

Messen und Auswerten mit dem CLAB, Coach 7 und dem ClassPad-Manager in der Elektrizitätslehre der Sekundarstufe 2

Peter Rieger

1. Auflage

CASIO[®]

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Grundlagen des Messens und Auswertens mit CLAB und Coach 7	3
Messen mit CLAB und Coach 7 – einkanalige Messung	3
Messen mit CLAB und Coach 7 – zweikanalige Messung	6
Auswerten mit Coach 7.....	8
Darstellen und Exportieren von Messdaten.....	16
Vergleich der Vollversion von Coach 7 mit Coach Lite	18
Auswerten mit dem ClassPad-Manager zum ClassPad II	20
Experimente mit Kondensator und Spule im Gleichstromkreis	26
Hinweise zum Versuchskomplex – Kondensatoren im Gleichstromkreis.....	26
Entladen eines Kondensators über einen ohmschen Widerstand.....	27
Zusammenhang von Ladung und Kondensatorspannung beim Laden eines Kondensators über einen ohmschen Widerstand.....	32
Energie des elektrischen Feldes eines geladenen Kondensators	37
Hinweise zum Versuchskomplex – Spulen im Gleichstromkreis	43
Selbstinduktion an einer Spule beim Einschaltvorgang.....	44
Energie des magnetischen Feldes einer stromdurchflossenen Spule	48
Bestimmung der Induktivität und des ohmschen Widerstandes einer Spule	54
Experimente mit einem Schwingkreis	59
Hinweise zum Versuchskomplex – Schwingkreis	59
Gedämpfte elektromagnetische Schwingung	60
Energieumwandlungen beim Ausschwingen eines Schwingkreises	67
Experimente mit Wechselstromwiderständen	74
Hinweise zum Versuchskomplex – Wechselstromwiderstände	74
Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung am Kondensator im Wechselstromkreis	75
Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung an einer Spule im Wechselstromkreis	82
Elektrische Leistung und Arbeit im Wechselstromkreis aus einem ohmschen Widerstand und einem Kondensator als Reihenschaltung	90
Elektrische Leistung und Arbeit im Wechselstromkreis aus einem ohmschen Widerstand und einer Spule als Reihenschaltung	96

Experimente mit Halbleiterdioden	105
Versuchskomplex – Siliziumdioden.....	105
$I(U)$ -Kennlinie einer Halbleiterdiode	106
Gleichrichtung mit einer Halbleiterdiode	112
Experimente mit einer Glühlampe	119
Versuchskomplex - Glühlampen	119
Elektrischer Widerstand einer Glühlampe	120

Einleitung

Rechnergestütztes Messen und Auswerten gehören heute zu den Standardsituationen eines modernen Physikunterrichts. Im vorliegenden Band wird beschrieben, welche Möglichkeiten der Messwerterfassung und Datenauswertung sich mit dem CLAB-Interface von CMA in Verbindung mit dem Programm Coach 7 für Schülerexperimente bei der Behandlung der Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe 2 eröffnen. Diese Versuche lassen sich aber auch sehr gut als Demonstrationsexperimente zur Erarbeitung des neuen Stoffs in eine den Intentionen der Lehrenden entsprechende didaktische Konzeption integrieren.

Die Vollversion des Programmes Coach 7 in der Hand der Lehrenden ermöglicht es, auf die Belange der Schülerinnen und Schüler zugeschnittene Experimentierumgebungen zu schaffen, mit denen die Schülerinnen und Schüler dann mit der Freeware Coach 7 Lite arbeiten können. Im Kapitel 1 werden die Vollversion und Freeware bezüglich ihrer Verwendungsmöglichkeiten im Unterricht verglichen.

Das rechnergestützte Messen und Auswerten bietet sich insbesondere dann an, wenn die Schülerinnen und Schüler dadurch tiefere Einsichten in die physikalischen Sachverhalte erhalten. Insofern sind hierzu Schülerexperimente durchführbar, die innerhalb des Unterrichts im Rahmen einer Differenzierung bei der Erarbeitung eines physikalischen Inhaltes, der anschließenden Phase der Festigung und Vertiefung sowie im Physikalischen Praktikum eingesetzt werden können. Ergänzend zu den im Lernbereich Elektrizität mit Stromstärke- und Spannungsmessgeräten durchführbaren, traditionellen Schülerexperimenten lassen sich nun auch noch zusätzlich die Vorgänge in ihren zeitlichen Verläufen erfassen.

Für die Umsetzung im Unterricht ergeben sich somit folgende Möglichkeiten: Das rechnergestützte Messen und Auswerten wird als Erweiterung in die traditionellen Schülerexperimente integriert bzw. später auch als alleiniges Mittel im Schülerexperiment genutzt. Dadurch wird eine neue Qualität des Umgangs mit dem experimentellen Ergebnis erreicht. Es ergibt sich für die Lernenden ein Mehrwert bezüglich der Auseinandersetzung mit dem Messprozess. Die Schülerinnen und Schüler müssen sich Gedanken über die Messergebnisse und die Messunsicherheiten beim digitalen Messen sowie über Möglichkeiten der Verbesserung des Messvorgangs machen. Auch bezüglich der Auswertung und Datenanalyse erhalten die Schülerinnen und Schüler tiefere Einsichten. So sind nun verschiedene Methoden der Auswertung kritisch zu hinterfragen und zu bewerten. Die Anpassung von Modellen und die numerische Genauigkeit bei der Analyse und Weiterverarbeitung der Daten muss diskutiert werden.

Das Programm Coach 7 verfügt über zahlreiche gut handhabbare Werkzeuge zur Auswertung und Datenanalyse. Dennoch sind diese für einige Anwendungen nicht ausreichend. Es bietet sich daher an, die Daten in den ClassPad-Manager zu übertragen

Einleitung

und dort entsprechend numerisch oder analytisch weiter zu bearbeiten. So lassen sich beispielsweise durch die Möglichkeit des numerischen Integrierens mittels der Tabellenkalkulation, auch ohne tiefere Kenntnis der Integralrechnung, aus den Messwerten weitere physikalische Größen ermitteln und eindruckliche graphische Darstellungen generieren.

Für ein erfolgreiches selbstständiges Experimentieren müssen die Schülerinnen und Schüler neben dem inhaltlichen Verstehen der physikalischen Fragestellung auch über entsprechende Fertigkeiten im Umgang mit der Mess- und Auswertesoftware verfügen. Grundlegendes hierzu wird in den Kapiteln 1 und 2 beschrieben.

In den Kapiteln 3 bis 7 sind geeignete Schülerversuche zu verschiedenen physikalischen Sachverhalten mit Kondensatoren, Spulen, Halbleiterdioden und Glühlampen sowie mit Kombinationen einiger dieser Bauelemente mit ohmschen Widerständen im Gleich- und Wechselstromkreis beschrieben. Diese bauen auf bereits erworbenem Wissen der Schülerinnen und Schüler zum Sachverhalt auf und tragen durch das Anwenden von Mathematik in Verbindung mit modernen Medien zur Vertiefung und Erweiterung der vorhandenen Kenntnisse bei.

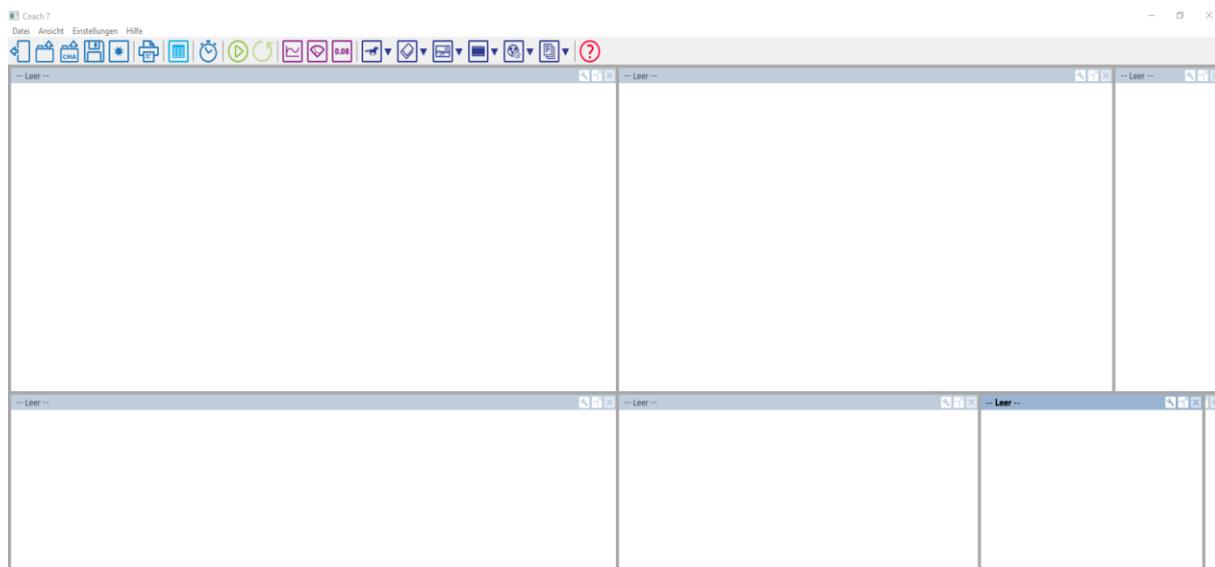
In diesen Kapiteln gibt es jeweils auch Informationen für die Lehrenden über die Zielstellung der vorgeschlagenen Experimente. Weiterhin werden durch ausformulierte Aufgabenstellungen mit Experimentieranleitung Vorschläge für die Bearbeitung des Sachverhaltes durch die Schülerinnen und Schüler unterbreitet. Diese lassen sich aber beliebig differenzieren und auf die tatsächlichen Belange des Unterrichts anpassen.

Die hier vorgeschlagenen Aufgabenstellungen mit Experimentieranleitungen und zugehörigen Coach 7 - Aktivitäten sind zum Download auf den Materialseiten von CASIO hinterlegt.

Für die Planung des Einsatzes der Experimente und als Hilfestellung für Lehrende und Lernende ist jeweils eine Dokumentation der vom Autor durchgeführten Messungen und vorgenommenen Auswertungen exemplarisch angefügt, mit der sich die Versuche Schritt für Schritt nachvollziehen und somit der zeitliche Aufwand und die erforderlichen Fertigkeiten der Schülerinnen und Schüler abschätzen lassen. Auch können diese als Basis für eigene Anleitungen zum Experimentieren mit gestuften Hilfen zur schrittweisen Entwicklung von Experimentierkompetenz beim Umgang mit modernen Messwerterfassungssystemen und der Datenanalyse verwendet werden.

Grundlagen des Messens und Auswertens mit CLAB und Coach 7

Coach 7 ist ein intuitives Programm für computergestütztes Messen, Videoanalyse sowie gleichungs- und graphikorientierte Modellbildung. Es ermöglicht die Darstellung von Daten in Diagrammen und Tabellen und auch als Anzeigewerte. Für die Bearbeitung der Messwerte in Diagrammen gibt es vielfältige Analysewerkzeuge. Nach dem Start des Programmes Coach 7 sind auf seiner Oberfläche vier Fenster vorbereitet, deren Anzahl aber erweitert werden kann. Dazu zieht man die Fensterbegrenzung am rechten Bildschirmrand nach links. Ebenso lassen sich auch die anderen Fensterbegrenzungen beliebig verschieben.

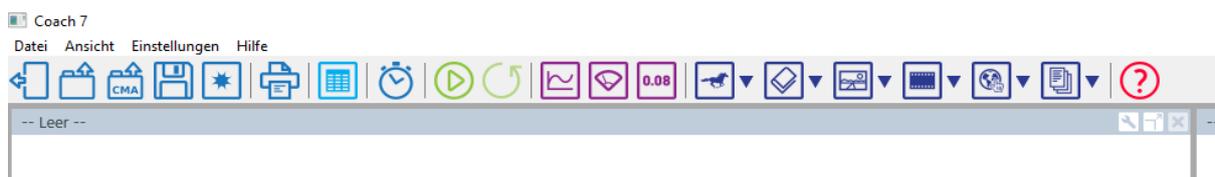


Durch Betätigen der rechten Maustaste bzw. Anklicken des Buttons **Werkzeug** öffnet sich im betreffenden Fenster ein spezifisches Kontextmenü.

Messen mit CLAB und Coach 7 – einkanalige Messung

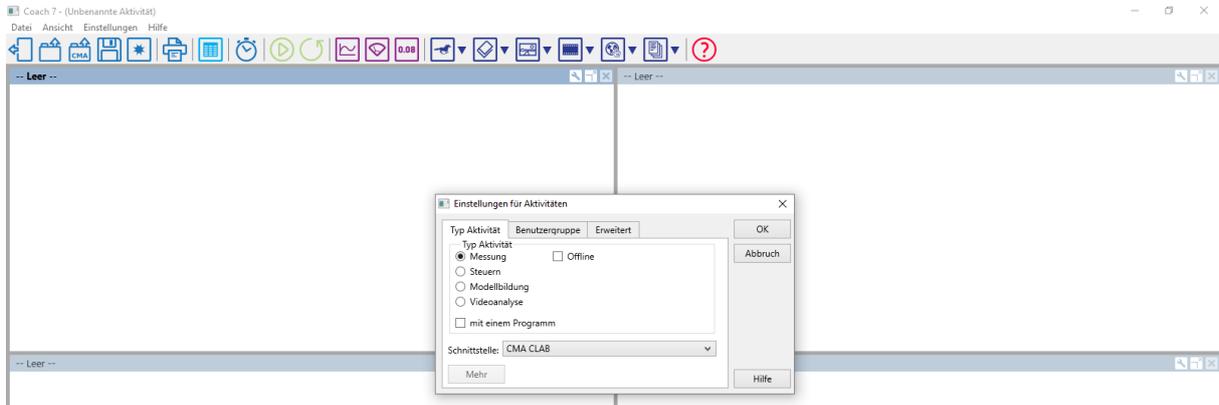
Im Folgenden werden einige Hinweise zum Umgang mit der Software bei der Messwerterfassung und -auswertung gegeben. Die Erläuterungen erfolgen am Beispiel der Erfassung des zeitlichen Verlaufes einer Wechselspannung mit einer Frequenz von ca. 100 Hz durch eine einkanalige Messung.

Die Einstellungen zur Messung, das Starten der Messung, das Bereitstellen von Messtabellen, ... erfolgen über die Menüleiste. Die Funktion des jeweiligen Buttons wird beim Überstreichen mit dem Mauszeiger sichtbar.

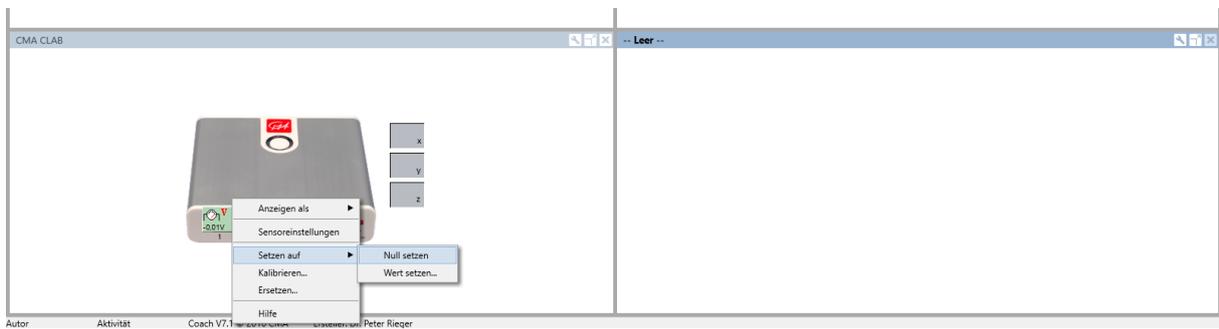


- **Aktivieren des CLAB-Interface von CMA für Coach 7**

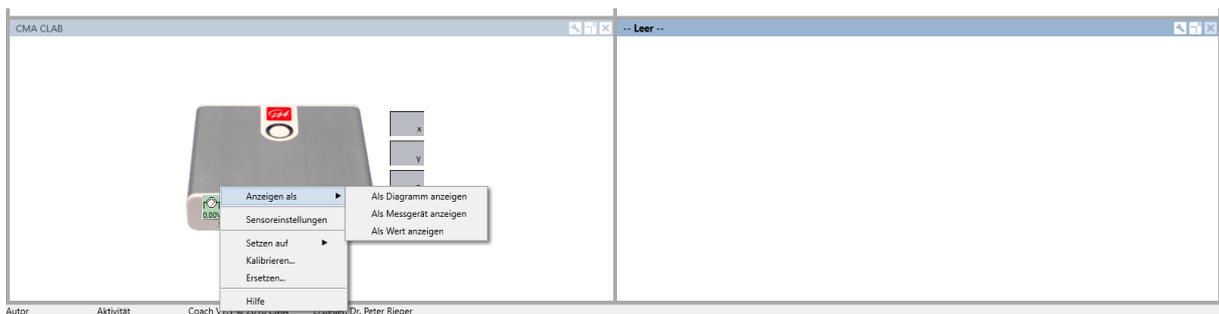
Das CLAB-Interface wird über ein USB-Kabel mit einem Laptop bzw. Tablet, auf dem das Programm Coach 7 installiert ist, verbunden und eingeschaltet. Das Programm wird gestartet. Unter dem Menüpunkt **Einstellungen/Aktivität** kann man das CLAB-Interface für die Messungen aktivieren. Danach erscheint ein Bild des Interfaces im Fenster links unten.



- **Vorbereitung einer einkanaligen Messung zur Messwerterfassung einer Wechselspannung mit einer Frequenz von ca. 100 Hz**



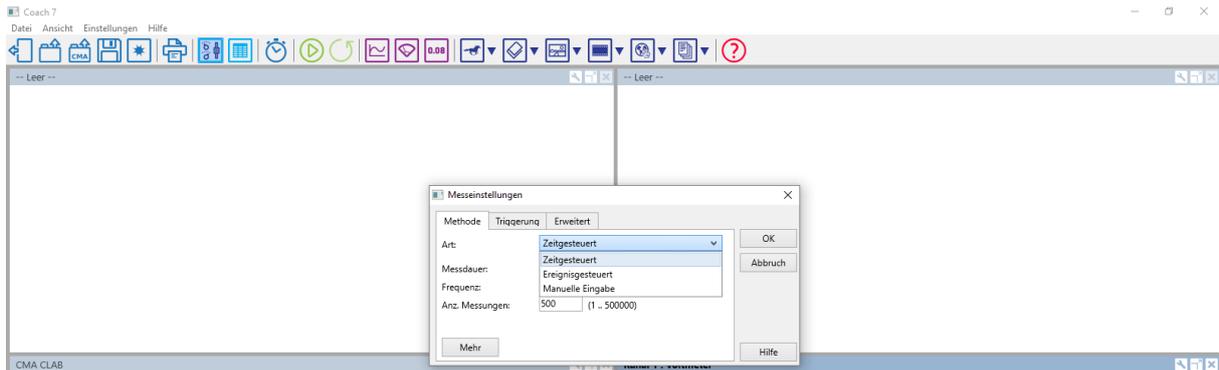
Der Spannungssensor wird an Kanal 1 angeschlossen. Im Bild des Interfaces erscheint Kanal 1 als aktiviert, indem er den momentanen Wert der anliegenden Spannung anzeigt. An jedem Kanal ist eine Nullpunkteinstellung, Wertsetzung oder Kalibrierung möglich. Über die Schalter x, y und z kann man den internen Beschleunigungsmesser des CLAB-Interfaces für Untersuchungen im Bereich Mechanik aktivieren.



Die Messwertausgabe kann wahlweise in einem Diagramm, auf einem virtuellen Messgerät oder als Anzeigewert im dafür ausgewählten Fenster erfolgen.

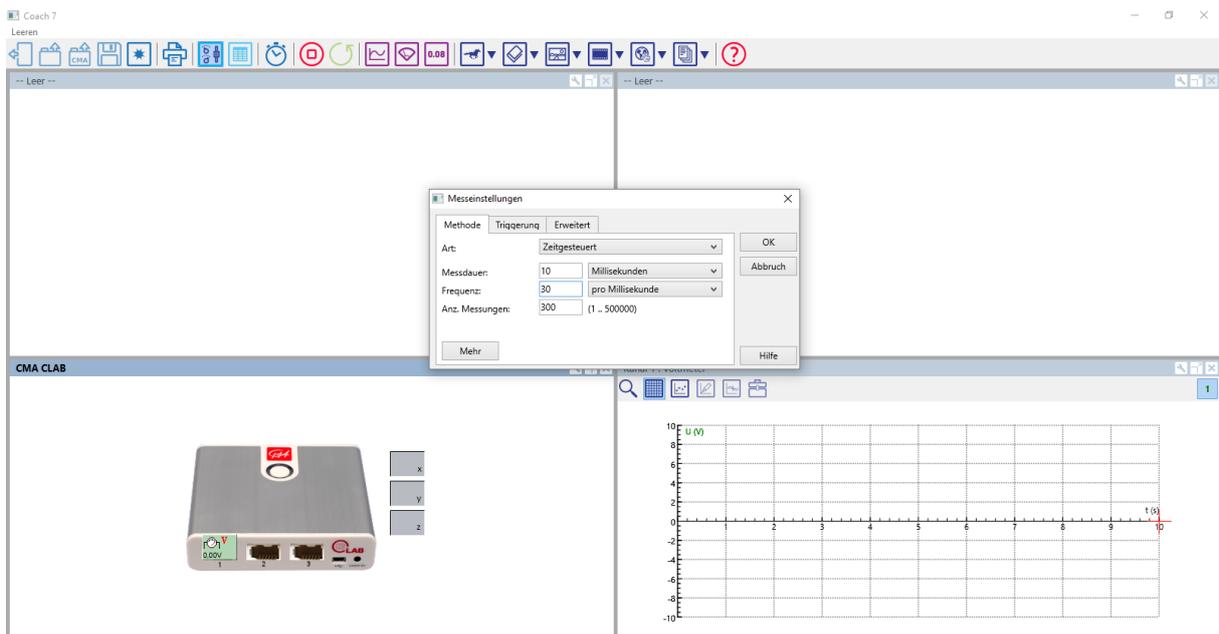
- **Messeinstellung**

Im nächsten Schritt werden die Einstellungen für die Art und Weise der Messwertaufnahme vorgenommen. Diese findet man unter dem Menüpunkt **Einstellungen/Einstellungen** bzw. durch Anklicken des Buttons mit dem Messuhr-Symbol.



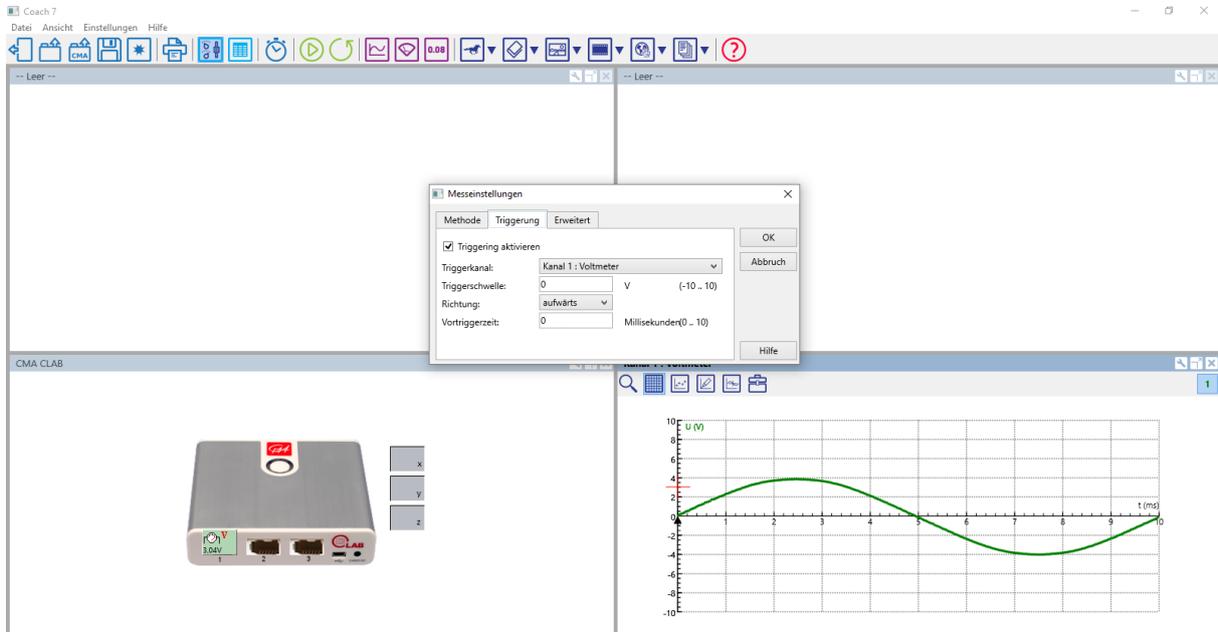
Für die geplante Messung (Wechselspannung, 100 Hz) wird die zeitgesteuerte Messung gewählt. Bei der Einstellung von Messdauer und Frequenz, hiermit ist die Anzahl der Messungen pro Zeiteinheit gemeint, muss der zeitliche Verlauf des physikalischen Vorganges beachtet werden (Abtasttheorem). Die Schwingungsdauer der Wechselspannung beträgt 10 ms. Aus der Messdauer und der Frequenz ergibt sich die Anzahl der Messwerte. Die Skalierung des Diagrammes passt sich automatisch an.

Das Auslösen der grünen Starttaste führt dann zur Darstellung des zeitlichen Verlaufes der Wechselspannung. Bei einer Wiederholung stellt man fest, dass der Spannungswert zum Zeitpunkt $t=0$ verschieden sein kann.



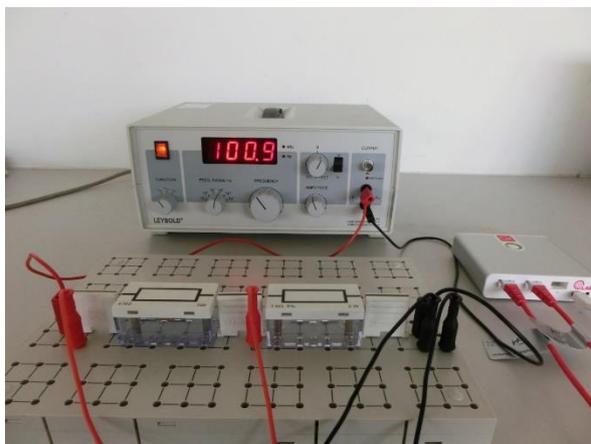
- **Triggerung**

Mit Hilfe der Triggerung kann man realisieren, dass die Messung jedes Mal beim gleichen Wert (z. B. $u=0$) einsetzt. Weiterhin kann die Triggerflanke aufwärts oder abwärts ausgewählt werden, so dass die Messwerte-Kurve nach dem Erreichen des Schwellwertes ansteigt oder abfällt.



Messen mit CLAB und Coach 7 – zweikanalige Messung

Im folgenden Beispiel wird eine weitere Spannung über einen zweiten Kanal gemessen. Da die elektrischen Massen der Kanäle (schwarze Stecker der Spannungssensoren) nicht voneinander unabhängig sind, ergeben sich zwei Schaltungsmöglichkeiten. Die Massen beider Kanäle müssen dabei immer auf einen gemeinsamen Potenzialpunkt der Schaltung gelegt werden.

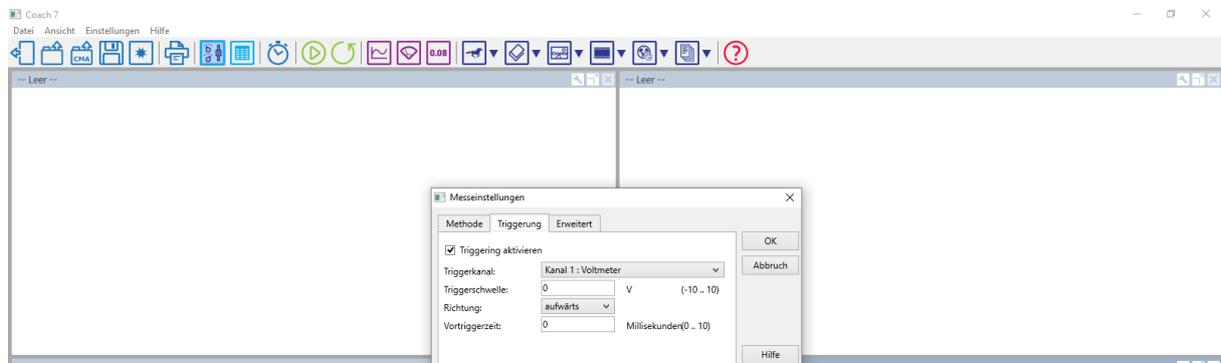


In der Schaltung im linken Bild werden die am rechten Widerstand und an beiden Widerständen anliegenden Spannungen gemessen. Durch Verlegen beider Massen auf die

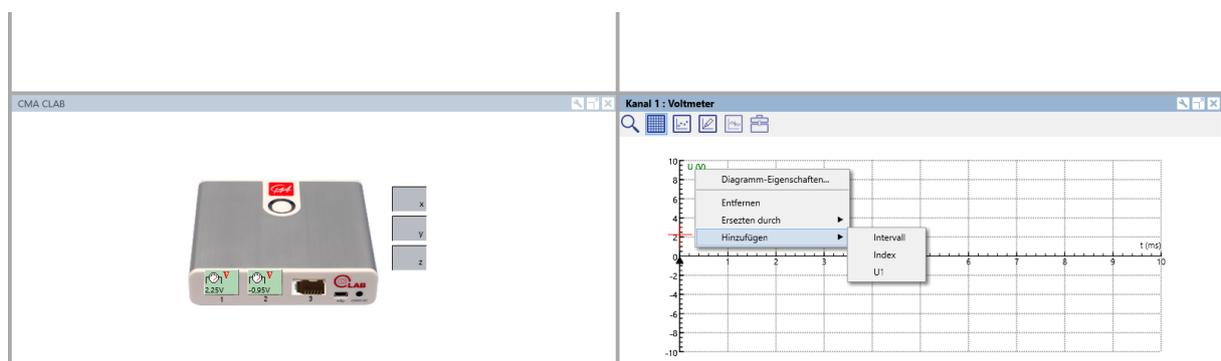
linke Seite wäre auch die Messung der Spannung am linken Widerstand möglich. In der Schaltung im rechten Bild liegt das Masse-Potenzial der Kanäle zwischen den Widerständen. Da dieses Massepotenzial das Nullpotenzial in der Schaltung für die Messung festlegt, werden die Spannungen an beiden Widerständen mit verschiedenen Vorzeichen erfasst. Die Messdaten eines Kanals müssen daher später invertiert werden. Dies ist im Programm Coach 7 nicht möglich und kann erst nach dem Export der Daten in einem weiteren Bearbeitungsprogramm (ClassPad-Manager) erfolgen.

Am CLAB sind nun zwei Spannungssensoren an die Kanäle 1 und 2 angeschlossen. Die Messeinstellungen werden, wie bei den Ausführungen zur einkanaligen Messung beschrieben, vorgenommen.

Bei der Einstellung der Triggerung kann man auswählen, ob der „Schwellwertschalter“ auf Kanal 1 oder 2 angewendet werden soll.

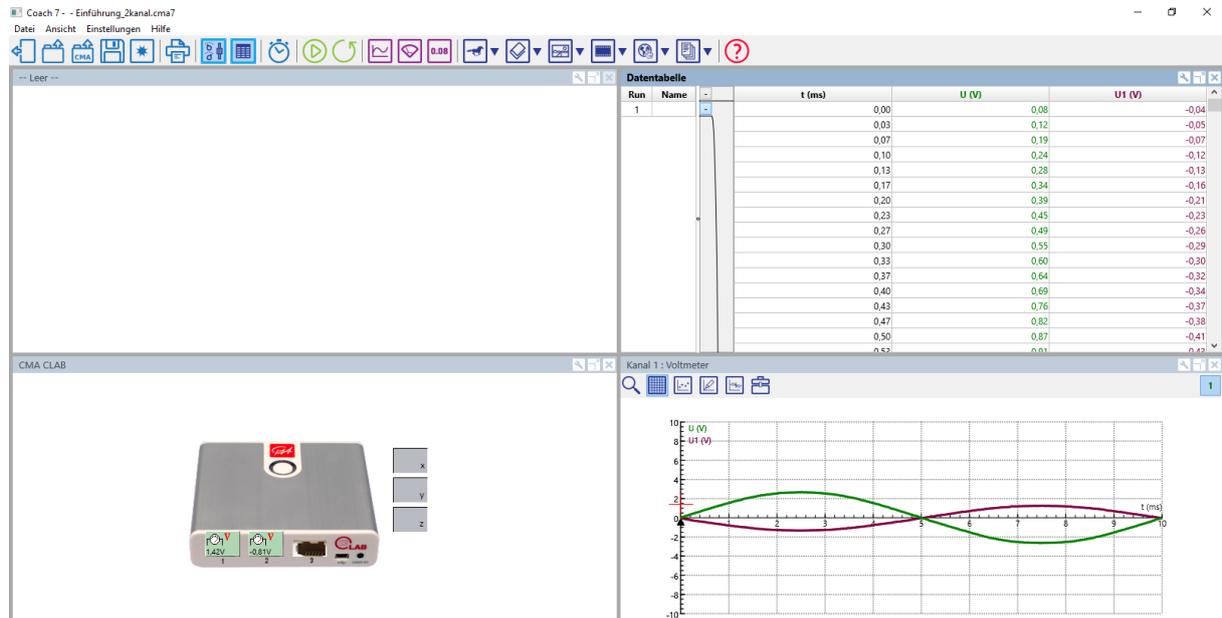


Für Kanal 1 wird ein Diagramm zur Darstellung der Messwerte erstellt, wie es bei den Ausführungen zur einkanaligen Messung beschrieben ist. Dieses Diagramm lässt sich für die zweikanalige Darstellung erweitern, indem man an der Ordinatenachse auf U(V) mit der linken Maustaste klickt und die Darstellung der Messwerte des zweiten Kanals (hier U1) aktiviert.



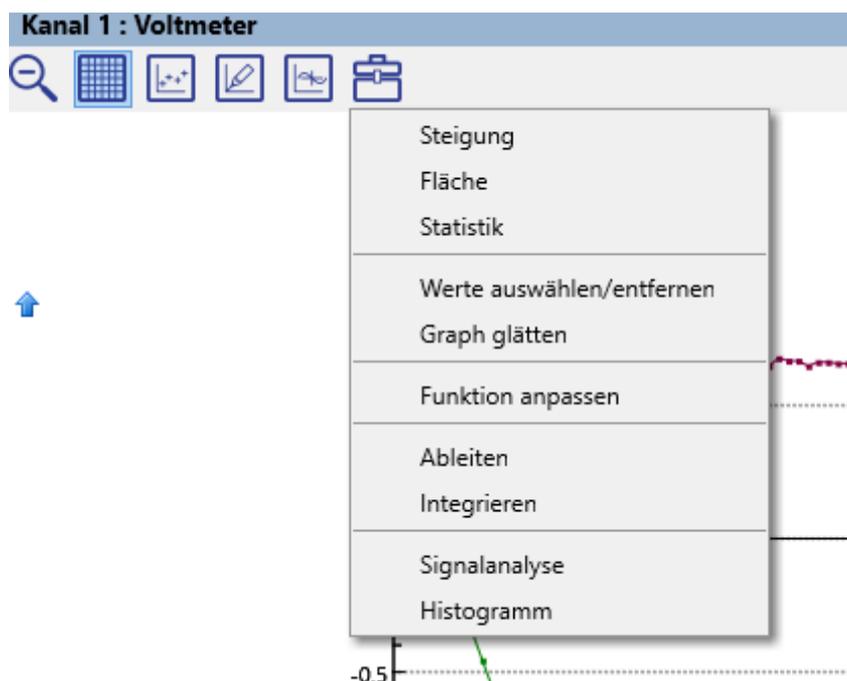
In der folgenden Abbildung ist das Messergebnis für die Schaltung mit mittlerer Massenlage der Kanäle dargestellt. Dabei sind die Graphen zueinander um 180° phasenverschoben. Dies ist messtechnisch bedingt und entspricht nicht dem physikalischen Sachverhalt. Daher ist eine nachträgliche Invertierung eines Kanals nötig.

Durch die gewählte Triggereinstellung kann man erkennen, an welchem Kanal diese Invertierung vorgenommen werden sollte.



