

## Experimente zum Induktionsgesetz, zum freien Fall und zu gedämpften Schwingungen

### Einleitung

Die TI-Nspire™ CAS Technologie stellt inzwischen ein ausge-reiftes Werkzeug für den Mathematikunterricht dar. Mit der Version OS 1.4 für die Handhelds und gleichzeitig mit der entsprechenden Software für PCs steht nun endlich auch eine Datenerfassung zur Verfügung. Zur Zeit werden die von den bisherigen Systemen bekannten Sonden von Vernier entwe-der direkt oder über die Adapter Go!Link oder Easy!Link an die USB-Ports der Geräte angeschlossen. Dies bedeutet noch eine Einschränkung bezüglich der Zahl der anschließbaren Sonden, der Messgeschwindigkeit und der -genauigkeit. Es wird aber an einer Hardwarelösung gearbeitet, mit der diese Beschränkungen aufgehoben werden. Die neue Software für die Datenerfassung ist bereits in die beschriebenen Versionen implementiert. Es ist jetzt schon zu sehen, dass damit durch die TI-Nspire™ Technologie für die Naturwissenschaften ebenfalls viele neue Wege für einen modernen schülerzentrierten Unterricht eröffnet werden, wie das gegenwärtig im Mathematikunterricht der Fall ist. Gegenüber früheren Systemen sind die Einstellung der Messparameter und die Ausführung der Messung ganz wesentlich vereinfacht. Die größten Änderungen treten aber bei der Auswertung der Daten auf. Diese können in allen Applikationen dargestellt und bearbeitet werden.

An drei Experimenten und ihren Auswertungen wird die neue „Data Collection“ vorgestellt. Für diese Ausarbeitung liegt die Version TI-Nspire™ CAS Teacher Edition vor. In diese ist eine Emulation des Handhelds implementiert. So kann auf dem PC die Bedienung der Handhelds nachvollzogen werden. Diese Emulation (TI-SmartView™) wird hier fast ausschließlich genutzt, damit sich Beschreibungen und Screenshots direkt auf die Geräte der Schülerinnen und Schüler beziehen. Lediglich die Bearbeitung des zweiten Experimentes erfolgt mit der Software (TI-Nspire™ in der Normalansicht), um auch diese vorzustellen.

### Durchführung von Messungen

Sowie eine Sonde mit dem Handheld oder PC verbunden wird, erscheint das Autostart Menü (Abb.1), in dem gefragt wird, in welcher Applikation die zu messenden Daten ange-zeigt werden sollen.

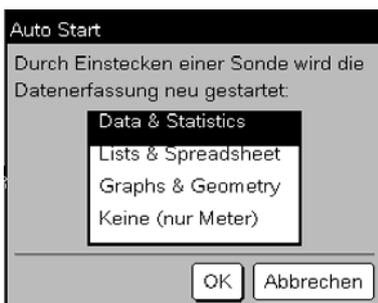


Abb.1: Autostart von DataCollection

In der gewählten Applikation erscheint anschließend die Da-tenersammlungskonsole (Abb.2), in deren Fenster der Messwert der automatisch erkannten Sonde angezeigt wird. Ohne wei-tere Einstellungen kann dann bereits mit einer Messung und der Speicherung der Daten durch Tippen auf die grüne Start-taste begonnen werden. Das ist möglich, weil jedem vom System erkannten Messfühler auch gleichzeitig eine Messzeit und eine Abfragerate zugeordnet werden.

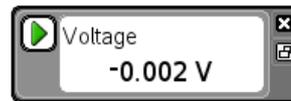


Abb. 2 Konsole für Mess-werterfassung



Abb. 3: Steuerung der Daten-erfassung

Die Messparameter können auch per Hand eingegeben wer-den. Wenn man im Modus der Datenerfassung auf die Taste (menu) tippt, so erscheinen unabhängig von der Applikation, in der man sich befindet, die in Abb.3 wiedergegeben vier Sym-bole, mit denen die Datenerfassung gesteuert werden kann. Solange die Datenerfassung eingeschaltet ist, sind nur die beschriebenen Menüpunkte erreichbar und aktiv. Mit einem Klick in die jeweilige Applikation wird diese aktiv und die Da-ten können nun untersucht und bearbeitet werden.

### Induktionsgesetz

Ein Spannungssensor wird an eine Spule mit 12000 Windun-gen angeschlossen und mithilfe eines Go!Link Adapters mit dem USB Port eines Notebooks verbunden. Als Applikation für die Darstellung der Daten wird Graphs & Geometry ge-wählt. Über 1: Experi ment, 3: Erfassung ei nri chten und 1: Zei tgraph ... wird in das Fenster „Zeitabhängige Datenerfassung“ als Abfrage 0,005s und als Länge des Experi-mentes 1s eingetragen.

