F2=	F3=	F4=	F5=	F6=	F7=	F8=
Tools	Zoom	Trace	ResGraph	Math	Draw	Pen	Plot
SELECT TRIGGERING							
1: DIG-DISTANCE							
2: MANUAL TRIGGER							
3: NONE							
MAIN				GRD APPROX FKT			

F1=	F2=	F3=	F4=	F5=	F6=	F7=	F8=
Tools	Zoom	Trace	ResGraph	Math	Draw	Pen	Plot
TRIGGER TYPE							
1: INCREASING							
2: DECREASING							
MAIN				GRD APPROX FKT			

- Nun müssen wir die Triggerschwelle angeben. Der Wert sollte etwa 3cm größer als der Startabstand des Fahrwagens gewählt werden.

F1=	F2=	F3=	F4=	F5=	F6=	F7=	F8=
Tools	Zoom	Trace	ResGraph	Math	Draw	Pen	Plot
TRIGGER THRESHOLD:							
.18							
MAIN				GRD APPROX FKT			

- Wir wählen **[0] [ENTER]**.  
Prestore (Vorlauf) in % gibt an, wie viele Messdaten vor dem Auslösen des Triggers gespeichert mit in der Datenliste werden sollen.

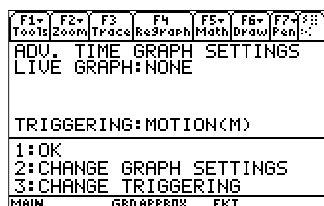
F1=	F2=	F3=	F4=	F5=	F6=	F7=	F8=
Tools	Zoom	Trace	ResGraph	Math	Draw	Pen	Plot
PRESTORE IN PERCENT:							
10							
MAIN				GRD APPROX FKT			

Für den Wert 0 beginnt der Graph im Nullpunkt.

In der Abb. wird 10 verwendet. Bei 110 totalen Datenpunkten mit 0,1s samptime ist also ein Messwertevorlauf von 11 Datenpunkten gleich 1,1 Sekunden definiert.

- g. Wir beenden die Sitzung mit

[1] - [1] - [1]



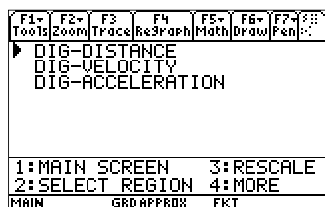
15. Endkontrolle: Alle Einstellungen fertig? Hauptbildschirm in DataMate zu sehen? Knacken der Sonde hörbar?
16. Es kann also losgehen, wir drücken [2] (Start)!  
Unser Radargerät wartet jetzt auf das Fahrzeug.
17. Wir starten das Fahrzeug. Die Hand darf nicht von den Schallimpulsen erfasst werden, denn das ergibt dann unschöne Spitzen im Diagramm.
18. Die Messung wurde erfolgreich gestartet, wenn aus dem Knackgeräusch ein „digitales Summen“ wird. Die Messung stoppt automatisch nach der vordefinierten Zeit. Trotzdem kann man das Fahrzeug nach Bedarf anhalten.  
**Hinweis:** Wenn Sie bemerken, dass die Messung nicht gestartet hat (kein „digitales Summen“, nur Stille), dann unterbrechen Sie den Versuch und ändern Sie den Abstand der Sonde vom Startpunkt.  
**Versuchsabbruch:** [STO] Taste drücken.  
**Abstände:** Der Abstand vor dem Start muss kleiner sein als die Triggerschwelle!
19. Die einzelnen Diagramme werden mit den Schülern sorgfältig interpretiert. Wir nehmen die Diagramme im Interesse des Zeitrahmens so, wie sie dargestellt werden. Eine veränderte Ansicht über den Data/Matrix-Editor muss nicht sein.

### Beispielsergebnisse

- a. DataMate fragt nach, was dargestellt werden soll.

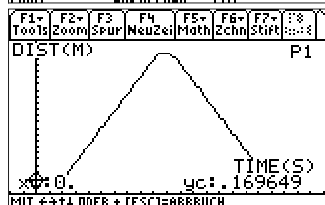
Wir treffen die Auswahl und drücken

[ENTER].

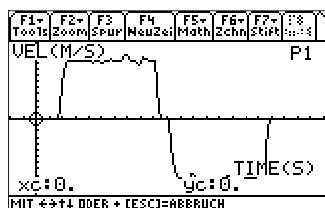


- b. Dig-distance

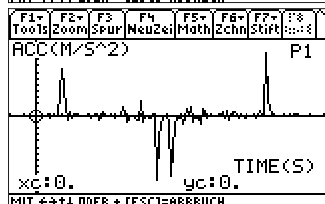
Zurück mit [ESC].



- c. Dig-velocity  
Zurück mit [ESC].



- d. Dig-acceleration  
mit deutlichen Start-, Stopp- und  
Umkehrspitzen



### Sonstige Hinweise:

- Es ist in einer Unterrichtsstunde möglich, das s-t- und das v-t- Diagramm für die Bahn zunächst nach klassischer Methode aufzunehmen, also mit Lineal und Stoppuhr und anschließend noch den hier beschriebenen Versuch vorzuführen und die Diagramme auszuwerten.  
Die vom CBR 2<sup>TM</sup> gemessene Geschwindigkeit wird mit der berechneten aus Weg- und Zeitintervall übereinstimmen.
- Je nach den Vorleistungen der Schüler wird als Erstversuch vorgeschlagen, die Bewegung nur in eine Richtung (vorwärts ~ positiv) zu registrieren.  
Abfahrt – Bewegung – Stopp.
- Positionieren Sie den CBR 2<sup>TM</sup> seitlich neben der Fahrstrecke und simulieren Sie den typischen „Blitzer“! Die Auswertung des v-t-Graphen ist dann eine Sache für die jungen Physik-Genies, die Sache an sich jedoch äußerst interessant.
- Wenn Sie die Bahn eine geneigte Ebene hinauf fahren lassen und an der Neigung starten, kann man sehr deutlich die Beschleunigungsphase erkennen.
- Unsere Erde ist von einer Lufthülle umgeben, die von uns Physikern all zu oft als störend empfunden wird. Häufig bildet die „Luftreibung“ eine der wirkungsvollsten „Ausreden“ beim Misslingen von Versuchen in der Bewegungslehre. Jeder Pilot, Luftsportler und auch Sie wissen, dass die Luft unser bester Freund ist. Beim „freien Fall“ in Luft stellt sich alsbald ein Kräftegleichgewicht zwischen Gewicht- und Viskositätskraft ein, was bei sonst konstant bleibenden Bedingungen zu einer geradlinig gleichförmigen Bewegung führt.  
Wir können das in einem weiteren (sehr einfachen) Versuch ausnutzen:  
Der Fall der Filtertüte.  
Verfolgen Sie mit dem CBR 2<sup>TM</sup> eine Filtertüte im Freien Fall!

Vorbereitungsdauer: 10 Minuten

Versuchsdauer: etwa 10 Minuten

# 14. Dehnung von Gummi

Klassenstufe:	7, 8, 9
Versuchsart:	halbquantitativ; quantitativ; DE; SE
Ziel:	Demonstration des Hookschen Gesetzes für eine Feder im Gegensatz zum Zusammenhang F-s eines Gummibandes

**Aufgabe:** Es soll der Zusammenhang zwischen Zugweg und wirksamer Zugkraft bei einem Gummiband demonstriert werden. Welcher Unterschied besteht zum Hookschen Gesetz für Stahlfedern?

## Geräte:

- LabPro/CBL 2™
- TI-Rechner
- CBR 2™
- Dual Range Force Sensor
- Gummiband oder „Schnippgummi“
- weiche Stahlfeder
- optional Reflektor

**Tipp:** Legen Sie die Hand in den Deckel des Voyage™ 200 und fassen Sie den Deckelrand mit dem Daumen



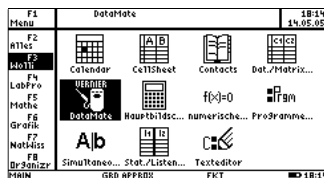
## Vorbereitung:

1. Wir bauen die Experimentieranordnung wie in der oberen Abbildung gezeigt vertikal oder auch horizontal auf. Dazu befestigen wir den Kraftsensor an geeignetem Stativmaterial. Der vertikale Aufbau wird empfohlen.
2. Die Geräte werden aufeinander ausgerichtet. Es muss gewährleistet sein, dass man am Kraftsensor exakt senkrecht ziehen und die Hand (Reflektor) direkt über dem Schallgeber des CBR 2™ bewegen kann.
3. Wir wählen einen kleinen Abstand und nutzen aus, dass man sich dem CBR 2™ bis auf 20cm nähern kann.





- Der Kraftsensor wird am CH1 und das CBR 2<sup>TM</sup> am Digi/Sonic des LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> verbunden. LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> und TI-Rechner müssen spätestens jetzt miteinander über das Link-Kabel verbunden werden.
- Starten des Programms datamate()



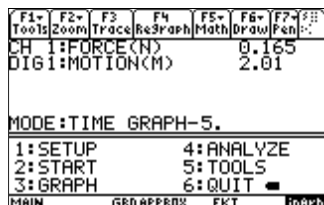
### Durchführung:

Man sollte mit einer weichen Stahlfeder beginnen und den Versuch mit dem Gummi im Anschluss demonstrieren (lassen).

- Wir prüfen die Funktionsweise der Sensoren.  
DataMate muss die Sensoren automatisch erkennen und Messwerte im Grundzustand anzeigen.

Unabhängig von der Ausrichtung der Anordnung müssen die Startbedingungen für den Kraftsensor Null gesetzt werden. Das Null setzen geschieht im vertikalen Fall bei angehängter Feder bzw. angehängtem Gummiband wie folgt:

- Wir drücken die [1] für Setup.
- Wir drücken die [3] für Zero.



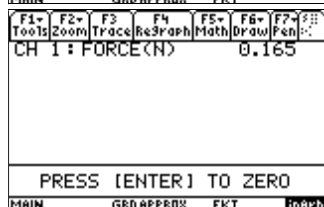
- Wir drücken die [1] für Force (N) und beobachten das Verhalten der Messwerte.



- Im passenden Moment ... drücken wir [ENTER].  
Der Startwert von F ist jetzt Null gesetzt.

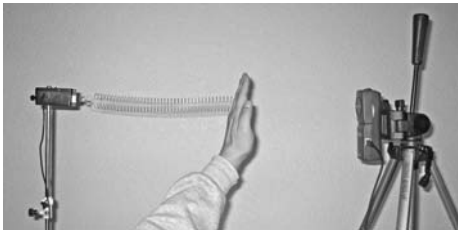


- Die von DataMate vordefinierten Werte für den TimeGraph können wir beibehalten:  
Time between samples: 0,05s  
Number of samples: 100  
Time: 5s

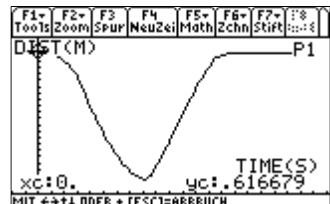


Die Versuchsdauer von 5s reicht aus, um den Gummi (die Feder) ein Mal zu dehnen und wieder zu entspannen.

7. Wir fassen den Reflektor wie in der Geräteliste beschrieben und greifen mit einem freien Finger in den Gummi bzw. die Öse der Feder.
8. Mit **[2]** wird der Versuch gestartet.
9. Das Gummiband / die Feder wird gleichmäßig und gerade auf den CBR 2™ zubewegt und sodann gleich wieder entspannt. Wenn die Messdauer noch nicht verstrichen ist, hält man die Hand im Endzustand ruhig. Mehrmaliges Dehnen und Entspannen in einer Versuchsreihe wird nicht empfohlen.

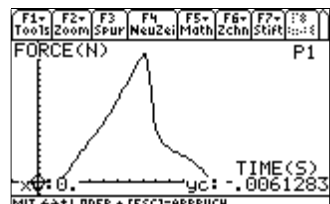


10. Nach kurzer Rechendauer fragt DataMate nach, was wir sehen wollen. Wir kontrollieren zunächst das Distance-Time-Diagramm. Es sollte keine Spitzen enthalten, denn dann wäre das Ultraschallsignal am Reflektor vorbeigelaufen.



11. Mit **[ESC]** verlassen wir die Ansicht und können weitere Graphen auswählen. Die Darstellung von velocity und acceleration macht hier jedoch keinen Sinn!