Auswerten mit Coach 7

Das Programm Coach 7 verfügt über verschiedene Werkzeuge zur Auswertung: das Werkzeug **Analysieren** (Zweites von rechts) und die geöffnete Gruppe **Analyse/Verarbeitungs-Werkzeuge** (rechts).



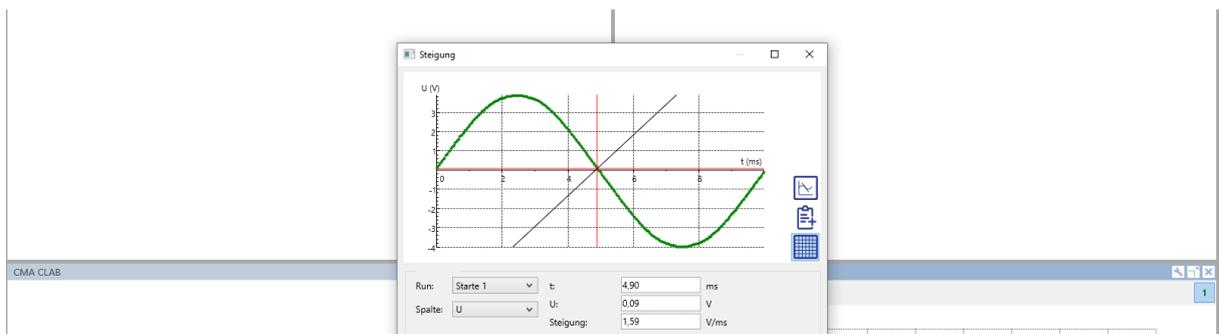
- **Werkzeug *Analysieren***

Das Werkzeug ermöglicht das Auslesen von Messwertepaaren mit dem Cursor. Bei einer zweikanaligen Messung lassen sich die Messwerte für beide Graphen gleichzeitig auslesen.

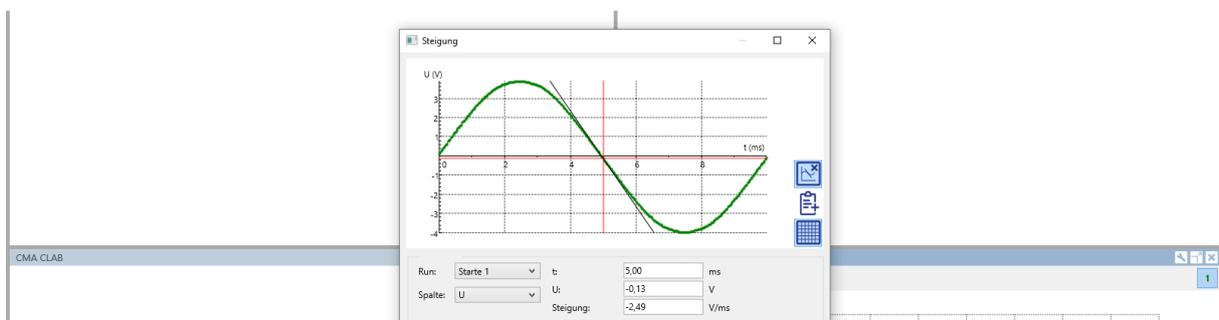


- **Werkzeug *Steigung***

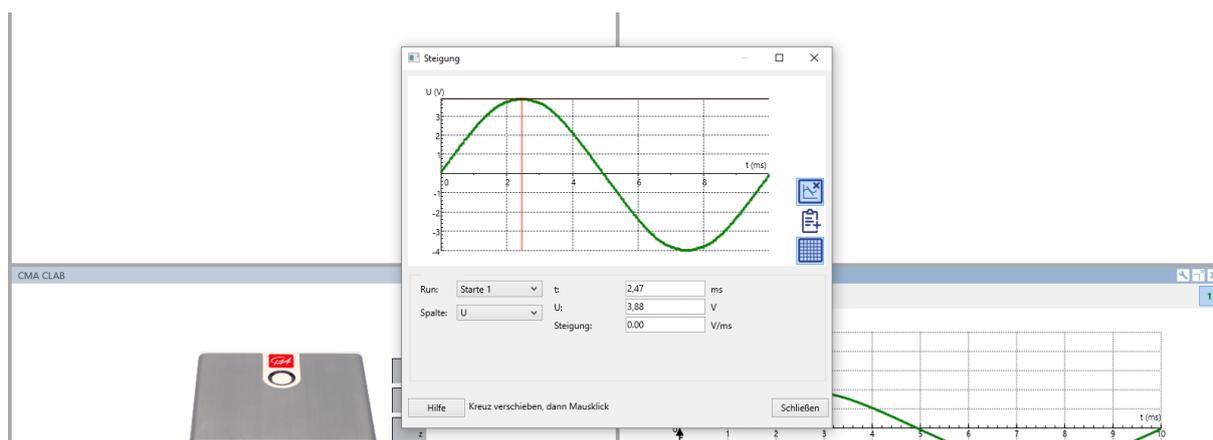
Nach dem Anklicken öffnet sich das folgende Fenster.



Zunächst wird die Option **Automatische Steigung on/off** angeklickt (oberer Button auf der rechten Seite des Fensters). Bei einer zweikanaligen Messung lässt sich bei **Spalte** einstellen, welcher Graph (U oder U1) bearbeitet werden soll. Das unten dargestellte Beispiel bezieht sich auf eine einkanalige Messung.



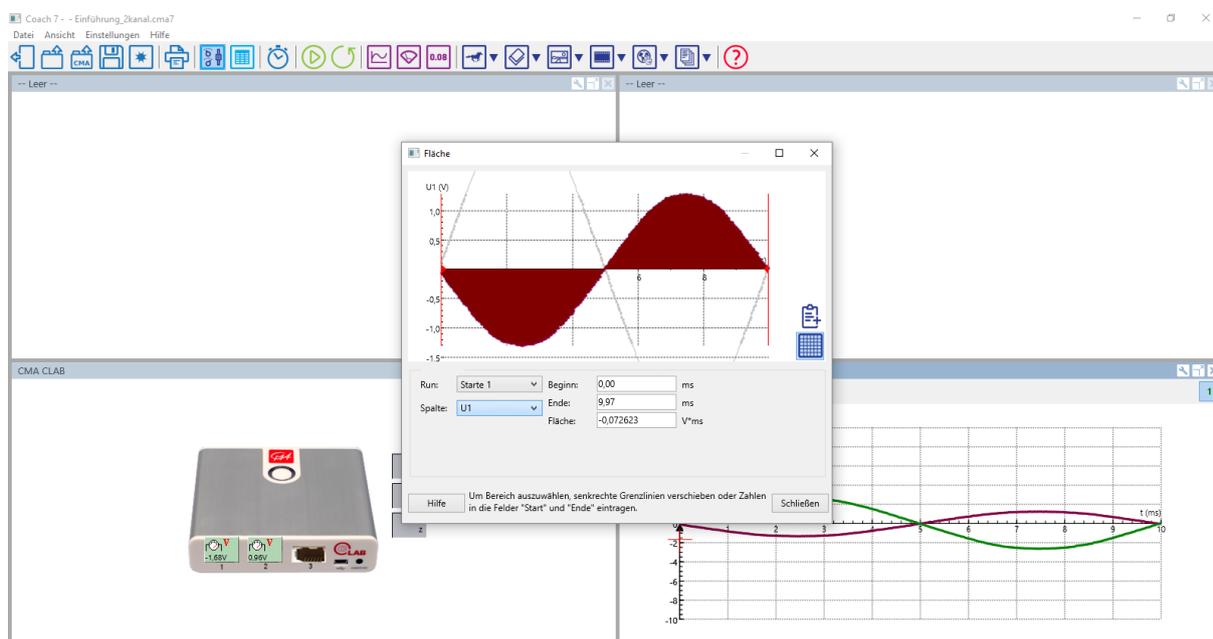
Mit dem Cursor wird der Punkt markiert, an dem die Steigung untersucht werden soll.



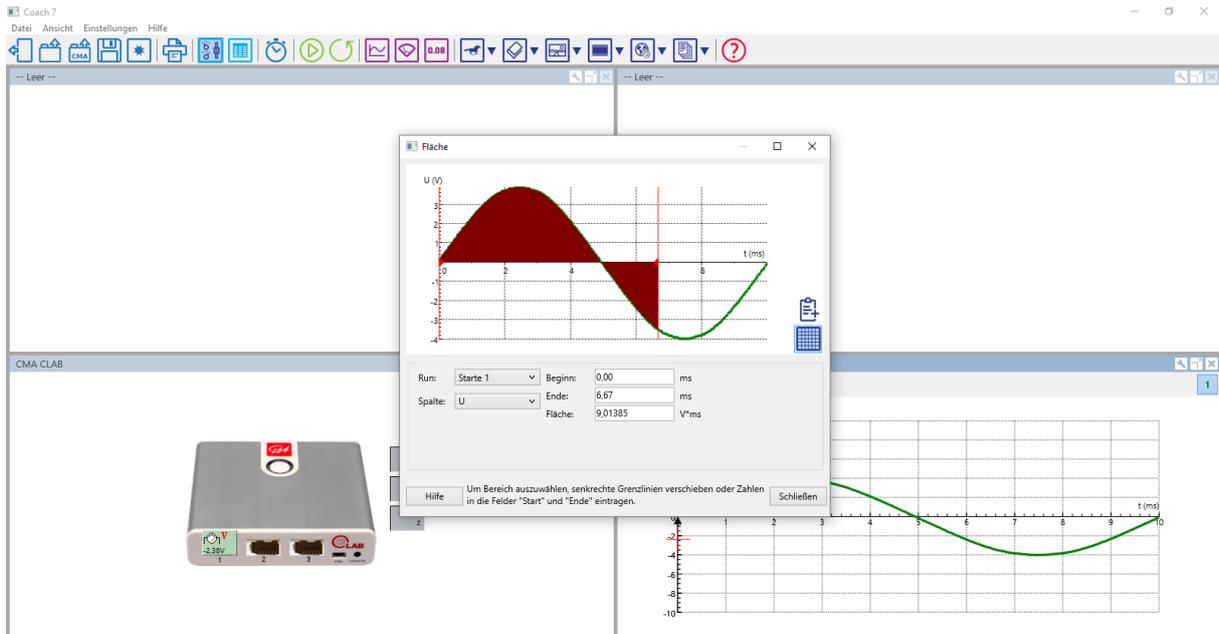
Im Maximum der Sinuskurve ist die Steigung null.

- **Werkzeug *Fläche***

Mit Hilfe des Werkzeuges **Fläche** wird vorzeichenrichtig die Fläche zwischen dem Graphen und der Zeitachse ermittelt. Bei einer zweikanaligen Messung lässt sich bei **Spalte** einstellen, welcher Graph (U oder U1) bearbeitet werden soll.



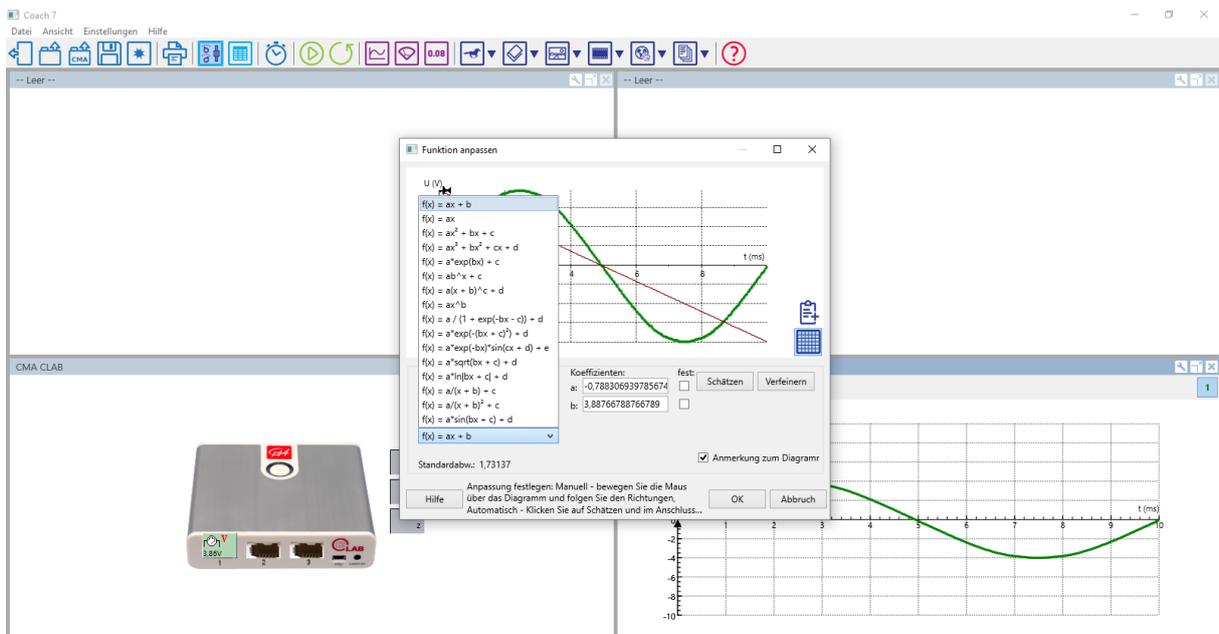
Durch Betätigen der roten Schieber auf der Zeitachse (am linken und rechten Rand) lässt sich ein gewünschter Bereich für die Ermittlung der Fläche einstellen. Das unten dargestellte Beispiel hierzu bezieht sich auf eine einkanalige Messung.



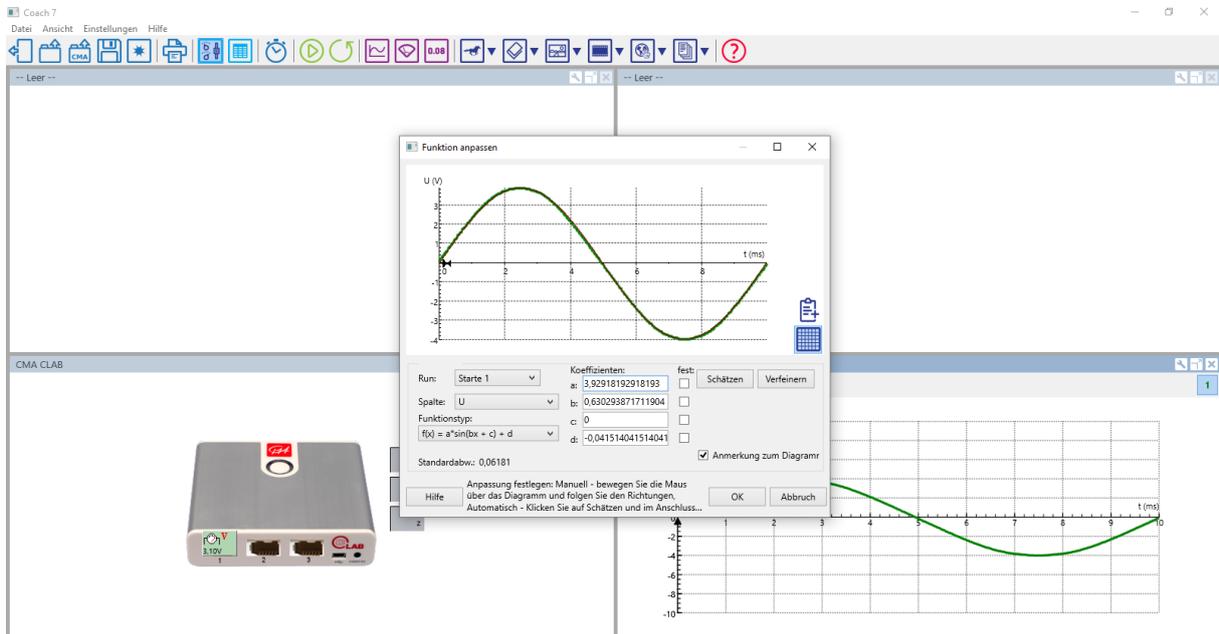
- **Werkzeug *Funktion anpassen***

Für die weitere mathematische Bearbeitung ist es häufig notwendig, den Messdaten einen funktionalen Zusammenhang zuzuordnen, der entweder den gesetzmäßigen Zusammenhang direkt beschreibt oder über ein Polynom annähert.

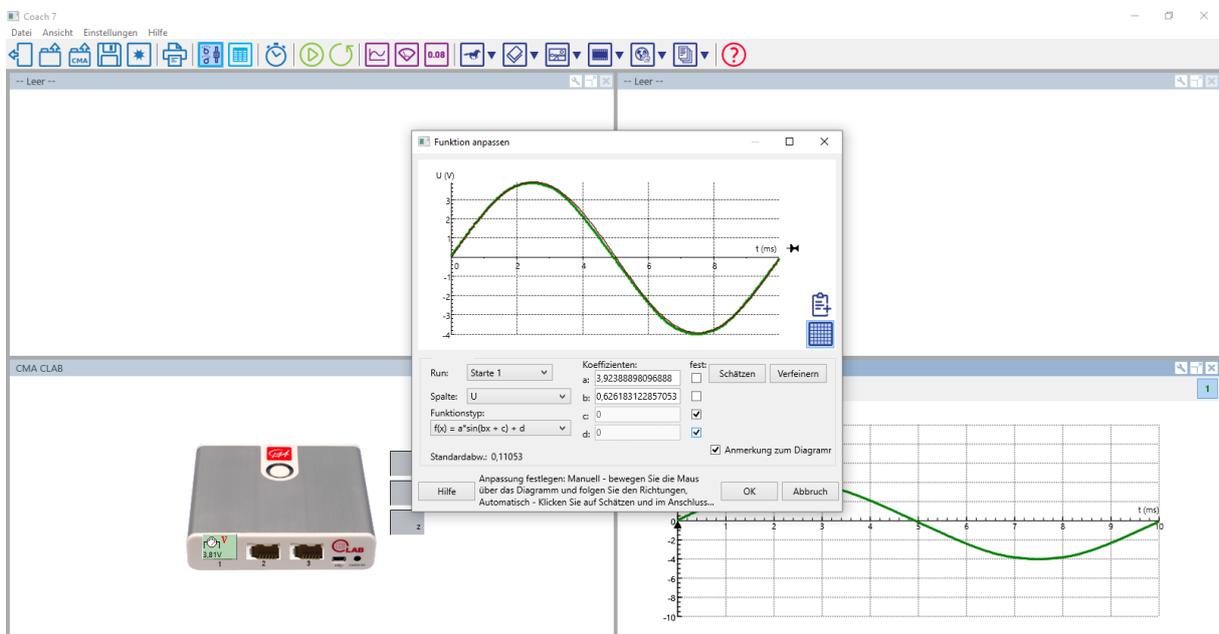
Da im hier beschriebenen Beispiel eine harmonische Wechselspannung mit aufsteigender Flanke beim Nulldurchgang zum Beginn der Messung untersucht wird, bietet sich eine Sinusfunktion als funktionaler Zusammenhang an.



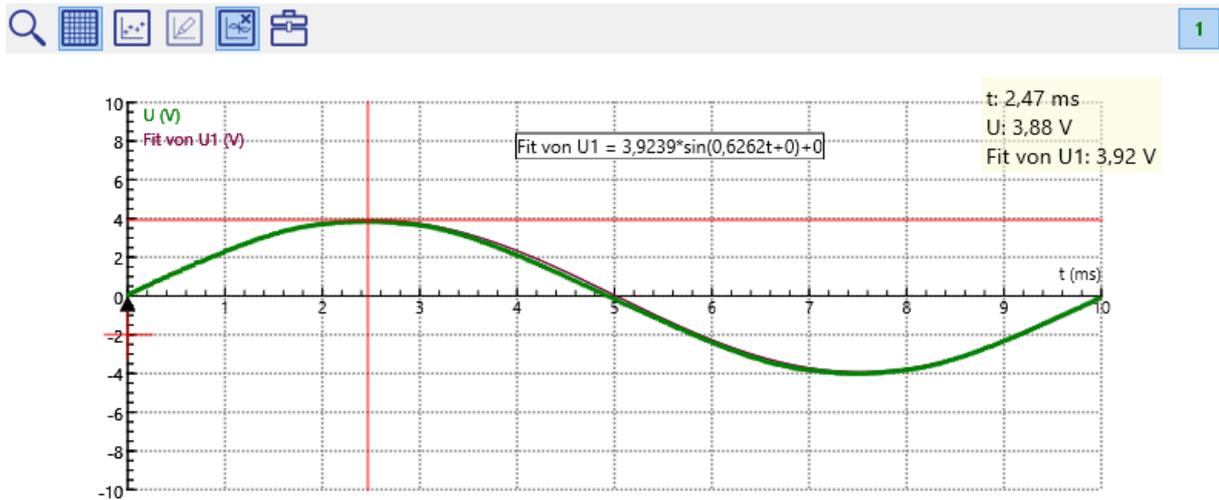
Bei einer zweikanaligen Messung lässt sich bei **Spalte** einstellen, welcher Graph (U oder U1) bearbeitet werden soll. Das hier dargestellte Beispiel bezieht sich auf eine einkanalige Messung.



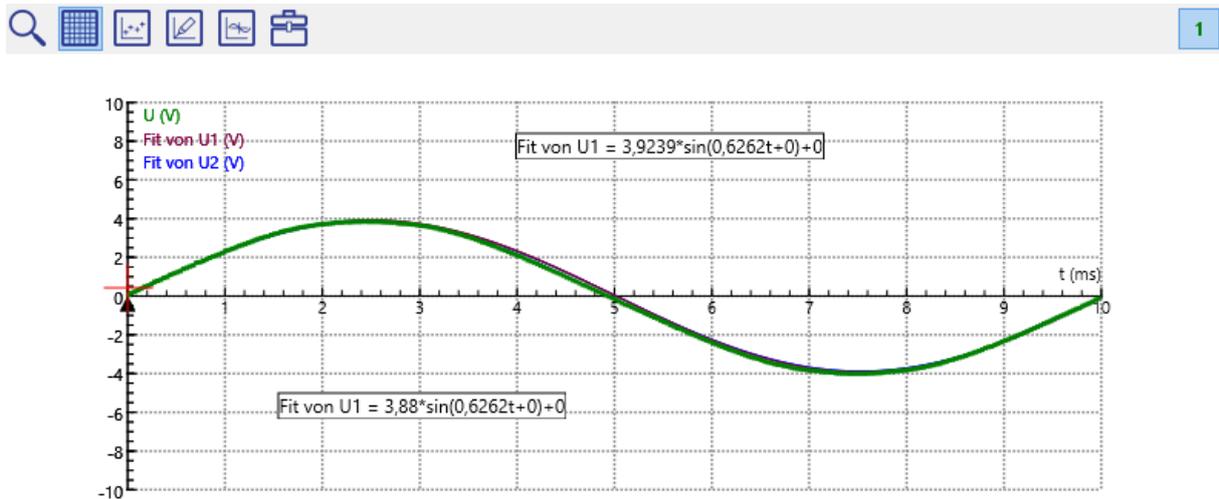
Aus den Messbedingungen ergibt sich ein Nullphasenwinkel von null und es ist kein Offset vorhanden. Somit können die Koeffizienten c und d fest auf null gesetzt werden.



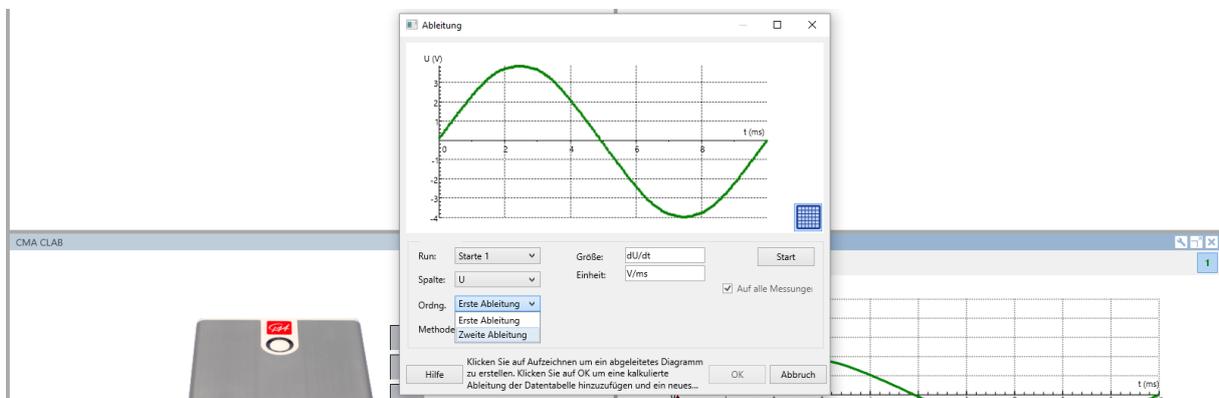
Das Ergebnis der Anpassung wird dann zusammen mit dem Graphen für die Messdaten im Ausgabediagramm dargestellt. Mit dem Cursor lässt sich, wie oben beschrieben, der tatsächliche Maximalwert der Spannung bestimmen.



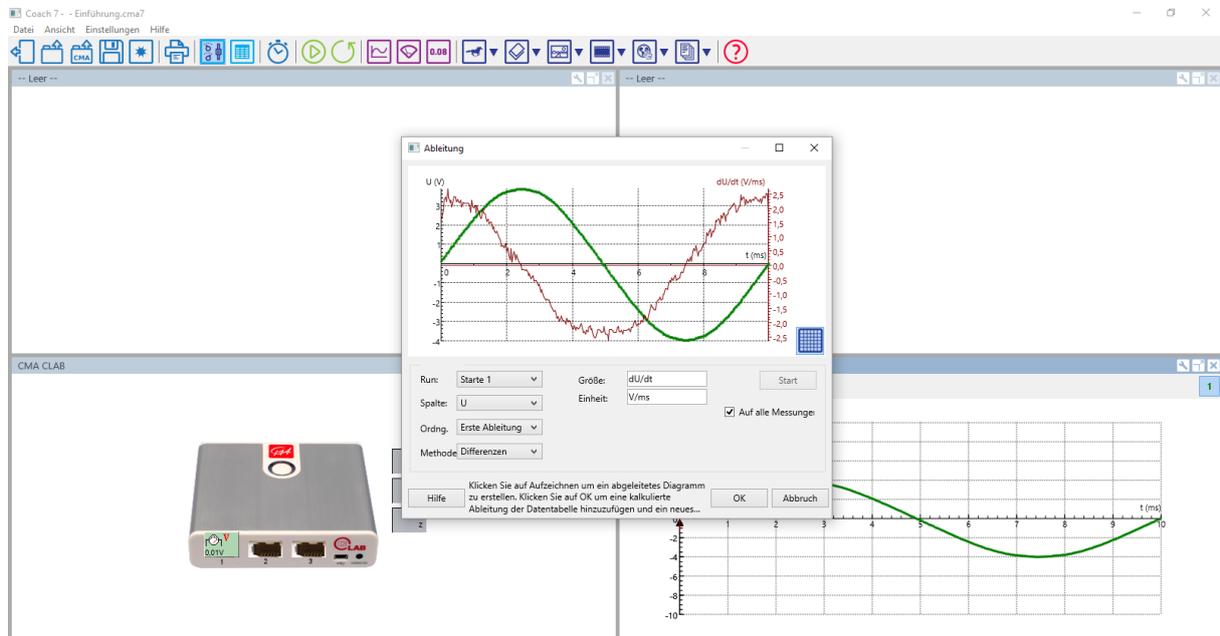
Mit diesem Wert kann beim Anpassen nachträglich noch der Koeffizient a festgelegt werden. Das Resultat der Anpassung stimmt gut mit dem Graphen der Messdaten überein.



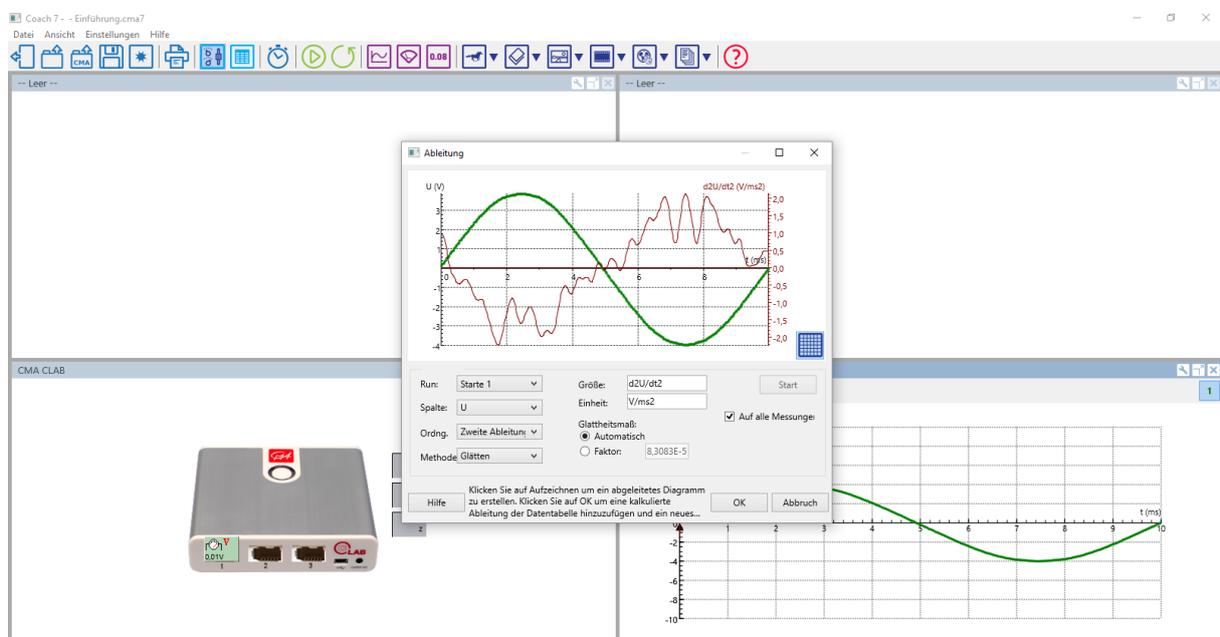
- **Werkzeug Ableiten**



Weiterhin besteht die Möglichkeit, numerisch zu differenzieren. Bei einer zweikanaligen Messung lässt sich bei Spalte einstellen, welcher Graph (U oder U1) bearbeitet werden soll. Es kann eine erste oder zweite Ableitung gebildet werden. Die unten dargestellten Beispiele beziehen sich auf eine einkanalige Messung. Zunächst wird die erste Ableitung ermittelt.



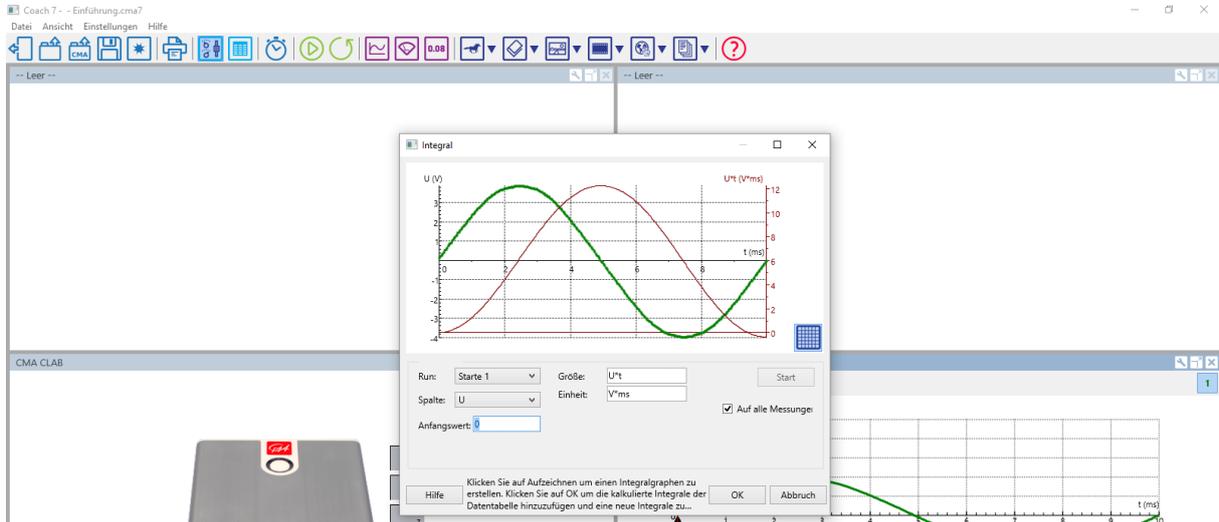
Anschließend wird die zweite Ableitung vorgenommen.



Während die erste Ableitung ein brauchbares Ergebnis liefert, ist das Ergebnis für die zweite Ableitung nur bedingt geeignet, um den Verlauf des wirklichen Graphen zu errahnen. Das allerdings auch nur, wenn die **Methode Glätten** verwendet wird.

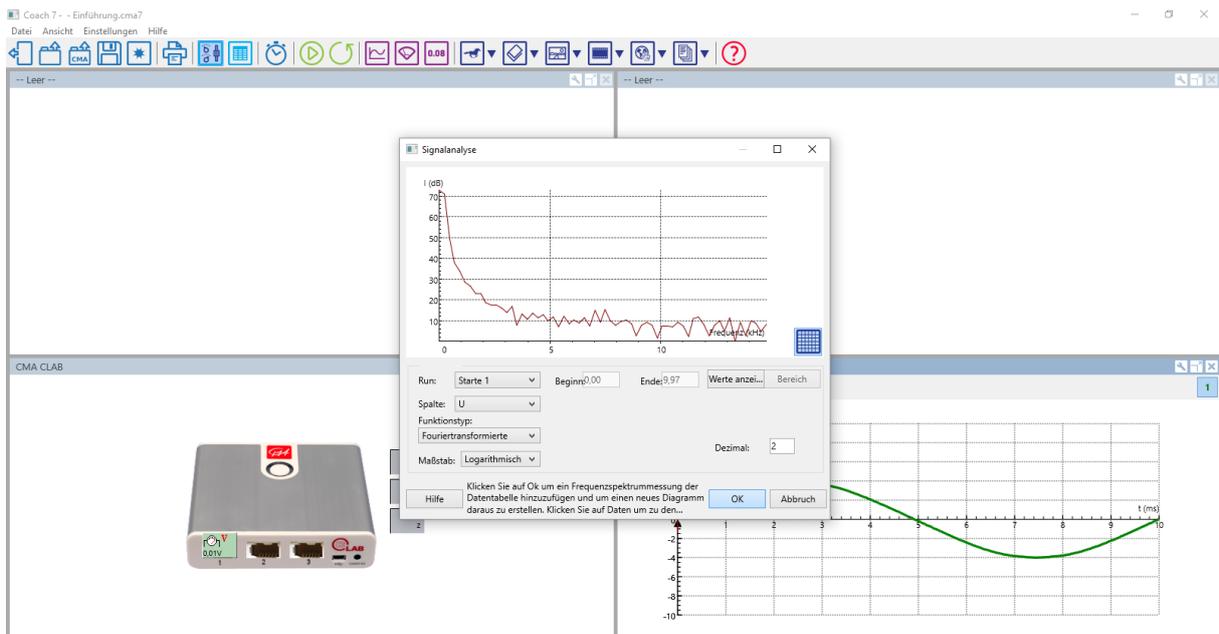
- **Werkzeug *Integrieren***

Auch lässt sich der durch die Messdaten gegebene Graph integrieren. Bei einer zweikanaligen Messung lässt sich bei **Spalte** einstellen, welcher Graph (U oder U1) bearbeitet werden soll. Das unten dargestellte Beispiel bezieht sich auf eine einkanalige Messung.



- **Werkzeug *Signalanalyse***

Für erweiterte Betrachtungen lässt sich z. B. mit dem Werkzeug **Signalanalyse** eine Fouriertransformation durchführen. Bei einer zweikanaligen Messung lässt sich bei **Spalte** einstellen, welcher Graph (U oder U1) bearbeitet werden soll. Das unten dargestellte Beispiel bezieht sich auf eine einkanalige Messung.