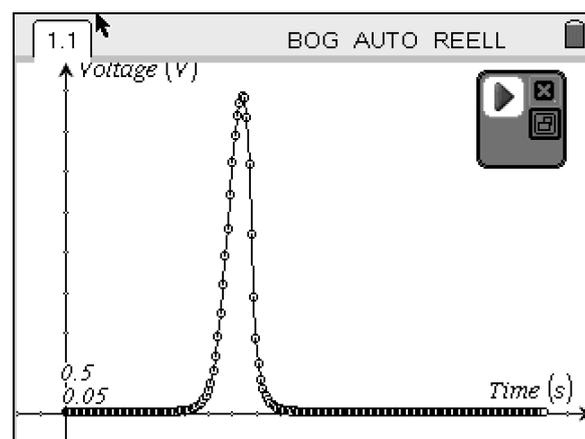


Abb. 4: Induktionsspannung

Für das Experiment wird ein Stabmagnet (Flussdichte ca. 1T) in die Spule gelegt. Nach dem Starten der Datenerfassung wird er aus der Spule herausgezogen. Der zeitliche Verlauf der Induktionsspannung ist in Abb.4 dargestellt. Der Zusam-menhang zwischen induzierter Spannung und Magnetfeld ist durch das Induktionsgesetz gegeben:

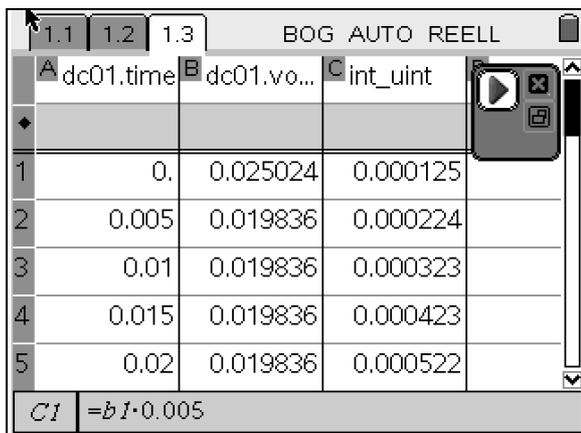
$$U_{\text{ind}}(t) = -n \cdot \dot{\Phi}(t) \text{ oder } \Phi(t) = -\frac{1}{n} \int_0^t U_{\text{ind}}(t) \cdot dt \quad (1)$$

Durch eine numerische Integration der Induktionsspannung hat man die Möglichkeit das zugehörige Magnetfeld zu bestimmen. Um diese Berechnung durchzuführen, ruft man über  die Optionen „Experimente“, „Daten anzeigen in“ und „Lists & Spreadsheet neu“ die Tabellenkalkulation auf. In dieser Applikation werden die Datenlisten dc01.time und dc01.voltage1 angezeigt.

Nach einem Klick in die Applikation ist die Datenerfassung deaktiviert und die Listen können bearbeitet werden. Für die numerische Integration ist die Summe

$$\sum_{i=1}^{201} U_i \cdot \Delta t$$

für die gemessenen 201 Spannungswerte  $U_i$  zu berechnen.



	A	B	C
	dc01.time	dc01.vo...	int_uint
1	0.	0.025024	0.000125
2	0.005	0.019836	0.000224
3	0.01	0.019836	0.000323
4	0.015	0.019836	0.000423
5	0.02	0.019836	0.000522
C1	=b1*0.005		

Abb. 5: Messdaten (Spalten A, B), numerisches Integral (Spalte C)

Die Summation erfolgt in Spalte C. In Zelle C1 wird „= b1\*0.005“ eingegeben. In der nächsten Zelle C2 wird dann bereits summiert mit „= c1+b2\*0.005“. Anschließend ist nur noch anzugeben, bis zu welchem Wert diese Berechnungen automatisch fortgesetzt werden sollen. Um das Vorzeichen des Induktionsgesetzes (Gleichung (1)) zu berücksichtigen, werden die Werte der numerischen Integration in Spalte C mit umkehrten Vorzeichen in Spalte D eingetragen. Damit eine grafische Darstellung möglich wird, erhält diese Spalte einen Namen („magnet“).