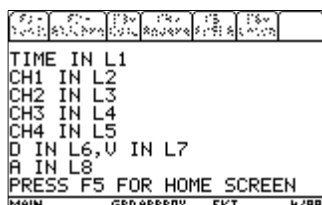
12. Jetzt kontrollieren wir den zeitlichen Verlauf der Kraft, indem wir Force (N) auswählen und **[ENTER]** drücken. Die neben stehende Abbildung gehört zur gleichen Messreihe wie Abb. Punkt 10 und zeigt die Kraft eines dünnen Gummibandes wie im Bild neben der Geräteliste. Die Darstellung ist wenig tauglich, außer dass man erkennt, wie die Zugkraft beim Entspannen stärker abnimmt als sie beim Dehnen zunahm.



Wenn nur analoge Sensoren verwendet werden, dann kann man die Größe von CH1 gegenüber einer anderen Größe darstellen lassen. Dieses Feature funktioniert aber leider nicht, wenn ein analoger und ein digitaler Sensor verwendet werden, wie in unserem Fall.

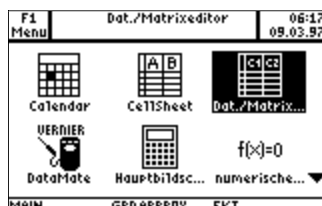
Abhilfe kann man am TI-Rechner nur schaffen, indem man das Programm DataMate verlässt und die gesammelten Daten mit dem Data/Matrix-Editor weiterverarbeitet und darstellen lässt. Das ist nicht schwer und wird im nachfolgenden Kapitel „Auswertung“ beschrieben.

- Wir drücken  $\boxed{\text{ESC}} \rightarrow \boxed{1} \rightarrow \boxed{6}$ , um das Programm zu verlassen. Sofort erhalten wir eine Information darüber, in welchen Listen welche Daten abgelegt sind:  
 Kraft (CH1) in ..... L2  
 Abstand (Distance) in... L6  
 Velocity in ..... L7  
 Acceleration in ..... L8  
 Zum Abschluss drücken wir **F5**.

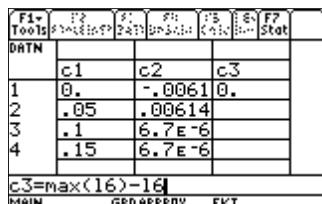


### Auswertung:

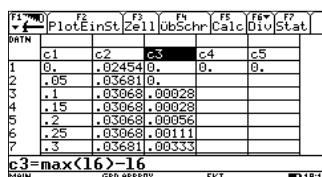
- Wir starten den Data/Matrix-Editor. Dazu drückt man die Taste  $\boxed{\text{APPS}}$  und wählt dieses Programm aus.
- Die Nachfrage, welche Datei geöffnet werden soll, beantworten wir mit „aktuell...“



- Jetzt sehen wir je nach verwendetem Rechnermodell die ersten drei (TI-89 Titanium) oder fünf (Voyage™ 200) Spalten. c3, c4 und c5 enthalten nur den einen Wert Null.  
 Das liegt daran, dass L6, L7 und L8 in c6, c7 und c8 abgelegt sind. Um die je 100 Werte zu finden müssen wir weiter nach rechts klicken.



Wir markieren „c3“, denn wir wollen jetzt in c3 zu jedem Messwert an Stelle des echten Abstandes der Hand vom CBR 2™ (die Werte stehen in c6) den tatsächlichen Zugweg bzw. die Elongation eingetragen haben. Der Zugweg errechnet sich aus:



größter gemessener Abstand – Abstand zu einem Messpunkt

Wir geben daher ein:

$\max(16) - 16$  [ENTER].

Sogleich wird in c3 der effektive Zugweg pro Messwert in den Zellen von c3 angezeigt.

**Hinweis:** Wenn eine komplette numerische Auswertung erfolgen soll, dann empfiehlt sich auch das Verschieben des Kraftbeginns in den Nullpunkt:  $c2 - \min(c2) \rightarrow c4$

4. Jetzt wechseln wir in den y-Editor [Y=]. Wir markieren nach und nach alle Einträge, vor denen ein Haken steht und drücken jeweils [F4] zum Deaktivieren. Nur der Eintrag „Plot 1:“ soll aktiviert bleiben. Markieren Sie „Plot 1:“ → [ENTER].

Hier können wir in der Kopfzeile übrigens auch nachlesen, wo die Inhalte der Spalten c1, c2, c3 usw. abgelegt sind: nämlich in **main\cbldata**.



5. Damit die Graphik gut aussieht, stellen Sie ein:

Plot – Typ...xyLinie→

Zeichen:.....Punkt→

x.....c3 (Weg bzw. Elongation)

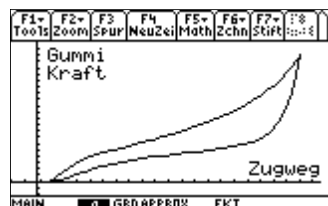
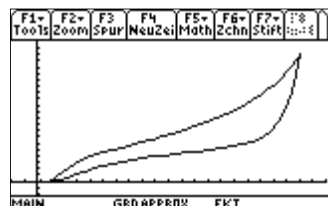
y.....c2 (Kraft) (evt. c4)

Mit Häufigk. u. Klassen? NEIN→

Wir bestätigen mit [ENTER].



6. Gleich haben wir das Resultat! Wir wechseln mit [GRAPH] in „Diagramm“ bzw. „Graph“, dem Graphikeditor. Das Bild wird automatisch optimiert durch Drücken [F2] - [9]. (Zoom → ZoomDat). „Zeichne den Graphen entsprechend der Zahlenwerte passend in das Fenster ein.“ Im Window können wir unser Experiment verfolgen. Die obere Graphenlinie zeichnet sich nach rechts, das ist der Dehneweg. Die untere Graphenlinie zeichnet sich nach links, das ist der Entspannungsweg. Es entsteht eine geschlossene Fläche, eine Hysteresiskurve, deren Anstieg auf dem Ast der Dehnung nach hinten hin zunimmt. Die Zunahme wächst schnell und schließlich wird der Gummi bei einer Grenzbelastung  $F_m$  reißen.

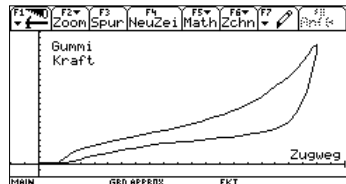


Ermitteln Sie  $F_m$  für einen Haushaltsgummi und stellen Sie den Reißvorgang in einem geeigneten Diagramm dar!

7. Zum Abschluss kann man mit  $\boxed{F7}$  -  $\boxed{7}$  noch Text in die Graphik schreiben, z.B. die Achsen beschriften.

### **Für Gummibänder lässt sich also ableiten:**

- Beim Auseinanderziehen ist bei gleicher Elongation die wirksame Kraft größer als beim Kontrahieren. Die Ursache liegt in der materialinternen Verformung der Molekülketten.
- Nach einer gewissen „Erholungsphase“ kann der Gummi je nach vorheriger Belastung seine ursprüngliche Kraft wieder entfalten.
- Der Unterschied zwischen der oberen und der unteren Kurve ist umso größer [geringer], je schneller [langsamer] der Versuch durchgeführt wird.
- Die von beiden Graphen eingeschlossene Fläche kennzeichnet den mechanischen Energieverlust während des Vorgangs. Die Fläche unter der oberen Kurve entspricht der zum Dehnen aufgewendeten Energie und die Fläche unter der unteren Kurve entspricht der beim Kontrahieren zurückgegebenen Energie. Diese Energie kann direkt aus den Messwerten berechnet werden. Dazu sollte man den (linken) Anfangspunkt der Hysteresis in den Koordinatenursprung verschieben.



### **Verwendung einer Stahlfeder (Spiralausführung):**

Wenn man eine Stahlfeder am vertikalen Versuchsaufbau verwendet, erhält man eine fast perfekte Gerade, genau wie die Theorie es voraussagt. Auf dem Display beobachtet man sehr eindrucksvoll, wie sich die Gerade beim Dehnen nach rechts und beim Entspannen wieder nach links zeichnet. Hier ist kein Energieverlust messbar.

### **Sonstige Hinweise, Varianten:**

- a) Wie im Bild zum Durchführungspunkt 8 zu erkennen, kann man den CBR 2<sup>TM</sup> auch an einem Fotostativ befestigen. Hier wurden genormte Gewinde verwendet, wer hätte das gedacht! Somit ergeben sich noch mehr Einsatzmöglichkeiten des CBR 2<sup>TM</sup>, auch wenn gerade mal keine Klemme passt oder die Labor-Stativkonstruktion zu aufwändig wäre.



B) Mit dem Programm **TI Connect™** wird das Unterprogramm **TI ScreenCapture** geliefert, mit dem Sie ScreenShots als BMP speichern und in anderen Programmen beliebig weiter verarbeiten können. Legen Sie sich für solche ScreenShots ein oder mehrere geeignete Verzeichnisse an. Im Interesse des Speicherbedarfs sollten solche Graphiken (bestehen nur aus zwei Farben) als GIF abgespeichert werden. Der Platzbedarf reduziert sich auf etwa 1/50. Wählen Sie als Bildformat **nicht JPG**, denn dann werden die einzelnen schwarzen Punkte unscharf.

Vorbereitungsdauer: 10 Minuten	Versuchsdauer: etwa 2 Minuten + Auswertung.
--------------------------------	--

# 15. Das Magnetfeld der Erde

Klassenstufe	7; 9, 11
Versuchsart:	halbquantitativ, quantitativ
Ziele	Bestimmung der geographischen Richtung; Horizontalkomponente der Flussdichte der Erde, Inklination, Flussdichte

**Aufgabe:** Kann man den Magnetfeld – Sensor MG-BTA als Kompass verwenden?  
Welchen Wert hat die Horizontalkomponente der Flussdichte des Erdfeldes und wie groß ist der Inklinationswinkel?

## Geräte:

- LabPro/CBL 2<sup>TM</sup>
- TI-Rechner
- Magnetic Field Sensor  
**MG-BTA**
- Winkelmesser
- Lineal
- Klebeband



## Vorbereitung:

- Das LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> wird mit vier geladenen Akkus oder LR6-Batterien bestückt. Alternativ verwenden wir das zugehörige Netzteil.
- MG-BTA** an **CH1** des LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> anschließen.
- An der Hall-Sonde stellen wir die Verstärkungsrate auf „**High x 200**“.
- Verbinden des LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> mit dem TI-Rechner.
- Einschalten des Rechners und starten von DataMate.
- Aus der Arbeitsumgebung sollten alle Gegenstände aus Eisen und alle Magnete entfernt werden, weil diese Dinge nachfolgend ernste Fehlerquellen darstellen würden.

## Erwartungswerte:

Die Horizontalkomponente der Flussdichte beträgt in Deutschland etwa **20 $\mu$ T**.  
Der Inklinationswinkel beträgt rund **65°**, die Flussdichte liegt bei **48 $\mu$ T**.

## **Vorbetrachtung:**

### **Begriff Deklination:**

Der Winkel, welcher die Abweichung zwischen dem geographischen Nordpol und dem magnetischen Südpol der Erde beschreibt.  
Im Jahr 2000 betrug die Deklination in München  $1,1^\circ$  West.

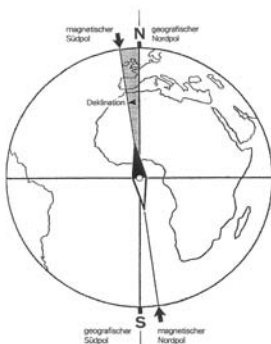
### **Begriff Inklination:**

Neigungswinkel des Erdfeldes zur Horizontalen.  
Der Inklinationswinkel beträgt in Deutschland näherungsweise  $65^\circ$ .

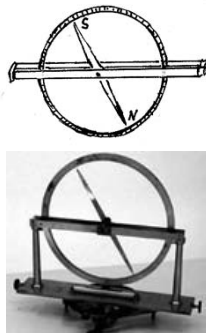
### **Magnetfeld der Erde:**

Das Magnetfeld der Erde gleicht in erster Näherung dem eines Stabmagneten. Auf die Theorien seiner Entstehung soll hier nicht eingegangen werden.