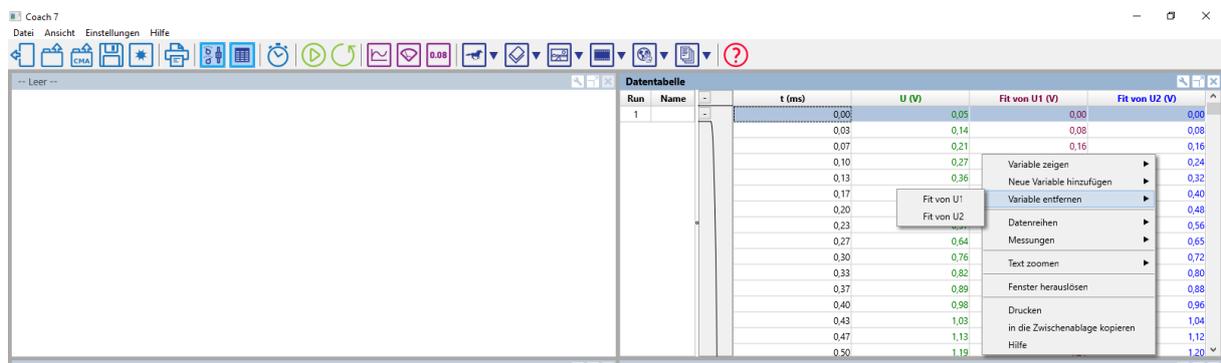


Darstellen und Exportieren von Messdaten

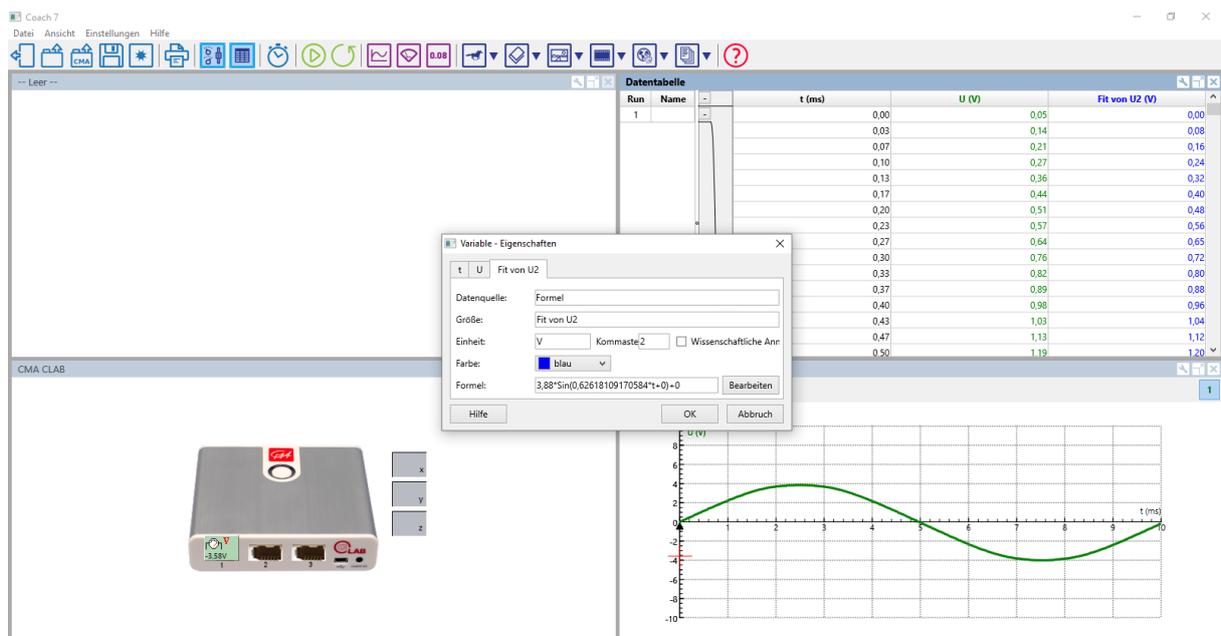
- **Darstellen der Messwerte in einer Tabelle**

Beim Anklicken des Buttons **Tabelle** in der Menüleiste entsteht eine Tabelle, die alle vorhandenen Messdaten und auch die durch eine weitere Bearbeitung generierten Daten auflistet. Nicht mehr benötigte Daten können jederzeit aus dem Diagramm oder der Tabelle über das Kontextmenü (rechte Maustaste) entfernt werden. Auch können an dieser Stelle noch Nachbearbeitungen vorgenommen werden.

Im unten dargestellten Beispiel sind in der Tabelle neben den originalen Messwerten auch die durch Anpassen generierten Daten enthalten: Fit von U1 und Fit von U2. Der Fit von U1 soll nun entfernt werden.



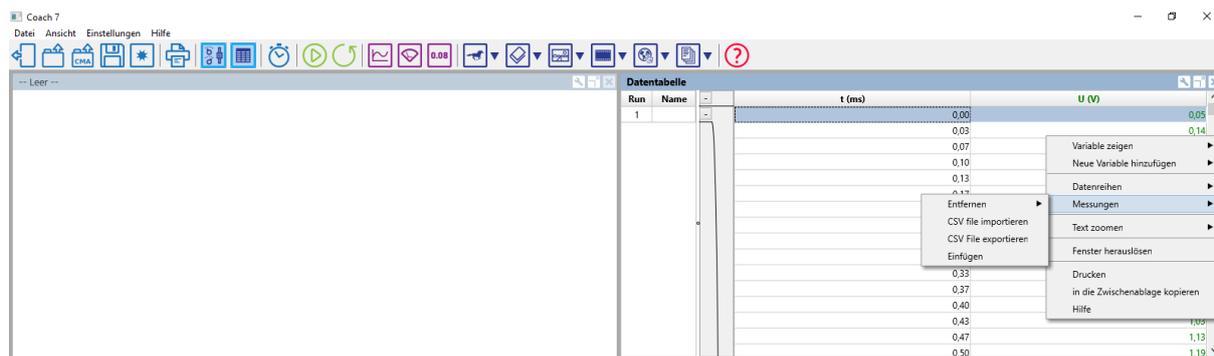
An Fit von U2 soll eine Nachbearbeitung vorgenommen werden. Dafür klickt man mit der Maus in den Tabellenkopf auf **Fit von U2**. Es öffnet sich, wie unten dargestellt, ein Bearbeitungsfenster.



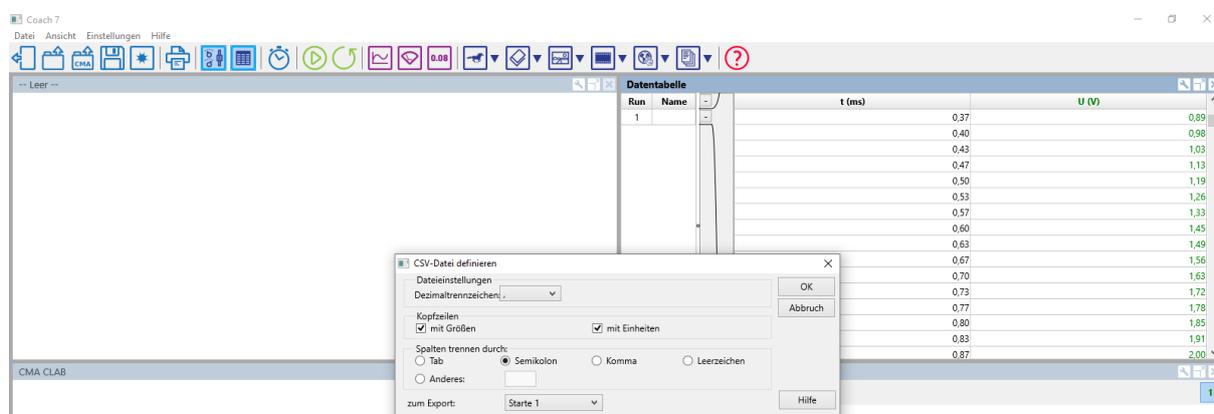
Beispielsweise können nun noch nachträglich die Parameter in der **Formel** optimiert werden.

- **Exportieren der Daten**

Mit Hilfe der im Programm Coach 7 vorhandenen Analyse- und Bearbeitungswerkzeuge lassen sich nicht alle Aufgabenstellungen umsetzen. Coach 7 verfügt für diesen Fall über eine Exportfunktion, um eine Weiterbearbeitung der Daten mit anderen Programmen (z. B. ClassPad-Manager) zu ermöglichen. Die Daten können als CSV-Datei exportiert werden. Die Exportfunktion findet man im Kontextmenü, welches sich öffnet, wenn man mit der rechten Maustaste in die Tabelle klickt.



Nach der Auswahl **CSV-File exportieren** öffnet sich ein Fenster zur Einstellung des Datenformates.



Man stellt das Format für die CSV-Datei am besten so ein, dass es bereits den Einstellungen im Programm für die weitere Bearbeitung entspricht. Nach dem Bestätigen mit **OK** öffnet sich der Explorer. Für das Abspeichern empfiehlt sich ein Ordner, auf dem man vom Weiterbearbeitungsprogramm gut zugreifen kann. Wenn man mit dem ClassPad-Manager weiter arbeiten möchte, muss man die CSV-Datei ins Verzeichnis **CASIO/ClassPadManager für ClassPad II** verschieben.

Vergleich der Vollversion von Coach 7 mit Coach Lite

Die oben beschriebenen Möglichkeiten für die Messwerterfassung und –auswertung beziehen sich auf die Vollversion des Programmes Coach 7. Mit dieser kann die Lehrkraft entsprechend den jeweiligen didaktischen Intentionen Projektvorlagen bzw. Aktivitäten für Schülerexperimente erstellen, mit denen die Schülerinnen und Schüler dann mit dem freien Programm Coach 7 Lite arbeiten können. In der folgenden Übersicht werden beide Programme bezüglich der zur Verfügung stehenden Bearbeitungsmöglichkeiten verglichen. Es ist daraus ersichtlich, dass sich mit Coach 7 Lite die zu den nachfolgenden Versuchsanleitungen in den Kapiteln 3 bis 7 zugehörigen Coach 7 - Aktivitäten gut nutzen lassen. Im Wesentlichen lassen sich alle für die Auswertung unterbreiteten Vorschläge direkt umsetzen. Für Fälle, wo es im Programm Coach 7 Lite nicht so wie im Programm Coach 7 funktioniert, wie z. B. der Datenexport für die erweiterte Auswertung mit dem ClassPad-Manager, sind in der Tabelle entsprechende Hinweise für einen alternativen Weg gegeben.

Funktion	Coach 7	Coach 7 Lite	Hinweise
Neue Aktivität erstellen	ja	bedingt	Es können nur vorgefertigte Programme genutzt werden, damit lassen sich Messgeräte und Graphen darstellen, die Übersicht ist allerdings begrenzt.
Messeinstellungen anpassen	ja	ja	
Messung als Diagramm anzeigen	ja	ja	
Messung als Messgerät anzeigen	ja	ja	
Messung als Wert anzeigen	ja	ja	
Bereich Sensoreinstellungen:			
Sensoreinstellungen aus Bibliothek ersetzen	ja	ja	
Verwendung des Sensors steuern	ja	ja	
Wert setzen	ja	ja	
Null setzen	ja	nein	
Kalibrieren	ja	nein	
6 Kanäle möglich	ja	ja	
Bereich Einteilung des Programms:			
Mit Rechtsklick auf leeres Fenster Kontextmenü aufrufen um Diagramme, Messwerte, Text einzufügen	ja	nein	Messwerte können mit den violetten Symbolen aus der oberen Leiste eingefügt werden. Vom Autor der Aktivität vorbereitete Texte, Bilder, Websites und Schülertexte können mit den blauen Symbolen eingefügt werden.
Bereich Datenanalyse am Funktionsgraphen:			
Diagrammausschnitt anpassen/weitergehen	ja	ja	
Diagramm einfügen/bearbeiten	ja	ja	
Rasterlinien ein-/ausblenden	ja	ja	

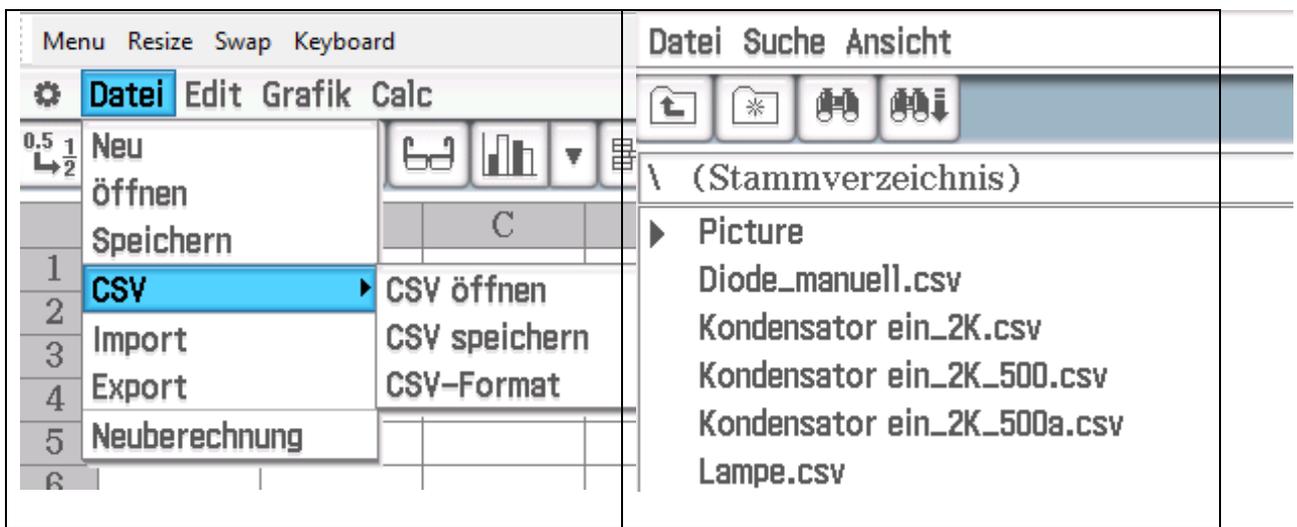
Funktion	Coach 7	Coach 7 Lite	Hinweise
Verschiedene Messungen ein-/ausblenden	ja	ja	
Werte ablesen	ja	ja	
Graph skizzieren	ja	ja	
Anmerkung hinzufügen	ja	ja	
Hintergrunddiagramm importieren	ja	nein	
Steigung anzeigen	ja	ja	
Fläche unter dem Graphen anzeigen	ja	ja	
Statistik anzeigen	ja	nein	
Einzelne Werte auswählen/entfernen	ja	nein	Ist auch in der Wertetabelle nicht möglich.
Graph glätten	ja	nein	
Funktion anpassen	ja	bedingt	Ist prinzipiell möglich. Die Funktionsauswahl ist in Lite-Version allerdings sehr eingeschränkt.
Ableiten	ja	ja	
Integrieren	ja	nein	
Signalanalyse	ja	nein	
Histogramm	ja	nein	
Bereich: Datenanalyse an der Wertetabelle			
Variablen zeigen	ja	ja	
Neue Variable hinzufügen	ja	ja	
Variable entfernen	ja	ja	
Reiter Datenreihen	ja	nein	
Messungen entfernen	ja	ja	
Messungen als CSV-file importieren	ja	nein	
Messungen als CSV-file exportieren	ja	nein	Die Daten können mit der Hand markiert und mit Strg+C in ein Tabellenkalkulations-Programm kopiert und dort zu einem CSV-file konvertiert werden.
Messungen einfügen	ja	nein	
Text zoomen	ja	nein	
Bereich Projektstruktur:			
Neue Diagramme einfügen	ja	ja	
Neue leere Felder erstellen	ja	ja	
Neue Hinweis- oder Aufgabentexte schreiben	ja	nein	
Aufgabendateien überarbeiten	ja	nein	
Videoanalyseprogramm	ja	nein	

Auswerten mit dem ClassPad-Manager zum ClassPad II

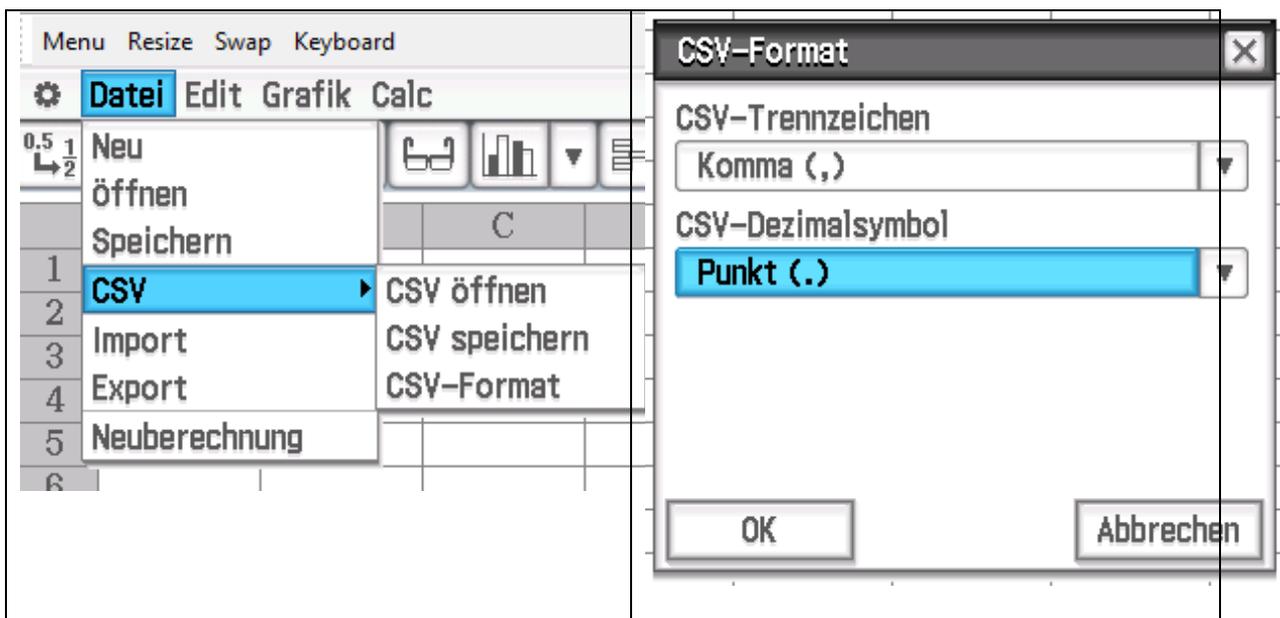
Obwohl Coach 7 vielfältige Möglichkeiten zur ersten Auswertung von Messdaten bietet, ist für eine erweiterte Auswertung die Nutzung des ClassPad-Managers nötig. An dieser Stelle soll die Verwendung der Tabellenkalkulation erläutert werden.

- **Importieren der Messdaten**

Um die aus Coach 7 exportierten Daten im ClassPad-Manager zu nutzen, muss die CSV-Datei im Verzeichnis des ClassPad-Managers abgelegt sein. Nach der Auswahl der gewünschten Datei wird die Messwerttabelle in der Tabellenkalkulation bereitgestellt.

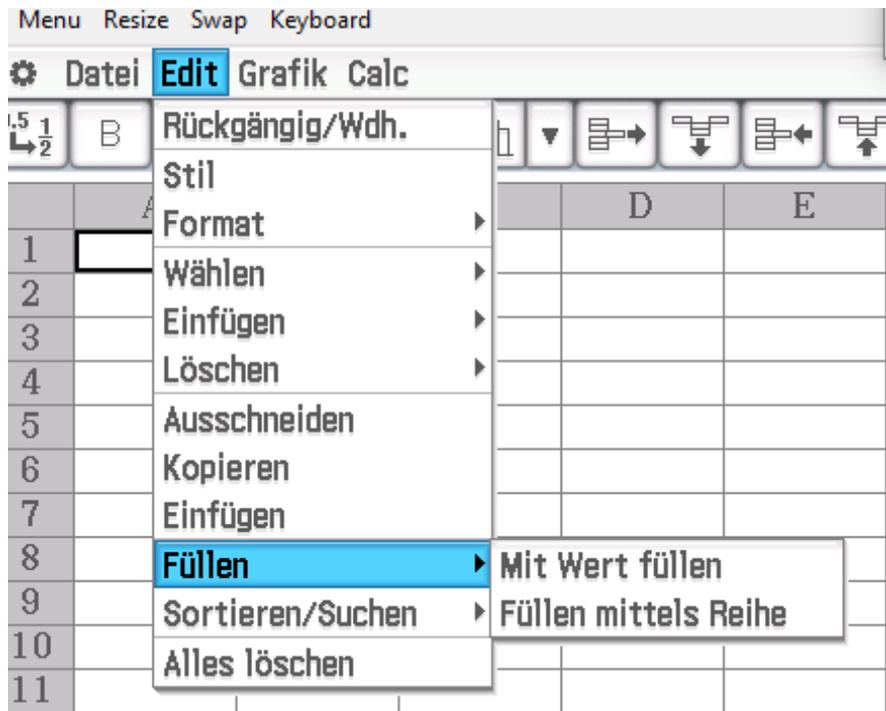


Wenn es nicht schon beim Exportieren aus Coach 7 geschehen ist, können die notwendigen Anpassungen des CSV-Formates auch im ClassPad-Manager erfolgen.

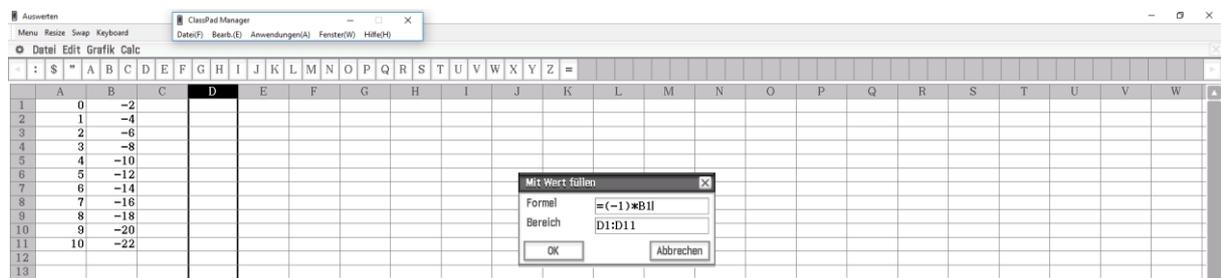


- **Invertieren und Berechnen von Werten aus Messdaten**

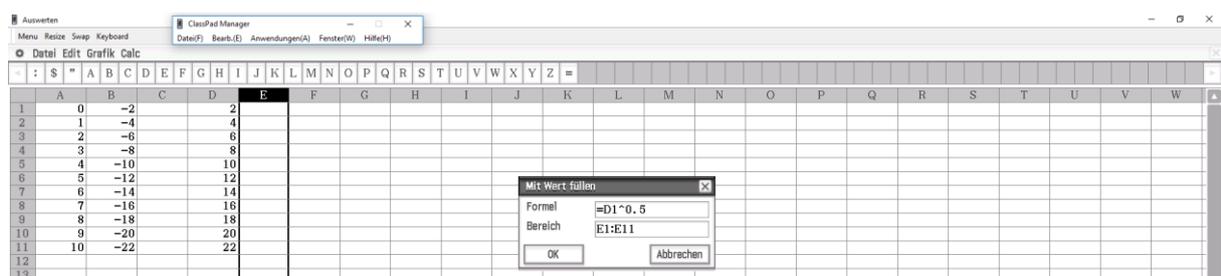
Das Invertieren der Werte in einer beliebigen Spalte erfolgt mit Hilfe von **Edit/Füllen/Mit Wert füllen**.



Die invertierten Werte sollen in Spalte D erscheinen.



In gleicher Weise kann man weitere Werte berechnen. Als Beispiel sollen in Spalte E die Werte angegeben werden, die sich aus der Quadratwurzel der Werte aus Spalte D ergeben.

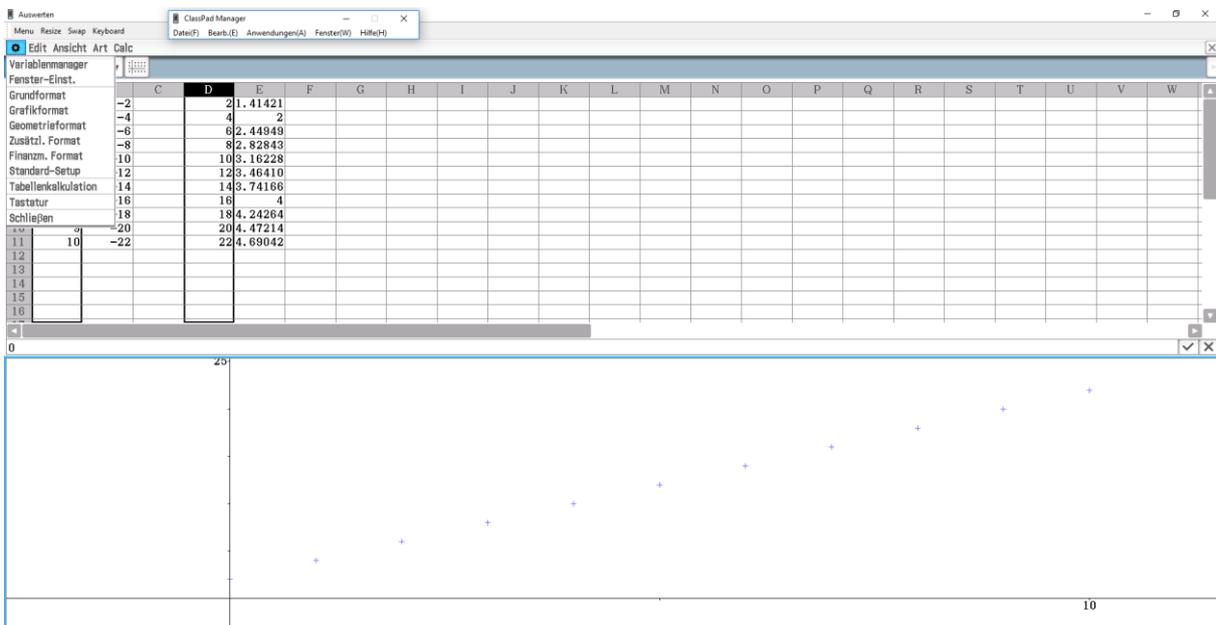


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
1	0	-2		21.41421																				
2	1	-4		4	2																			
3	2	-6		62.44949																				
4	3	-8		82.82843																				
5	4	-10		103.16228																				
6	5	-12		123.46410																				
7	6	-14		143.74166																				
8	7	-16		16	4																			
9	8	-18		184.24264																				
10	9	-20		204.47214																				
11	10	-22		224.69042																				

- **Darstellen der Werte in einem Diagramm**

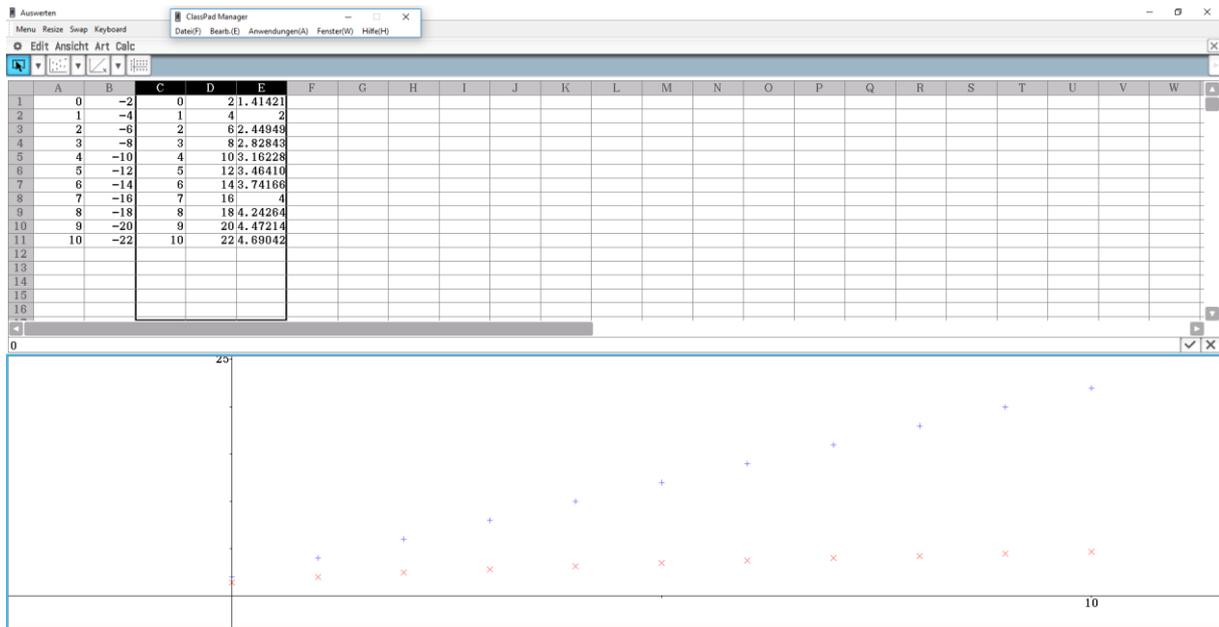
Zunächst sollen die Werte der Spalte D über den Werten der Spalte A dargestellt werden. Dazu werden die Spalten A und D markiert. Mit **Grafik/Scatter** erhält man die Darstellung.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
1	0	-2		21.41421																				
2	1	-4		4	2																			
3	2	-6		62.44949																				
4	3	-8		82.82843																				
5	4	-10		103.16228																				
6	5	-12		123.46410																				
7	6	-14		143.74166																				
8	7	-16		16	4																			
9	8	-18		184.24264																				
10	9	-20		204.47214																				
11	10	-22		224.69042																				



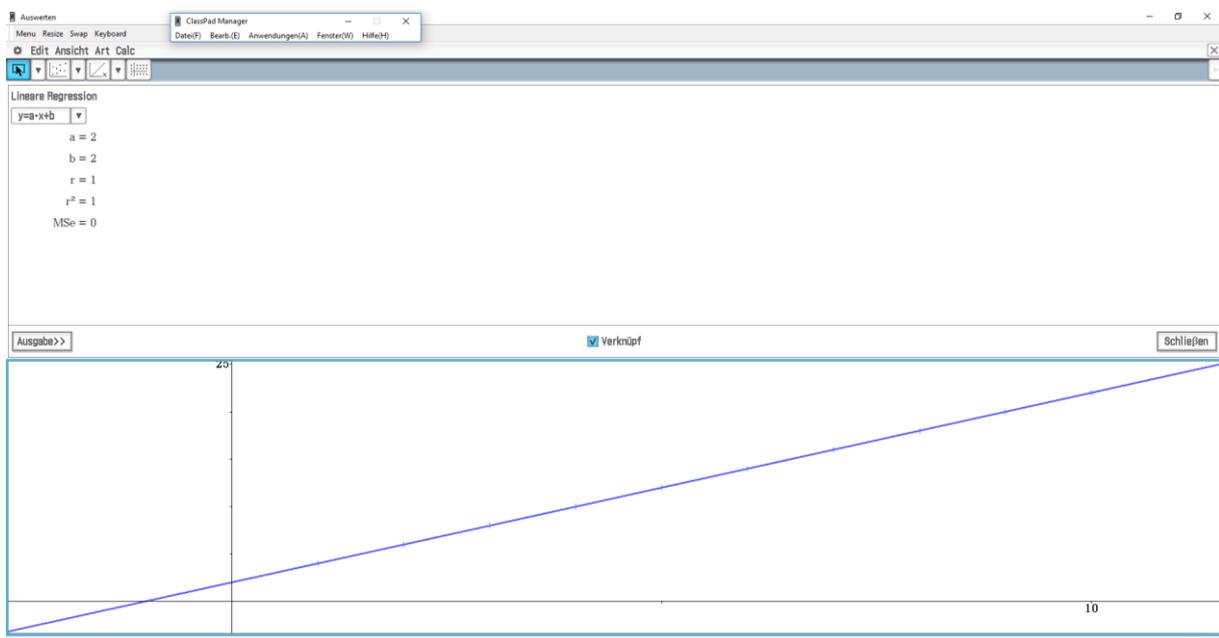
Das Diagramm lässt sich über **Fenstereinstellungen** noch anpassen. Auch kann man es in diesem Menü wieder schließen.

Nun sollen die Werte der Spalten D und E über den Werten von A dargestellt werden. Dafür müssen die Werte von A durch Verwenden von **Edit/Kopieren** in die Spalte C übertragen werden. Die Spalten C, D und E werden markiert. Die Darstellung erfolgt wieder mit **Grafik/Scatter**.



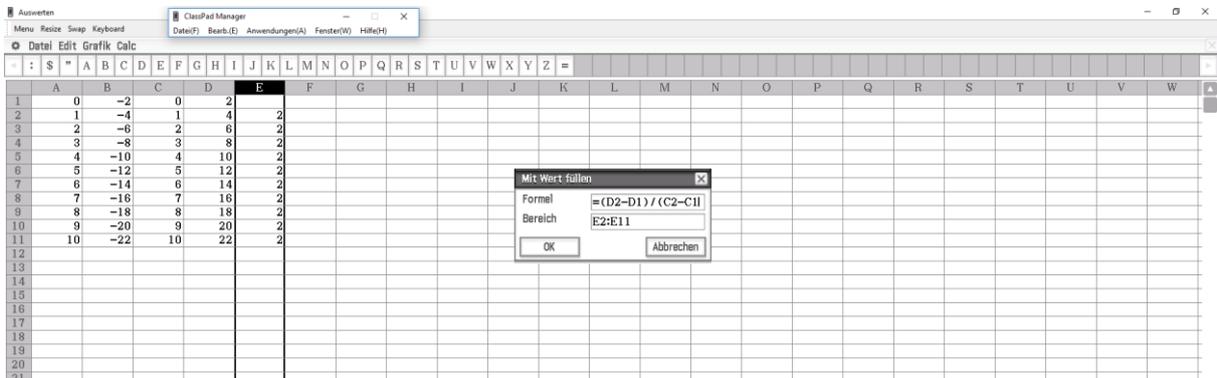
• **Finden von Gleichungen durch Regression**

Für die Darstellung der Werte von D über A soll eine Gleichung durch Regression gefunden werden. Die graphische Darstellung wird wie oben beschrieben generiert. Mit **Calc/Regressionen** lässt sich nun eine geeignete Regression ausführen. Im vorliegenden Beispiel ist eine lineare Regression sinnvoll.

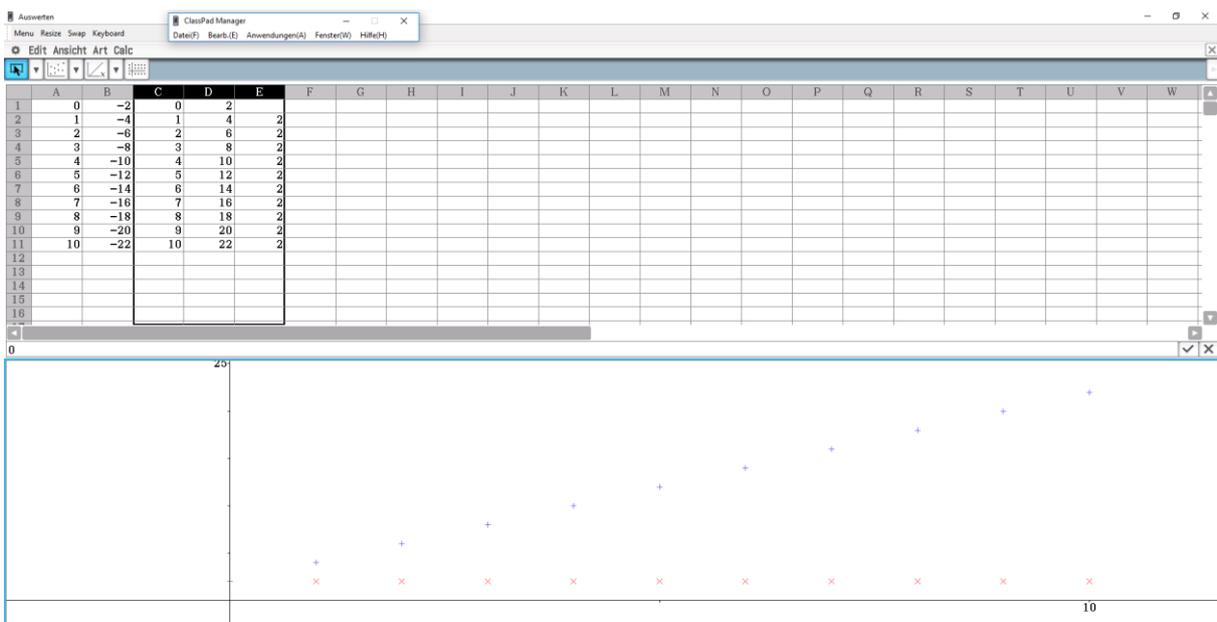


• **Berechnen von Differenzenquotienten – Numerisches Differenzieren**

Aus den Werten der Spalte D sollen in Spalte E die Differenzenquotienten berechnet werden. Die Berechnung erfolgt wieder über **Edit/Füllen/Mit Wert füllen**.