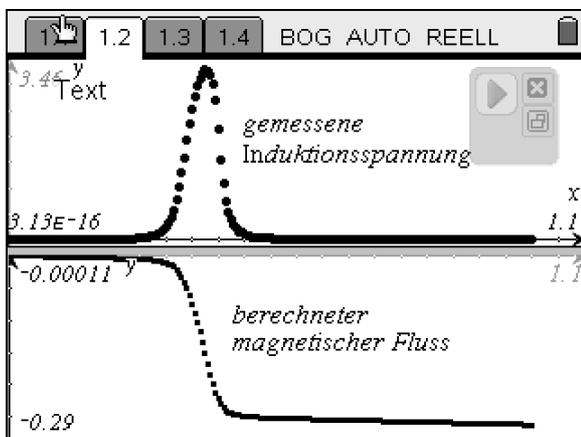


Abb. 6: Ein Magnet wird aus einer Spule herausgezogen

In Abb. 6 werden die gemessene Induktionsspannung und der berechnete magnetische Fluss dargestellt. Die Ergebnisse dieses Experimentes und die Auswertung veranschaulichen

sehr deutlich den Zusammenhang zwischen Magnetfeldänderung und Induktionsspannung.

Soll eine weitere Messung durchgeführt werden, so startet man wieder die Datenerfassung. Dann wird gefragt, ob die bisherigen Daten gespeichert oder verworfen werden sollen. Wird „Verwerfen“ gewählt, so werden die nächsten Daten wieder unter dem gleichen Namen der ersten Messung abgespeichert. Alle Berechnungen in der Tabellenkalkulation werden dann automatisch mit den neuen Daten durchgeführt und in der Applikation Graphs & Geometry erscheinen ebenfalls sofort die neuen Darstellungen. Die Ergebnisse liegen nun ohne jede zusätzliche Bearbeitung vor. Damit hat man sich ein „automatisches Auswertungsprogramm“ für weitere Experimente zur Induktion geschaffen. So können Schülerinnen und Schüler ohne zeitaufwändige Wiederholung des Auswerteverfahrens sich ausschließlich physikalischen Überlegungen widmen.

In Abb.7 wird das Ergebnis einer Wiederholung gezeigt. Dabei ist der Magnet in einem ersten Schritt zur Spule geführt worden und dann nach einer kurzen Pause wieder entfernt worden. Es ist nochmals ein eindrucksvolles Beispiel für den Zusammenhang von Magnetfeldänderung und Induktionsspannung.

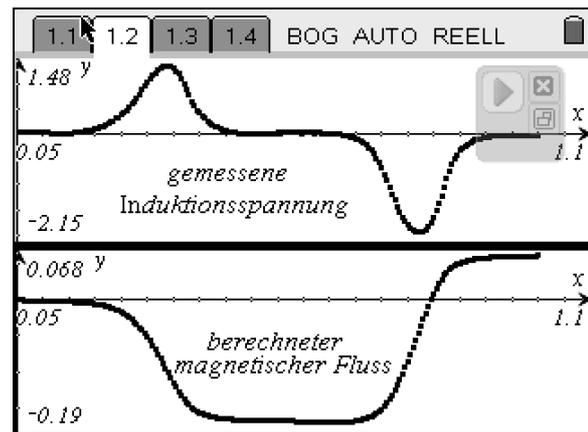


Abb. 7: Ein Magnet wird zur Spule hin- und wieder davon weg bewegt

### Fallexperimente

Der freie Fall einer Holzkugel mit einem Durchmesser von 8 cm wird mit dem Ultraschallsensor CBR 2 gemessen und aufgezeichnet. Das CBR 2 ist oberhalb der Kugel angebracht. Die Messzeit beträgt 1 s. Die Daten werden in der Applikation Data & Statistics angezeigt. Dieses Mal ist als Ansicht die Option „TI-Nspire™ Normalansicht“ gewählt worden.

Zu Beginn der Messung wird die Kugel noch in einem Abstand von 15 - 20 cm vom Abstandssensor festgehalten. Nach 0,5s setzt die Fallbewegung ein. Der Aufprall auf den Boden ist deutlich zu erkennen.