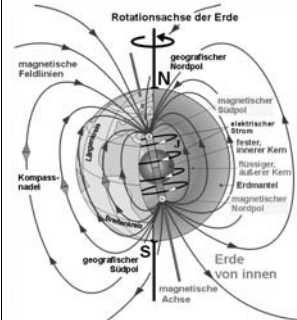
**Abb.1:** Deklination



**Abb.2:** Inklinatorium nach Gauß



**Abb.3:** Magnetfeld der Erde

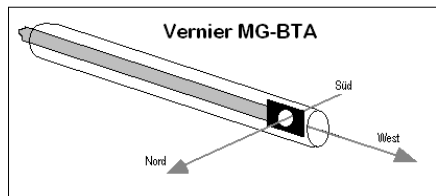


## **Durchführung:**

### **Teil 1: Himmelsrichtung und Horizontalkomponente**

(Handversuch)

1. Man hält die Sonden-Längsachse exakt waagrecht. Die Sondenspitze ist eine rechteckige Fläche, die mit einem weißen Punkt markiert ist. Diese Fläche wird senkrecht ausgerichtet, der Punkt soll dann vom Experimentator aus gesehen nach rechts zeigen.
2. Wir beginnen in einer beliebigen Haltung bzw. Zeigerichtung.
3. Der Messwert, der sich etwa pro Sekunde ein Mal aktualisiert, wird beobachtet.
4. Nun dreht man **langsam** (!) die Längsachse der Sonde in einer horizontalen Ebene, wie der Sekundenzeiger einer Uhr, die auf dem Fußboden liegt.





5. Bestenfalls hält man die Sonde gerade vor sich und drehen sich mit. Es wird ein Messwerte-Maximum erreicht (**rund 0,02mT**), wenn die Sonde wie in der Abbildung von Punkt 1 ausgerichtet ist.
6. Eine Kontrolle mit dem Kompass wird ergeben, dass die Sonde im Maximum exakt in Ost-West-Richtung gehalten wird.

### **Alternativen, Anregungen**

Natürlich können Sie die Horizontalkomponente in Abhängigkeit von der (Längs-) Ausrichtung der Sonde aufnehmen (lassen). Dazu verwenden Sie in **DataMate** die Setup-Komponente „**Events with entry**“.

Gehen Sie wie folgt beschrieben vor.

### Teil 1a: Eine Umdrehung ausmessen

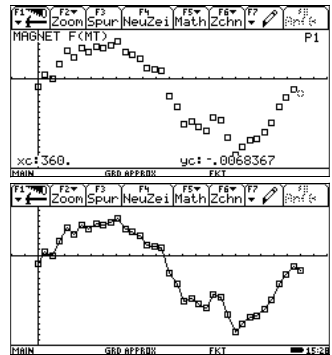
*Hinweis: Dieser Versuch ist weniger als Lehrer-Demonstrations-Versuch geeignet. Zeigen Sie den Versuch in einer AG oder lassen Sie ihn von Schülern eines Leistungskurses mit anschließender kritischer Fehlerbetrachtung durchführen. Für die eigentliche Messarbeit sind mindestens 10 Minuten und hohe Konzentration bei der Bedienung des Programms DataMate einzuplanen.*

1. Alle Kabel und die Sonde müssen gesteckt sein, die Stromversorgung des LabPro/CBL 2™ und TI-Rechners sind sicher zu stellen.
2. Starten von DataMate.
3. Wir warten, bis der TI-Rechner seine Kommunikation mit dem LabPro/CBL 2™ abgeschlossen hat; es wird dann ein gültiger Flussdichtewert in mT angezeigt.
4. [1] drücken (SETUP)
5. Mit ☺ bzw. ☹ wird der Eintrag „MODE:“ ausgewählt
6. [3] drücken (Events with entry)
7. [1] für OK zur Bestätigung drücken
  - Legen Sie einen Winkelmesser auf eine horizontale, unmagnetische Oberfläche und, das ist ganz wichtig, *fixieren* Sie diesen (Klebeband).
  - Richten Sie die Sonde auf 0° aus, gemessen vom Schaft bis zur Spitze
  - Der Versuch beginnt: [2] (START) drücken
    1. Wenn ein signifikanter Wert angezeigt wird, drücken wir [ENTER].
    2. Unter „ENTER VALUE“ trägt man dann den Winkel ein, der zu diesem Messwert gehört.
    3. goto 1.
  - Sollte ein Messwert „nicht gefallen“, können Sie dem Winkel einen weiteren Messwert zuordnen, indem Sie den Messwert mit [ENTER] bestätigen und unter ENTER VALUE den zugehörigen Winkel eingeben.
  - Wenn 360° oder auch 180° hinreichend genau durchlaufen wurden (etwa in 10°-Schritten), kann man den Versuch durch Drücken von [STO▶] beenden.

Beispielerggebnis:

Messung in  $10^\circ$ -Schritten mit Messfehler bei  $250^\circ$  und  $260^\circ$

Darstellung in DataMate.



Nach Verlassen des Programms und Graphdefinition im Data/Matrix-Editor werden die Messwerte durch eine x-y-Linie dargestellt. Man erkennt am Maximum bzw. Minimum der Kurve die Ausrichtung (Ost-West) und die Horizontalkomponente. Hier ist etwas Fingerspitzengefühl gefragt. Schon ein leichtes Drehen der Sonde um die Längsachse führt rasch zu deutlichen Messfehlern. Es ist darauf zu achten, dass die vordere Spitze der Sonde, die durchflutete Fläche, immer exakt senkrecht steht.

**Tipp:** Mit einem robusten (eisen- und magnetfreien) Uhrwerk ist es bei Vertikalausrichtung der Uhrzeigerachse sogar möglich, einen Live-Graph aufnehmen zu lassen. Sie dürfen dann eine recht saubere Sinus-Form erwarten. Stellen Sie die Time-Graph-Settings auf etwa 4 Samples pro min und messen Sie eine Stunde lang. Fixieren Sie den Sensor sorgfältig an der Uhrzeiger-Achse!  
{Time between samples: 15s (10s); Number of samples: 240 (360)}

Zurück zum Versuch mit den einzelnen Eingaben.

- Nach Verlassen von DataMate ([F6] - [F5]), kann man die Messwerte im **Data/Matrix-Editor** erneut aufrufen (einfach starten, aktuelle Datei öffnen lassen) und bearbeiten. Dies ist insbesondere für die graphische Darstellung von Nutzen.
- Auch den **Statist./List-Editor** kann man verwenden, das geht dann so:

1. Über [APPS] wird der Statist./List-Editor geöffnet.
2. Unvermittelt gibt man ein: „11“ - [ENTER]  
In der ersten Spalte erscheinen die Eingabewerte für die Winkel.
3. Jetzt klicken wir in den Kopf der zweiten Spalte und schreiben „12“ - [ENTER]. Jetzt stehen in Spalte 2 die Messwerte der Flussdichten in mT.

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Tools	Gratik	Liste	Rechn	Wkt	Tests	Konf	I
11							
0.							
10.							
20.							
30.							
40.							
50.							
60.							
70.							
Name=12							
MAIN	GED. APPEND	FKT	22.1				15:28
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Tools	Gratik	Liste	Rechn	Wkt	Tests	Konf	I
11	12						
0.	-.00372						
10.	-.00117						
20.	-.0004						
30.	.00645						
40.	.01192						
50.	.00879						
60.	.01329						
70.	.01153						
12[11]=-.0037109							
MAIN	GED. APPEND	FKT	22.2				15:28

- Zur Einstellung der Darstellung im Diagramm klicken wir

[F2] - [ENTER]. Es erscheint dieses Bild:



- Definition der durchgehenden Linie im Statist./List-Editor:

[F1] - (x-y-Polygonzug) - [ENTER] - [F5]

Mit F5 wird übrigens das Diagramm an den Bildschirm angepasst.

Die Sache mit dem einzelnen Bestätigen von Messwerten (Events with entry) erscheint zu kompliziert?

Ist es nicht! Gewiss muss man sich an diese Art der Messwerteaufnahme erst gewöhnen, doch bereits nach wenigen Experimenten werden Sie damit keine Probleme mehr haben.

Es gibt aber noch eine *Alternative*.

Wem es gelingt, gleichmäßig bis 10 zu zählen und dabei ruckelfrei die Hand um 360° zu drehen, der kann die folgende Variante probieren.

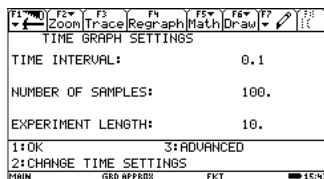
Daraus lässt sich auch ein Wettbewerb im Unterricht machen, wenn Zeit dazu ist.

(Also vergessen Sie's.):

Der rotierende Experimentator...

### Teil 1b: Lehrer-Rotations-Versuch

- Wir starten DataMate, nachdem alle Kabelverbindungen hergestellt wurden.
- Wir wählen [1] - MODE klicken - [ENTER] - [2] - [2]  
Eingabe: Time between samples: **0.1** - [ENTER]  
Eingabe: Number samples: **100** - [ENTER] of
- Wir drücken [1] - [1].

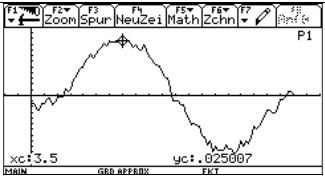
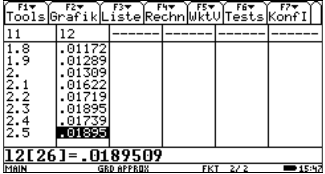


- Nun halten wir den Sondenstab horizontal in der Hand, die eigentliche Messfläche (mit dem weißen Punkt) muss perfekt senkrecht stehen. Wohin der Punkt zeigt, ist egal.
- [2] (START) drücken und den Sondenstab nach Messungsstart in einer horizontalen Ebene gleichmäßig mit der Hand in einer horizontalen Ebene drehen. Dabei zählen wir gedanklich im Sekundentakt bis 10.  
Bei „10“ sollte man genau eine Umdrehung durchlaufen haben.

6. Ein Doppelpiep mittlerer Frequenz signalisiert das Ende der Messwerteaufnahme, auf dem Display erscheint ein Live-Graph.

7. Die Extrema verraten die gesuchte Horizontalkomponente und die Ost-West-Richtung.  
Hier beträgt der Spitzenwert 0,025mT. Was will man mehr?

8. Auch bei diesem Vorgehen ist es möglich, mit dem Data/Matrix-Editor weiter zu arbeiten.

### Teil 1c: Auf dem Rummelplatz

Wir rüsten uns mit der DataVest (Order Code DV), einem TI-89 Titanium und dem LabPro/CBL 2™ aus. Mit geladenen Akkus und der MG-BTA starten wir zum nächsten Rummelplatz. Dort suchen wir uns ein Karussell und messen die Umlaufzeit. Im Setup stellt man den Modus Time-Graph so ein, dass man für mindestens eine Umdrehung Messwerte aufnehmen kann. Nun fahren wir vergnügt mit und halten die Sonde horizontal vor uns oder mit ausgestrecktem Arm radial.

### **Was für ein Spaß!**

Reicht das immer noch nicht? Dann lassen Sie sich bei dem Versuch mit einer DV-Kamera filmen. Erstellen Sie aus dem Film ein Movie und synchronisieren Sie es im PC-Programm LoggerPro mit der Messkurve. Die Vorgehensweise der Synchronisierung von Movie (\*.mov) und Messdiagramm entnehmen Sie der englischsprachigen Anleitung von LoggerPro.

### Teil 2: Der Inklinationswinkel

Es sind noch alle Kabel gesteckt, die Akkus im LabPro/CBL 2™ sind noch nicht verbraucht. Mit wenigen Handgriffen werden sowohl der Absolutwert als auch der Winkel gefunden.

**Hinweis: In den nachfolgenden Bildern ist ein Kompass zu sehen. Der dient hier nur zur Anschauung und spielt Fotomodell. Im Versuch stellen Sie ihn bitte weg, damit er die Messwerte nicht verfälscht!**

1. Mit einem Kompass stellen wir die Nord-Süd-Richtung fest, falls diese aus dem vorangegangenen Versuch nicht auf dem Versuchstisch markiert wurde.

*Die Sonde zeigt vertikal nach oben, der weiße Punkt zeigt zunächst nach Norden.*

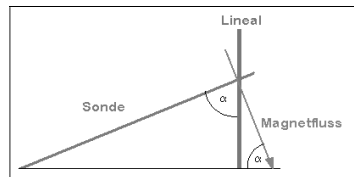
(Sie lesen am Display wieder die Horizontalkomponente ab.)