Die Werte der Spalten D und E werden über den Werten der Spalte C dargestellt. Die Spalten C, D, E werden markiert. Die Darstellung erfolgt mit **Grafik/Scatter**.

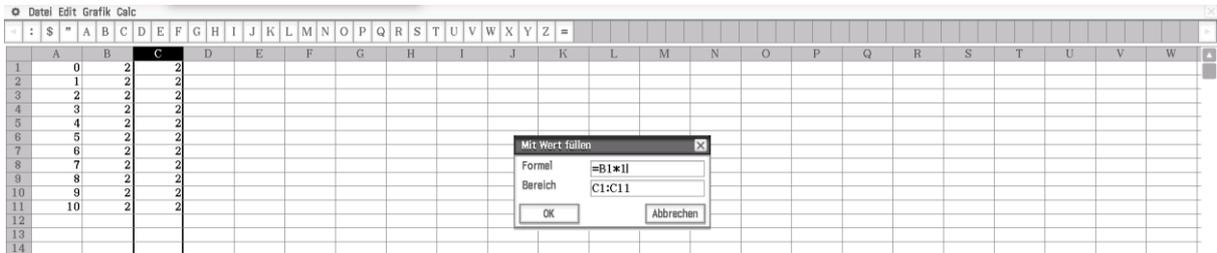


Die Kreuze (x) geben den Verlauf des Graphen der differenzierten Funktion an. Bei einer linearen Ausgangsfunktion (+), wie hier im Beispiel verwendet, kann mit einer großen Schrittweite gearbeitet werden. Für andere Funktionen muss die Schrittweite hinreichend klein gewählt werden.

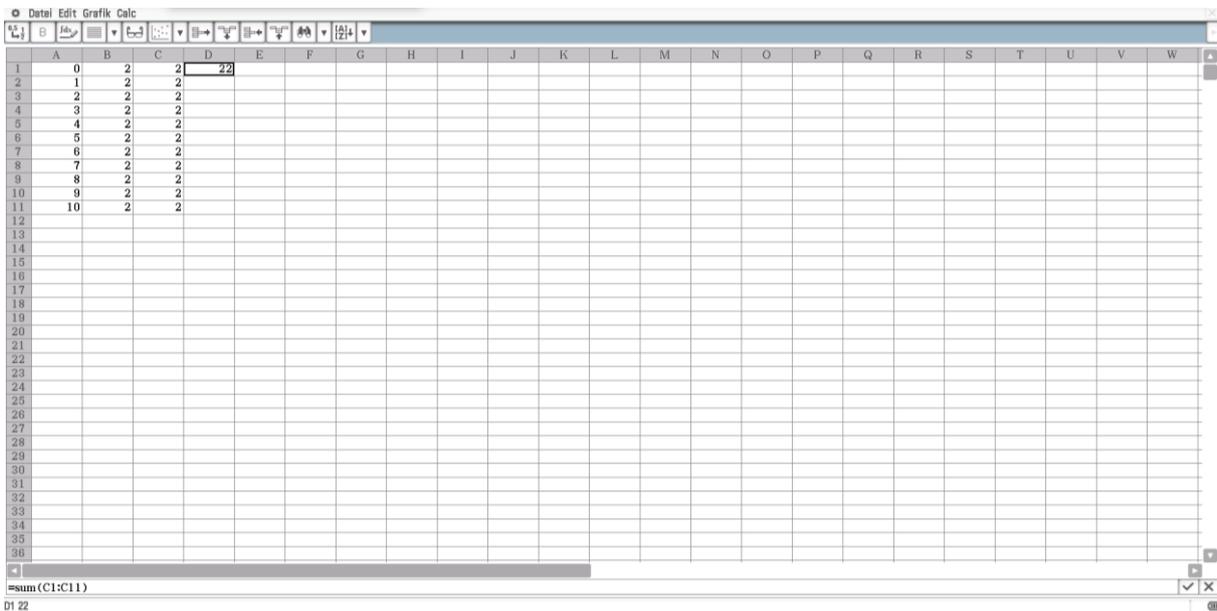
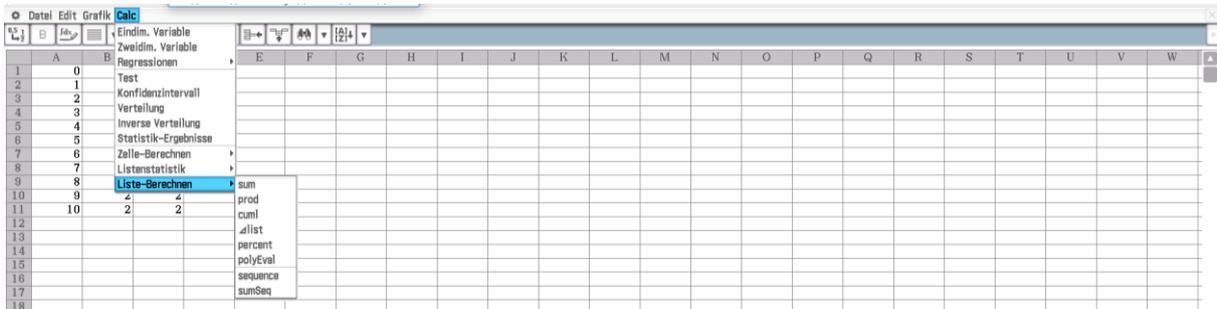
Generell geeigneter ist hier das folgende Vorgehen: Gewinnen eines physikalisch relevanten funktionalen Zusammenhanges aus den Werten durch Regression und anschließendes Differenzieren der so gewonnen Funktionsgleichung im Menüpunkt **Main** des ClassPad-Managers. Die graphische Darstellung kann dann im Menüpunkt **Grafik & Tabelle** erfolgen.

• **Numerisches Integrieren**

Es soll die Fläche unter der Darstellung $B(A)$ für einen bestimmten Wertebereich ermittelt werden. Beim numerischen Lösen dieses bestimmten Integrals geht man wie folgt vor. In Spalte C werden die differentiellen Summanden berechnet, indem die Werte der Spalte B mit der Schrittweite aus Spalte A (Wert: 1) multipliziert werden.



Die Werte der Spalte C werden dann aufsummiert. Das Ergebnis ist in Zelle D1 dargestellt. Dieser Wert entspricht dem bestimmten Integral $\int_0^{11} 2dx = \sum_0^{11} 2\Delta x$ mit $\Delta x = 1$.



Das Beispiel wurde so gewählt, dass die Schrittweite hier groß sein kann. Für beliebige funktionale Zusammenhänge muss die Schrittweise für das numerische Integrieren hinreichend klein gewählt werden.

Experimente mit Kondensator und Spule im Gleichstromkreis

Im Folgenden werden zwei Versuchskomplexe vorgestellt, die Experimente zu jeweils einem Thema beinhalten, aus denen die Lehrkraft auswählen kann. Alle Experimente können ausschließlich mit den Spannungssensoren durchgeführt werden. Die Ermittlung der Stromstärke erfolgt dabei über die Spannungsmessung an einem bekannten ohmschen Widerstand.

Hinweise zum Versuchskomplex – Kondensatoren im Gleichstromkreis

Die Lernenden wenden ihre Kenntnisse über die Vorgänge beim Laden und Entladen eines Kondensators an. Sie festigen die Kenntnisse über den Zusammenhang von Stromstärke und Ladung sowie die Definition der Kapazität eines Kondensators. Sie vertiefen durch Ermitteln der Energie des elektrischen Feldes ihr Wissen über Energieerhaltung und Energieumwandlungen.

Es werden dafür folgende Versuche vorgeschlagen:

- **Entladen eines Kondensators über einen ohmschen Widerstand**

Die Auswertung dieses Versuches wird ausschließlich mit Coach 7 durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler lernen hierbei die Abhängigkeit des Zeitverhaltens der Kondensatorspannung und der Entladestromstärke vom ohmschen Widerstand und der Kapazität kennen und ermitteln die Zeitkonstante. Weiterhin bestimmen Sie die Ladung und die Kapazität eines Kondensators.

- **Zusammenhang von Ladung und Kondensatorspannung beim Laden eines Kondensators über einen ohmschen Widerstand**

Die Auswertung dieses Versuches wird mit Coach 7 und dem ClassPad-Manager durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten sich über den Zusammenhang von aufgebrauchter Ladung und Kondensatorspannung beim Aufladen eines Kondensators die Gleichung für die Definition der Kapazität.

- **Energie des elektrischen Feldes eines geladenen Kondensators**

Die Auswertung dieses Versuches wird mit Coach 7 und dem ClassPad-Manager durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen das zeitliche Verhalten der Ladestromstärke und der Kondensatorspannung, bestimmen die Ladung des Kondensators und ermitteln die vom Kondensator gespeicherte Energie.

Entladen eines Kondensators über einen ohmschen Widerstand

1. Aufgabenstellungen

- 1.1 Untersuchen Sie das Zeitverhalten der Kondensatorspannung und der Stromstärke beim Entladen eines Kondensators über einen ohmschen Widerstand in Abhängigkeit von der Größe des Widerstandes und der Kapazität.
- 1.2 Bestimmen Sie die Kapazität aus der Kondensatorspannung und der Ladung des Kondensators.
- 1.3 Bestimmen Sie die Kapazität des Kondensators aus der Zeitkonstanten.

2. Vorüberlegungen

Wird ein geladener Kondensator über einen Widerstand R entladen, so nehmen die zu Beginn des Entladevorganges maximale Spannung und Stromstärke exponentiell mit der Zeit ab. Das zeitliche Verhalten wird dabei durch die Zeitkonstante $\tau = RC$ beschrieben. Nach einer Zeit von etwa 5τ ist der Kondensator praktisch vollständig entladen. Begründen Sie.

Das zeitliche Verhalten der Stromstärke entspricht in diesem Fall dem der Spannung am Kondensator. Begründen Sie.

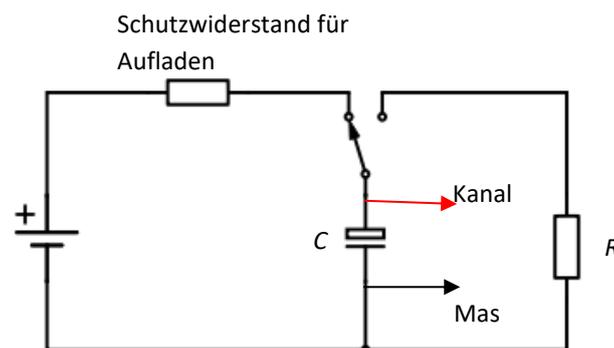
Die Ladung lässt sich durch numerische Integration der Stromstärke über die Zeit im Intervall von 0 bis 5τ bestimmen. Begründen Sie.

3. Durchführung

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan auf. Schließen Sie den Spannungssensor an den Kanal 1 des CLAB an.

$R=1\text{ k}\Omega$
 $C=10\text{ }\mu\text{F}$
 $U=5\text{ V}$

Die angegebenen Werte sind Beispiele.



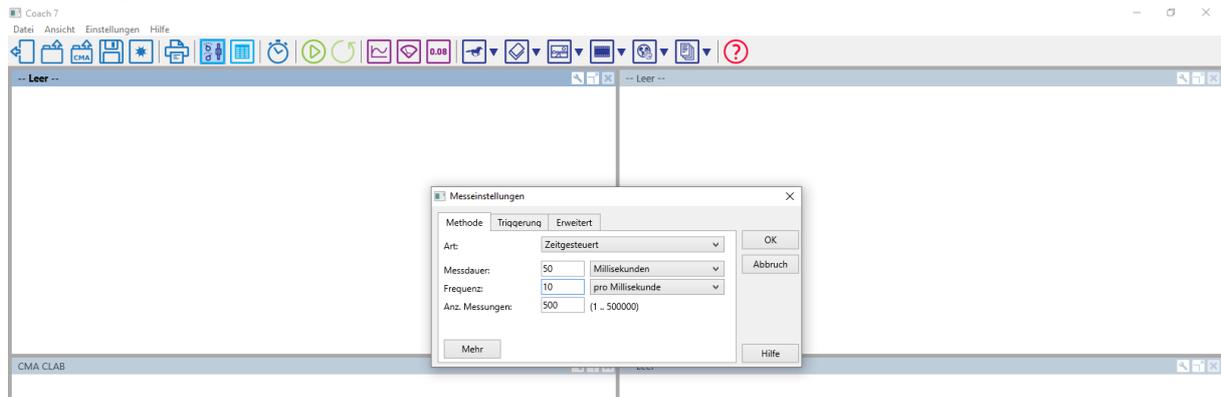
- 3.1. Ermitteln Sie für die von Ihnen verwendeten Bauelemente die benötigte Messzeit für einen vollständigen Entladevorgang und legen Sie eine geeignete Messrate (Abtastrate) fest. Stellen Sie die Werte im Messprogramm Coach 7 ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.

- 3.2. Stellen Sie einen Trigger für einen abklingenden Vorgang mit einer Triggerschwelle von 5,00 V (abwärts) ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.3. Richten Sie im Messprogramm die Ausgabe der Messwerte als Diagramm und als Tabelle ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.4. Laden Sie den Kondensator mit einer Ladespannung über einen Schutzwiderstand (z. B. 100 Ω) auf, die etwas größer als 5,0 V ist.
- 3.5. Starten Sie den Messvorgang im Programm und schalten Sie den Schalter in der Schaltung auf den Entladekreis um. Die Aufnahme der Messwerte beginnt mit dem Erreichen des Triggerwertes.

4. Hinweise zur Durchführung der Messung

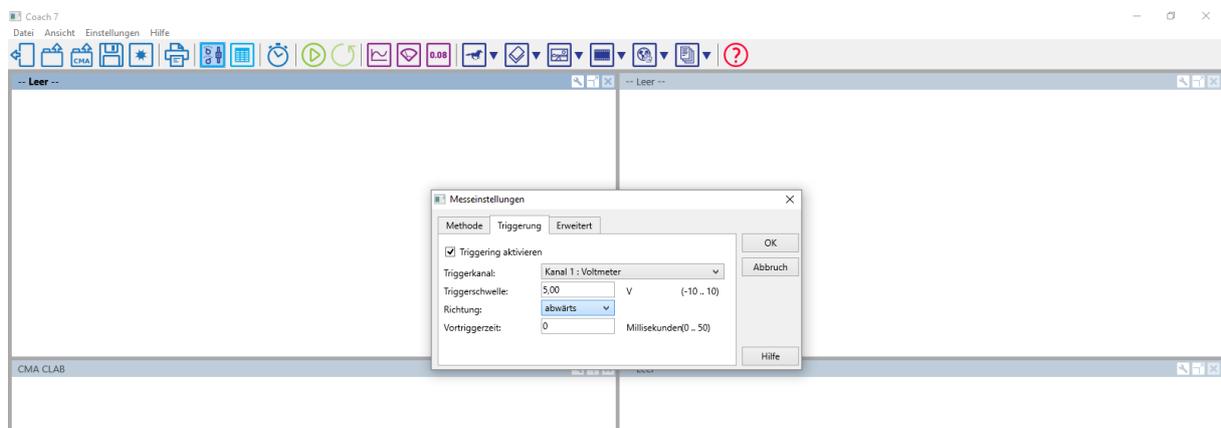
Hinweise zu 3.1.

Die Zeitkonstante beträgt 10 ms. Damit ergibt sich eine Messzeit von 50 ms. Wählt man die Abtastrate mit 5 Messungen pro Millisekunde, so ergeben sich 250 Messwerte. Bei 10 Messungen pro Millisekunde sind es dann 500 Messwerte.



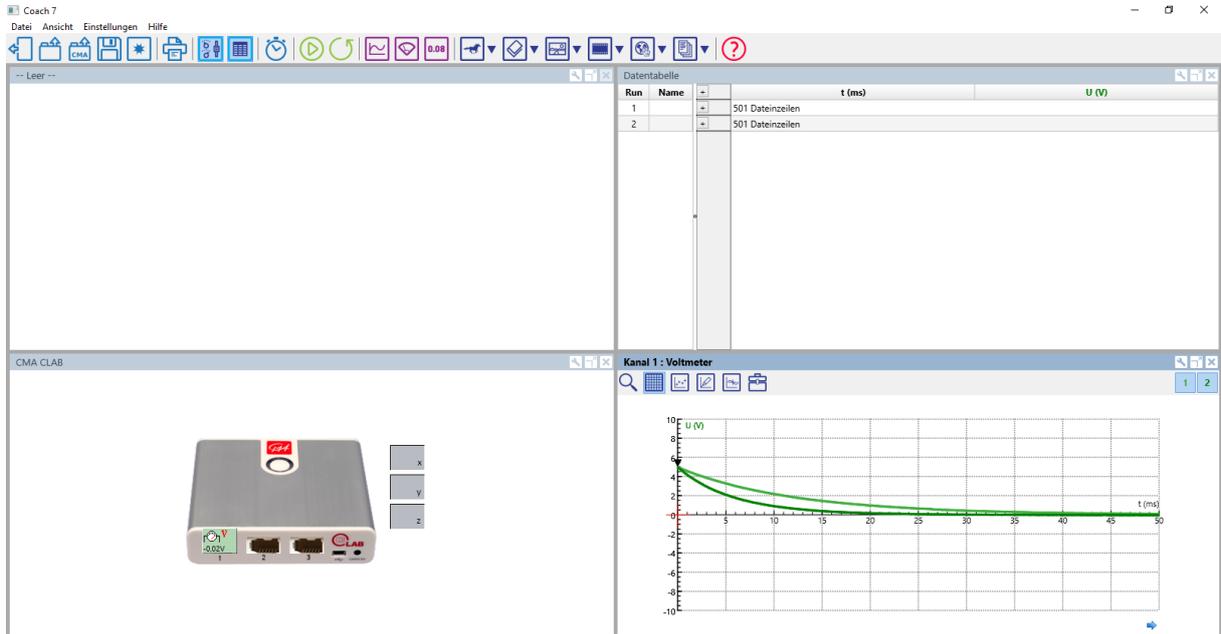
Hinweise zu 3.2.

Vor dem Umschalten liegt am Kondensator eine Spannung von 5,44 V an. Der Triggerwert beträgt 5,00 V (abwärts).



Hinweise zu 3.5.

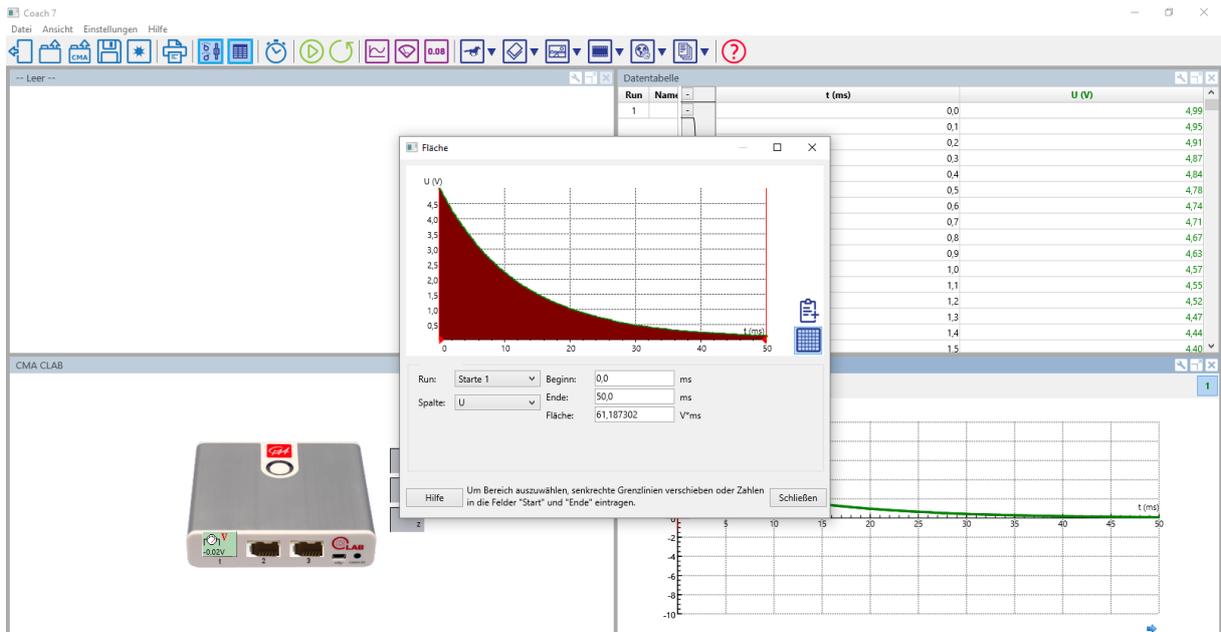
Bei Messung 1 beträgt der Entladewiderstand 971Ω (Nennwert: 1000Ω). Bei Messung 2 ist der Wert 468Ω (Nennwert: 470Ω).



5. Hinweise zur Auswertung

Hinweise zur Aufgabe 1.2.

Die Fläche unter der Kurve wird mit dem Analyse- und Verarbeitungswerkzeug **Fläche** bestimmt.

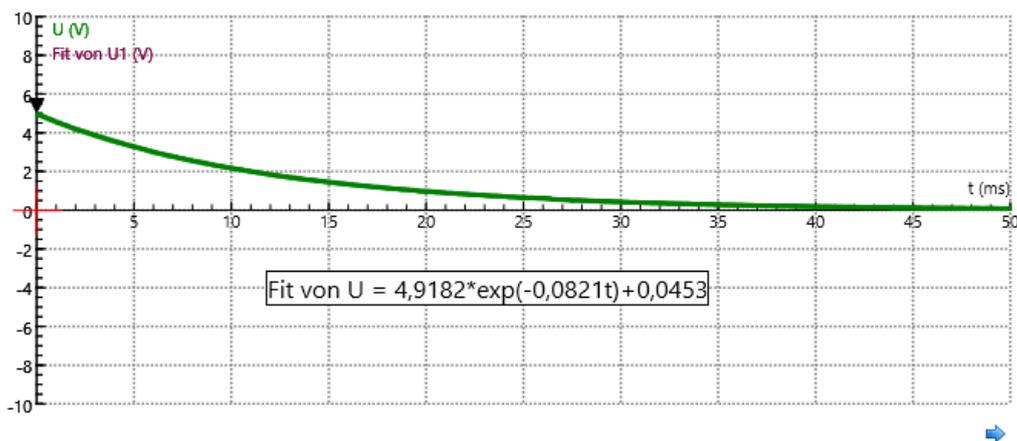
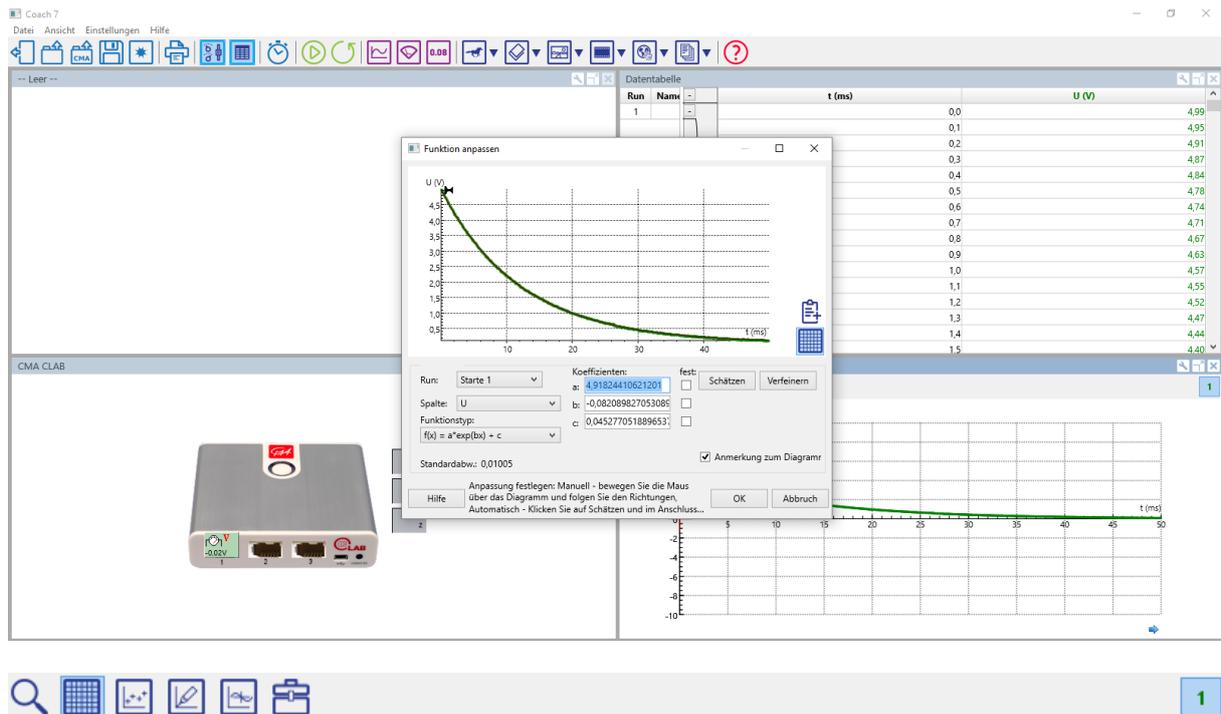


Um die Ladung in As zu ermitteln, muss der Wert der Fläche noch durch den Wert des verwendeten Entladungswiderstand 971Ω dividiert werden. Die Ladung Q bei einer Ladespannung von $5,00 \text{ V}$ beträgt $0,063 \text{ mAs}$.

Somit beträgt der berechnete Wert für die Kapazität C des Kondensators $0,01260 \text{ mF}$. Die Kapazität kann mit $12,6 \mu\text{F}$ angegeben werden.

Hinweise zur Aufgabe 1.3.

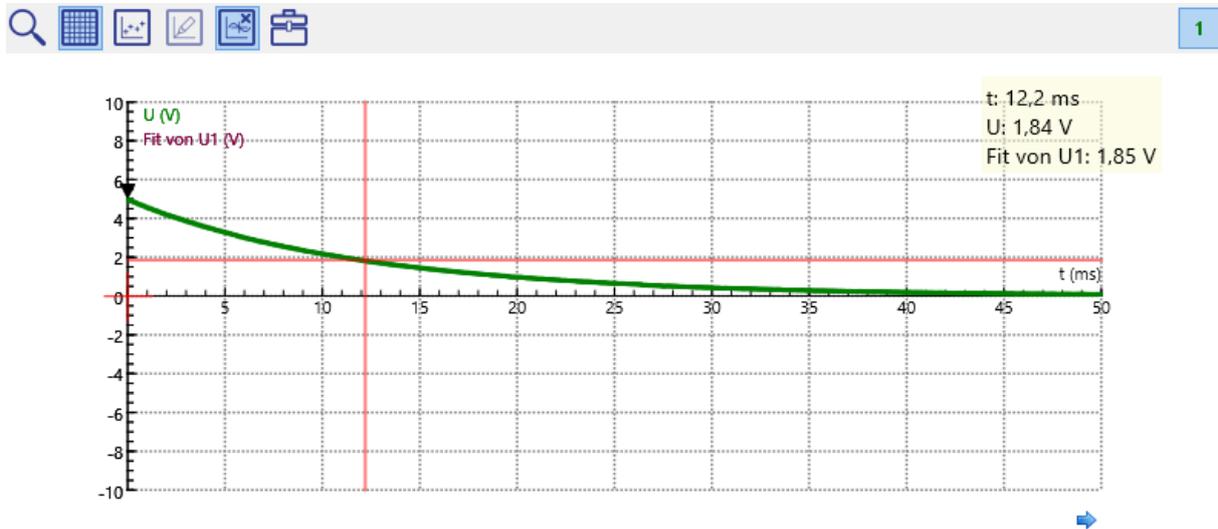
Variante 1: Verwenden des Analyse- und Verarbeitungswerkzeuges **Funktion anpassen**



Der Zahlenwert der Zeitkonstanten ergibt sich aus dem Kehrwert der Zahl $0,0821$ im Exponenten der Fit-Funktion. Die Zeitkonstante beträgt folglich $12,180 \text{ ms}$. Der sich daraus ergebende Wert für die Kapazität beträgt dann $0,01254 \text{ mF}$. Die Kapazität des Kondensators lässt sich mit $12,5 \mu\text{F}$ angeben.

Variante 2: **Analyse** mit dem Cursor

Beim Erreichen der Zeit τ ist der Wert der Kondensatorspannung auf $\frac{1}{e}$ des Startwertes von 5,00 V abgefallen. Die Kondensatorspannung beträgt dann 1.84 V.



Die Zeitkonstante beträgt 12,2 ms. Woraus sich eine Kapazität von 12,56 μF ergibt. Die Kapazität kann mit 12,6 μF angegeben werden.

Eine lohnenswerte Zusatzaufgabe für die Schülerinnen und Schüler ist es, die Genauigkeit der verschiedenen Auswerteverfahren zu diskutieren.

Zusammenhang von Ladung und Kondensatorspannung beim Laden eines Kondensators über einen ohmschen Widerstand

1. Aufgabenstellungen

- 1.1. Untersuchen Sie den Zusammenhang von aufgebrachtener Ladung und Kondensatorspannung beim Aufladen eines Kondensators.
- 1.2. Überprüfen Sie den für die Kapazität des Kondensators angegebenen Wert.

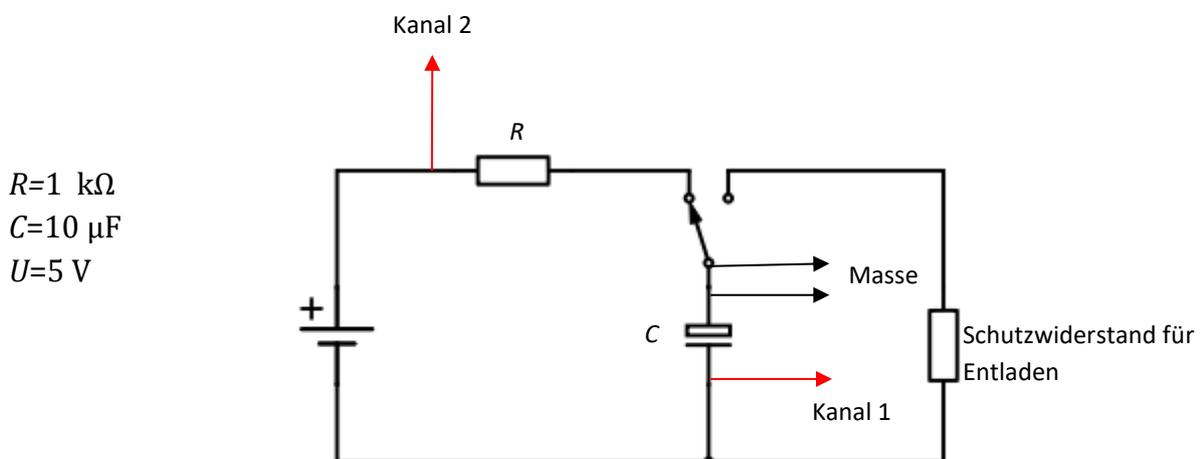
2. Vorüberlegungen

Wird ein Kondensator über einen Widerstand R geladen, so nehmen die Ladung des Kondensators und die Spannung am Kondensator nicht linear mit der Zeit zu.

Die aufgebrauchte Ladung lässt sich durch numerische Integration der Stärke des Ladestromes über die bisherige Ladezeit bestimmen. Begründen Sie.

3. Durchführung

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan auf. Schließen Sie die Spannungssensoren an die Kanäle 1 und 2 des CLAB an, wie es im Schaltplan eingezeichnet ist. Schließen Sie mit dem Schalter zunächst den Entladekreis.



Die angegebenen Werte sind Beispiele.

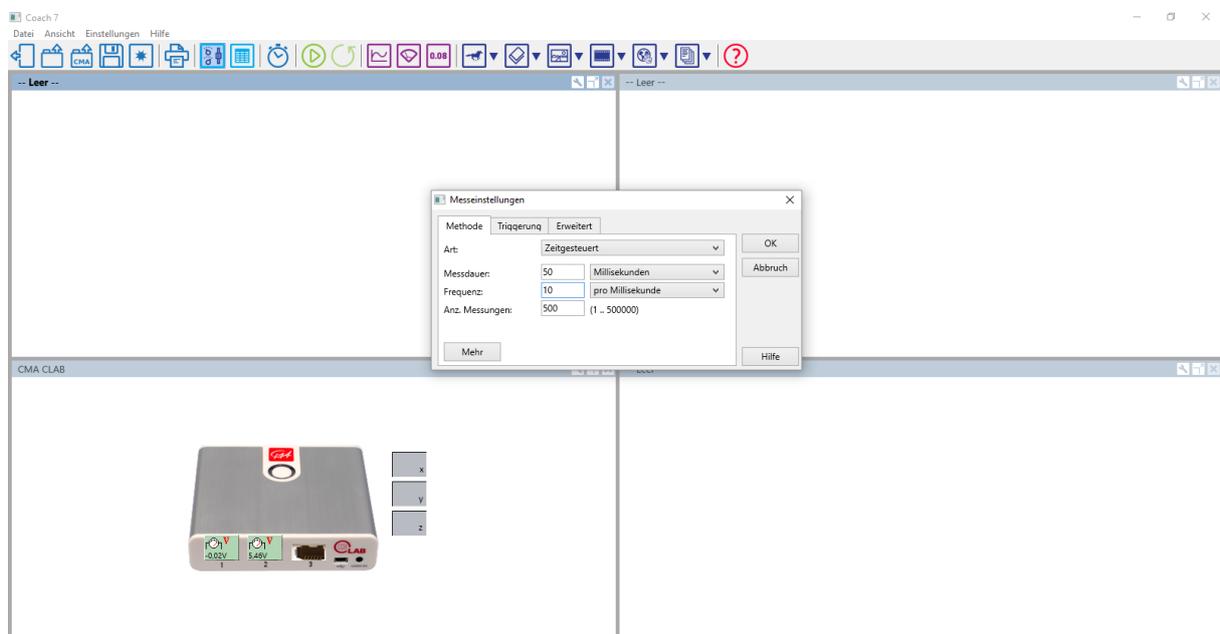
- 3.1. Ermitteln Sie für die von Ihnen verwendeten Bauelemente die benötigte Messzeit für einen vollständigen Entladevorgang und legen Sie eine geeignete Messrate (Abtastrate) fest. Stellen Sie die Werte im Messprogramm Coach 7 ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.2. Stellen Sie einen Trigger für Kanal 1 mit einer Triggerschwelle von $-0,1\text{ V}$ (abwärts) ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.

- 3.3. Richten Sie im Messprogramm die Ausgabe der Messwerte als Diagramm und als Tabelle ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.4. Starten Sie den Messvorgang im Programm und schalten Sie den Schalter in der Schaltung auf den Ladekreis um. Die Aufnahme der Messwerte beginnt mit dem Erreichen des Triggerwertes.
- 3.5. Entladen Sie den Kondensator über einen Schutzwiderstand (z. B. $100\ \Omega$), um die Messung gegebenenfalls zu wiederholen.
- 3.6. Exportieren Sie die Daten für die weitere Bearbeitung mit dem ClassPad-Manager.

4. Hinweise zur Durchführung der Messung

Hinweise zu 3.1.