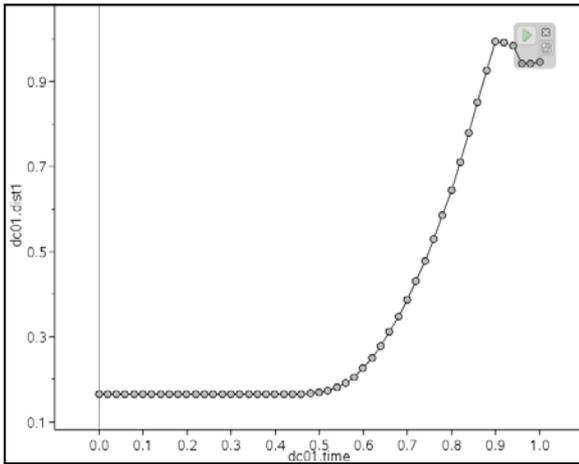


Abb.8: ts-Diagramm einer fallenden Holzkugel

Die Fallkurve ist, wenn keine weiteren Kräfte gewirkt haben, ein Parabel-Ast und der zugehörige Ausschnitt des Grafen im Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm ist ein Geradenstück. Das ist in Abb.9 deutlich erkennbar.

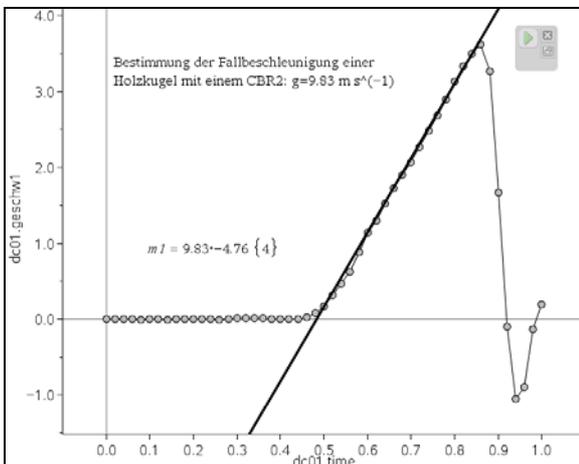


Abb.9: Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm der fallenden Holzkugel

Für Abb.9 ist aus dem Menü für Analyse-Tools (Symbol ) die Option „verschiebbare Linie“ gewählt worden. Diese verschiebbare Linie zur Bestimmung der Steigung wird durch die Punkte des Geradenstückes hindurch gelegt. Steigung und y-Achsenabschnitt werden dann - etwas gewöhnungsbedürftig durch einen Punkt getrennt - auf dem Bildschirm angezeigt. Für die in Abb.9 dargestellte Positionierung der Geraden liest man eine Fallbeschleunigung von  $g=9,83 \text{ m/s}^2$  ab.

Es gibt noch weitere Möglichkeiten aus dem Datensatz die Beschleunigung zu bestimmen. Die gezeigte Auswertung ist beschrieben worden, weil diese von Schülerinnen und Schülern intuitiv und schnell durchgeführt werden kann. Allerdings müssen die physikalischen Zusammenhänge bekannt sein, dass nämlich die Steigung der Geraden zur Fallgeschwindigkeit die Beschleunigung anzeigt.

**Gedämpfte Schwingungen**

An ein Gummiband wird eine Masse von 0,5 kg gehängt und in Schwingung versetzt. In dem Gummiband wird ein Teil der Schwingungsenergie in Reibungsenergie umgewandelt, wodurch die Schwingung gedämpft wird. Die Auslenkung wird mit einem CBR2 gemessenen, das direkt mit dem USB Port des Handheld oder des PCs verbunden wird. Der Verlauf der

gedämpften Schwingung während einer Messzeit von 10s ist in Abb.10 zu sehen. Hier ist wiederum die Option „TI-Nspire™ Normalansicht“ für die Darstellung gewählt worden.

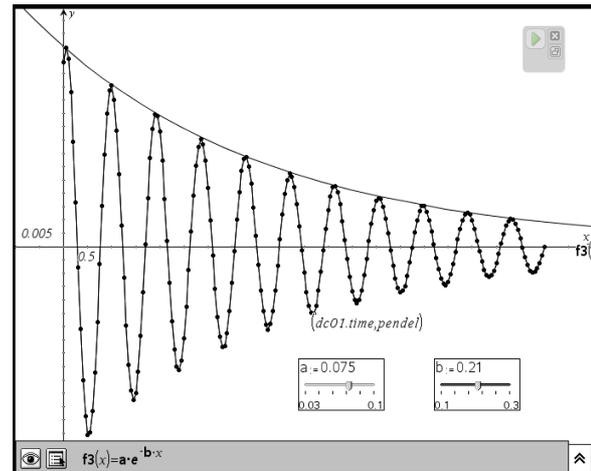


Abb.10: Gedämpfte Schwingung, modelliert durch eine Exponentialfunktion

Als Auswertung wird gezeigt wie die Abnahme der Schwingung durch eine Exponentialfunktion mit einfachen Mitteln modelliert werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass eine Funktion vom Typ  $a \cdot e^{-b \cdot t}$  das Abklingen beschreibt. Zur Bestimmung der Parameter a und b werden zwei Schieberegler geöffnet und deren Anfangs- und Endwerte festgelegt. In der Eingabezeile wird die zugehörige Funktionsgleichung eingegeben (vgl. Abb. 10). Durch Ziehen der Regler wird dann eine Funktion gefunden, deren Graf möglichst gut durch die Maxima der Messkurve verläuft. Das Ergebnis ist gemäß Abb. 10

$$f(t) = 0,075 \cdot e^{-0,21t}$$

hierin ist als Variable die Zeit t eingesetzt worden.