2. Jetzt drehen wir den Sondenstab langsam um den Auflagepunkt in Richtung Norden und beobachten die Messwerte.
3. Wir suchen das Flussdichte-Maximum! Es liegt bei 45-48μT.
4. Wir messen den Neigungswinkel zur Horizontalen.

5. Besser als das Messen mit dem Winkelmesser ist die Anwendung des Pythagoras in der Trivialgeometrie:
  - a. Wir messen vor dem Versuch die Sondenlänge.
  - b. Wir messen im Maximum die Höhe der Sondenspitze über dem Tisch. Achten Sie auf die Lage der Null am Lineal!
  - c. Der Inklinationswinkel ist der Winkel, den das Lineal mit dem Sondenstab bildet.
  - d. Berechnung des Winkels:

$$\alpha_{\text{ink}} = \cos^{-1} \left( \frac{\text{Höhe der Spitze}}{\text{Länge der Sonde}} \right)$$



6. Nach Beenden der Messungen drehen wir die Sonde um 180° um ihre Längsachse. (Der weiße Punkt soll in entgegengesetzte Richtung zeigen.)
7. Wir führen die gesamte Messreihe noch ein- oder mehrmals durch und bilden den Mittelwert. (Der weiße Punkt zeigt zunächst nach Süden, man klappt den Stab dann in Richtung Norden.)



### **Auswertung:**

Die Ergebnissenauigkeiten werden gesteigert, wenn jede Messung mit beiden Zeigerrichtungen des weißen Punktes durchgeführt und die Messbeträge gemittelt werden.

Die der Literatur entnommenen Erwartungswerte können ohne jeglichen Aufwand mit der **MG-BTA** nachvollzogen werden. In Gera/Thüringen wurde gemessen:

1. Horizontalkomponente  $B_H = 23 \mu\text{T}$
2. Gesamtmagnetfluss  $B = 47,4 \mu\text{T}$
3. Inklinationswinkel  $\alpha = 64^\circ$

Vorbereitungsdauer: 3 Minuten	Versuchsdauer: etwa 5 Minuten
-------------------------------	-------------------------------

# 16. Magnetischer Gummi

Klassenstufe:	9; 11 GF und LF
Versuchsart:	halbquantitativ; qualitativ, Demonstrationsversuch
Ziel:	Demonstration der magnetischen Wirkung von Magnetgummi

**Aufgabe:** Wie funktioniert dünner Magnetgummi, wie er z.B. für Werbung an Autos oder an der Kühlschranktür Verwendung findet?

## Geräte

- LabPro/CBL 2™
- TI-Rechner
- ein Stückchen Magnetgummi
- Magnetic Field Sensor  
**MG-BTA**



## Vorbereitung:

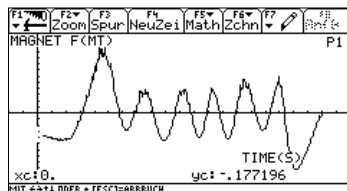
1. Die Hallsonde wird an **CH1** des LabPro/CBL 2™ angeschlossen.
2. Am Kippschalter die Amplifikation auf **Low x10** stellen.
3. Das spannungsversorgte LabPro/CBL 2™ wird mit dem TI-Rechner verbunden.
4. Starten von DataMate.

## Durchführung:

1. Setup von DataMate (Drücken von **1**) stellen wir ein Messintervall von 0,02s (auch 0,01s) bei einer Messdauer von 10s ein:  
**1** - **⊙** - **ENTER** - **2** - **2**  
**0** **0** **2** - **ENTER** - **5** **0** **0** - **ENTER**  
**1** - **1**. Jetzt sind wir wieder im Hauptbildschirm.
2. Wir müssen die Pol-Linien feststellen (evt. zweiter Gummi nötig). (s. Auswertung)
3. Nun stellen oder legen wir die Sonde auf die Gummifläche und halten diese. Dabei nicht aufdrücken. Ein Fixieren mit Stativmaterial kann nützlich sein. (Abb.)
4. Nun müssen wir einen Nullpunkt für die Flussdichte (Zero) setzen:  
**1** - **3** - **1** - **ENTER**
5. Konzentration! Und... **2** für Start.

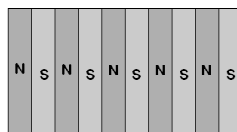


- Wir ziehen den Gummi **langsam** und gleichmäßig unter der Sonde durch. So erhalten wir im LiveGraph-Modus eine Art Sinuslinie, wenn die Bewegungsrichtung (Zugrichtung senkrecht zu Pollinien) gestimmt hat.
- Wir wiederholen den Versuch so oft, bis sich ein ansprechender Graph ergibt. Nur wenn man eine gleichmäßige und langsame Relativbewegung vornimmt, wird der Graph gleichmäßig und symmetrisch wirken.



### Auswertung:

Bei diesem Versuch geht es um den technischen Aufbau der Magnetgummis. Die kleinen witzigen Gummipfättchen, die unsere Kühlschranksüren zieren oder mit Werbeslogan an Autos kleben, eignen sich hervorragend zu Induktionsversuchen, wenn man sie in der richtigen Richtung über einen elektrischen Leiter oder eine Spulenöffnung zieht. Es ist nicht so, dass auf der Oberseite der Nordpol und auf der Unterseite der Südpol ist. Kleben Sie doch mal zwei solcher Scheiben aneinander und ziehen Sie dann die Flächen aufeinander, da fängt das lustig an zu rubbeln. Ursache dafür ist der streifenförmige Aufbau. Schmale magnetische Streifen liegen aneinander. Die magnetischen Feldlinien verlaufen wie Wellpappe. Die Breite der Streifen kann durch Abstandsmessung im Diagramm ermittelt werden. Die Feldstärke der einzelnen Bereiche lesen Sie nach der Messung im Diagramm ab. Beachten Sie dabei, dass die Sonde in etwa 5mm Abstand von der Polfläche geführt wird.



### Sonstige Hinweise, Varianten:

Sie können verschiedene Gummiarten miteinander vergleichen und auf die Stärke der einzelnen Magnete eingehen. Messen Sie dazu die Randbereiche aus! Ziehen Sie den Gummi über die Öffnung einer schmalen Spule oder verwenden Sie einen Kern mit keilförmiger Verjüngung, z.B. von dem Waltenhofschens Pendel. Messen Sie die Induktionsspannung. Sie haben damit ein Modell für die Funktionsweise des Tonbandgerätes. Ziehen Sie den Gummi über einen Horizontal gelegten Draht und prüfen Sie die Induktionsspannung.

Vorbereitungsdauer: 3 Minuten

Versuchsdauer: etwa 5 Minuten

# 17. Elektromagnetische Induktion

Klassenstufe	11 GF und LF
Versuchsart:	qualitativ; halbquantitativ; Demonstrationsversuch
Ziele	Demonstration des Zusammenhangs zwischen der Bewegung eines Magneten relativ zur Spule und der Induktionsspannung

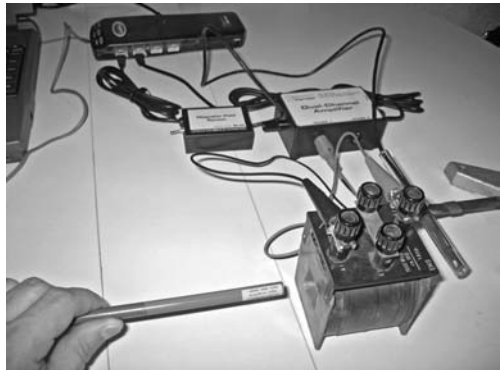
**Aufgabe:** Es soll anschaulich der Zusammenhang zwischen Flussdichteänderung und der resultierenden Induktionsspannung demonstriert werden.

## **Vorbemerkung:**

Der Versuch wird mit LoggerPro am PC durchgeführt. Bei Verwendung eines TI-Rechners mit DataMate ergibt sich die gleiche Durchführungs- und Dimensionierungsweise.

## **Geräte:**

- LabPro/CBL 2™, Computer oder TI-Rechner
- eine Spule mit 1500 Windungen
- Stabmagnet (bzw. Stabmagnetenbündel)
- Stativmaterial mit Reagenzglashalter
- Magnetic Field Sensor **MG-BTA**
- Current & Voltage Probe System **CV-BTA**  
oder die Voltage-Probe Kabel (**VP-BTA**), die Sie mit dem LabPro als Zubehör erhalten haben.



## **Vorbereitung; Hinweise zur Dimensionierung:**

1. **Achtung!** Für die Voltage-Probes gilt:  $U_{\max} = \pm 6V$  !!!
2. Wir verbinden das LabPro über das mitgelieferte USB-Kabel oder das serielle Kabel mit dem Computer und stellen die Stromversorgung des LabPro sicher.
3. Die Hallsonde **MG-BTA** wird an **CH1** angeschlossen und die Verstärkungsrate auf „**Low x10**“ gestellt.
4. Nun verbinden wir den **Dual-Channel Amplifier** mit **CH2**.  
Der **Stecker 1** der Voltage-Probe kommt an die **Buchse 1**.



5. Die Krokodil-Klemmen der Messleitung werden mit den Anschlüssen der Spule verbunden.
6. Man kann auch den mit dem LabPro/CBL 2™ mitgelieferten Spannungssensor **VP-BTA** (das ist nur ein Kabel mit zwei Anschlüssen rot/schwarz) verwenden. Dieser Spannungssensor ist mit zwei kleinen Klemmen ausgestattet, die Sie durch Druck von hinten (wie bei einem Kugelschreiber) ausfahren können. Schieben Sie die Haken heraus und klemmen Sie diese unter den Schraubanschluss der verwendeten Spule. Wenn Ihre Spule nur Bananenbuchsen hat, dann nehmen Sie zwei kurze Experimentierkabel zu Hilfe, an deren freien Ende dann die Haken der Sonde angeklemt werden können.

*Positionieren der Sonde:*

Ein vertikal ausgerichteter Stativstab auf einem flachen Stativfuß erhält noch eine Kreuzmuffe. In diese wird der Reagenzglashalter horizontal gesteckt, welcher unsere Hall-Sonde aufnimmt. Die Abbildung zeigt, wie die Hall-Sonde vor der Spulenöffnung positioniert wird. Achten Sie auf Höhe, den Abstand und die leichte Neigung der Sondenfläche! Die MG-BTA ist so zu drehen, dass der weiße Punkt einem Nordpol (oder umgekehrt) zugewandt ist. Bei der Messung sollte die Sondenfläche senkrecht vom Feld durchflossen werden, daher der Drehwinkel.

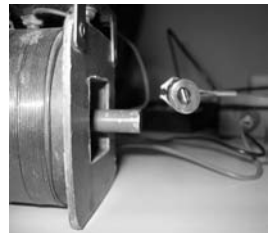


Abb.: Positionierung der Sonde

Sie sollten die Kabelbinder der Sensoren nicht vollständig entfernen. Stattdessen öffnen Sie diese und nehmen zwei bis drei Windungen des Messkabels heraus. Dann binden Sie die Kabel wieder sorgfältig zusammen. Das hilft, den Überblick zu bewahren und den Auf- und Abbau der Versuche einfacher zu gestalten. Wenn ein Versuchsaufbau schön aussieht, behält man ihn besser in Erinnerung. Die folgenden Abbildungen zeigen mögliche Versuchsaufbauten in unterschiedlichen Konfigurationen.



Abb.: Benutzung des CV-BTA:  
Eine Unmenge Kabel könnte störend wirken.

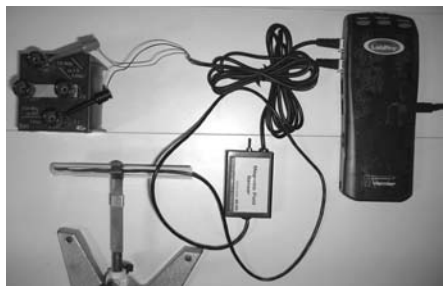


Abb.: Benutzung der Single-Voltage-Probe VP-BTA:  
Einfacher geht es nicht.

Beachten Sie bei Verwendung der Voltage-Probes die maximal zulässige Spannung von 6V.