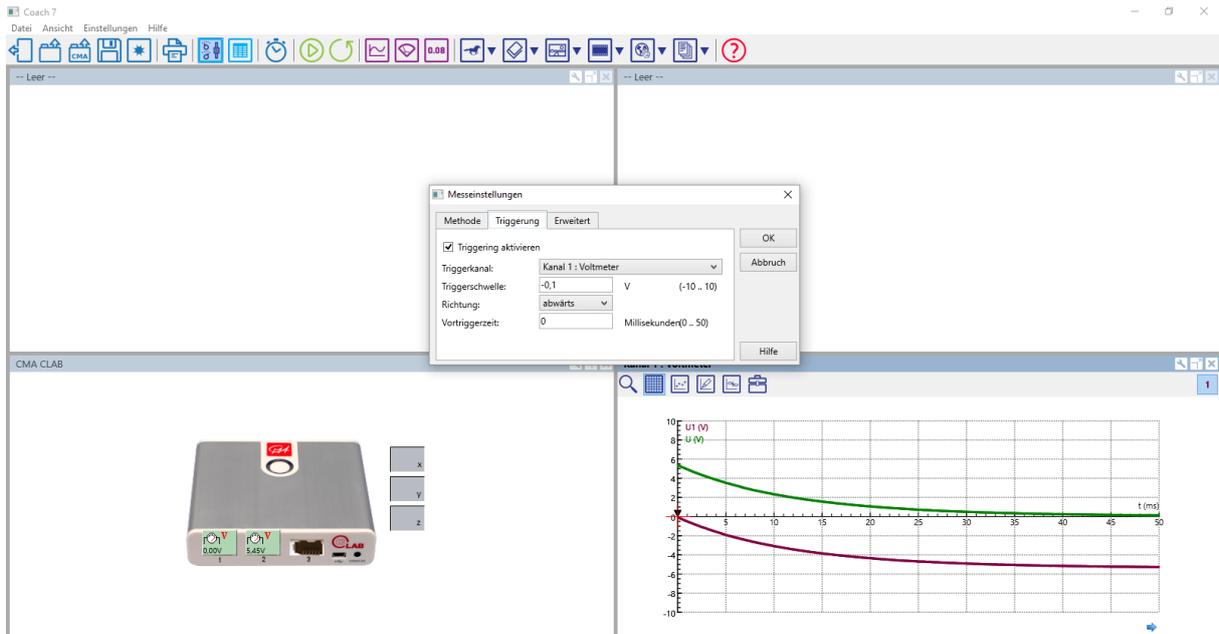
Die Zeitkonstante beträgt ca. 10 ms. Damit empfiehlt sich eine Messzeit von 50 ms.



Hinweise zu 3.2.

Vor dem Einschalten liegt am Widerstand eine Spannung von 5,45 V an, da der Massestecker des Kanals 2 hinter dem Schalter mit dem Minuspol der Quelle verbunden ist. Die Spannung am Kondensator ist null. Der Anzeigewert von -0,02 V kann daher auf null gesetzt werden.

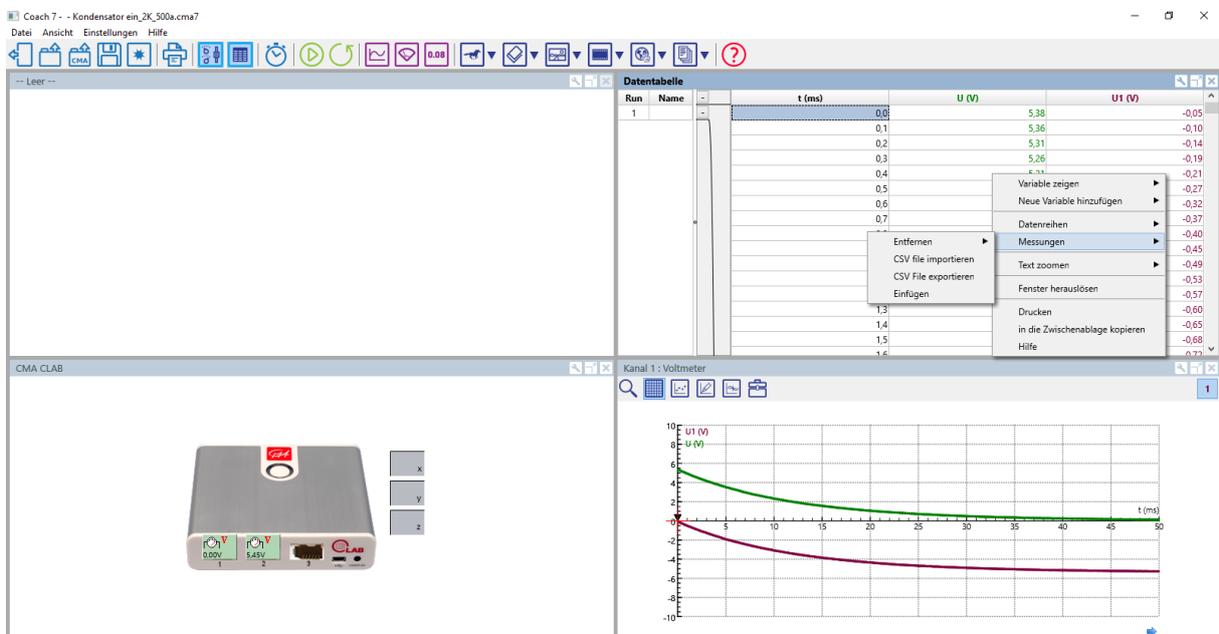
Die Spannung am Kondensator wird mit umgekehrten Vorzeichen gemessen, da die Kanäle des CLAB nicht masseunabhängig sind und daher beide Massen verbunden werden müssen. Der Triggerwert wird für den Kanal 1 eingestellt und beträgt -0,1 V (abwärts).



Die Kurve U1 im unteren Teil des Diagrammes entspricht der Kondensatorspannung.
Die Kurve U im oberen Teil des Diagrammes entspricht der Spannung am ohmschen Widerstand.

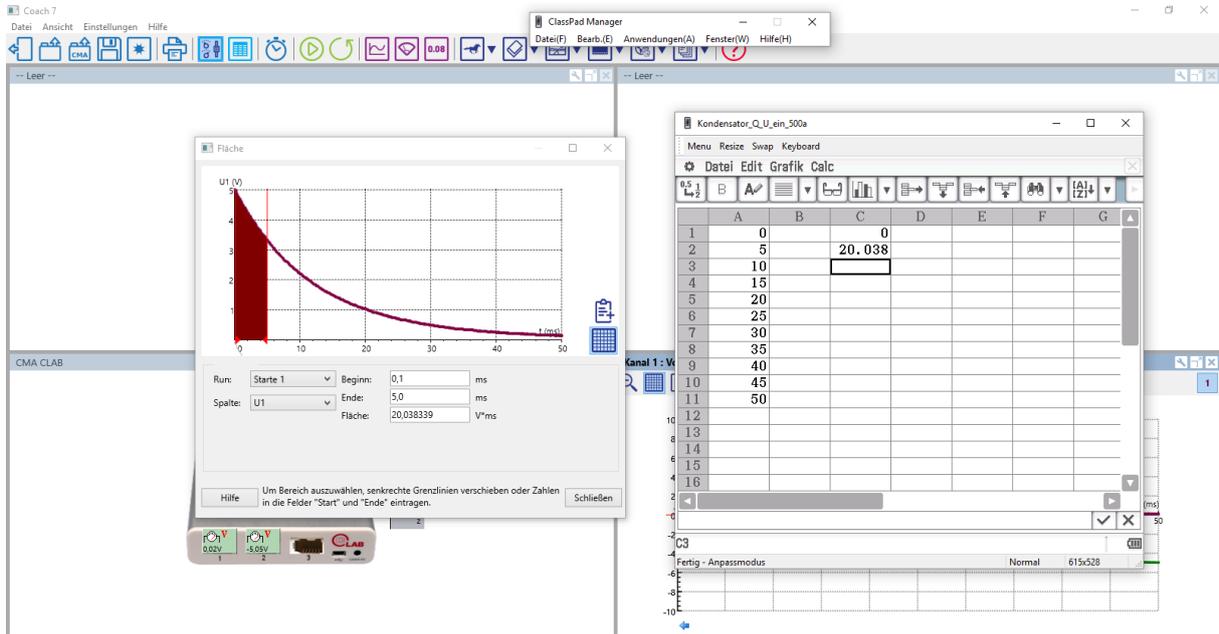
Hinweise zu 3.6.

Die Messwerte in der Tabelle werden als CSV-Datei exportiert und in das Verzeichnis des ClassPad-Managers kopiert.

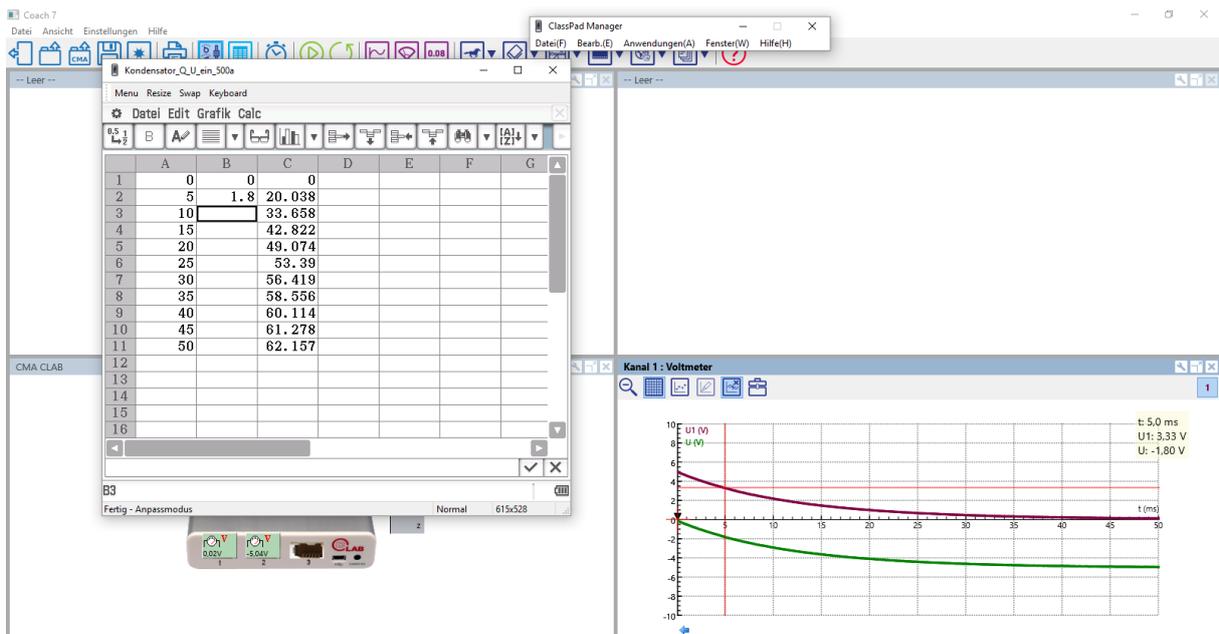


5. Hinweise zur Auswertung

Hinweise zur Aufgabe 1.1.



Die Ladung des Kondensators nach einer bestimmten Ladezeit ermittelt man aus der Fläche unter dem Graphen für die Spannung am ohmschen Widerstand mit dem Analyse- und Verarbeitungswerkzeug **Fläche**. Dieser Flächenwert ist ein Maß für die Ladung und somit ein „Ladungsäquivalent“. Der tatsächliche Wert der Ladung ergibt sich, indem man den für das „Ladungsäquivalent“ ermittelten Wert durch den Wert des ohmschen Widerstandes dividiert. Die Flächenwerte werden im Intervall von 0 bis 50 ms immer nach 5 ms ermittelt und in eine Tabelle (Spalten A, C) im ClassPad-Manager eingetragen.



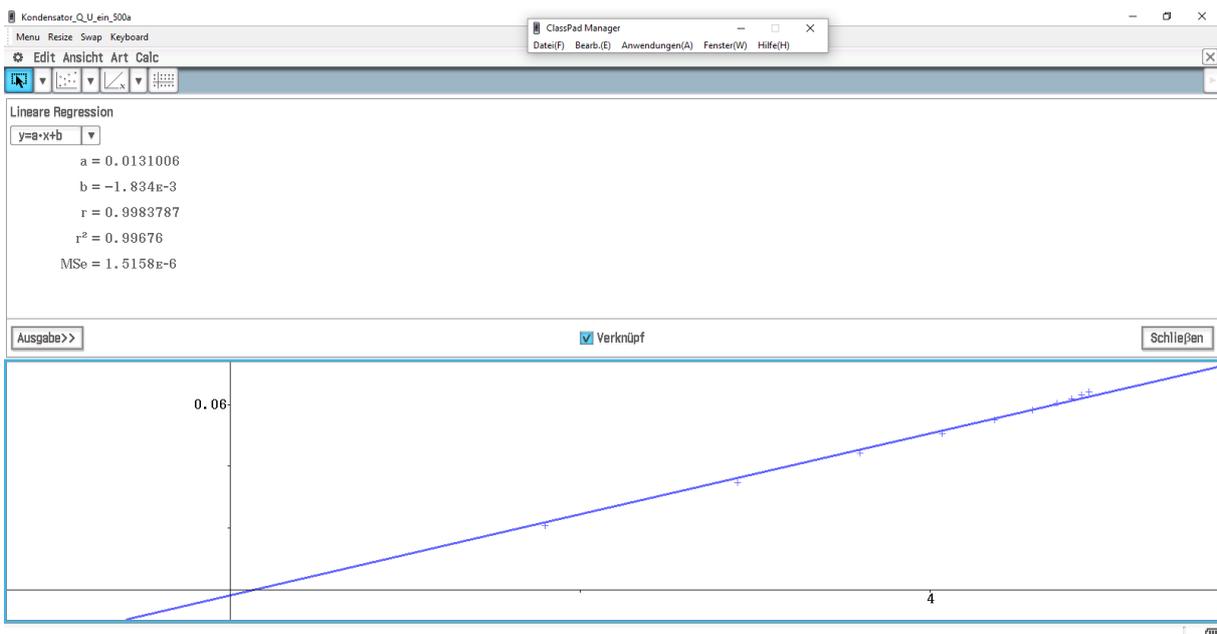
Die während des Ladens zu bestimmten Zeiten am Kondensator anliegende Spannung kann man mit dem Cursor des **Analyse**-Werkzeuges ablesen. Die eigentlich positiven Spannungswerte wurden technisch bedingt invertiert erfasst. Sie müssen daher ohne negatives Vorzeichen in die vorbereitete Tabelle (Spalte B) im ClassPad-Manager eingetragen werden.

Die Darstellung des $Q(U)$ -Graphen erfolgt in der Tabellenkalkulation des ClassPad-Managers durch Verwenden von **Grafik/Scatter**.

	A	B	C	D
1	0	0	0	0
2	5	1.8	20.038	0.02064
3	10	2.9	33.658	0.03466
4	15	3.6	42.822	0.04410
5	20	4.07	49.074	0.05054
6	25	4.37	53.39	0.05498
7	30	4.59	56.419	0.05810
8	35	4.73	58.566	0.06030
9	40	4.81	60.114	0.06191
10	45	4.87	61.278	0.06311
11	50	4.91	62.157	0.06401

In der Spalte A der Tabelle ist die Zeit für das Eintreten der oben bestimmten Werte der Kondensatorspannung in ms eingetragen, in Spalte B sind die Werte der Spannungen am Kondensator in V angegeben und in Spalte C befinden sich die Flächenwerte in mVs als „Ladungsäquivalente“. Diese Flächenwerte müssen noch durch den Wert des ohmschen Widerstandes (971Ω) dividiert werden, um die Ladungswerte in mAs zu erhalten. Diese Berechnung erfolgt in Spalte D.

Die lineare Regression durch die graphische Darstellung der Messwerte zeigt den Zusammenhang $Q \sim U$, da der Punkt (0,0) ein gesichertes Messwertepaar darstellt. Der Anstieg entspricht der Kapazität des Kondensators in mF. Es gilt: $C = \frac{Q}{U}$.



Die Kapazität des Kondensators beträgt $13 \mu\text{F}$.

Energie des elektrischen Feldes eines geladenen Kondensators

1. Aufgabenstellungen

- 1.1 Untersuchen Sie den zeitlichen Verlauf der Stromstärke und der Spannung am Kondensator beim Aufladen.
- 1.2 Bestimmen Sie die Ladung des Kondensators.
- 1.3 Ermitteln Sie die vom Kondensator gespeicherte elektrische Energie.

2. Vorüberlegungen

Wird ein Kondensator über einen Widerstand R geladen, so nimmt die zu Beginn des Entladevorganges maximale Stromstärke exponentiell mit der Zeit ab, die Spannung am Kondensator nimmt zu und nähert sich dem Wert der Ladespannung. Begründen Sie.

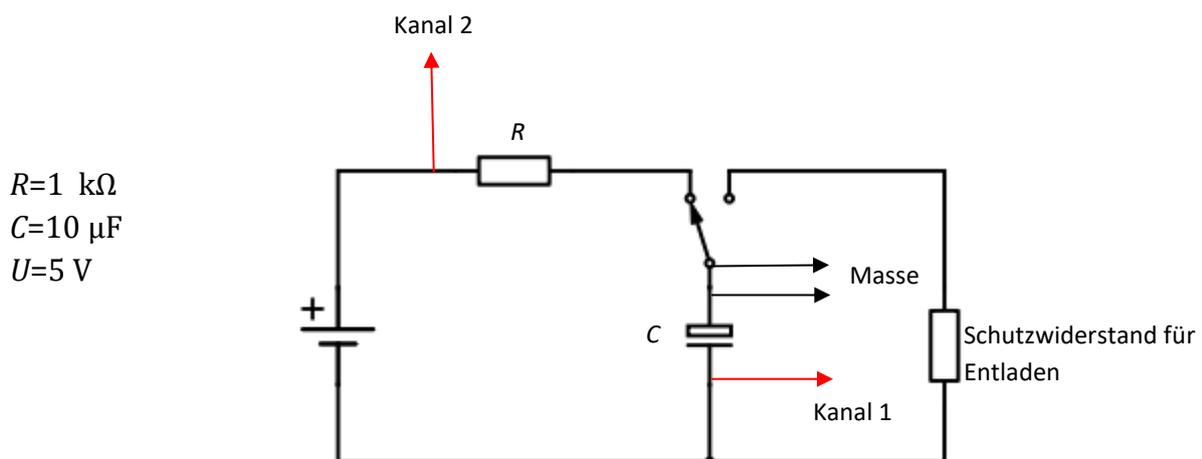
Das zeitliche Verhalten der Stromstärke entspricht in diesem Fall dem zeitlichen Verhalten der Spannung am Widerstand. Begründen Sie.

Die Ladung des Kondensators lässt sich durch numerische Integration des zeitlichen Verlaufes der Stromstärke über die Ladezeit bestimmen. Begründen Sie.

Beim Aufladen wird am Kondensator eine elektrische Arbeit verrichtet, welche zum Aufbau eines elektrischen Feldes und somit zur Speicherung von elektrischer Energie führt.

3. Durchführung

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan auf. Schließen Sie die Spannungssensoren an die Kanäle 1 und 2 des CLAB an, wie es im Schaltplan eingezeichnet ist. Schließen Sie mit dem Schalter zunächst den Entladekreis.



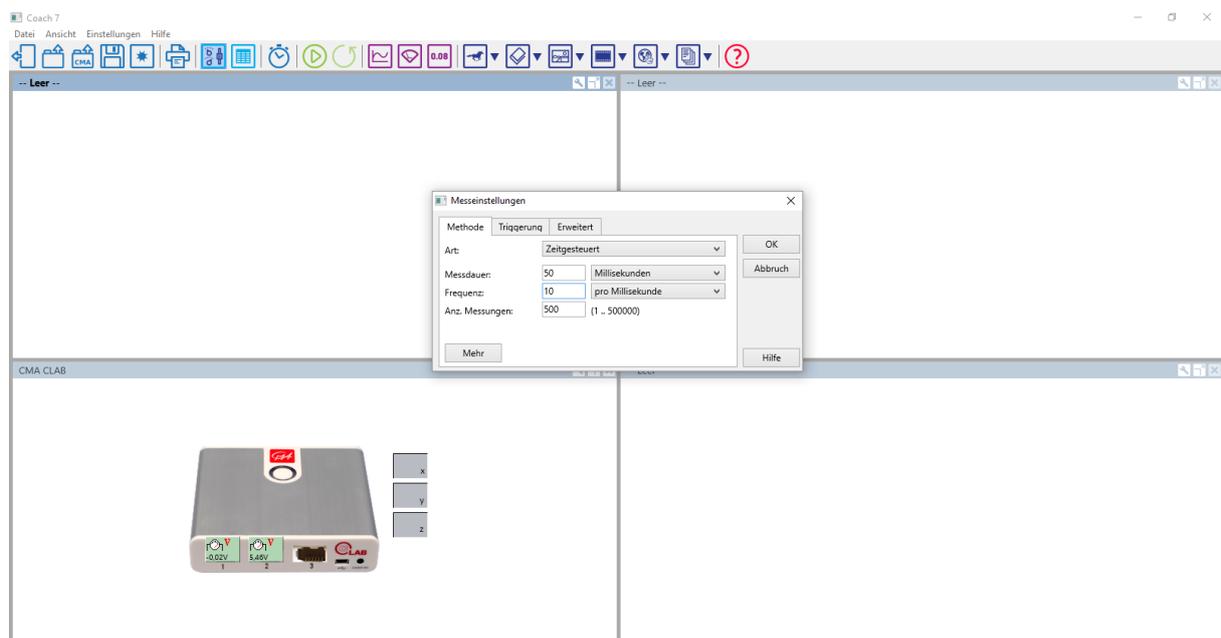
Die angegebenen Werte sind Beispiele.

- 3.1. Ermitteln Sie für die von Ihnen verwendeten Bauelemente die benötigte Messzeit für einen vollständigen Entladevorgang und legen Sie eine geeignete Messrate (Abtastrate) fest. Stellen Sie die Werte im Messprogramm Coach 7 ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.2. Stellen Sie einen Trigger für Kanal 1 mit einer Triggerschwelle von $-0,1\text{ V}$ (abwärts) ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.3. Richten Sie im Messprogramm die Ausgabe der Messwerte als Diagramm und als Tabelle ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.4. Starten Sie den Messvorgang im Programm und legen Sie den Schalter in der Schaltung auf den Ladekreis um. Die Aufnahme der Messwerte beginnt mit dem Erreichen des Triggerwertes.
- 3.5. Entladen Sie den Kondensator über einen Schutzwiderstand (z. B. $100\ \Omega$), um die Messung gegebenenfalls zu wiederholen.
- 3.6. Exportieren Sie die Daten für die weitere Bearbeitung mit dem ClassPad-Manager.

4. Hinweise zur Durchführung der Messung

Hinweise zu 3.1.

Die Zeitkonstante beträgt ca. 10 ms . Damit empfiehlt sich eine Messzeit von 50 ms .

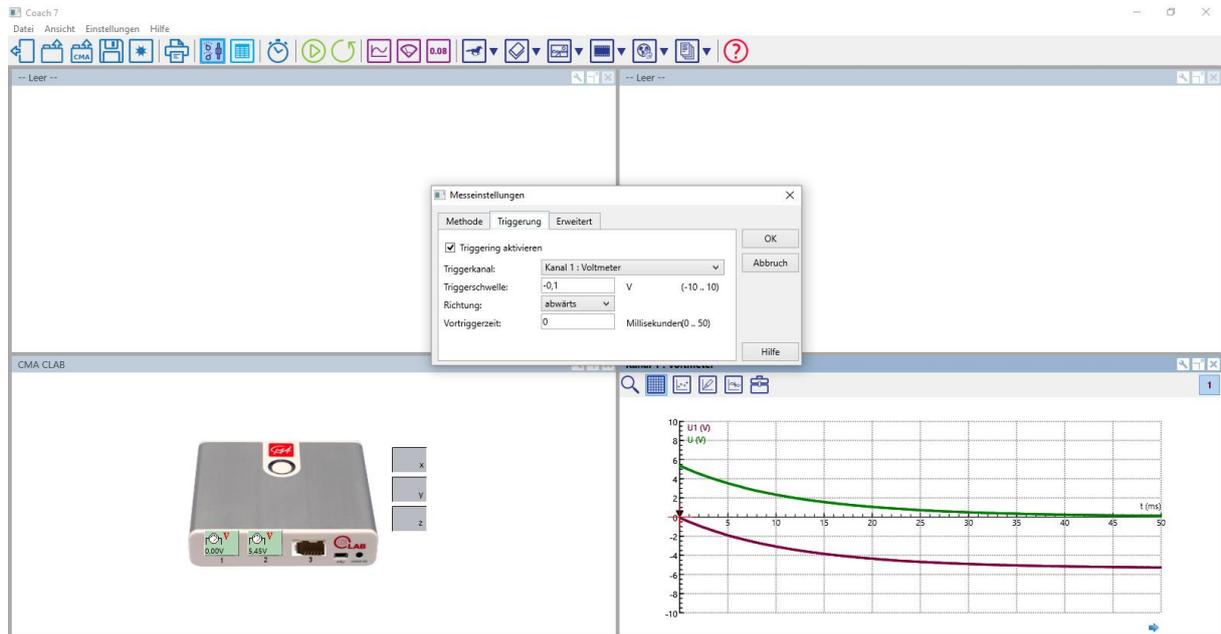


Hinweise zu 3.2.

Vor dem Einschalten liegt am Widerstand eine Spannung von $5,45\text{ V}$ an, da der Massestecker des Kanales 2 hinter dem Schalter mit dem Minuspol der Quelle verbunden ist. Die Spannung am Kondensator ist null. Der Anzeigewert von $-0,02\text{ V}$ kann daher auf null gesetzt werden.

Die Spannung am Kondensator wird mit umgekehrten Vorzeichen gemessen, da die Kanäle des CLAB nicht masseunabhängig sind und daher beide Massen verbunden

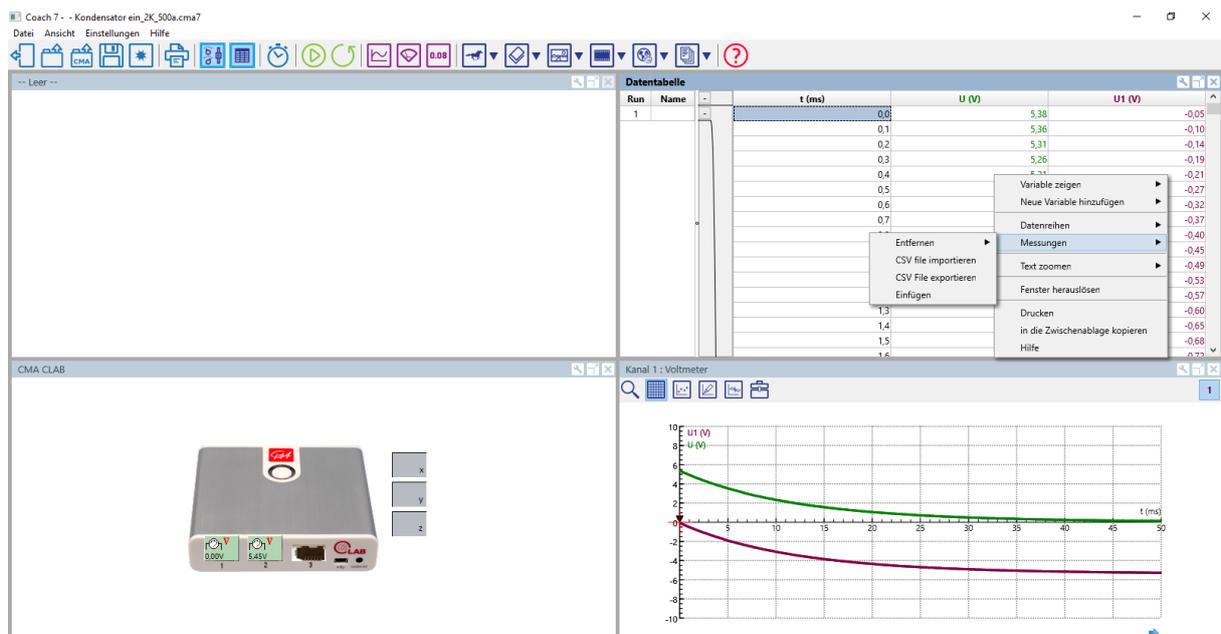
werden müssen. Der Triggerwert wird für den Kanal 1 eingestellt und beträgt $-0,1\text{ V}$ (abwärts).



Die Kurve U1 im unteren Teil des Diagrammes entspricht der Kondensatorspannung. Die Kurve U2 im oberen Teil des Diagrammes entspricht der Spannung am ohmschen Widerstand.

Hinweise zu 3.6.

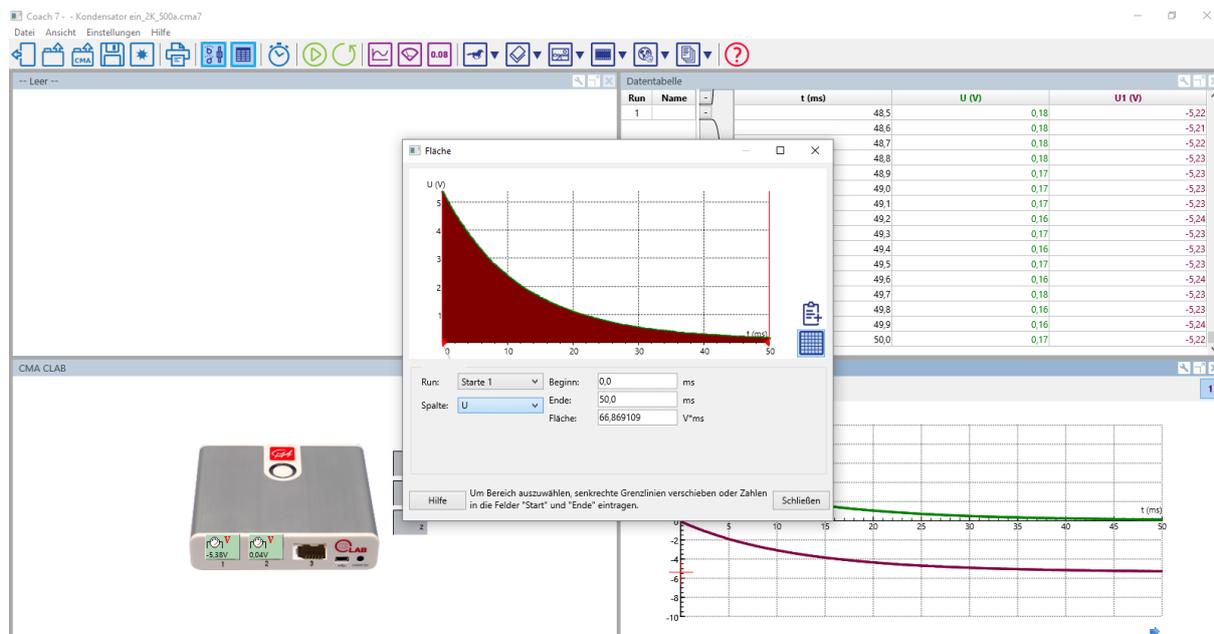
Die Messwerte in der Tabelle werden als CSV-Datei exportiert und in das Verzeichnis des ClassPad-Managers kopiert.



5. Hinweise zur Auswertung

Hinweise zur Aufgabe 1.2.

Die Ladung des Kondensators bestimmt man mit Coach 7 aus der Fläche unter dem Graphen für die Spannung am ohmschen Widerstand. Der Flächenwert von 66,869 Vs wird hierzu durch den Wert des ohmschen Widerstandes (971Ω) dividiert. Die Ladung des Kondensators beträgt 0,0689 mAs.



Die Division dieses Wertes durch die Spannung, die am vollständig geladenen Kondensator $U(50 \text{ ms})=5,23 \text{ V}$ anliegt, ergibt eine Kapazität von $13,17 \mu\text{F}$.

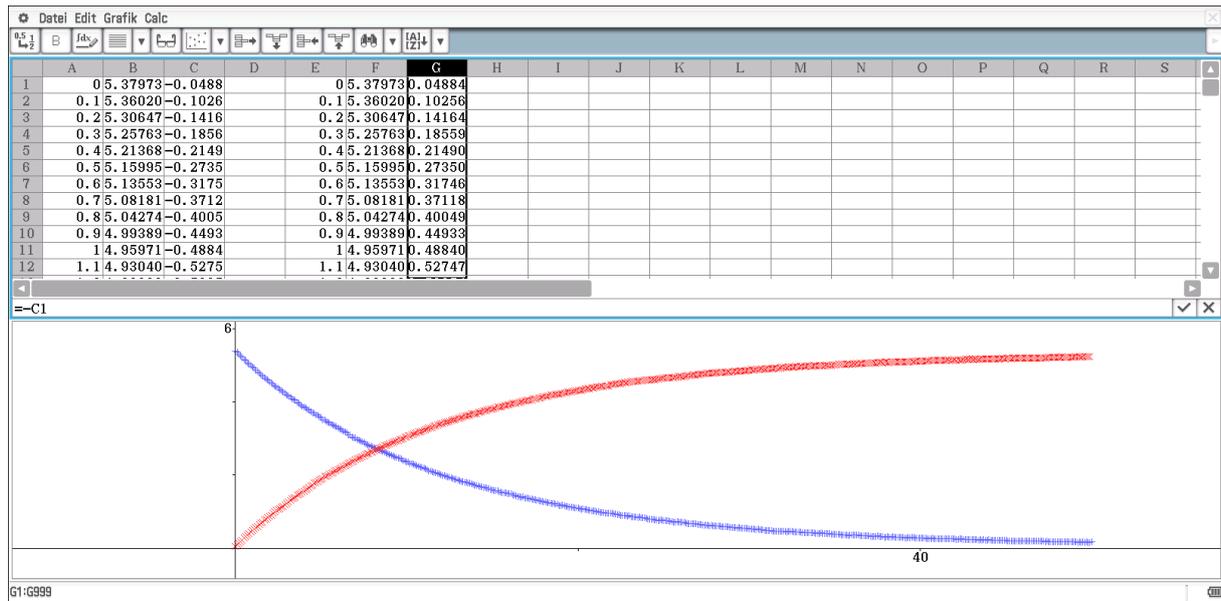
Hinweise zur Aufgabe 1.3.

Variante 1: Die durch das Aufladen gespeicherte elektrische Energie lässt sich mit den Gleichungen $E_{\text{el}} = \frac{1}{2}QU$ bzw. $E_{\text{el}} = \frac{1}{2}CU^2$ berechnen. Es ergibt sich eine elektrische Energie von 0,180 mWs.

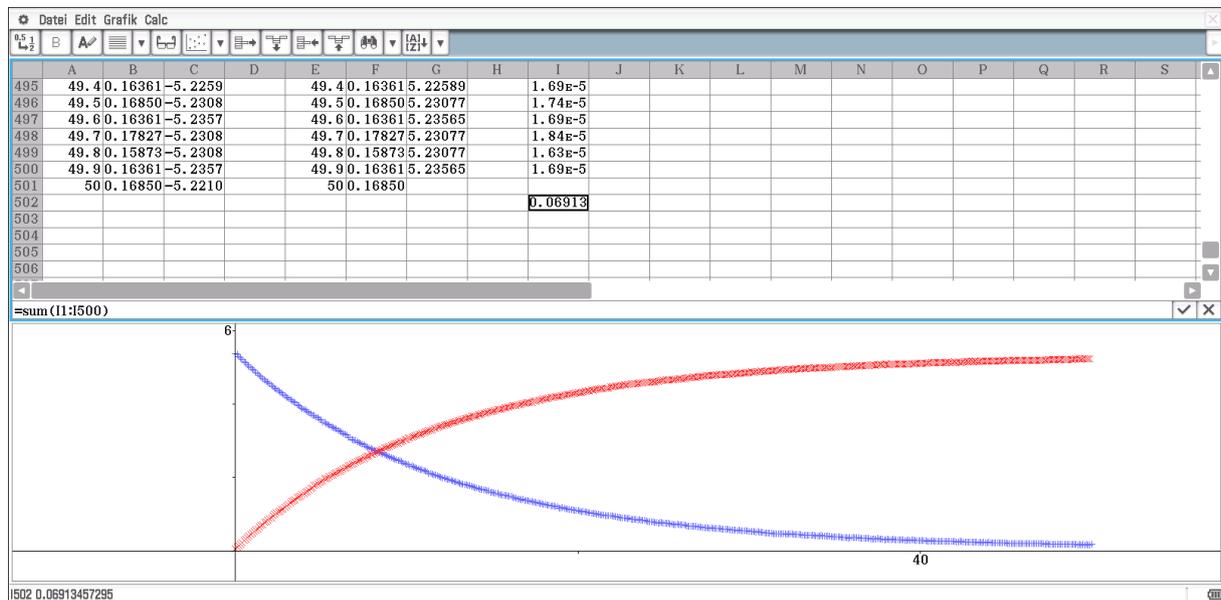
Variante 2: Die gespeicherte Ladung und Energie lässt sich durch numerische Integration bestimmen. Dafür wird die Tabellenkalkulation des ClassPad-Managers verwendet.

Die CSV-Datei wird importiert. Die Werte der Spalten A, B werden in die Spalten E, F kopiert. Die Werte der Spalte C müssen noch in Spalte G invertiert werden. Die Spalten E, F, G enthalten dann die Zeit in ms, die Spannung am ohmschen Widerstand und die vorzeichenrichtige Spannung am Kondensator jeweils in V.