Bei Messungen mit dem CBR2 werden aus den Abstandsmessungen automatisch die Geschwindigkeiten und die Beschleunigungen berechnet. So kann in der Applikation Data & Statistics durch Anklicken der Listen dc01.time1 und dc1.dist1 die Geschwindigkeit als Funktion der Auslenkung dargestellt werden (Abb.11).

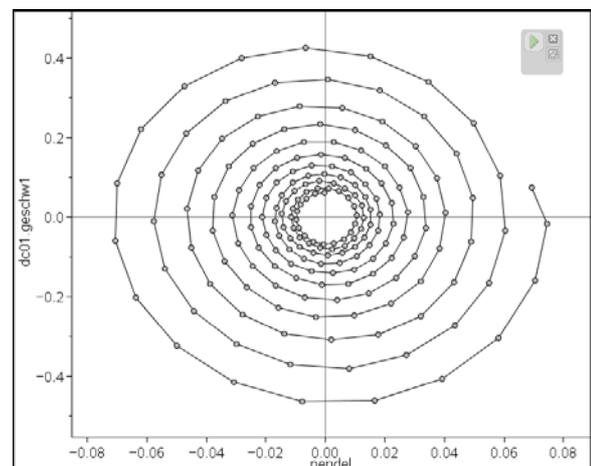


Abb.11: Phasendiagramm einer gedämpften Schwingung

Eine solche Darstellung wird Phasendiagramm genannt. Es ermöglicht die Darstellung auch langer Zeitreihen von Schwingungen. Für eine gedämpfte Schwingung ist die in

Abb.11 zeigt eine exponentielle Spirale typisch. Es lässt sich auch einfach mit der hergeleiteten Funktion  $f(x)$  in der Polarkoordinatendarstellung nachbilden. Andere Schwingungstypen haben entsprechend ihre charakteristischen Phasendiagramme, die bei der Klassifizierung von Schwingungen helfen. Deshalb sollte man bei computerunterstützten Messungen diese Darstellung nutzen. Außerdem beeindruckt die Ästhetik dieser Figuren und das sollte man nicht außer Acht lassen.

### Zusammenfassung

Mit dem Werkzeug Data Collection des TI-Nspire™ sind neue Wege beschriftet worden. Die Einstellung der Messparameter und die Ausführung der Messungen können gegenüber bisherigen Handheldsystemen wesentlich einfacher durchgeführt werden. Ein Beispiel ist die gezeigte Automatisierung von häufiger ausgeführten Messungen.

Nach endgültiger Fertigstellung der Hardware wird das neue System auch bezüglich der Messgenauigkeit und der Messgeschwindigkeit überlegen sein. Der entscheidende Vorteil der Datenerfassung mit der TI-Nspire™ Technologie liegt allerdings in der Nutzung der verschiedenen Applikationen für die Bearbeitung der Daten. Sie können in der MS-Excel-

kompatiblen Tabellenkalkulation bearbeitet werden. Mit Schiebereglern ist auf einfache Weise eine Modellierung möglich. Bei Data & Statistics können über die Standardanwendungen hinaus die Daten durch verschiebbare Grafen modelliert werden.

Schülerinnen und Schülern wird die Anwendung von Experimenten mit der TI-Nspire™ Technologie im naturwissenschaftlichen Unterricht leichter fallen, weil sie ihre im Mathematikunterricht erworbenen Werkzeugkompetenzen nutzen können. Die Auswertung erfolgte früher weitgehend mit speziellen Programmen, nun geschieht sie mit den Werkzeugen, mit denen sie zu arbeiten gewohnt sind.

Mit der TI-Nspire™ Technologie kann sich der Unterricht in den Naturwissenschaften ebenso weiter entwickeln wie zuvor auch der der Mathematik.

Autor:

Dr. Karl-Heinz Keunecke, Kiel (D)

[kh.Keunecke@keukiel.de](mailto:kh.Keunecke@keukiel.de)