Rotes Kabel/ Roter Anschluss: **Pluspol**;

Schwarzes Kabel/ Schwarzer Anschluss: **Minuspol**

Auflösung der Hall-Sonde: In Stellung low:  $\pm 6,4\text{mT}$

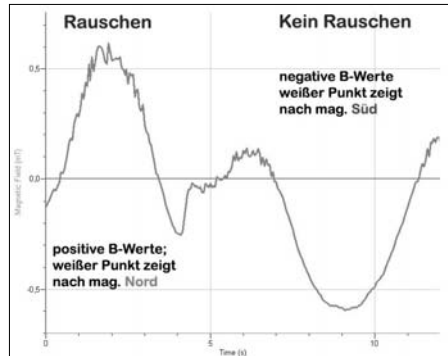
In Stellung high:  $\pm 0,32\text{mT}$

Die Qualität Ihrer Graphen hängt maßgeblich von der Wahl der Sondenausrichtung relativ zur magnetischen Polung des Stabmagneten ab. Der in den Abbildungen teilweise sichtbare Stabmagnet hat einen rot gefärbten Nordpol, analog ist grün der Südpol. Prüfen Sie das an Ihren Magneten!

Sie erhalten positive Flussdichtewerte, wenn der magnetische Südpol dem weißen Punkt zugewandt ist.

Analog gilt der umgekehrte Fall. Nun kann es aber passieren, dass die Flussdichtekurve in LoggerPro oder DataMate äußerst verrauscht ist; also nicht glatt, sondern sehr unruhig zittert, selbst wenn B beinahe konstant ist. Das kann an magnetischen Störfeldern in der Umgebung liegen oder an den Eigenschaften der Sonde selbst. Im Datenblatt des Sensors finden wir dazu keine Aussagen. Drehen Sie in diesem Fall entweder die Sonde einfach um  $180^\circ$  oder drehen Sie den Magneten um. Für den Versuch ist es doch egal, ob nun positive oder negative Flussdichtewerte aufgenommen werden, da es nur um die Art der Änderung von B geht.

Diese Graphik wurde mit LoggerPro erzeugt. Die MG-BTA wurde gleichmäßig in rund 6cm Entfernung längs des Stabmagneten geführt; Etwa 2cm Überlappung am Anfang und am Ende. Im ersten Teil war die Sonde so ausgerichtet, dass der weiße Punkt zum magnetischen Nordpol zeigte. Nach etwa 5s wurde die Sonde rasch vom Magneten weggezogen, umgekehrt und in gleichem Abstand und in gleicher Richtung wie im ersten Teil am Magneten entlang geführt. Es fällt auf, dass die positiven Flussdichtewerte verrauscht sind, die negativen nicht. Wie kann das begründet werden?



Für die nachfolgenden vier Aufnahmen wurde der Magnet dem Sensor sehr nahe gebracht. Der Magnet sollte bei der Versuchsdurchführung nur etwa bis zur Stabmitte und höchstens bis zum Ende der Öffnung in die Spule eingetaucht werden.  
Begründung: Das die Spule durchsetzende Magnetfeld ist maximal, wenn der Magnet mittig in der Öffnung steckt. Weil sich die Hall-Sonde außerhalb befindet, darf sie bei weiterem Durchgang des Magneten keine Flussdichtevergrößerung anzeigen. Das würde sie aber machen, weil sich ja ein magnetischer Pol der Sonde

näher! Doch für den Versuch wäre dies unlogisch und würde die Graphik fachlich verfälschen.

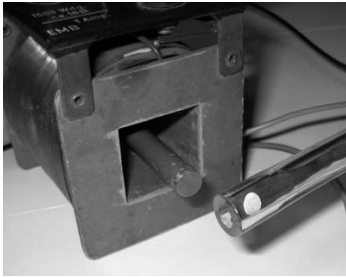


Abb.: B negativ



Abb.: B positiv



Abb.: B negativ



Abb.: B positiv

### **Durchführung:**

1. Sampling-Rate: 0,02 seconds/sample bzw. 50 samples/second
2. Versuchsdauer: 10s
3. Stellen Sie B und U in je einem Diagramm dar, damit Sie Einfluss nehmen können auf die Achseneinteilung der y-Werte. Sie werden Spannungen um 0,1-0,2V erwarten bei Verwendung einer 1500Wdg.-Spule ohne Kern (Spule für Demonstrationsversuche).
4. Höhere Windungszahl: höhere Empfindlichkeit und damit mehr Störimpulse
5. Höhere Versuchsdauer: schlechtere Graphik im autoscaled Graph
6. **Bewegen Sie den Magneten nach allen Regeln der Kunst um und in die Spulenöffnung, maximal jedoch bis zum die Spule durchsetzenden Feldstärkemaximums.**
7. Versuchen Sie, mit dem Stabmagneten eine lineare Flussdichteänderung für wenigstens eine Sekunde zu bewirken. Sie haben dieses Ziel erreicht, wenn für den Zeitraum die Induktionsspannung schön konstant bleibt.
8. Jetzt haben Sie erkannt, warum der PC statt der TI-Rechner verwendet wurde: Der PC ist schneller in der Graphik. Der Versuch verlangt viele Testläufe.

## Ergebnisse:

Die Art der Präsentation der Ergebnisse richtet sich ganz nach dem Geschmack des Experimentators und der jeweiligen Klassensituation (fachliche Qualitäten).

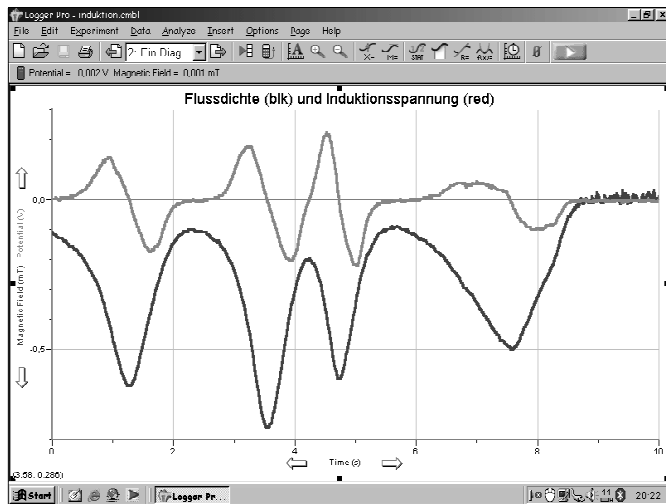


Abb.: Magnetfeld und Induktion in einem gemeinsamen B,U – t – Diagramm.

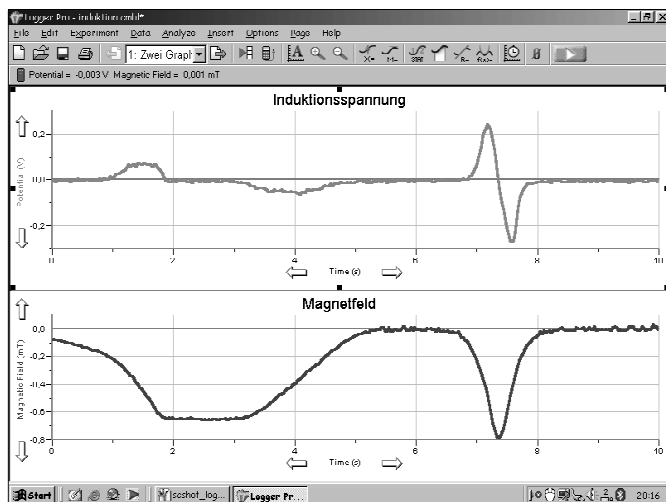


Abb.: Induktion und Magnetfeld in verschiedenen Diagrammen

## Der Praxistest vor Schüleraugen

Für den Versuch und die Interpretation der Graphen reichen 30 Minuten Zeit exklusive Abbau aus.

Während auf dem Lehrertisch der Versuchsaufbau und -ablauf beschrieben wird, kann ein Tafelbild zum Aufbau angefertigt werden. Parallel dazu wird aufgebaut. Wir betreiben also eine Art Multitasking.

Im Test stand, wie sollte es anders sein, kein Stabmagnet zur Verfügung, der war einfach mal weg (Murphy's Gesetz 572).

Darum musste ich mir den noch stärkeren Hufeisenmagneten nehmen. Die Sonde musste in diesem Fall anders positioniert werden, nämlich mittig neben der Spule und nicht hinter der Öffnung, wie in der nebenstehenden Abbildung skizziert. Es kommt in jedem Fall

darauf an, dass die Sondenfläche von dem verwendeten Magnetfeld durchflossen wird!

Ferner wurde, damit der Versuch wie ganz oben beschrieben ablaufen kann, der Südpol des Magneten mit einem dünnen i-Kern einfach verlängert, die Sonde wieder hinter der Spulenöffnung gestellt und die Polverlängerung in die Spule eingeführt. Die Schüler hatten ihren Spaß dabei und einige probierten sich in einer linearen B-Feld-Änderung für eine konstante Induktionsspannung.

Die Graphen wurden interpretiert und zur Versuchsskizze im Hefter auch noch skizziert und erläutert.

Mit Vor- und Nachbereitung ist eine Doppelstunde (90min) für die Interpretation des Induktionsgesetzes mit diesem Versuch durchaus angebracht und ausreichend.

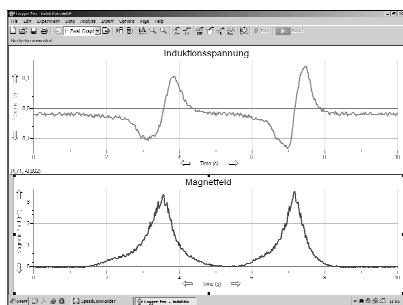
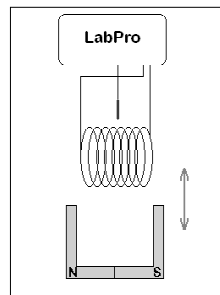


Abb.: Hufeisenversuch

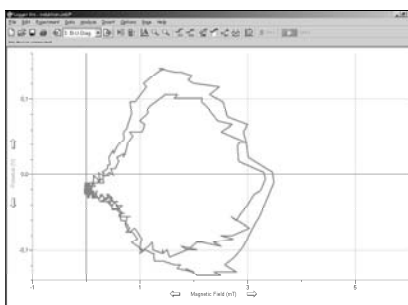


Abb.: B vs. U

## Auswertungshinweise:

1. Vergleichen Sie Anstieg und Richtung von B und U.
2. In der Spule wird eine elektrische Spannung induziert, so lange sich das die Spule durchsetzende Magnetfeld zeitlich in seiner Stärke ändert.  
*Anschaulich gesprochen: Der Zeiger von U steht auf Null, wenn der Zeiger von B nicht wackelt.*
3. Interpretieren Sie das Induktions- und das Lenzsche Gesetz.  
Wenn die Änderung der Flussdichte positiv ist, dann wird eine negative

elektrische Spannung induziert. Eine positive elektrische Spannung wird induziert, wenn die Flussdichteänderung negativ ist.

*Wenn das bei Ihnen nicht so zu sehen ist, dann müssen Sie die Spule umdrehen oder die Klemmen vertauschen.*

4. Vergleichen Sie die Lage der Nullstellen der Spannung mit der Lage der Extrema von B!
5. In dem (schmalen) Intervall, in welchem die Induktionsspannung ihre Extrema hat, wurde die Flussdichte recht linear geändert.
6. Lassen Sie von den Schülern das B–U–Diagramm interpretieren und die Ideallinie (bei linearer Änderung von B) finden.
7. Staunen Sie selbst, wie weit die gängigen Sachaufgaben und Annahmen für Herleitungen von der im Versuch erfahrenen Praxis entfernt sind. Beurteilen Sie die Verwendung von Stabmagneten für Induktionsversuche.

### **Sonstige Hinweise:**

- Planen Sie für den gesamten Versuch insgesamt wenigstens 45 Minuten ein. Gehen Sie auf den Aufbau ein oder bauen Sie den Versuch im Beisein der Schüler auf. Führen Sie den Versuch mehrfach und in verschiedenen Bewegungsvarianten durch und lassen Sie auch Ihre Schüler ran.
- Versuchen Sie doch mal, mit dem Stabmagneten eine lineare Flussdichteänderung (wenn auch nur für ein kurzes Zeitintervall) zu bewirken: Sie werden staunen, wie viele Misserfolge man nacheinander haben kann.  
→ Genau deshalb wurde auch auf den Einsatz des TI–Rechners bei diesem Versuch verzichtet.
- Ziehen Sie den Schluss, dass die tausend Lehrbuchaufgaben zur Induktion, in denen sich Größen linear ändern, gut zum Rechnen sind, aber kaum Praxisbezug haben.
- Verwenden Sie statt des Stabmagneten einen Hufeisen oder Rundmagneten.
- Verwenden Sie als Erregermagnet eine (gleich-)stromdurchflossene Spule! Staunen Sie, wie schlecht so manche Spannungsquelle geglättet ist!