Aus den Spalten E, F, G ergibt sich das Diagramm für die zeitlichen Verläufe der Kondensatorspannung und der Spannung am ohmschen Widerstand. Der zeitliche Verlauf der Spannung am ohmschen Widerstand entspricht dem zeitlichen Verlauf der Stromstärke: $I = \frac{U_R}{R}$.

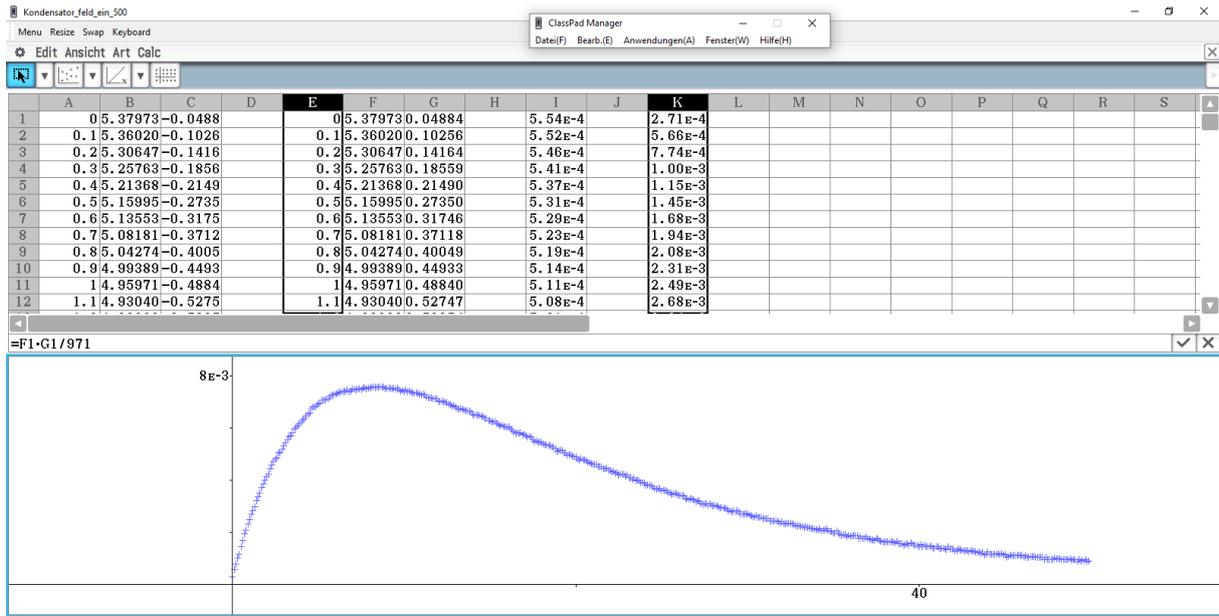


In Spalte I werden die pro Zeitschritt aufgebrauchten Ladungselemente $\Delta Q = \frac{U_R}{R} \Delta t$ berechnet. U_R ist die Spannung am ohmschen Widerstand ($R = 971 \Omega$). Der Zeitschritt ist mit $\Delta t = 1 \text{ ms}$ gegeben. Das Aufsummieren der Werte I1 bis I500 ergibt die Ladung, deren Wert in mAs in Zelle I502 angegeben ist.



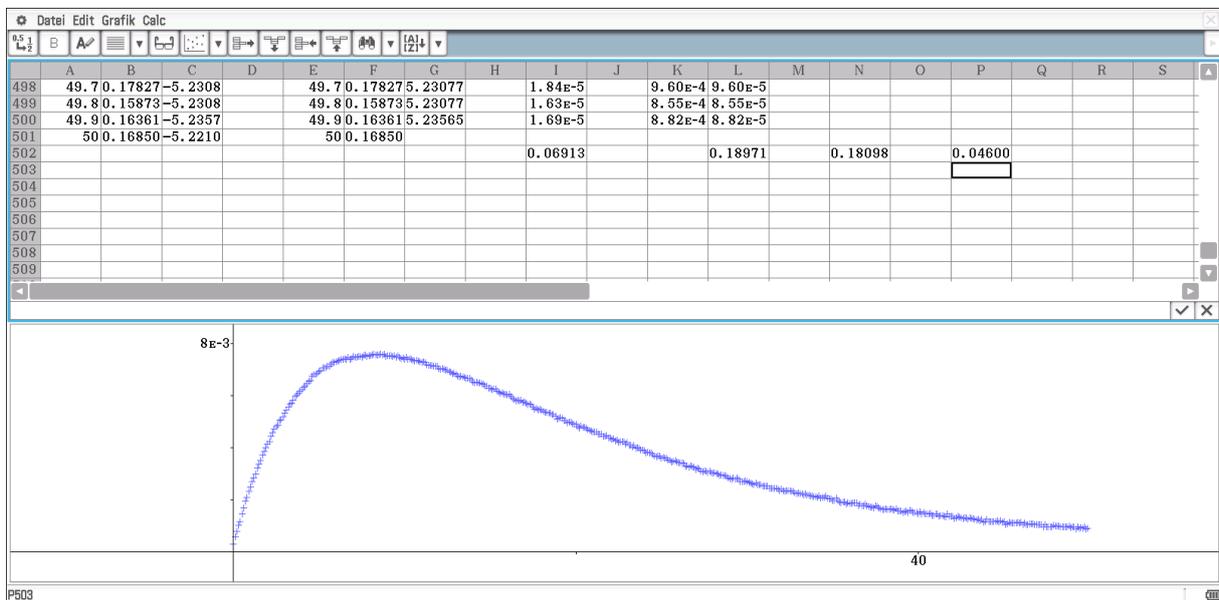
In Spalte K wird die zu einer Zeit erbrachte elektrische Leistung berechnet. Hierzu wird die Beziehung $P = \frac{U_R}{R} U_C$ genutzt, wobei U_C die Spannung am Kondensator ist (Spalte G). Das Diagramm zeigt den zeitlichen Verlauf der beim Aufladen erbrachten elektrischen Leistung.

Kapitel 3 – Experimente mit Kondensator und Spule im Gleichstromkreis



Die Fläche unter dem Graphen für den zeitlichen Verlauf der Leistung entspricht der verrichteten elektrischen Arbeit W , aus welcher sich die gespeicherte Energie ergibt: $W = \Delta E$.

Die notwendige numerische Integration wird in Spalte L ausgeführt. Die Zeilenwerte berechnet man durch Verwenden der Beziehung $\Delta W = \frac{U_R}{R} U_C \Delta t$. Durch das Aufsummieren der Werte L1 bis L500 ergibt sich die gespeicherte elektrische Energie $E_{el} = 0,1897$ mWs in Zelle L502.



In Zelle N502 ist der mit $E_{el} = \frac{1}{2}QU$ berechnete Wert für die gespeicherte Energie angegeben. Die Abweichung zum oben berechneten Wert beträgt 4,6 % (Zelle P502).

Hinweise zum Versuchskomplex – Spulen im Gleichstromkreis

Die Lernenden wenden ihre Kenntnisse über die Vorgänge beim Ein- und Ausschalten eines Gleichstromkreises mit einer Spule an. Sie festigen die Kenntnisse über die Selbstinduktion sowie die Induktivität einer Spule. Sie vertiefen durch Ermitteln der Energie des magnetischen Feldes ihr Wissen über Energieerhaltung und Energieumwandlungen.

Es werden dafür folgende Versuche vorgeschlagen:

- **Selbstinduktion beim Einschalten eines Stromkreises mit einer Spule**

Die Auswertung dieses Versuches wird ausschließlich mit Coach 7 durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler lernen hierbei die Abhängigkeit des Zeitverhaltens der Stromstärke durch die Spule vom ohmschen Widerstand des Stromkreises und der Induktivität kennen und ermitteln daraus die Zeitkonstante. Sie bestimmen die Induktivität und berechnen die Energie des magnetischen Feldes der stromdurchflossenen Spule.

- **Energie des magnetischen Feldes einer stromdurchflossenen Spule**

Die Auswertung dieses Versuches wird mit Coach 7 und dem ClassPad-Manager durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen das zeitliche Verhalten der Spannung an der Spule und der Stromstärke, bestimmen die elektrische Leistung während des Selbstinduktionsvorganges und ermitteln die im magnetischen Feld der Spule gespeicherten Energie.

- **Induktivität und ohmscher Widerstand einer Spule**

Die Auswertung dieses Versuches wird ausschließlich mit Coach 7 durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler wenden ihre Kenntnisse über das Zeitverhalten der Spannung an der Spule und der Stromstärke an, um die Induktivität und den ohmschen Widerstand der Spule zu bestimmen.

Selbstinduktion an einer Spule beim Einschaltvorgang

1. Aufgabenstellungen

- 1.1. Untersuchen Sie das Zeitverhalten der Spannung am ohmschen Widerstand beim Einschalten einer Reihenschaltung aus einer Spule und einem ohmschen Widerstand.
- 1.2. Bestimmen Sie die Induktivität der Spule.
- 1.3. Bestimmen Sie die Energie des magnetischen Feldes der Spule.

2. Vorüberlegungen

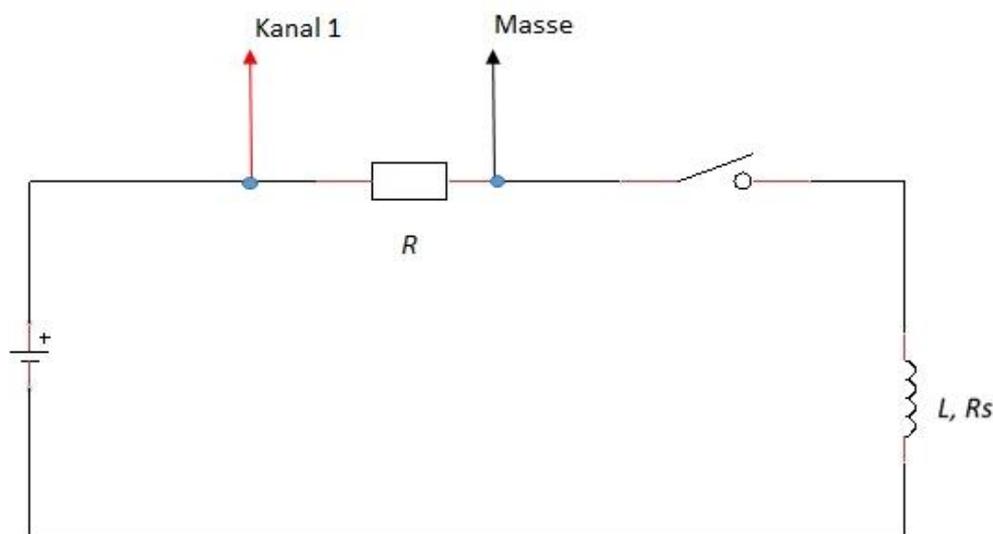
Wird ein Seriengleichstromkreis aus Spule und ohmschem Widerstand eingeschaltet, so erfolgt anfänglich durch den Induktionsvorgang in der Spule eine Behinderung des fließenden Stromes. Das zeitliche Verhalten der Stromstärke wird dabei durch die Zeitkonstante $\tau = \frac{L}{R}$ beschrieben, wobei R der Gesamtwiderstand des Stromkreises ist.

Das zeitliche Verhalten der Stromstärke entspricht dem der Spannung am ohmschen Widerstand. Begründen Sie.

Die Energie des magnetischen Feldes der stromdurchflossenen Spule lässt sich aus den Werten von Induktivität und Stromstärke berechnen. Leiten Sie hierfür eine entsprechende Gleichung her.

3. Durchführung

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan auf. Schließen Sie den Spannungssensor an den Kanal 1 des CLAB an.



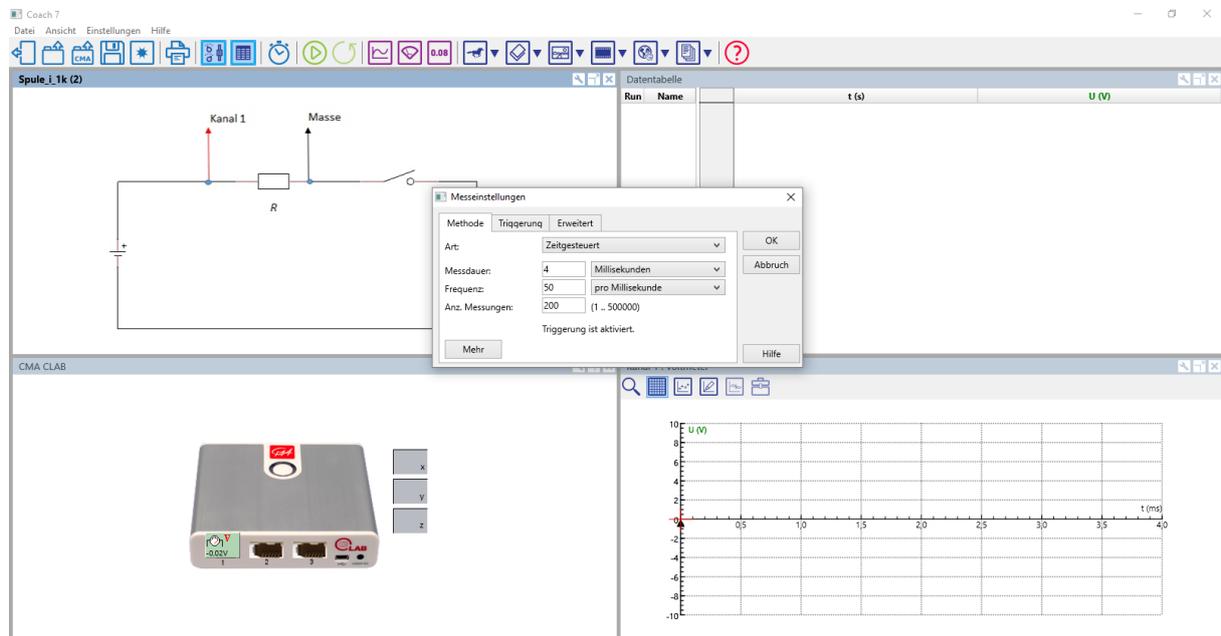
$R=10 \Omega$, $R_s=3,9 \Omega$, $L=?$, $9 \text{ V} < U < 10 \text{ V}$,
Die angegebenen Werte sind Beispiele.

- 3.1. Stellen Sie die vorgeschlagenen Werte für Messzeit und Messrate (Abtastrate) im Messprogramm Coach 7 ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.2. Stellen Sie einen Trigger mit einer Triggerschwelle von 0 V (aufwärts) ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7- Aktivität.
- 3.3. Richten Sie im Messprogramm die Ausgabe der Messwerte als Diagramm und als Tabelle ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7- Aktivität.
- 3.4. Starten Sie den Messvorgang im Programm und schalten Sie den Stromkreis ein.

4. Hinweise zur Durchführung der Messung

Hinweise zu 3.1.

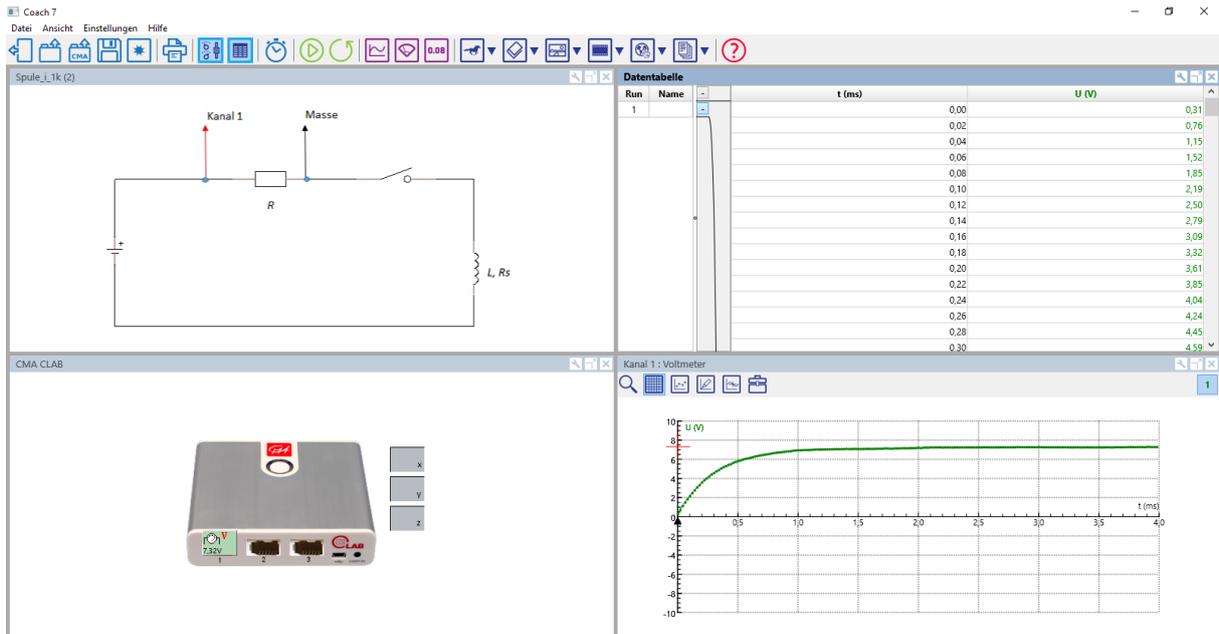
Durch Probieren ergibt sich eine Messzeit von ca. 4 ms. Wählt man die Abtastrate mit 50 Messungen pro Millisekunde, so ergeben sich 200 Messwerte.



Hinweise zu 3.2.

Der Trigger startet den Messvorgang, wenn nach dem Einschalten ein Strom durch den ohmschen Widerstand fließt.



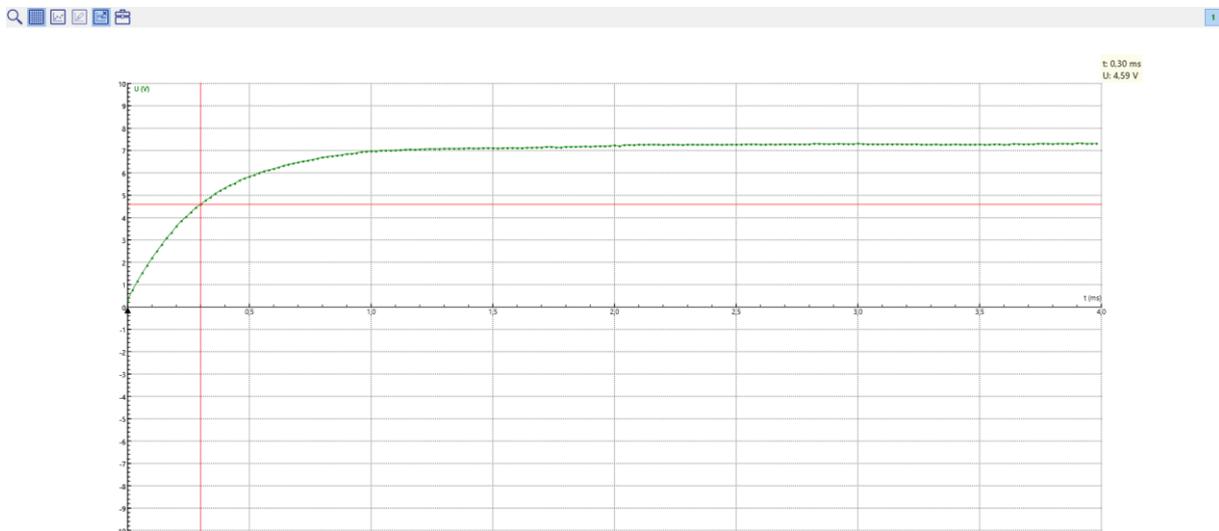


5. Hinweise zur Auswertung

Hinweise zur Aufgabe 1.2.

Die Induktivität der Spule kann man bei Kenntnis des ohmschen Gesamtwiderstandes der Schaltung aus der Zeitkonstanten bestimmen. Für die Bestimmung der Zeitkonstante gibt es verschiedene Möglichkeiten:

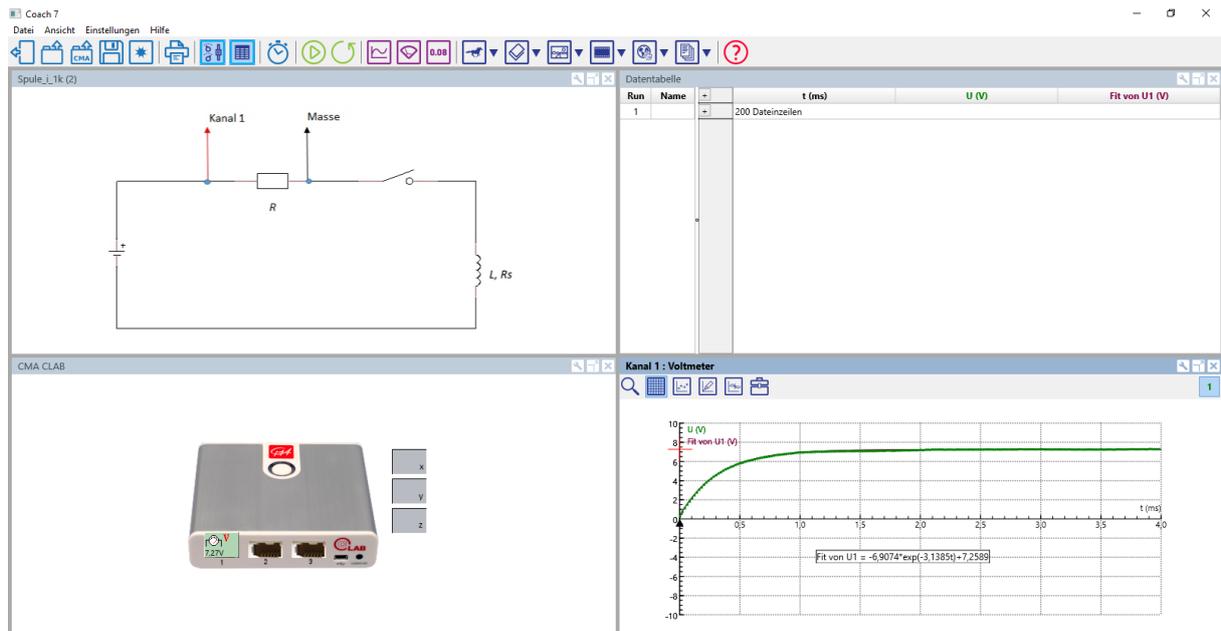
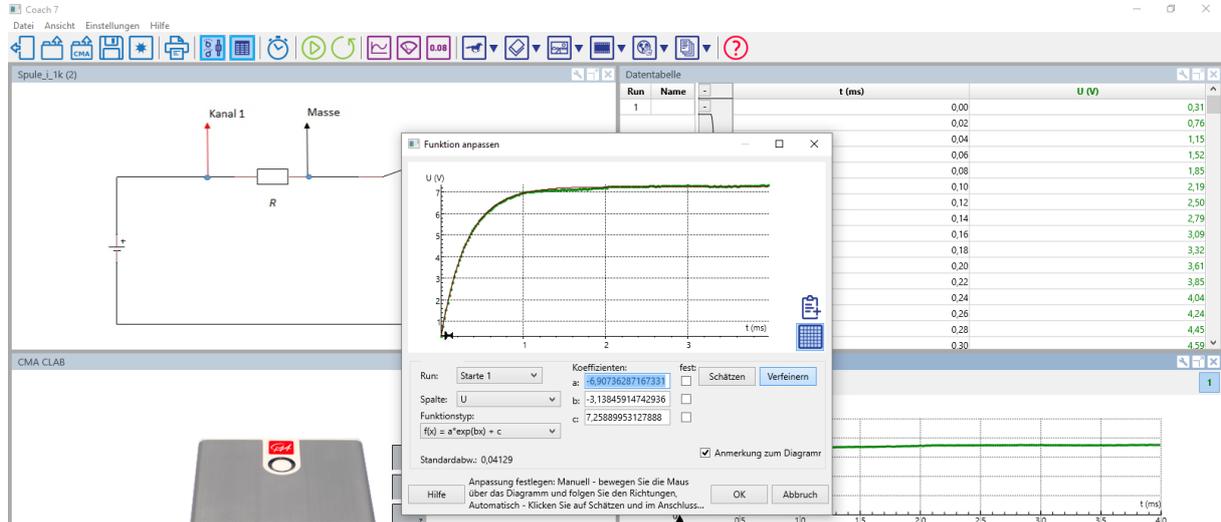
Variante 1: Verwenden des Werkzeuges *Analysieren*



Wenn die Zeit den Wert der Zeitkonstanten erreicht hat, beträgt der Wert der zugehörigen Spannung das 0,6321-fache der maximalen Spannung am ohmschen Widerstand. Die maximal erreichte Spannung beträgt 7,28 V. Die Zeitkonstante ist also bei 4,6 V auf der Zeitachse zu finden.

Dieser Wert wird mit dem ohmschen Gesamtwiderstand der Schaltung von $13,9 \Omega$ multipliziert. Die so ermittelte Induktivität beträgt ca. 4,2 mH. Die Genauigkeit dieses Verfahrens kann durch Erhöhen der Messrate verbessert werden.

Variante 2: Verwenden des Analyse/Verarbeitungs-Werkzeuges: **Funktion anpassen**



Aus der Gleichung für das Ergebnis der Anpassung ergibt sich die Zeitkonstante aus dem Kehrwert der Zahl 3,185 im Exponenten. Die so ermittelte Zeitkonstante beträgt 0,314 ms und die Induktivität der Spule beträgt somit 4,364 mH. Was dem mit einem speziellen Gerät für Induktivitätsmessungen ermittelten Wert im Rahmen der Mess- und Auswertegenauigkeit gut entspricht.

Hinweise zur Aufgabe 1.3.

Die magnetische Feldenergie der Spule ergibt sich aus der Beziehung

$$E_{mag} = \frac{1}{2} LI^2 = 0,5 \cdot 4,361 \text{ mH} \cdot \left(\frac{7,28 \text{ V}}{10 \Omega}\right)^2. \text{ Sie beträgt } 1,16 \text{ mWs.}$$

Energie des magnetischen Feldes einer stromdurchflossenen Spule

1. Aufgabenstellungen

- 1.1. Untersuchen Sie das Zeitverhalten der Spannung an der Spule und der Spannung am ohmschen Widerstand in einer Reihenschaltung aus einer Spule und einem ohmschen Widerstand beim Einschalten
- 1.2. Stellen Sie den zeitlichen Verlauf der Leistung dar und ermitteln Sie die Energie des magnetischen Feldes.

2. Vorüberlegungen

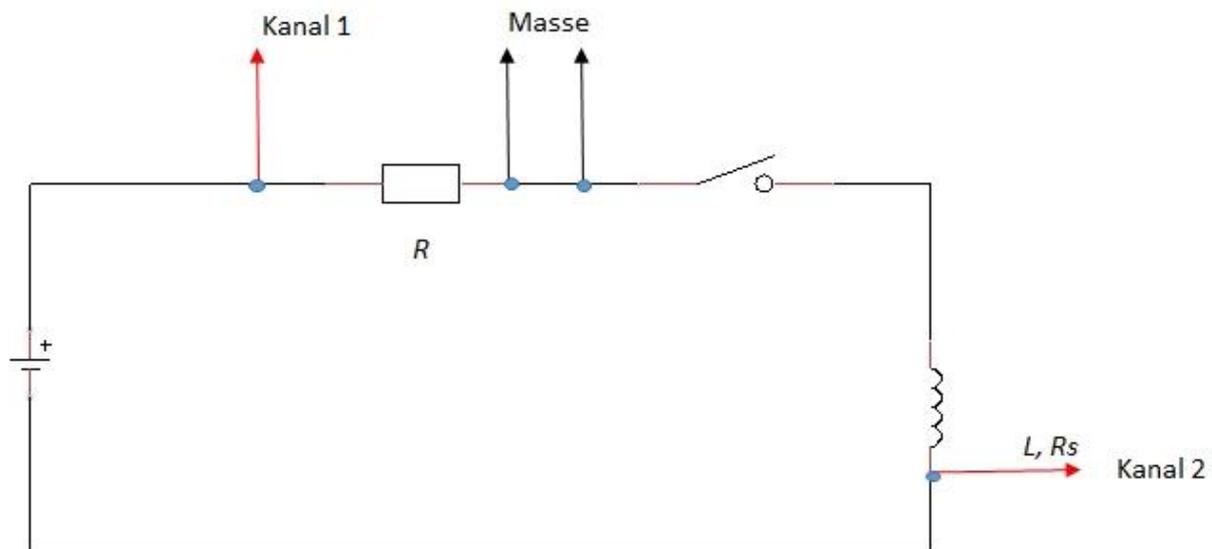
Wird ein Seriengleichstromkreis aus einer Spule und einem ohmschen Widerstand eingeschaltet, so wird in der Spule eine Spannung induziert, die dem Stromfluss durch die Spule entgegenwirkt.

Die an der Spule erbrachte Leistung lässt sich mit dem Produkt aus der Stromstärke durch die Spule und der an der Spule anliegenden Spannung berechnen. Die Stromstärke lässt sich aus der Spannung am ohmschen Widerstand bestimmen.

Während des Induktionsvorganges wird das magnetische Feld der Spule aufgebaut, dabei wird eine elektrische Arbeit verrichtet. Diese lässt sich durch numerische Integration über den zeitlichen Verlauf der Leistung bestimmen. Die Energie des magnetischen Feldes ergibt sich aus dieser elektrischen Arbeit.

3. Durchführung

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan auf. Schließen Sie die Spannungssensoren an die Kanäle 1 und 2 des CLAB an, wie es im Schaltplan vorgegeben ist.



$$R=10 \, \Omega, R_s=3,9 \, \Omega, U<10 \, V$$

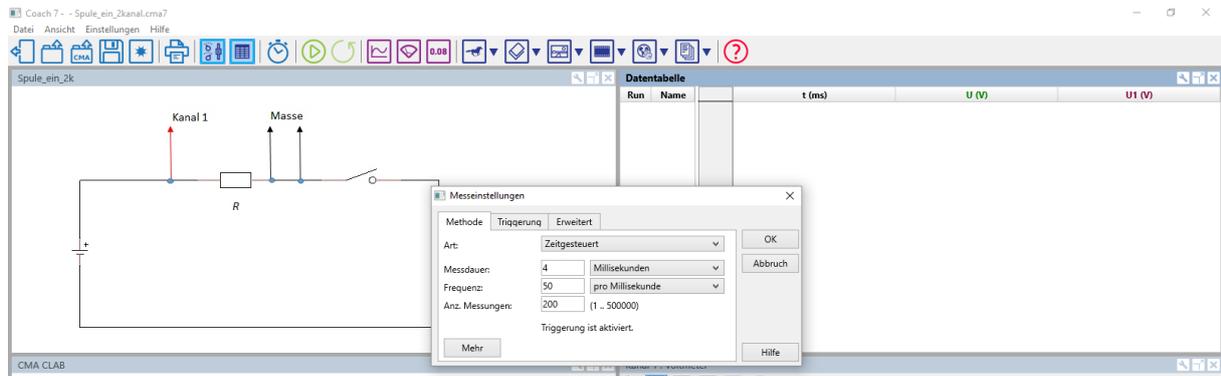
Die angegebenen Werte sind Beispiele.

- 3.1. Stellen Sie die vorgeschlagenen Werte für Messzeit und Messrate (Abtastrate) im Messprogramm Coach 7 ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.2. Stellen Sie einen Trigger mit einer Triggerschwelle von 0 V (aufwärts) ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7- Aktivität.
- 3.3. Richten Sie im Messprogramm die Ausgabe der Messwerte als Diagramm und als Tabelle ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7- Aktivität.
- 3.4. Starten Sie den Messvorgang im Programm und schalten Sie den Stromkreis ein.
- 3.5. Exportieren Sie die Daten für die weitere Bearbeitung mit dem ClassPad-Manager.

4. Hinweise zur Durchführung der Messung

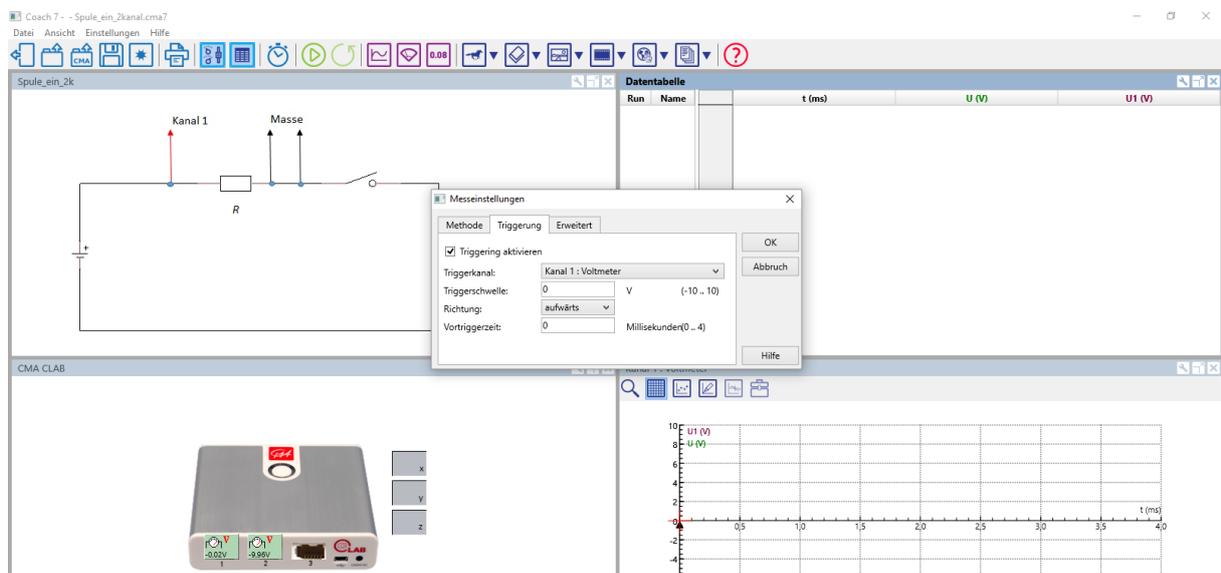
Hinweise zu 3.1.

Die Zeitkonstante ist kleiner als 0,4 ms. Die verwendete Messzeit sollte daher nicht größer als 4 ms sein. Wählt man für die Abtastrate 50 Messungen pro Millisekunde, so ergeben sich 200 Messwerte.



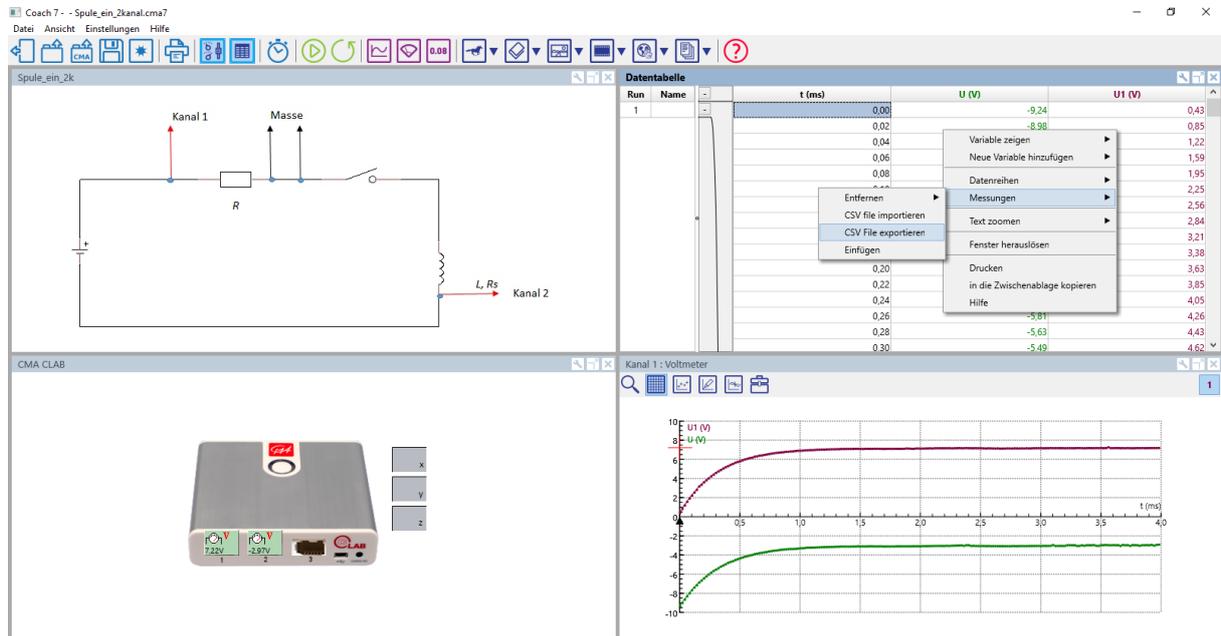
Hinweise zu 3.2.