Vorbereitungsdauer: 10 Minuten	Versuchsdauer: etwa 30 Minuten
--------------------------------	--------------------------------

# 18. Magnetische Flussdichte

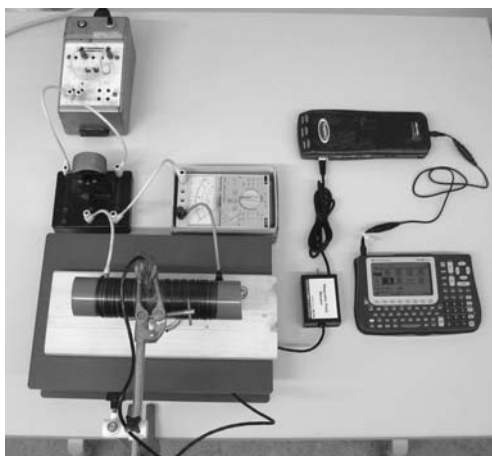
## Abhängigkeit von Spulenlänge

Klassenstufe	11 GF und LF
Versuchsart:	halbquantitativ; quantitativ (je nach vorhandener Spule) Demonstrationsversuch oder Schülerversuch
Ziele	Demonstration der Abhängigkeit $B \sim \frac{1}{l}$

**Aufgabe:** Es soll der Zusammenhang zwischen Spulenlänge und Magnetfeld bei konstanter Windungszahl und Stromstärke nachgewiesen werden.

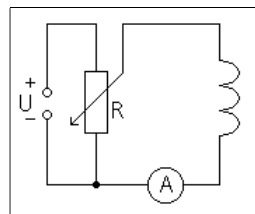
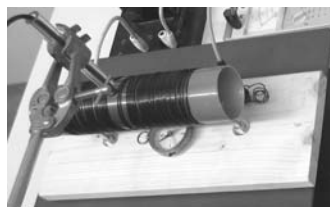
### Geräte:

- LabPro/CBL 2™
  - TI-Rechner
  - Spule mit veränderbarer Länge und Sondenloch
  - 5 Kabel
  - Stromversorgungsgerät
  - Drehwiderstand
  - Amperemeter (Zeigerinstrument)
  - Magnetic Field Sensor
- MG-BTA**



### Vorbereitung:

Im Bild ist eine selbst gefertigte Spule mit 80 Windungen Kupferdraht auf 30cm Aluminiumrohr zu sehen. In der Mitte wurde ein Loch für die Sonde gebohrt, das Rohr mit Messingschrauben auf einem Holzbrett befestigt und dort auch Anschlussbuchsen aufgeschraubt. Die Sonde wird an einer Stativhalterung vorsichtig befestigt. Einige Hersteller von Unterrichtsmitteln bieten Spulen speziell für dieses Experiment an. Empfehlenswert ist der Aufbau einer Potentiometerschaltung mit Amperemeter. Die zu verwendende Stromstärke soll klein genug sein, damit sich die Spule nicht erwärmt. Bei diesem Versuch verwendet man in der Regel eine kleine Windungszahl auf großer Spulenlänge.



Demnach wird der elektrische Widerstand sehr klein und man muss mit einer recht kleinen Spannung arbeiten, welche die meisten Stromversorgungsgeräte nicht liefern.

**Vorsicht:** Bei zu großer Spannung (mehrere Volt) verabschiedet sich ruck zuck die Sicherung. Die Verstärkungsrate am MG-BTA wird auf „**Low x10**“ gestellt.

### ***Durchführung:***

1. Wir entfernen alle störenden Magnetfelder aus dem Versuchsbereich.
2. Alle Geräte mit tauglichen Batterien versehen? LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> und TI-Rechner sind verbunden?
3. Der Sensor **MG-BTA** wird in die Spule seitlich eingeführt und so gedreht, dass von einer Spulenöffnung aus der weiße Punkt sichtbar ist.  
(Hall-Sonde muss vom Feld senkrecht durchflutet werden.)
4. Die angelegte Spannung auf Minimum einstellen und Stromkreis schließen.
5. DataMate am TI-Rechner starten und warten, bis der angeschlossene Sensor erkannt worden ist. Gegebenenfalls drückt man noch „QuickSetup“.
6. Jetzt müssen wir die aktuelle Flussdichte auf Null setzen, um die tatsächliche Flussdichte messen zu können. Insofern spielt die geographische Ausrichtung der Versuchsanordnung eigentlich keine Rolle:

**Data Mate Tastenklick:** 1 - 3 - 1 - ENTER

7. Für die Präsentation der eigentlichen Messergebnisse bieten sich zwei Varianten an:

### ***Variante 1: Wertetabelle an Tafel***

Man beginnt mit einer kurzen Spule, indem man die Windungen zusammendrückt. Die Stromstärke wird auf etwa 1 – 1,5 Ampere eingestellt, die Spule soll sich nicht spürbar erwärmen!

Den Messwert der Flussdichte in mT kann man jetzt auf dem Display ablesen und mit einem Lineal die zugehörige Spulenlänge messen. Es ist unbedingt zu gewährleisten, dass die Stromstärke für die gesamte Versuchsdauer konstant bleibt! Weitere Wertepaare (Spulenlänge; Flussdichte) werden in einer Tabelle erfasst. Nutzen Sie evt. auch die automatische Mittelung des Messwertes, das geht so:

1. 1 – „**Mode**“ auswählen – 4 (single point) – 1 (ok)
2. Feststellen der Spulenlänge
3. 2 (start) fordert zum Entern auf: ENTER
4. Jetzt wird in einer 10sekündigen Messung der mittlere Flussdichtewert gemessen.
5. **Ablesen** → ENTER
6. Anschreiben des Messwertes an die Tafel
7. 2 (start) (warten) → ENTER
8. goto B) bis genügend Wertepaare erfasst wurden



### Variante 2: Wertetabelle mit dem TI-Rechner aufnehmen

Wir beginnen mit einer kurzen Spule, indem wir die Windungen zusammendrücken. Die Stromstärke wird auf etwa 1 bis 1,5 Ampere eingestellt, die Spule soll sich dadurch nicht spürbar erwärmen!

Am Amperemeter wird vor jeder Messung kontrolliert, ob die Stromstärke noch konstant ist. Gegebenenfalls wird am Potentiometer nachgeregelt.

Wir wählen die Messmethode „Events with entry“ und verfahren wie folgt:

1.  $\boxed{1}$  -  $\odot$  („Mode“) -  $\boxed{3}$  -  $\boxed{1}$  drücken
2. Spule „zusammendrücken“ und den Wert der Länge messen
3.  $\boxed{2}$  drücken zum Entern des ersten Messwertes →  $\boxed{\text{ENTER}}$
4. Eintippen der gemessenen Länge und bestätigen mit  $\boxed{\text{ENTER}}$
5. Verändern der Spulenlänge. Die Flussdichte ändert sich. Wir drücken  $\boxed{\text{ENTER}}$ .
6. Messen der Spulenlänge und eintippen des Wertes, denn der TI wartet jetzt genau darauf. →  $\boxed{\text{ENTER}}$
7. Sind Sie fertig? Dann geht es bei 8. weiter. Sonst zurück zu 5.
8. Drücken Sie die Taste  $\boxed{\text{STO}}$
9. Drücken Sie  $\boxed{3}$  (rescale)
10. Drücken Sie  $\boxed{1}$  (autoscale)

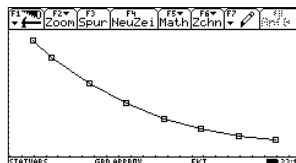
### **Auswertung:**

Die Darstellung der Wertepaare im B – l – Diagramm zeigt eine beinahe perfekte Hyperbel auf dem Display des Voyage™ 200 nach Aufrufen des Graphen nach Wertesichtung im Listen-Editor.

(und die Arbeitszeit der Physiker)

(Das Batteriesymbol unten rechts wird übrigens von einem Programm namens isl.9xz erzeugt. Diese freeware kann über das Internet bezogen werden.)

Die numerische Auswertung kann dann im Data/Matrix-Editor durchgeführt werden, indem die Spalte c3 definiert wird als „=c1\*c2“. Dies geschieht analog zur Auswertung des Versuchs zur isothermen Zustandsänderung. Wenn die Stromstärke



J und die Windungszahl N bekannt sind, lässt sich nach der Formel  $B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{J \cdot N}{l}$

über  $c4=c1*c2/(J*N*4\pi*10^{-7})$  noch näherungsweise der Wert für die relative Permeabilität (rund 1) feststellen.

### **Sonstige Hinweise:**

Bei der Wahl einer Spannungsquelle sollte ein stromfestes und stabilisiertes (!) Netzgerät oder Batterien bevorzugt werden.

*Pulsierender Gleichstrom durch einfache Gleichrichtung ist ungeeignet (B pulsiert).*

Vorbereitungsdauer: 10 Minuten	Versuchsdauer: etwa 10 Minuten
--------------------------------	--------------------------------

# 19. Magnetische Flussdichte

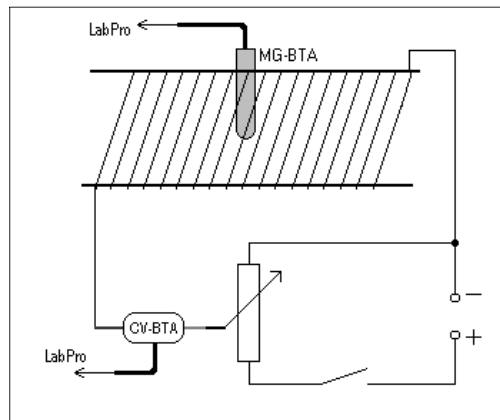
## Abhängigkeit von Spulenstrom

Klassenstufe	11 GF und LF
Versuchsart:	halbquantitativ; quantitativ (je nach vorhandenem Material bzw. Zeit) Demonstrationsversuch oder Schülerversuch
Ziele	Demonstration der Abhängigkeit $B \sim I$ ; $N, \ell = \text{const.}$

**Aufgabe:** Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Stromstärke durch eine Spule und dem damit verbundenen Magnetfeld? Windungszahl und Länge bleiben konstant.

### Geräte:

- LabPro/CBL 2™
- TI-Rechner
- Spule mit etwa 750Wdg. ohne Kern
- Magnetic Field Sensor **MG-BTA**
- Current & Voltage Probe System **CV-BTA**
- Kleinspannungsquelle (bis etwa 12V DC)
- regelbarer Widerstand 100Ω  
ODER: regelbares stabilisiertes Netzteil mit Strombegrenzung
- Verbindungsleiter bis 50cm



### Vorbereitung:

Es ist der Stromkreis gemäß Schaltbild mit Potentiometerschaltung aufzubauen. Bei Verwendung einer Spule 750Wdg. oder 1500Wdg. reicht eine Gesamtspannung von 6V aus.

*Das ist unbedingt zu beachten:*

- die farbigen Buchsen am Stromstärke-Sensor (**Current**) und
- auf die **maximal** zulässige Stromstärke von **600mA!**  
Nutzen Sie zunächst zur Wahl der angelegten Gesamtspannung ein analoges Amperemeter an Stelle des CV-BTA! Schützen Sie Ihre Geräte vor unqualifizierter Benutzung, sonst wird aus dem Stromsensor ganz schnell eine Schmelzsicherung!

### Durchführungshinweise:

Es wird unter der Verwendung von DataMate am TI-Rechner evt. mit angeschlossenem ViewScreen™ eingegangen wird. Der Voyage™ 200 ist wegen

des größeren Displays zu empfehlen.

Nachfolgend sehen Sie die hier verwendeten Sensoren:

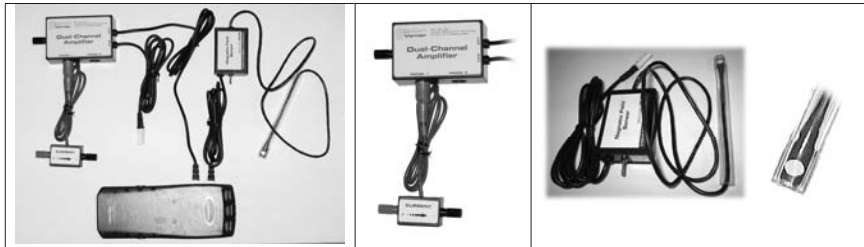


Abb.: Alle Sensoren bereit

CV - BTA

MG - BTA

Hall-Sonde

### **Durchführung:**

1. Es sind möglichst alle störenden Magnetfelder aus dem Versuchsbereich zu entfernen, die geographische Ausrichtung der Spule spielt keine Rolle.
2. Die Geräte werden auf dem Versuchstisch sorgfältig platziert und die Kabel entsprechend verlegt, damit man die Übersicht behält.
3. Der Magnetfeld-Sensor wird in die Spule seitlich gesteckt und so gedreht, dass man von einer Spulenöffnung aus den weißen Punkt sehen können. (Die Fläche der Hall-Sonde muss vom Feld senkrecht durchflutet werden.)
4. Wenn, wie in den meisten vorliegenden Fällen, keine Spule mit Sondenloch aufzutreiben ist, kann der Sensor auch unmittelbar vor der Spulenöffnung mittels Stativmaterial positioniert werden.

Eine andere Alternative wäre die Verwendung von zwei gleichartigen, in Reihe geschalteten Spulen, die mit gemeinsamer Längsachse ausgerichtet werden. Die Hallsonde wird dann in den Zwischenraum positioniert.

5. Am **MG-BTA** wird die Verstärkung **Low 10x** eingestellt.
6. Die Hall-Sonde wird mit **CH1** verbunden.  
Die Current-Probe steckt man mit dem DIN-Stecker an die **CV-BTA** und diese verbindet man mit **CH2**.  
(Die Reihenfolge ist eigentlich egal!)
7. Jetzt stellt man am Potentiometer die effektive Spannung auf Minimum (Null!) ein und schließt den Stromkreis. Prüfen Sie den Strom ggf. mit einem Multimeter.
8. Wir starten **DataMate** am TI-Rechner und warten, bis die angeschlossenen Sensoren erkannt worden sind (checking sensors).
9. Damit wir auch wirklich nur das Magnetfeld der Spule messen, setzen wir alle angeschlossenen Sensoren auf Null. Das verhilft uns dann zu bestmöglichen Ergebnissen.

**Data Mate – Klicks:** [1] - [3] - [3] (all sensors) - [ENTER]

10. Nachfolgend haben wir die Wahl zwischen einem Live-Graphen oder der punkweisen Aufnahme der erwarteten Geraden. Der Live-Graph ist schnell aufgenommen, die punktwiese Messung macht mehr Spaß.

**Live-Graph mit DataMate:**

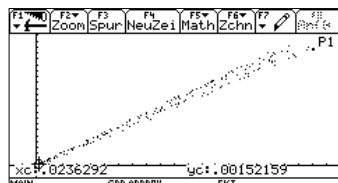
1 (setup) -  $\odot$  (Mode:...)-  $\overline{\text{ENTER}}$  - 2 (Time Graph) - 2 (Change Settings) - 0 - 2 (Intervall)  $\overline{\text{ENTER}}$  - 4 0 (Anz. Mess.) -  $\overline{\text{ENTER}}$  - 1 - 1

#### Interpretation:

Die Sensoren werden im Intervall von 0,2s abgefragt. Es stehen Ihnen also  $40 \cdot 0,2\text{s} = 8\text{s}$  Zeit zur Verfügung, um die Stromstärke am Potentiometer einigermaßen gleichmäßig von Null auf Maximum zu ändern.

11. Die Messung wird vom DataMate Hauptmenü mit 2 (Start) gestartet.  
Ein akustisches Signal meldet: Anfahren.
12. Wir drehen das Potentiometer langsam auf Maximum, dafür haben wir (nach unserer Einstellung) 8 Sekunden Zeit, also 4s bis Mittelstellung am Drehwiderstand. Das LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> signalisiert das Ende der Messung.
13. Nun sollen wir uns für eine Graphenform entscheiden:  
B zeitabhängig, J zeitabhängig oder „CH2 vs. CH1“ oder „CH1 vs. CH2“.  
Wir wählen **CH2 vs. CH1**. (Strom auf x; Flusssdichte auf y)
14. Der Graph sollte jetzt eine Gerade bzw. 40 auf einer Geraden liegenden Punkte zeigen.

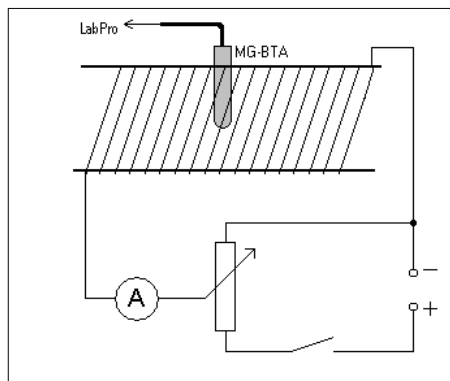
Zur Erzeugung der beispielhaften Abbildung wurde eine höhere Auflösung voreingestellt.



#### Alternativ...

können Sie aber auch selbst bestimmen, wie viele und vor allem welche (!) Messwertepaare aufgenommen werden sollen. Das ist zu empfehlen, wenn die Auswertung eher quantitativ erfolgen soll. Dazu bauen Sie den Versuch wie in der Abbildung dargestellt auf. Anschließend müssen Sie die Messmethode im Setup verändern.

Halten Sie sich an die folgende Arbeitsreihenfolge:



1. Sie schließen nur die **MG-BTA** an **CH1** an.
2. Verwenden Sie im Spulenstromkreis z.B. ein Zeigerinstrument als **Amperemeter**.
3. Wählen Sie 1 (setup)-  $\odot$  -  $\overline{\text{ENTER}}$  (Mode...)- 3 (events with entry)- 1 (ok)
4. Nach Drücken auf 2 (start) werden Sie zum Entern aufgefordert. Sehen Sie sich die aktuellen Messwerte am Display an und entscheiden Sie, wann der Finger drückt:  $\overline{\text{ENTER}}$
5. **Enter Value** bedeutet, dass Sie jetzt die zur gespeicherten Flusssdichte gehörige Stromstärke eingeben sollen. Tun Sie dies. Zahlenwert tippen und  $\overline{\text{ENTER}}$ .

6. Mit jeder weiteren Messung erhalten Sie eine Information auf dem Display, wie viele Messwerte bereits aufgenommen wurden. (**entered:...**)
7. Haben Sie z.B. nach Messung 5 bemerkt, dass sich aus irgendeinem Grund ein Messfehler eingeschlichen hat oder dass die gewählten Abstände der Messpunkte zu groß sind, dann erfassen Sie einfach neue Wertepaare. Stellen Sie z.B. die gleiche Stromstärke wie in Messung 2 ein und sehen Sie, dass sich eine abweichende Flussdichte zeigt. In der Graphik erhalten Sie dann an der betreffenden Position zwei Punkte (oder auch mehrere) und können besser auf Fehlerabweichungen eingehen bzw. eingehen lassen.  
Insofern ist es theoretisch möglich, Ströme „wild durcheinander“ auszuwählen.
8. Beenden Sie die Messreihe mit **[STO]** (Speichertaste) und wählen Sie die Graphenform **CH2 vs. CH1**.

### Auswertung:

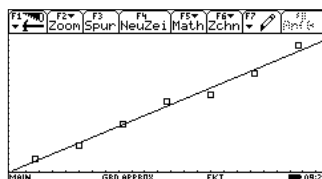
Die Darstellung der Wertepaare im B–J–Diagramm zeigt eine beinahe perfekte Gerade.

Beim Verlassen des Programms DataMate mit **[6]** im Hauptmenü erhält man eine Information, in welchen Listen die letzten Messwerte von welchen Kanälen abgespeichert sind. Nach Drücken von **[F5]** kann man mit dem „Data/Matrix-Editor“ die Wertetabelle abrufen und eine numerische Auswertung (Nachweis der direkten Proportionalität) vornehmen lassen oder einzelne Wertepaare entfernen. Führen Sie doch einfach eine lineare Regression durch. Das geht so:

(Data/Matrix-Editor, Datei „aktuell geöffnet, Wertepaare sichtbar in c1 und c2):

**[F5]** - **[→]** - **[5]** - **[↓]** - **[C1]** - **[↓]** - **[C2]** - **[↓]** - **[→]** - **[↓]** - **[ENTER]** - **[ENTER]** - **[ENTER]**

Der TI-Rechner hat jetzt zu den Messwertepaaren eine passende lineare Funktion gefunden und den Funktionsterm als  $y_1(x)$  gespeichert.



Durch einfaches Drücken auf **[GRAPH]** holen Sie die Messpunkte wieder in das Diagramm. Außerdem zeigt sich noch eine Gerade, nämlich  $y_1(x)$ .

### Sonstige Hinweise:

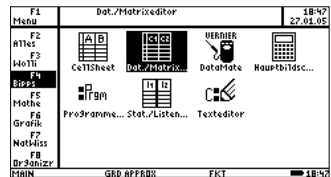
Bei der Wahl einer Spannungsquelle sollte ein stromfestes und stabilisiertes (!) Netzgerät oder zwei Flachbatterien bevorzugt werden. Alternativ schließen Sie einen möglichst großen Elektrolytkondensator (mind. 100µF, besser 1000µF oder mehr) direkt an die Spannungsquelle mit an. Beim Elko auf Polarität achten!!  
Pulsierender Gleichstrom ist für den Versuch ungeeignet.

Es reicht für den Versuch völlig aus, wenn der Sensor stabil vor der Spulenöffnung angebracht wird. Hauptsache, die Ausrichtung des Sensors ist korrekt und vor Versuchsbeginn wird ZERO gesetzt. Im Leistungskurs sollten zwei Spulen gleicher Windungszahl in Reihe geschaltet und der Sensor dazwischen positioniert werden, dann liefern die Messwerte eine gute Übereinstimmung



mit der Gesetzmäßigkeit  $B = \mu_0 \cdot \frac{J \cdot N}{l}$

Je nach verwendeten Sensoren speichert der TI-Rechner die Messwerte in Listen, die mit dem „Data/Matrix-Editor“ oder auch mit dem „Statistics with List Editor“ bearbeitet werden können. Für einen schnellen Zugriff auf die benötigten Daten und Programme empfehle ich die Erstellung eines Menüs auf dem Voyage™ 200 oder TI-89 Titanium.



Vorbereitungsdauer: max. 15 Minuten

Versuchsdauer: etwa 15 Minuten + Auswertung

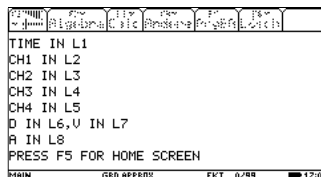
## 20. Exkurs: Wo sind die aufgenommenen Daten

Alles bleibt so lange gespeichert, bis man es löscht.

Wenn die TMP-BTA am CH1 betrieben wurde, dann sind alle gemessenen Temperaturwerte in Liste L2 gespeichert.

Die zugehörigen Zeitpunkte stehen in Liste L1.

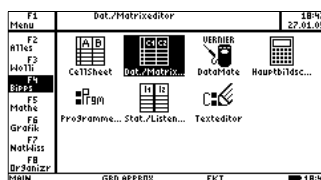
Die anderen Listen sind bei diesem Versuch leer.



Wenn Sie (nach erfolgreichem Ausführen von F5) den Home-Screen bzw. die Apps-Oberfläche geöffnet haben, starten Sie

**Data/Matrix-Editor.**

Die Nachfrage, welche Datei geöffnet werden soll beantworten Sie mit **[ENTER]** bzw. „1:aktuell“



Jetzt sehen Sie Ihre Messwerte und staunen:

Die stehen ja gar nicht in L1 und L2 sondern in C1 und C2.

Eine Liste enthält generell eine gewisse Anzahl von Elementen in einer Dimension.

Bsp.: {0,15,30,45,60,75,90}

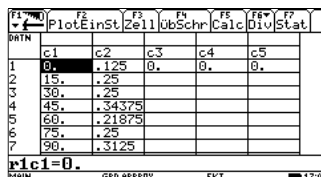
Die Elemente dieser Liste werden in Spalten (columns) geschrieben, deren Nummer mit der Nummer der Liste identisch ist. Wo die Werte stehen, ist eigentlich egal! Hauptsache, sie sind da und auffindbar.