Der Trigger startet den Messvorgang, wenn ein Strom durch den ohmschen Widerstand fließt und somit eine Spannung am Widerstand gemessen werden kann.



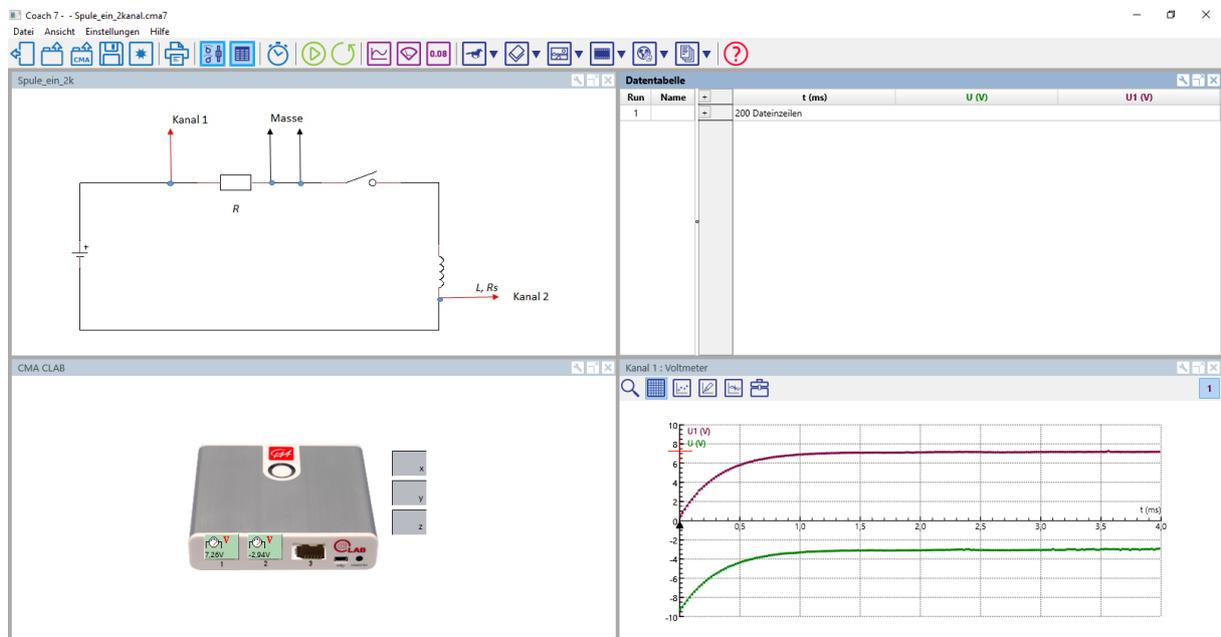
Hinweise zu 3.5.

Die Messwerte in der Tabelle werden als CSV-Datei exportiert und in das Verzeichnis des ClassPad-Managers kopiert.



5. Hinweise zur Auswertung

Hinweise zur Aufgabe 1.1.

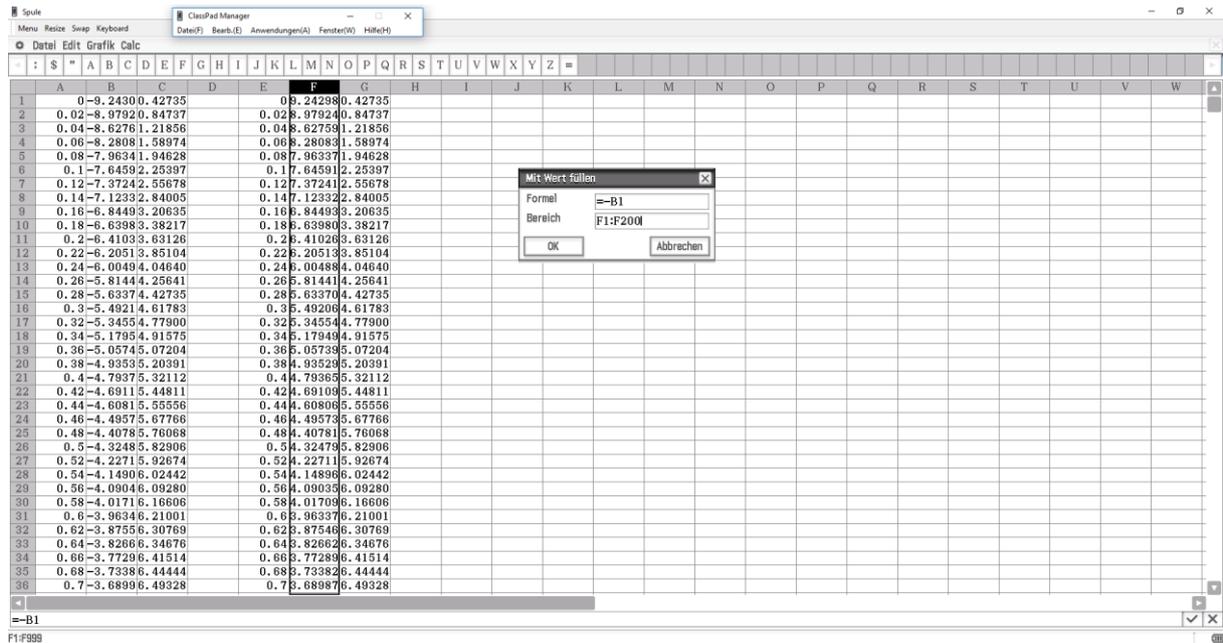


Die obere Kurve U_1 beschreibt den zeitlichen Verlauf der Spannung am ohmschen Widerstand und somit den zeitlichen Verlauf der Stromstärke.

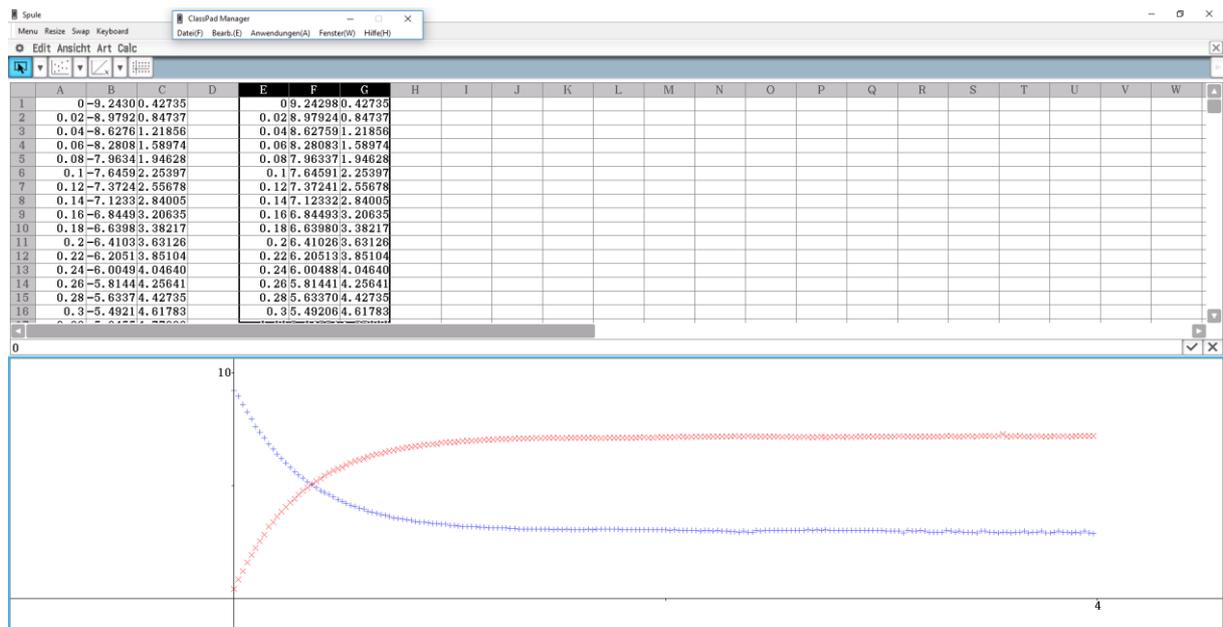
Der zeitliche Verlauf der Spannung an der Spule (untere Kurve U) wird invertiert dargestellt.

Hinweise zur Aufgabe 1.2.

Die weitere Auswertung erfolgt mit dem ClassPad-Manager. Das exportierte CSV-File wird in der Tabellenkalkulation des ClassPad-Managers geöffnet. Die Spalten A, B, C enthalten die Messwerte für die Zeit in ms, die Spannung an der Spule in V, die nochmals invertiert werden muss, und die Spannung am ohmschen Widerstand in V. Die Werte der Spalten A und B werden durch Kopieren in die Spalten E und G übertragen, die Werte der Spalte B werden mittels der Funktion **Füllen/Mit Wert füllen** in Spalte F invertiert.



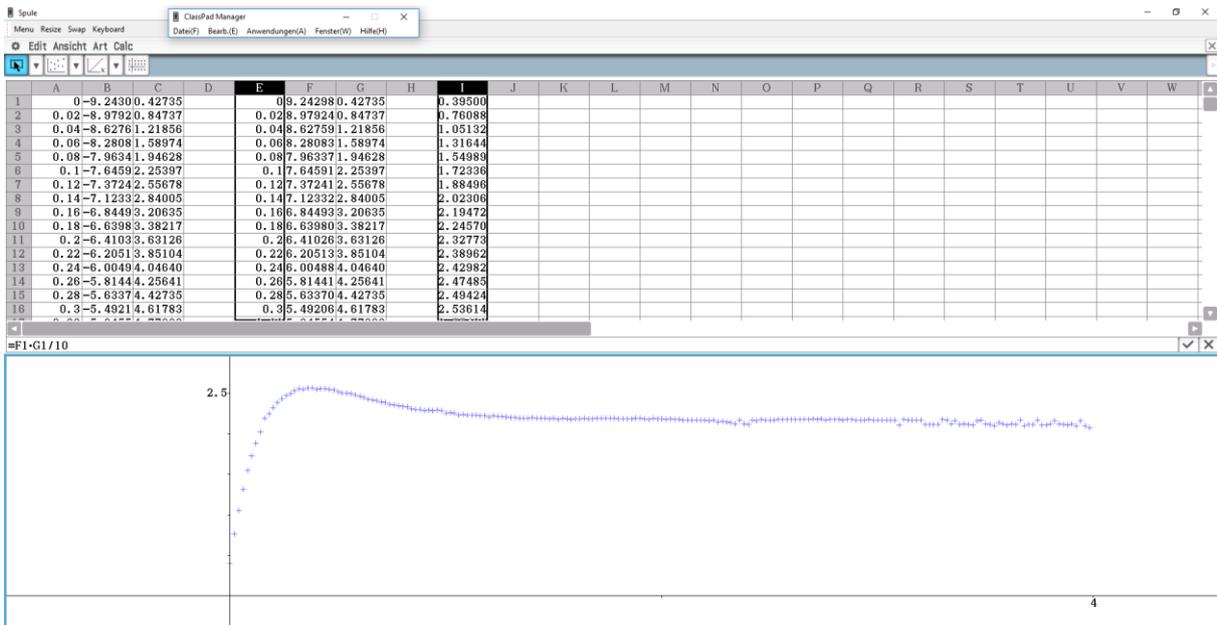
Damit ergibt sich die vorzeichenrichtige Darstellung der zeitlichen Verläufe der Spannungen an der Spule und am ohmschen Widerstand.



In der Spalte I werden die Werte für die elektrische Leistung berechnet.

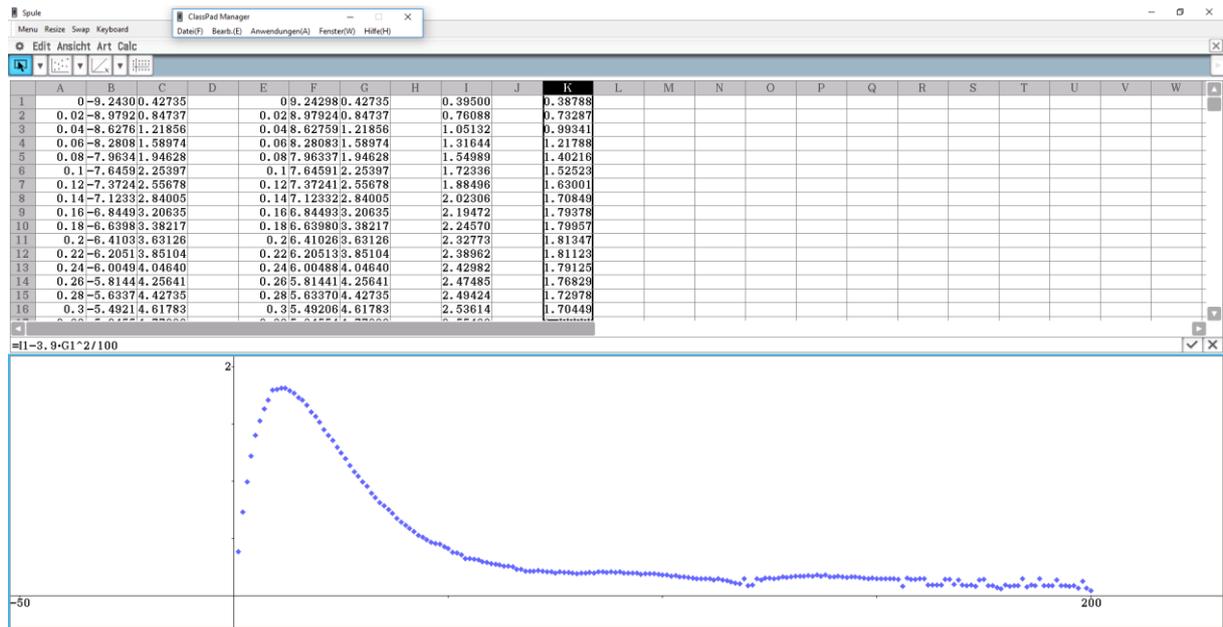
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
1	0	-9.24300	0.42735			0.9.242980	0.42735																	
2	0.02	-8.97920	0.84737			0.028.979240	0.84737																	
3	0.04	-8.62761	1.21856			0.048.627591	1.21856																	
4	0.06	-8.28081	1.58974			0.068.280831	1.58974																	
5	0.08	-7.96341	1.94628			0.087.963371	1.94628																	
6	0.1	-7.64592	2.25397			0.17.645912	2.25397																	
7	0.12	-7.37242	2.55678			0.127.372412	2.55678																	
8	0.14	-7.12332	2.84005			0.147.123322	2.84005																	
9	0.16	-6.84493	3.20635			0.166.844933	3.20635																	
10	0.18	-6.63983	3.38217			0.186.639803	3.38217																	
11	0.2	-6.41033	3.63126			0.26.410263	3.63126																	
12	0.22	-6.20513	3.85104			0.226.205133	3.85104																	
13	0.24	-6.00494	4.04640			0.246.004884	4.04640																	
14	0.26	-5.81444	4.25641			0.265.814414	4.25641																	
15	0.28	-5.63374	4.42735			0.285.633704	4.42735																	
16	0.3	-5.49214	4.61783			0.35.492064	4.61783																	
17	0.32	-5.34554	4.77900			0.325.345544	4.77900																	
18	0.34	-5.17954	4.91575			0.345.179494	4.91575																	
19	0.36	-5.05745	5.07204			0.365.057395	5.07204																	
20	0.38	-4.93535	5.20391			0.384.935295	5.20391																	
21	0.4	-4.79375	5.32112			0.44.793655	5.32112																	
22	0.42	-4.69115	5.44811			0.424.691095	5.44811																	
23	0.44	-4.60815	5.55556			0.444.608065	5.55556																	
24	0.46	-4.49575	5.67766			0.464.495735	5.67766																	
25	0.48	-4.40785	5.76068			0.484.407815	5.76068																	
26	0.5	-4.32485	5.82906			0.54.324795	5.82906																	
27	0.52	-4.22715	5.92674			0.524.227115	5.92674																	
28	0.54	-4.14906	6.02442			0.544.148966	6.02442																	
29	0.56	-4.09046	6.09280			0.564.090356	6.09280																	
30	0.58	-4.01716	6.16606			0.584.017096	6.16606																	

Die graphische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der elektrischen Leistung ergibt sich durch die Darstellung der Werte der Spalte I über den Werten der Spalte F.

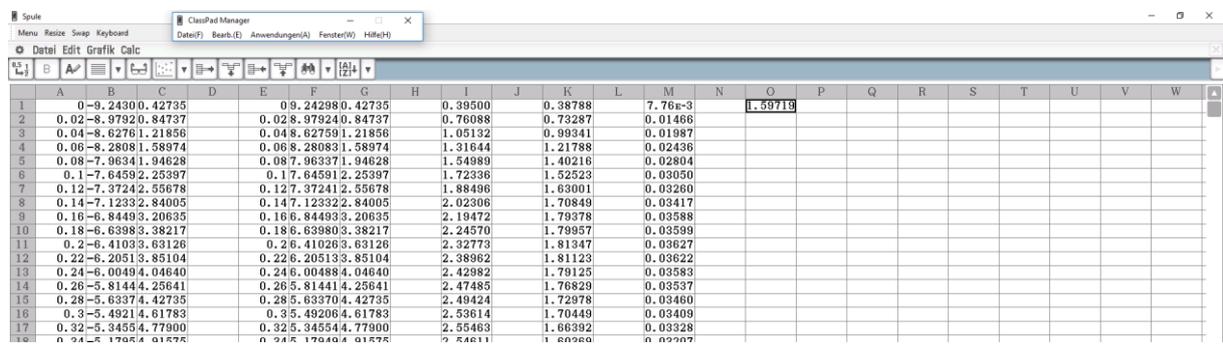
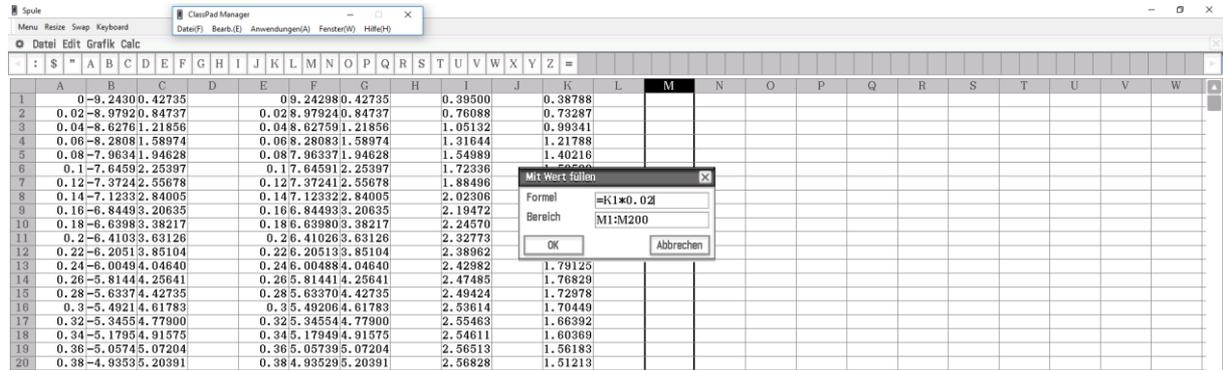


Der Wert der elektrischen Leistung nähert sich nach dem Abklingen des Induktionsvorganges einem konstanten Wert an. Dieser entspricht der Leistung am ohmschen Widerstand der Spule. Dieser Anteil, der sich aus dem Quadrat des Wertes der Stromstärke multipliziert mit dem Wert des ohmschen Widerstandes der Spule berechnen lässt, wird von den zeitlichen Werten der Leistung aus Spalte I in Spalte K abgezogen. Die graphische Darstellung der so berechneten Werte über der Zeit zeigt den zeitlichen Verlauf der Leistung beim Aufbau des magnetischen Feldes.

Kapitel 3 – Experimente mit Kondensator und Spule im Gleichstromkreis



Die dabei verrichtete elektrische Arbeit wird in den Spalten M und O berechnet. In Spalte M werden die Werte aus Spalte K mit dem Zeitschritt multipliziert. Anschließend werden die Spaltenwerte aufsummiert. Das Ergebnis wird in Zelle O1 angegeben.



Für den Aufbau des magnetischen Feldes wurde eine elektrische Arbeit von ca. 1,6 mWs verrichtet. Die Energie des magnetischen Feldes beträgt somit 1,6 mWs. Ein genaueres Ergebnis erhält man durch Hochsetzen der Messrate.

Bestimmung der Induktivität und des ohmschen Widerstandes einer Spule

1. Aufgabenstellungen

- 1.1. Untersuchen Sie das Zeitverhalten der Spannung an der Spule in einer Reihenschaltung aus einer Spule und einem ohmschen Widerstand beim Einschalten des Stromkreises. Bestimmen Sie die Zeitkonstante.
- 1.2. Ermitteln Sie daraus den ohmschen Widerstand, die Induktivität der Spule und die Stärke des elektrischen Stroms durch die Spule.

2. Vorüberlegungen

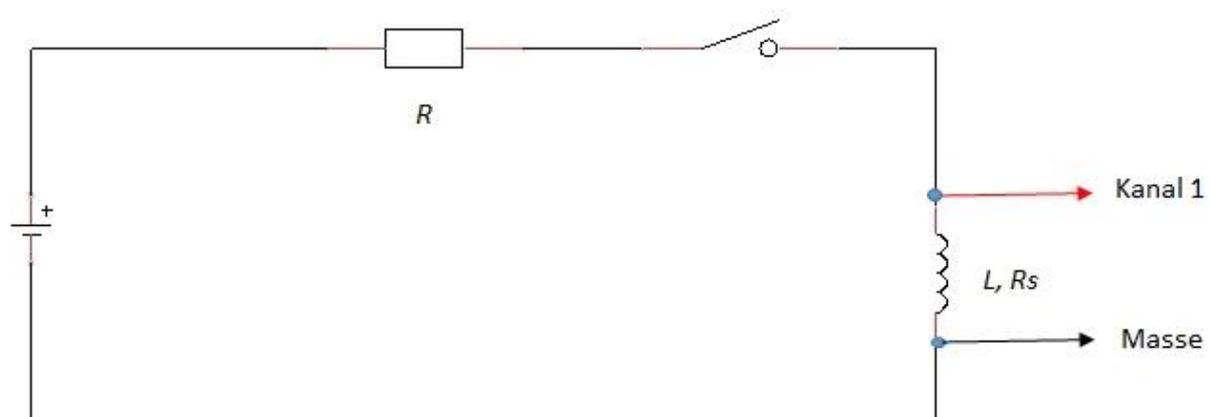
Wird ein Seriengleichstromkreis aus einer Spule und einem ohmschen Widerstand eingeschaltet, so wird in der Spule eine Spannung induziert. Das zeitliche Verhalten wird dabei durch die Zeitkonstante $\tau = \frac{L}{R}$ beschrieben. Wobei R hier der ohmsche Gesamtwiderstand der Reihenschaltung ist.

Der ohmsche Widerstand der Spule lässt sich über die Spannungsteilerregel aus der anliegenden Gesamtspannung und der Spannung an der Spule nach dem Abklingen des Induktionsvorgangs ermitteln.

Aus der Spannung an der Spule nach dem Abklingen des Induktionsvorgangs und dem ohmschen Widerstand der Spule lässt sich die Stromstärke berechnen.

3. Durchführung

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan auf. Schließen Sie den Spannungssensor an Kanal 1 des CLAB an.



$R=10 \Omega$, $R_s=?$, $L=?$, $U<10 \text{ V}$

Die angegebenen Werte sind Beispiele.

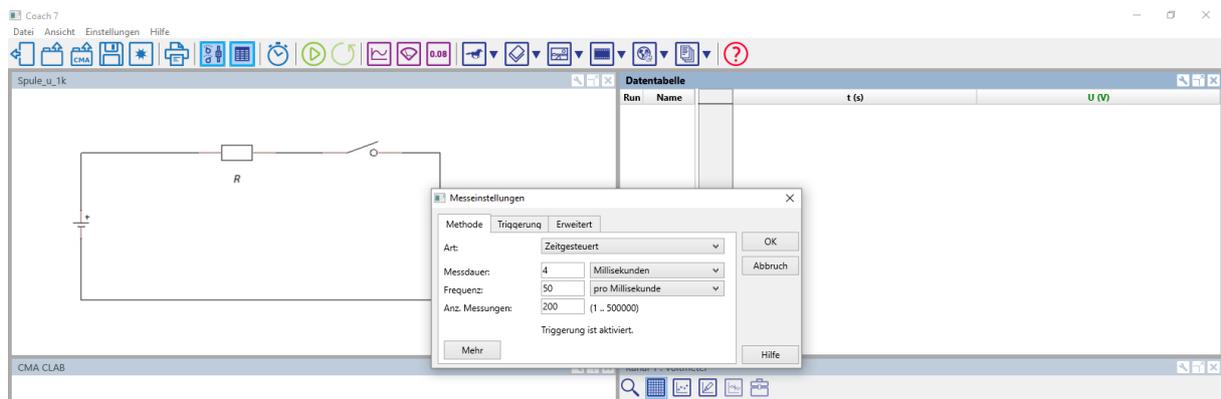
- 3.1. Stellen Sie die vorgeschlagenen Werte für Messzeit und Messrate (Abtastrate) im Messprogramm Coach 7 ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.

- 3.2. Stellen Sie einen Trigger mit einer Triggerschwelle von 0 V (aufwärts) ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7- Aktivität.
- 3.3. Richten Sie im Messprogramm die Ausgabe der Messwerte als Diagramm und als Tabelle ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7- Aktivität.
- 3.4. Starten Sie den Messvorgang im Programm und schalten Sie den Stromkreis ein.

4. Hinweise zur Durchführung der Messung

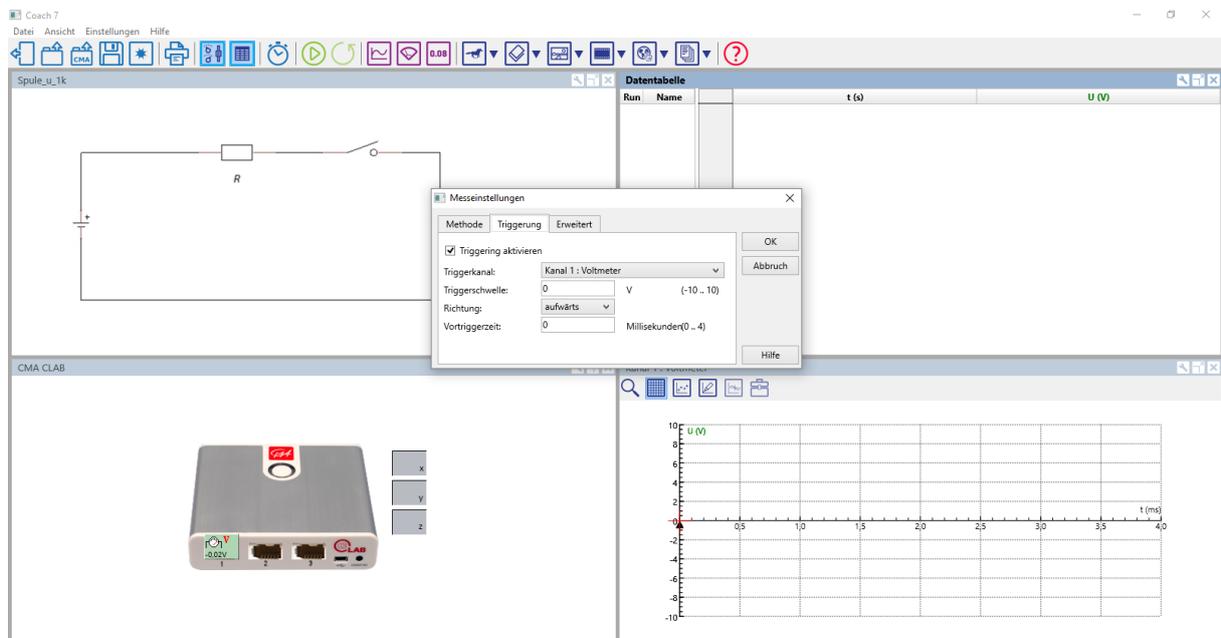
Hinweise zu 3.1.

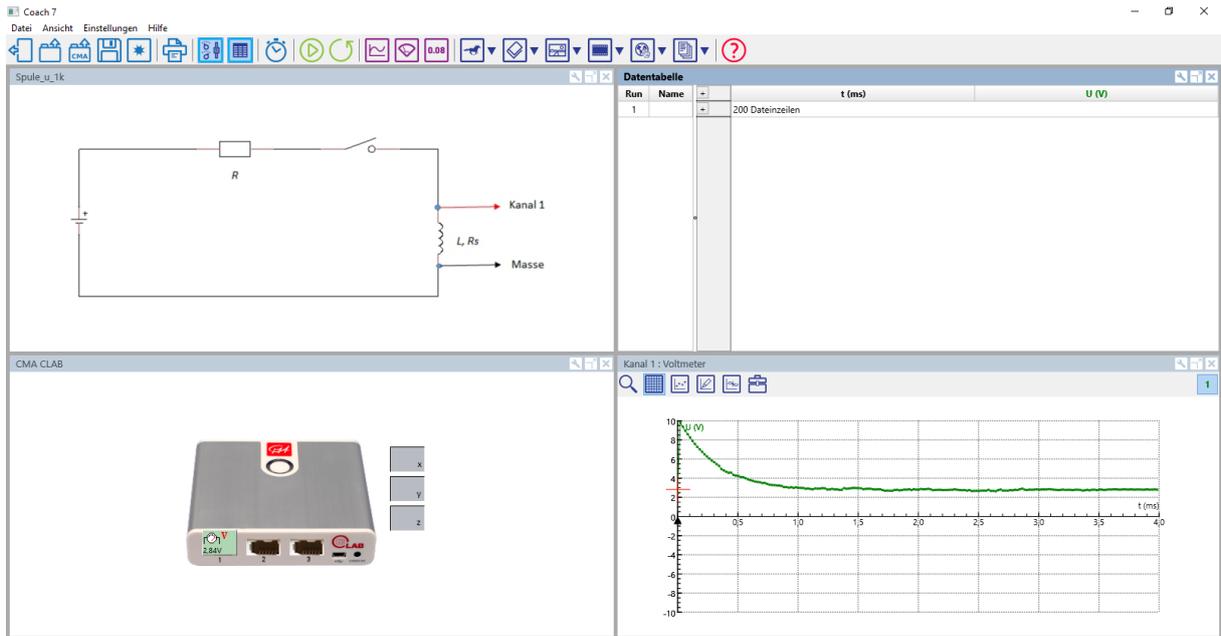
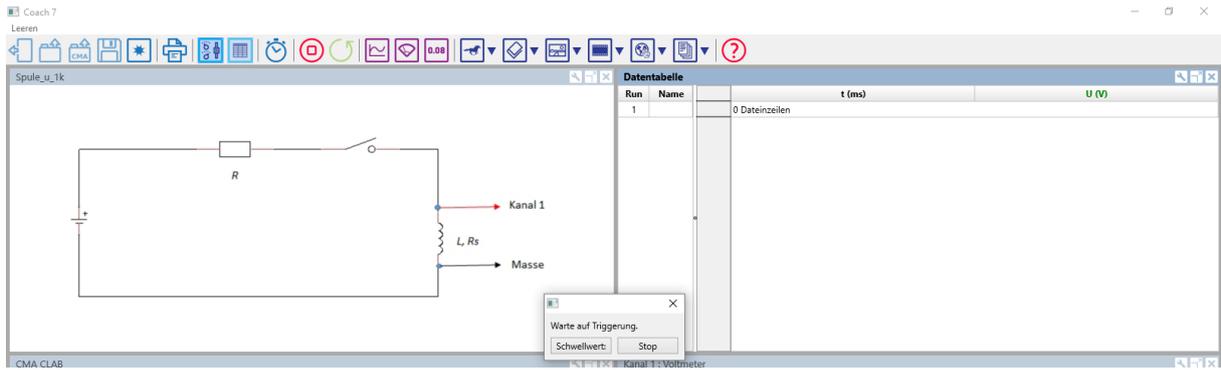
Durch Probieren ergibt sich eine Messzeit von ca. 4 ms. Wählt man die Abtastrate mit 50 Messungen pro Millisekunde, so ergeben sich 200 Messwerte.



Hinweise zu 3.2.

Der Trigger startet den Messvorgang, wenn eine Spannung an der Spule anliegt.

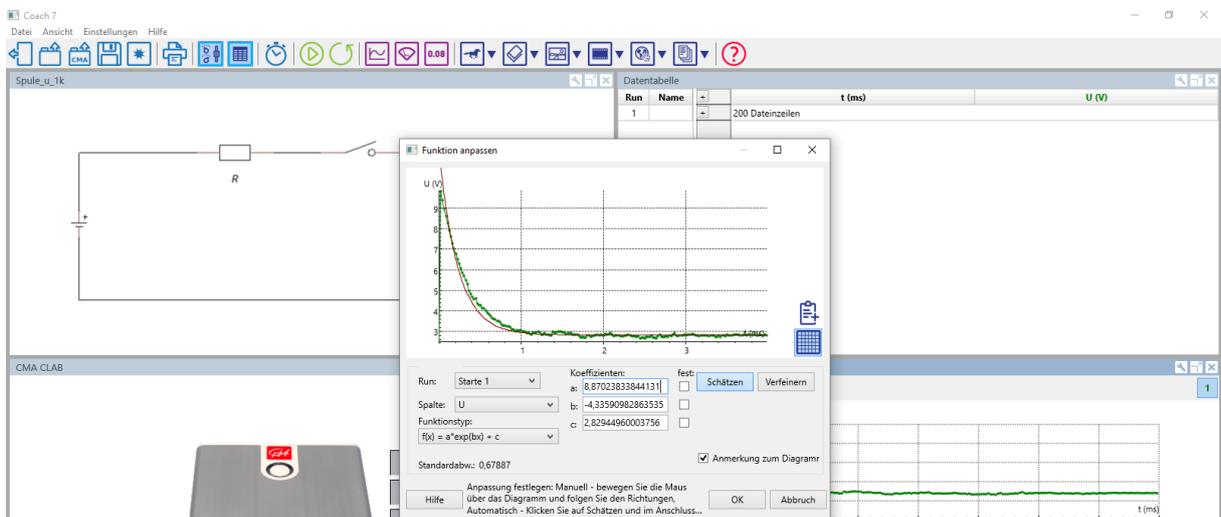


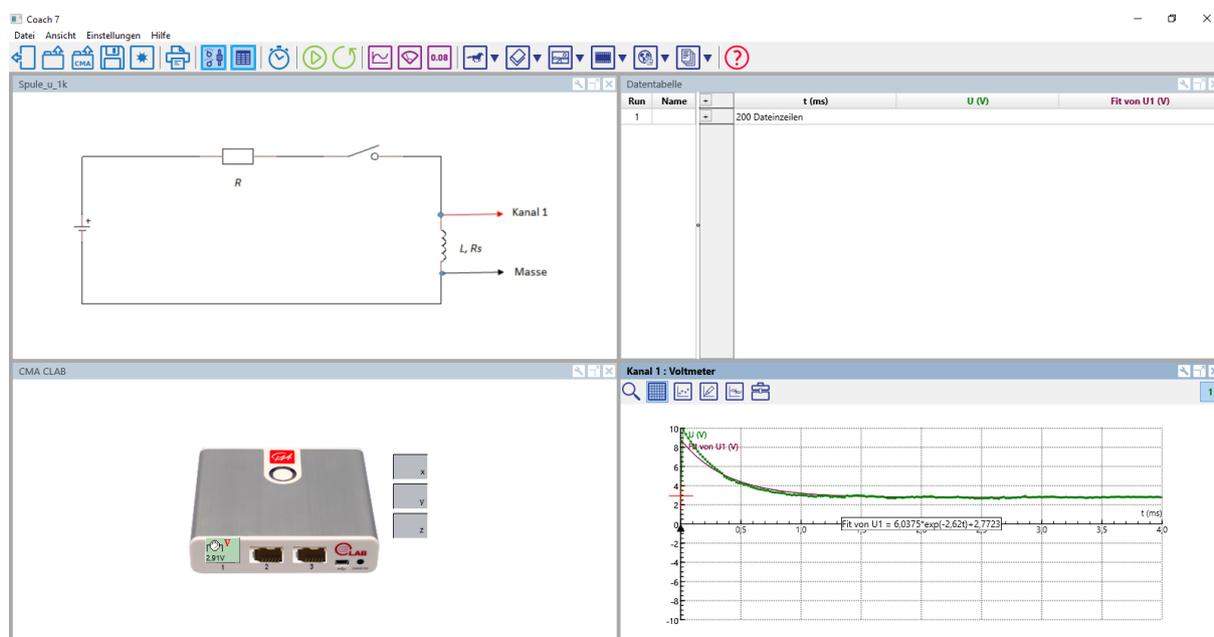
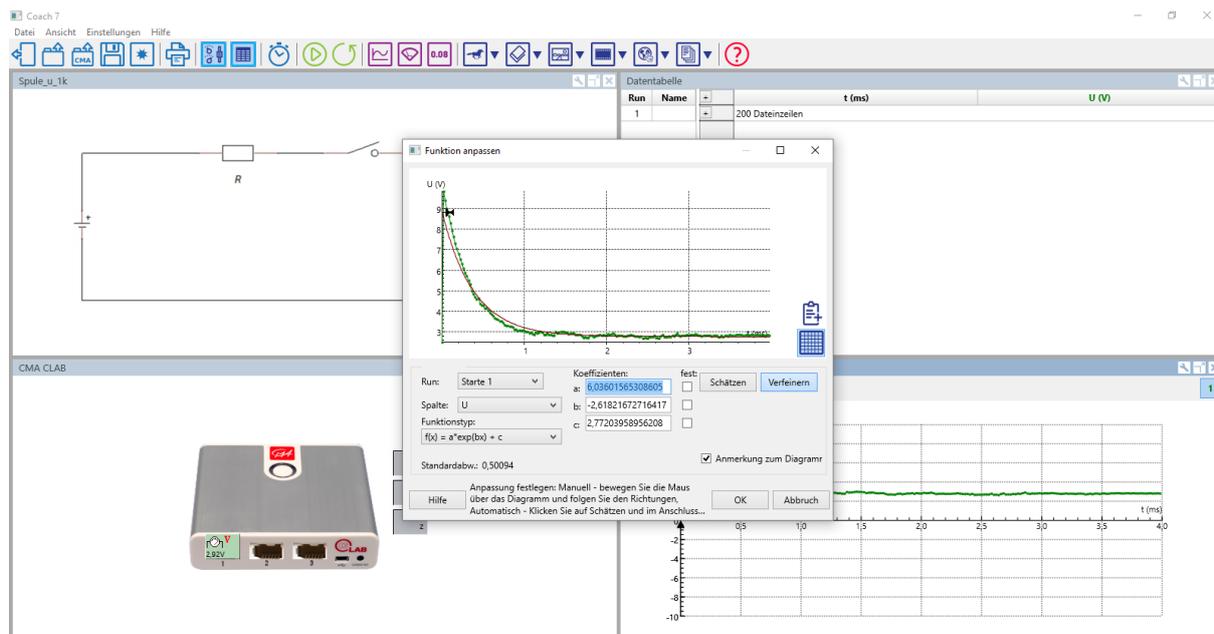


5. Hinweise zur Auswertung

Hinweise zur Aufgabe 1.1.