Starten Sie doch mal den Statistics with List Editor (aktuelle Datei). **[ENTER]**

Wenn hier Ihre Messwerte stehen, dann ist alles in Ordnung. Wenn hier nichts steht, dann ist auch alles in Ordnung! Wenn hier andere Daten stehen, dann öffnen Sie einfach eine neue Datei.

Tragen Sie als Name der Liste 1 „L1“ und als Name der Liste 2 „L2“ ein. Ihre Messwerte haben jetzt den Statistics-Editor erreicht und Sie können von dort aus mit

**[F2]** - **[ENTER]** - **[F5]** die Graphik anzeigen lassen.



Suchen Sie hier nach L1. Die Variable ist also eine Liste und ihre Größe unterscheidet sich von anderen Listen, ist aber gleich mit der von L2.

Web-LINK (a11e)						
F1=	F2	F3=	F4	F5	F6	F7
VerwUlt	AnschL	Link	V	Files	Inhlt	FlashApp
x	enomod	AUSD	17			
	gt	AUSD	12			
x	ts1	ASH	4865			
		L1S1	2544			
	110	L1S1	14			
	111	L1S1	14			
	112	L1S1	14			
	14	L1S1	2544			
	15	L1S1	14			
		L1S1	14			
MAIN		GSD APPERN		FKT 0/98		

Aha, es sind die Zeiten, zu denen etwas gemessen wurde.

[illegible]

Wenn Sie am TI-Rechner bereits öfter mit  
Listen gearbeitet haben, wissen Sie diesen  
Zahlenfundus sicher zu schätzen.

[illegible]



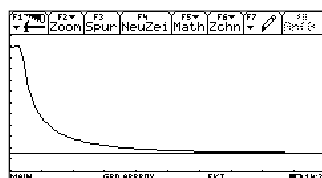
# 21. Mathematischer Exkurs

## Vom Graph zur Funktionsgleichung

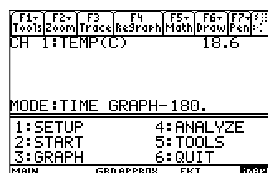
Unser TI-Rechner ist mehr als ein Taschenrechner mit Speicher- und Graphikfunktion. Wir wollen die Messreihe der gezielten Abkühlung auf einen bekannten Endwert nutzen, um den Nachweis des exponentiellen Zusammenhanges zu erbringen. Dazu werden wir mit dem Voyage™ 200 eine Regression durchführen und eine mathematische Funktionsgleichung zu den Messwerten ermitteln. Wenn uns das nicht gut genug ist, werden wir in Handarbeit optimieren. Für den Lehrer sei allgemein der Voyage™ 200 empfohlen, weil jener mit seiner QWERTY – Tastatur und dem großen Display ein benutzerfreundliches und sehr ausgereiftes Gerät ist.



**Ausgangssituation:** Sie haben gerade den Versuch durchgeführt und sehen auf Ihrem Display im Programm DataMate() die Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit.

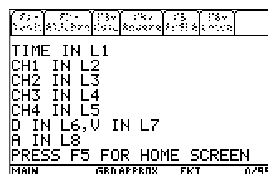


1. Drücken Sie **[ESC]**. Dadurch gelangen Sie in das Hauptmenü von DataMate.



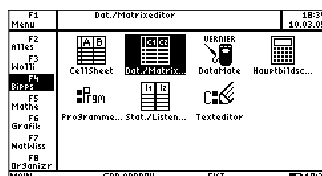
2. Verlassen Sie mit **[6]** (QUIT) das Programm.

3. Der freundliche Abspann gibt uns eine Information darüber, wo der TI-Rechner die ganzen Messwerte gespeichert hat. Nämlich in Listen.



4. Verabschieden Sie das Programm mit **[F5]**.

5. Starten Sie den **Data/Matrix-Editor** von der **[APPS]**-Oberfläche bzw. dem **[APPS]**-Menü! Gleich werden wir über den Zahlenwald staunen.



- 
- Delphi MatrixEditor
- Matrix
- 1: aktus=1  
2: offnen...  
3: neu...
- EINGEGABEN/VERGEGEBEN: 4+14 - CENTER: 0K BOEN (CECS=0000)

- | F2        | F3   | F4     | F5     | F6  | F7   |
|-----------|------|--------|--------|-----|------|
| PlotEinSt | Zell | ÜbSchr | Calc   | Div | Stat |
| 1         | c1   | c2     | c3     | c4  | c5   |
| 2         | 0.   | 64.32  | 17.691 | 0.  | 0.   |
| 3         | 1.5  | 64.64  | 17.691 |     |      |
| 4         | 1.   | 65.063 | 17.691 |     |      |
| 5         | 1.5  | 65.25  | 17.714 |     |      |
| 6         | 2.   | 60.    | 17.714 |     |      |
| 7         | 2.5  | 52.727 | 17.691 |     |      |
| 8         | 3.   | 46.667 | 17.714 |     |      |
| r1c1=0.   |      |        |        |     |      |

*Abb.: Die Originaltabelle*

- | F3   | F2        | F4     | F5     | F6   | F7      |
|------|-----------|--------|--------|------|---------|
| PLOT | PlotEInst | Zell   | ÜbSchr | Calc | DivStat |
| DATM | c1        | c2     | c3     | c4   | c5      |
| 1    | 0.        | 65.25  |        |      |         |
| 2    | .5        | 60.    |        |      |         |
| 3    | 1.        | 52.727 |        |      |         |
| 4    | 1.5       | 46.667 |        |      |         |
| 5    | 2.        | 41.949 |        |      |         |
| 6    | 2.5       | 38.39  |        |      |         |
| 7    | 3.        | 35.61  |        |      |         |
|      | c1=c1-0.  |        |        |      |         |

Abb.: Die „gereinigte“ Tabelle

- 
- main:chgo: berechne
- BerechnungsTyp... ZweiVar →
- X...
- Y...
- Formelles Sprach- u. Modell: ☒
- Mit Häufigk. u. Klassen? NEIN+ ☐
- Häufigkeit
- Klassen
- ENTER=STICH
- ESC=ABBR

- [illegible]

- 
- main:cbldato Berechnen
- BerechnungsTyp... ExpRegn →
- X1... c1
- y1... c2
- RegnGlei Speich in c1/c2 →
- Mit Häufigk. u. Klassen? NEIN+
- Häuf. skizze...
- Klass. skizze...
- Mit Klassen...
- Enter=Stich
- ESC=Abbr

13. Nach **[ENTER]** dauert es etwa drei Sekunden, dann hat der TI-Rechner eine schöne Funktion gefunden.

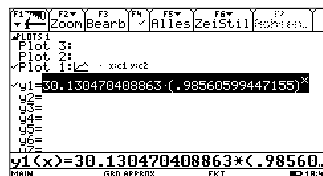
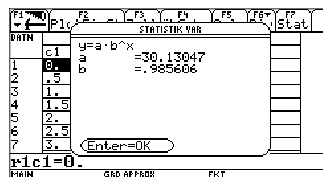
Ob das so eine tolle Sache ist, werden wir gleich sehen.

Drücken Sie **[ENTER]**.

14. Wechseln Sie in den y-Editor. Von all dem Angezeigten brauchen wir nachfolgend nur die Einträge

Plot A: x:c1 y:c2 und y1

y1 zeigt unsere soeben ermittelte Funktion.



15. Drücken Sie Graph zum Anzeigen der Kurven. Wenn Sie nichts sehen, weil nach dem Versuch noch was anderes gemacht wurde, wählen Sie einfach F2 – ZoomPass.

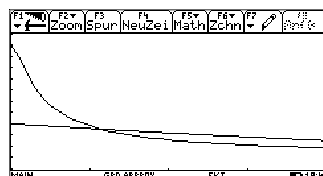


Abb.: Zwei Graphen oder eine Concorde von der Seite?

16. Wir kennen die Starttemperatur  $T_0$  und die Endtemperatur. Nun müssen wir für eine gewünschte Funktion vom Typ

$$T(t) = T_1 + (T_0 - T_1) \cdot e^{-\lambda t}$$

„nur“ noch das Lambda finden, damit die Graphen so deckungsgleich wie möglich sind. Wie kommt man auf die Formel?

Die e-Funktion ist hier offensichtlich, der Exponent von seiner prinzipiellen Form her auch. Der Summand  $T_1$  ist wichtig, weil das der Grenzwert für  $t \rightarrow \infty$  ist.

Und  $(T_0 - T_1)$  muss man wählen, weil

$T(t=0) = T_0$  sein muss.

Probieren geht über Studieren!

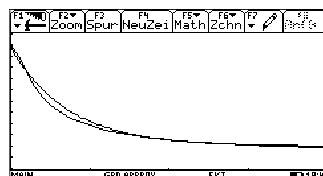
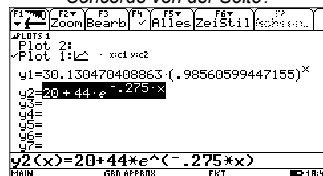
17. Kann man das nicht eher gelten lassen?

$$T(t) = 20 + e^{-0.275t}$$

stellt hier eine hinreichend gute Näherung dar, das werden sogar Ihre Schüler einsehen.

Der Abkühlungskoeffizient beträgt:

$$\lambda \approx 0.275 \text{ s}^{-1}$$



## 22. Auslesen des Batteriestatus

Wie jedes elektrische Gerät verweigert auch unser Datenlogger den Dienst, wenn die elektrische Energie knapp wird. Beim LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> sollten wir bei Nichtverwenden eines Netzteils (leistungsstarke Akkus >2500mAh oder LR2, aber niemals R2) immer die „Tankanzeige“ im Blick haben.

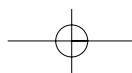
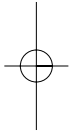
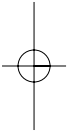
Der TI-Rechner erlaubt uns hierfür das Schreiben eines passenden Programms.

1. Über die **[APPS]** - Oberfläche wird der Programm-Editor gestartet.
2. Wählen von „3:neu...“ mit **[3]**.
3. Typ:                   Prog  
Verzeichnis:    main (oder ein anderes)  
Variable:       battstus
4. **[ENTER]**

Das Programm führt am LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> ein Reset durch, fordert das Gerät zur Selbstanalyse auf, speichert die Antwort in einer Liste, entnimmt der Liste einen Zahlenwert zum **Batteriestatus** und antwortet uns in heimischer Sprache, wie dieser einzuschätzen ist. Nach Programmende werden alle nun nicht mehr benötigten Angaben im TI-Rechner gelöscht.

```
: battstus()
: Prgm
: NeuAufg
: {„gut.“, „noch brauchbar.“, „ziemlich fertig!!“}→L11
: Sende {0}
: Sende {7}
: Hole L12
: L12[3]+1→batt
: Zeige „Die Batterie des LabPro ist“
: Zeige L11[batt]
: EntfVar batt,L11,L12
: EndPrgm
```

1. Verbinden Sie das LabPro/CBL 2<sup>TM</sup> mit dem TI-Rechner.
2. Zum Starten des Programms geben Sie in der Eingabezeile ein:  
(Verzeichnispfad) \ battstus() - **[ENTER]**
3. Lesen Sie den Batteriestatus ab.
4. Beenden und Rückkehr zum Hauptbildschirm mit **[F5]**.



## ***Praktische Einführung in das Arbeiten mit Messwerterfassungssystemen***

Haben Sie Fragen zu Produkten von Texas Instruments?  
Oder sind Sie an weiteren Unterrichtsmaterialien, der Ausleihe von Rechnern oder  
einer Lehrerfortbildung interessiert? Gerne steht Ihnen unser Customer Service  
Center mit Rat und Tat zu Seite. Nehmen Sie mit uns Kontakt auf:

E-Mail: [ti-cares@ti.com](mailto:ti-cares@ti.com)

Telefonisch von Montag bis Freitag 9.00 – 17.00 Uhr

### **Deutschland**

Telefon: 06196-97 50 15

Telefax: 06196-97 50 44

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

### **Österreich**

Telefon: 01-50 29 10 007

Telefax: 01-50 29 10 034

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

### **Schweiz**

Telefon: 044-27 30 688

Telefax: 022-71 00 036

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

### **Texas Instruments**

c/o Sitel

Woluwelaan 158

1831 Diegem

Belgien



*TI Technologie - Beyond Numbers*

CL2006W.BEER2/D

CBL2/SB/1E5/B