Die Zeitkonstante bestimmt man durch Verwenden des Analyse/Verarbeitungswerkzeuges **Funktion anpassen**.

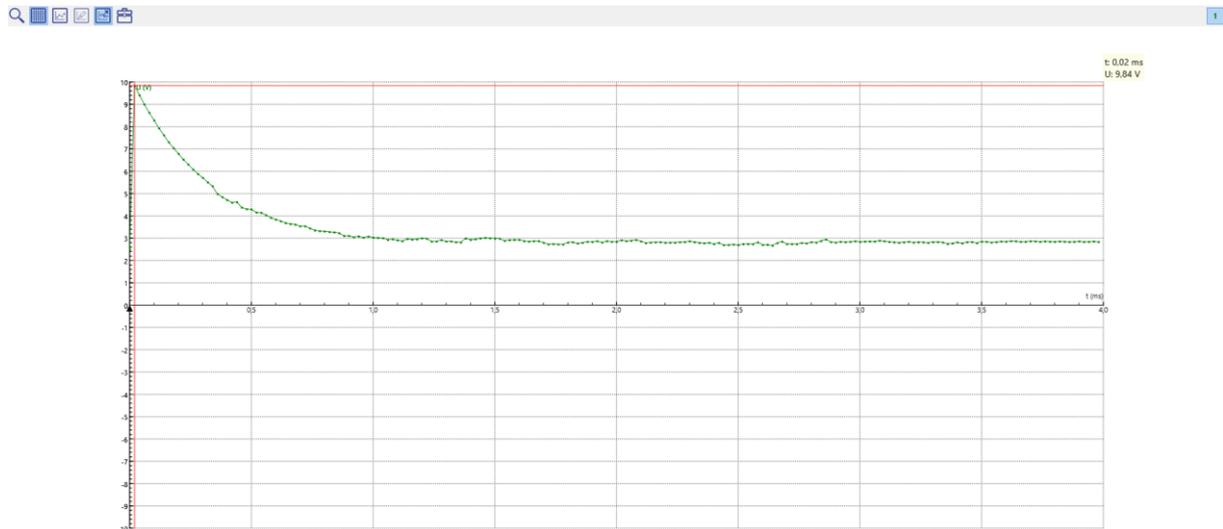




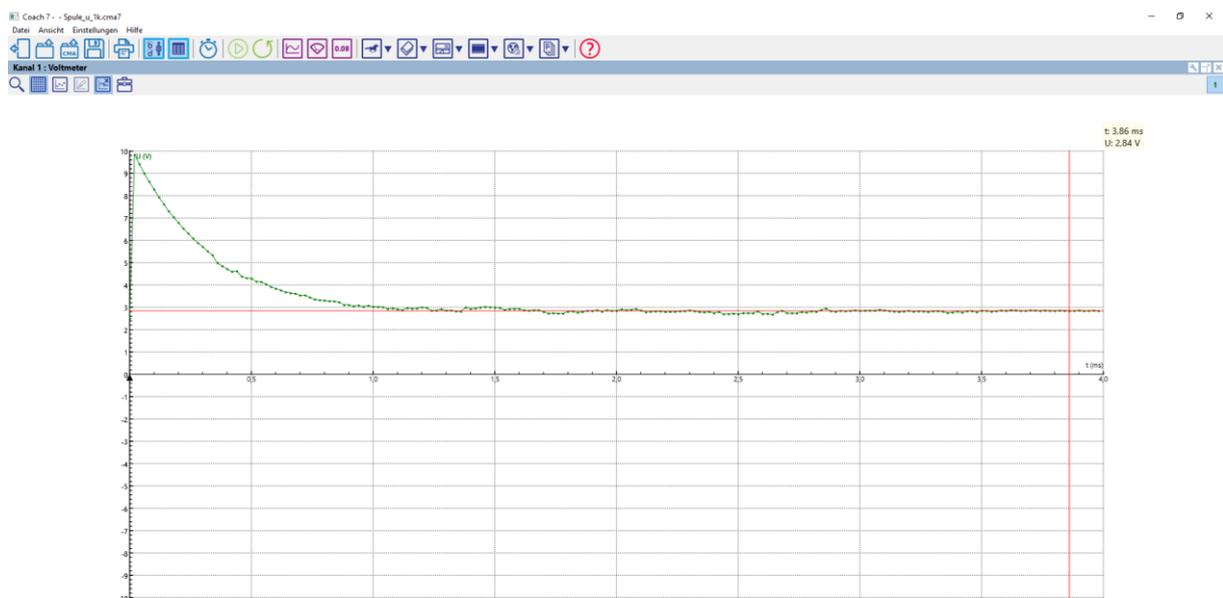
Aus der Gleichung für das Ergebnis der Anpassung ergibt sich die Zeitkonstante aus dem Kehrwert der Zahl 2,62 im Exponenten. Die so ermittelte Zeitkonstante beträgt 0,38 ms. Wie die Graphen für die Anpassungen zeigen, ist dieser Wert fehlerbehaftet, aber dennoch für das Abschätzen der weiteren Größen brauchbar.

Hinweise zur Aufgabe 1.2.

Mit dem Werkzeug **Analysieren** lässt sich der durch den Induktionsvorgang erreichte Spitzenwert der Spannung an der Spule ermitteln, welcher dem Wert der an der Schaltung anliegenden Gesamtspannung (9,84 V) entspricht.



Der mittlere Wert für die Spannung an der Spule nach dem Abklingen der elektromagnetischen Induktion beträgt 2,84 V.



Der ohmsche Widerstand der Spule ergibt sich aus der Verhältnisleichung:

$$\frac{U_s}{U_{ges}} = \frac{R_s}{R+R_s} = \frac{2,84}{9,84}. \text{ Der ohmsche Widerstand der Spule hat somit einen Wert von ca. } 4 \Omega.$$

Aus der Zeitkonstanten und dem Gesamtwiderstand der Schaltung (ca. 14Ω) lässt sich eine Induktivität von 5 mH ermitteln.

Die Stromstärke bestimmt man aus dem ohmschen Widerstand der Spule und der Spannung an der Spule nach dem Abklingvorgang. Ihr Wert beträgt ca. 0,7 A.

Experimente mit einem Schwingkreis

Hinweise zum Versuchskomplex – Schwingkreis

Die Lernenden wenden ihre Kenntnisse bei einem frei ausschwingenden Schwingkreis an. Sie untersuchen das Dämpfungsverhalten und vertiefen durch Ermitteln der Energie des elektrischen und magnetischen Feldes beim Ausschwingen ihr Wissen über Energieumwandlungen und Energieerhaltung.

Es werden dafür folgende Versuche vorgeschlagen:

- **Gedämpfte elektromagnetische Schwingung**

Die Auswertung dieses Versuches wird mit Coach 7 und dem ClassPad-Manager durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen das zeitliche Verhalten der Spannung am Kondensator während des Ausschwingens, ermitteln die Abklingfunktion der gedämpften Schwingung und bestimmen daraus die Induktivität der Spule.

- **Energieumwandlungen beim Ausschwingen eines Schwingkreises**

Die Auswertung dieses Versuches wird mit Coach 7 und dem ClassPad-Manager durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen beim Ausschwingen das zeitliche Verhalten der Spannung am Kondensator und der Stromstärke des Stromes im Schwingkreis. Daraus ermitteln Sie den zeitlichen Verlauf der Umwandlung von elektrischer Feldenergie des geladenen Kondensators in magnetische Feldenergie der stromdurchflossenen Spule. Durch Anwenden des Energieerhaltungssatzes bestimmen Sie den zeitlichen Verlauf der Umwandlung von elektrischer Energie in thermische Energie, wobei die weiteren geringfügigen Verluste am realen Schwingkreis vernachlässigt werden.

Gedämpfte elektromagnetische Schwingung

1. Aufgabenstellungen

- 1.1. Untersuchen Sie das zeitliche Verhalten der Spannung am Kondensator während des Ausschwingens eines Schwingkreises.
- 1.2. Ermitteln Sie die Abklingfunktion der gedämpften Schwingung.
- 1.3. Bestimmen Sie die Induktivität der Spule im Schwingkreis.

2. Vorüberlegungen

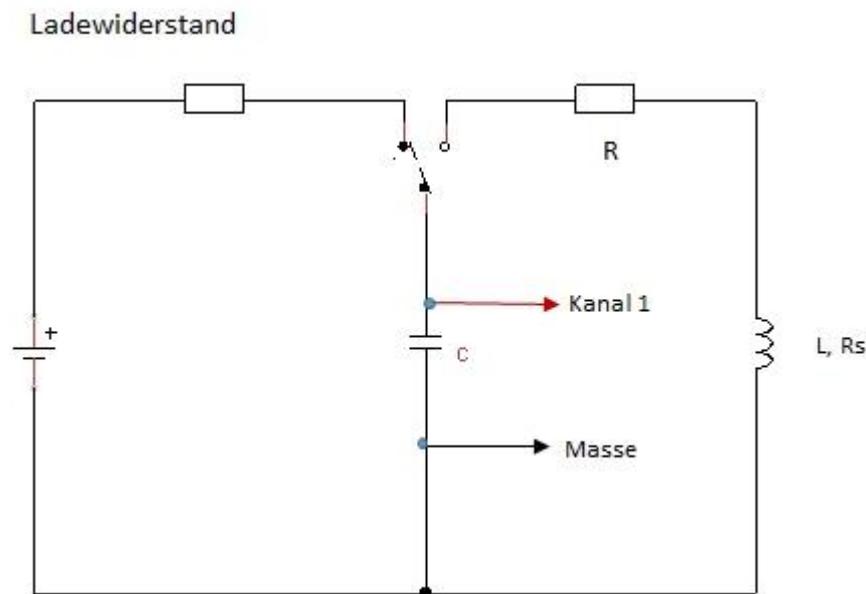
Beim Ausschwingen eines Schwingkreises führt die Spannung am Kondensator eine gedämpfte Schwingung aus. Begründen Sie den Sachverhalt.

Die Werte der Amplituden klingen dabei nach einer mit der Zeit abfallenden Exponentialfunktion ab. Der Wert der Dämpfungskonstanten hängt von der Induktivität der Spule und dem ohmschen Gesamtwiderstand des Schwingkreises ab: $\delta = \frac{R}{2L}$.

Für schwach gedämpfte Schwingungen lässt sich die Induktivität noch in guter Näherung aus der Schwingungsdauer mit der Thomson'schen Schwingungsformel bestimmen.

3. Durchführung

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan auf. Schließen Sie den Spannungssensor an das CLAB an, wie es im Schaltplan eingezeichnet ist.



$C=1 \mu\text{F}$, $R=10 \Omega$, $R_s=3,9 \Omega$, $9 \text{ V} < U < 10 \text{ V}$, Ladewiderstand: 100Ω
Die angegebenen Werte sind Beispiele.

- 3.1. Ermitteln Sie für die von Ihnen verwendeten Bauelemente die notwendige Messzeit für mindestens vier vollständige Perioden und legen Sie eine geeignete Messrate (Abtastrate) fest. Stellen Sie Werte im Messprogramm Coach 7 ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7- Aktivität.
- 3.2. Stellen Sie einen Trigger für Kanal 1 mit einer Triggerschwelle von ca. 90 % der Ladespannung des Kondensators (abwärts) ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7- Aktivität.
- 3.3. Richten Sie im Messprogramm die Ausgabe der Messwerte als Diagramm und als Tabelle ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7- Aktivität.
- 3.4. Starten Sie den Messvorgang im Programm und legen Sie den Schalter in der Schaltung zum Schließen des Schwingkreises um. Die Aufnahme der Messwerte beginnt mit dem Erreichen des Triggerwertes.
- 3.5. Exportieren Sie die Daten für die weitere Bearbeitung mit dem ClassPad-Manager.

4. Hinweise zur Durchführung der Messung

Hinweise zu 3.1.

Die notwendige Messzeit findet man durch Probieren. Für ein effizientes Vorgehen ist die Kenntnis der Größenordnung der Induktivität (hier einige mH) vorteilhaft. Für das vorgestellte Beispiel findet man eine Messzeit von 2 ms, um das Ausschwingen über einen Zeitraum von mindestens vier Perioden zu erfassen.

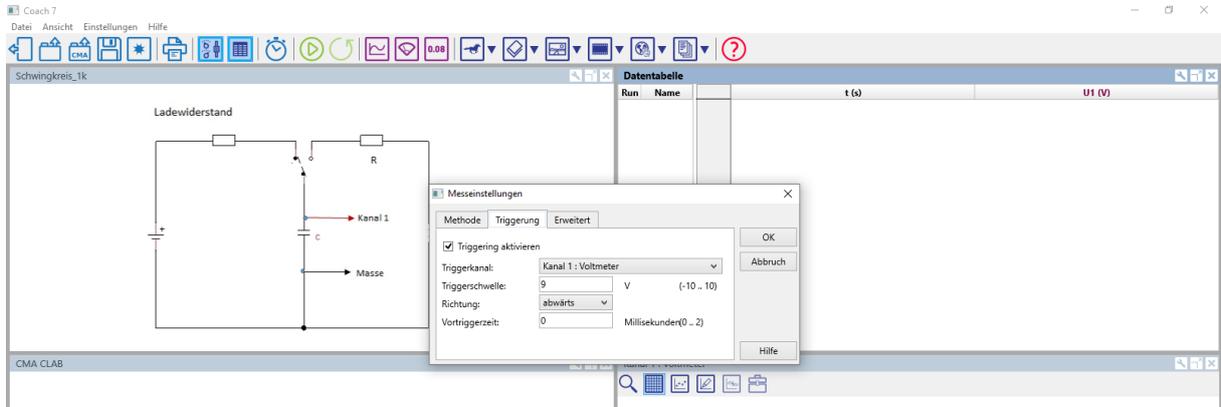
The screenshot displays the Coach 7 software interface. The main window shows a circuit diagram titled 'Schwingkreis_1k' with a battery, a switch, a resistor (R), and a capacitor (C). The capacitor is connected to 'Kanal 1' and 'Masse'. A 'Messeinstellungen' dialog box is open, showing the following settings:

Methode	Triqgerung	Erweitert
Art:	Zeitgesteuert	
Messdauer:	2	Millisekunden
Frequenz:	100	pro Millisekunde
Anz. Messungen:	200	(1 .. 500000)

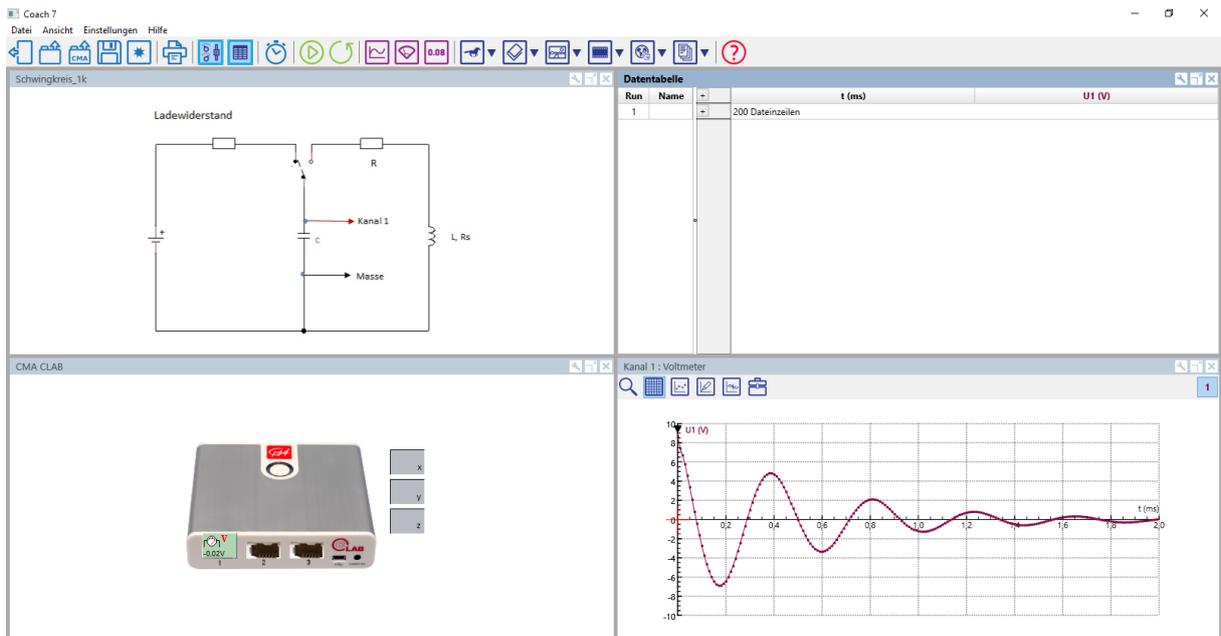
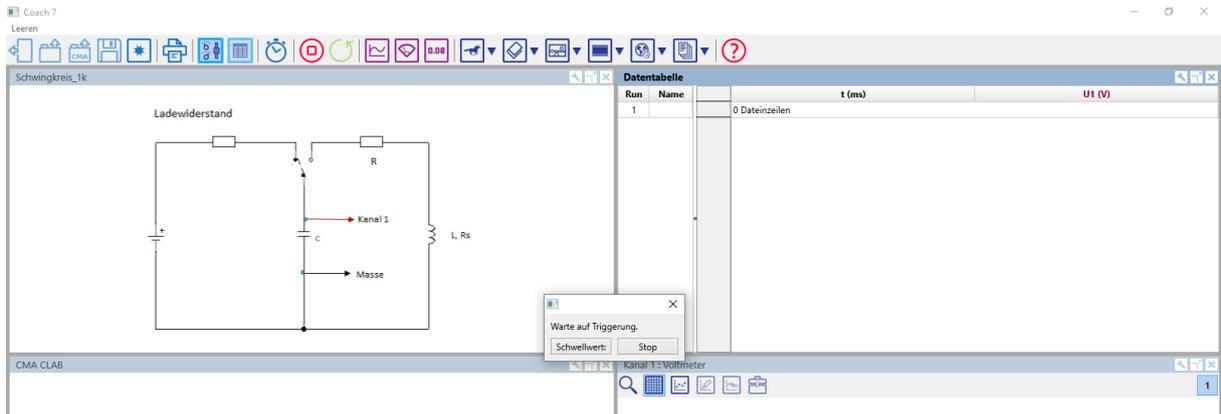
The 'Datentabelle' window shows columns for 'Run', 'Name', 't (s)', and 'U1 (V)'. The 'CMA CLAB' window shows a physical device with a 9.2V battery and three channels (X, Y, Z). The graph window shows a plot of 'U1 (V)' versus 't (ms)' with a grid and axes ranging from -10 to 10 on the y-axis and 0 to 2.0 on the x-axis.

Hinweise zu 3.2.

Vor dem Einschalten liegt am Kondensator eine Spannung von 9,92 V an. Der Triggerwert wird für den Kanal 1 eingestellt und beträgt 9,0 V (abwärts).



Nach dem Starten der Messung wird der zeitliche Verlauf der Kondensatorspannung im Diagramm dargestellt, wenn der Triggerwert erreicht ist.



Hinweise zu 3.5.

Die Messwerte in der Tabelle werden als CSV-Datei exportiert und in das Verzeichnis des ClassPad-Managers kopiert.

The screenshot shows the Coach 7 software interface. On the left, a circuit diagram titled 'Schwingkreis_1k' shows a series circuit with a battery, a switch, a resistor R, and a capacitor C. A voltmeter is connected across the capacitor, labeled 'Kanal 1' and 'Masse'. On the right, a 'Datentabelle' (data table) displays the following data:

Run	Name	t (ms)	U1 (V)
1		0,00	8,68
		0,01	7,43
		0,02	6,72
		0,03	5,79
		0,04	4,60
			3,39
			2,10
			0,84
			-0,40
			-1,60
			-2,72
			-3,72
			-4,63
			-5,36
			-5,97
			-6,43

Below the table is a graph titled 'Kanal 1 - Voltmeter' showing the voltage U1 (V) over time t (ms). The graph shows a damped sinusoidal wave starting at 8.68 V at t=0. A context menu is open over the table, with 'Messungen' selected.

5. Hinweise zur Auswertung

Hinweise zur Aufgabe 1.2.

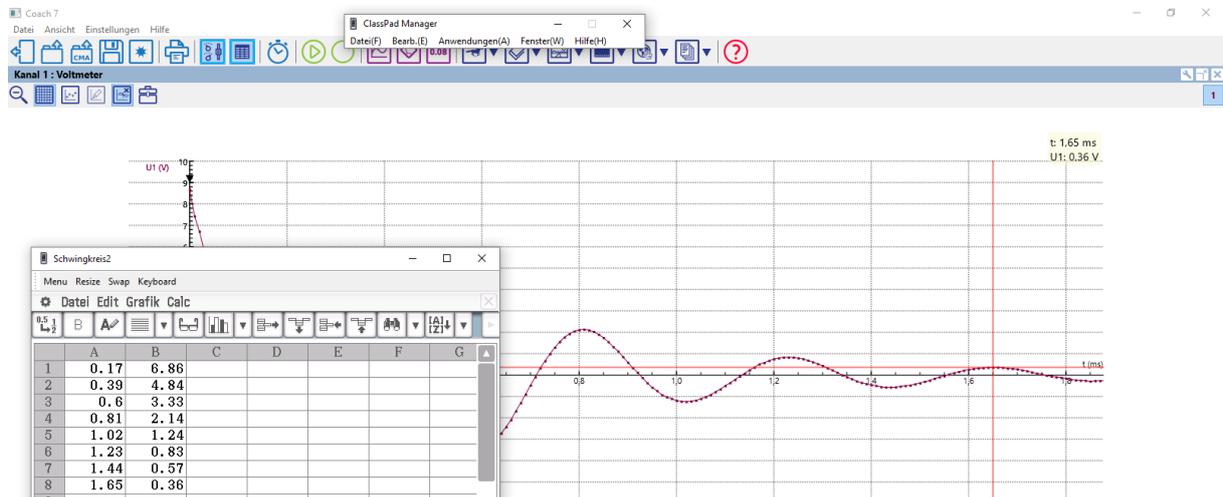
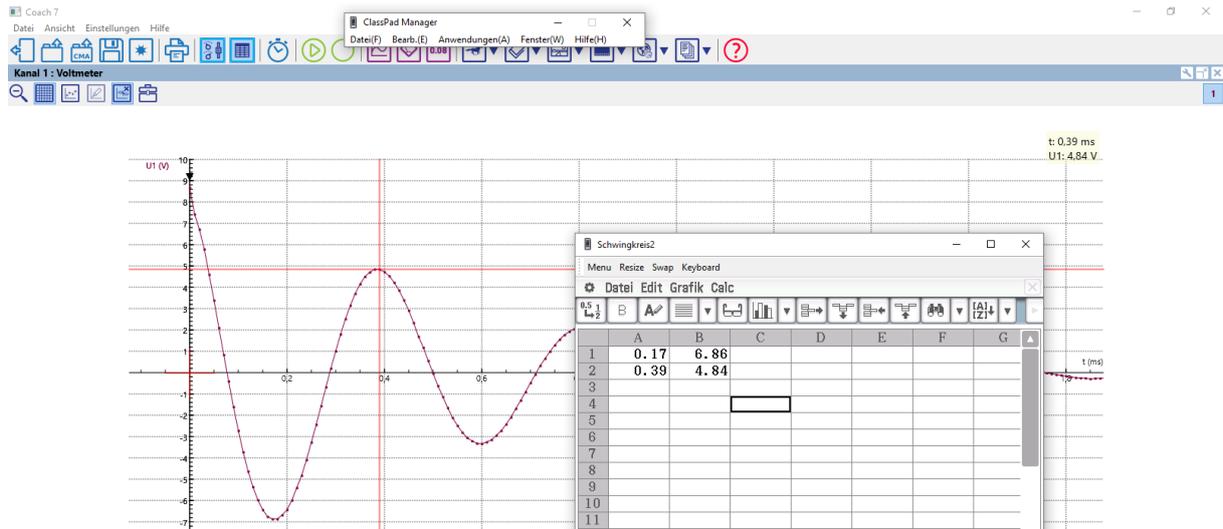
Mit dem Werkzeug **Analyse** werden die Werte der Maxima und Minima der Spannung bestimmt und in die Tabelle im ClassPad-Manager eingetragen. Die Werte für die Minima werden vorher invertiert.

This is a close-up screenshot of the 'Kanal 1 - Voltmeter' graph. A red vertical line is drawn at t = 0.17 ms, and a red horizontal line is drawn at U1 = -6.86 V. A tooltip in the top right corner displays the measurement data:

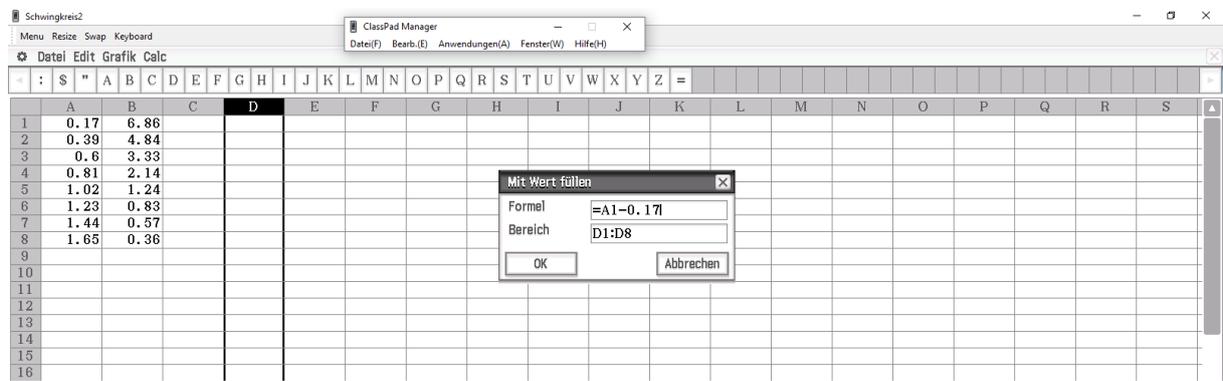
t: 0,17 ms
U1: -6,86 V

Als erstes Wertepaar wird das erste Minimum erfasst.

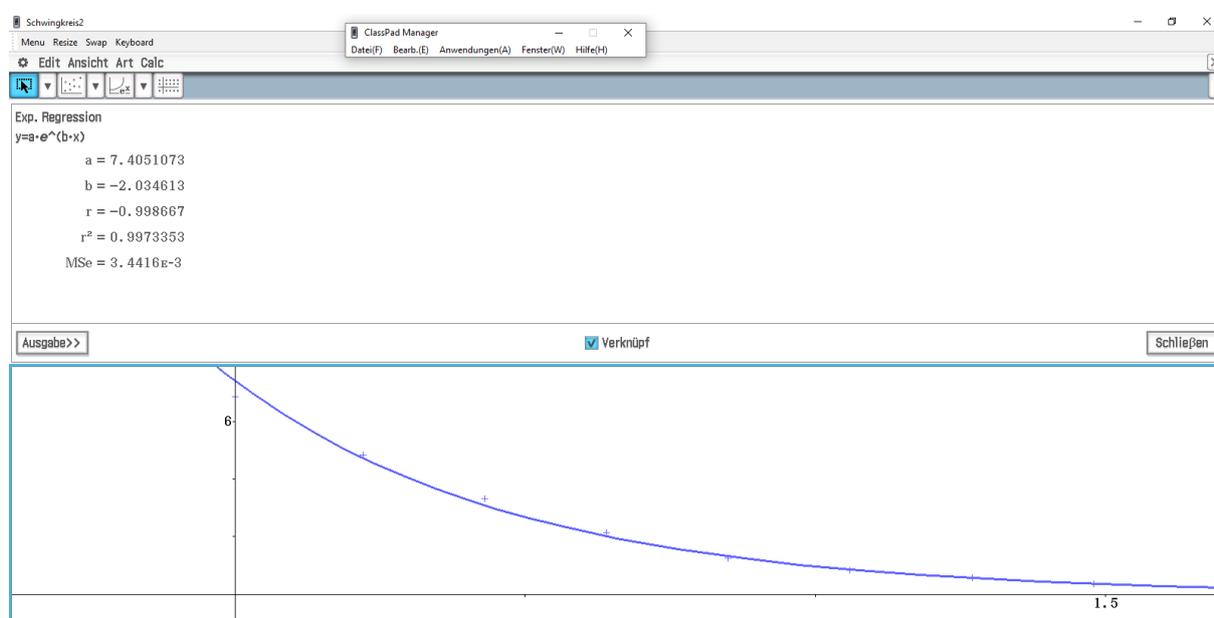
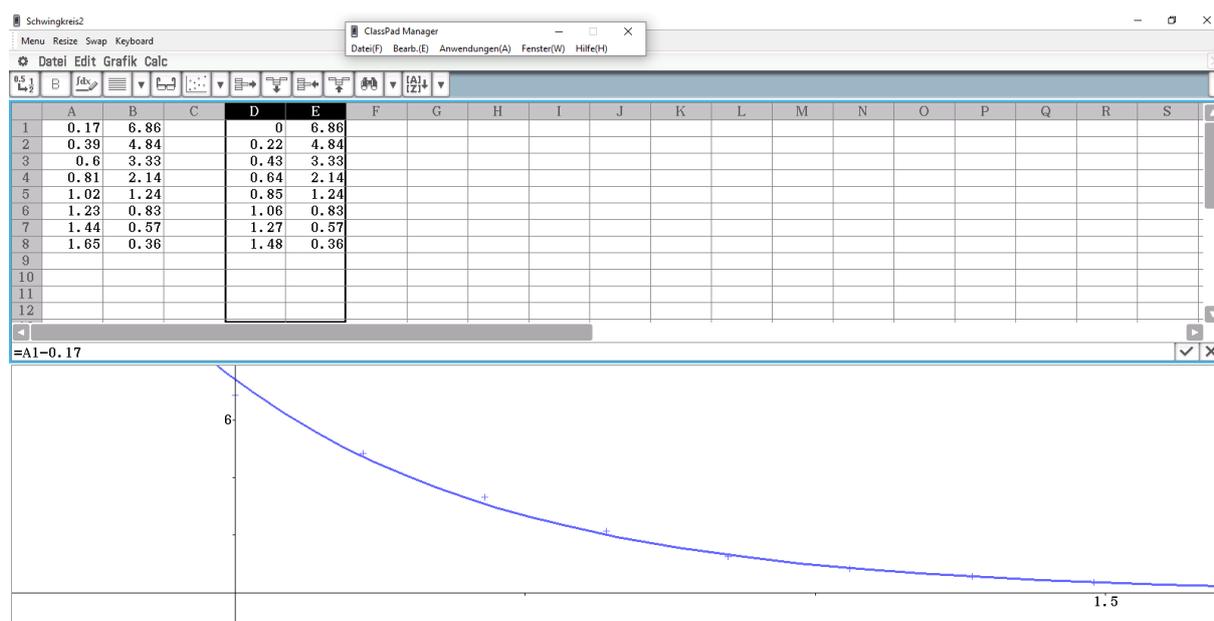
Kapitel 4 – Experimente mit einem Schwingkreis



Für die Ermittlung der Abklingfunktion durch exponentielle Regression wird die Zeitachse so verschoben, dass der Nullpunkt der Zeit mit dem invertierten Wert des ersten Minimums zusammenfällt. Dafür wird von jedem Wert der Spalte A der Wert 0,17 abgezogen. Die Wertepaare für die Regression sind in Spalten D und E zu finden.



Kapitel 4 – Experimente mit einem Schwingkreis



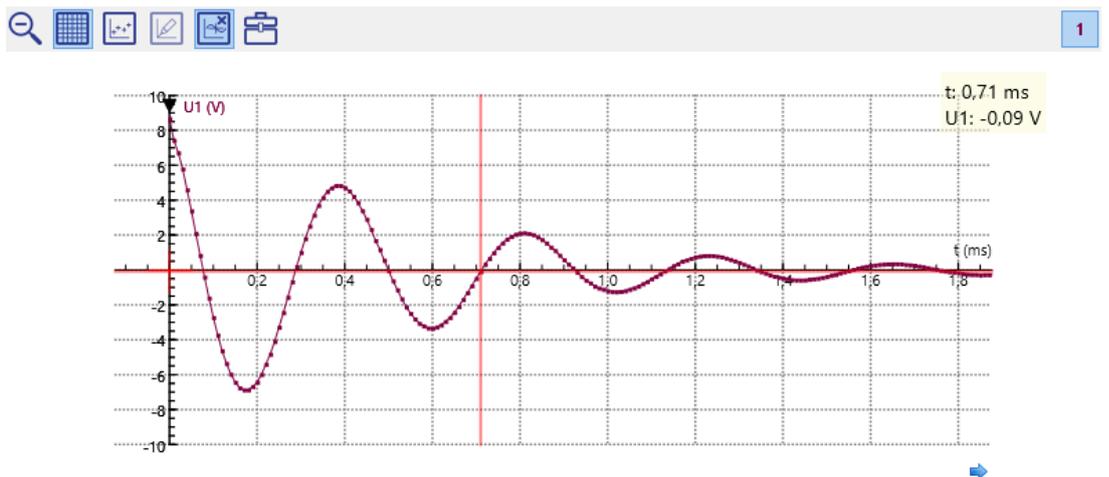
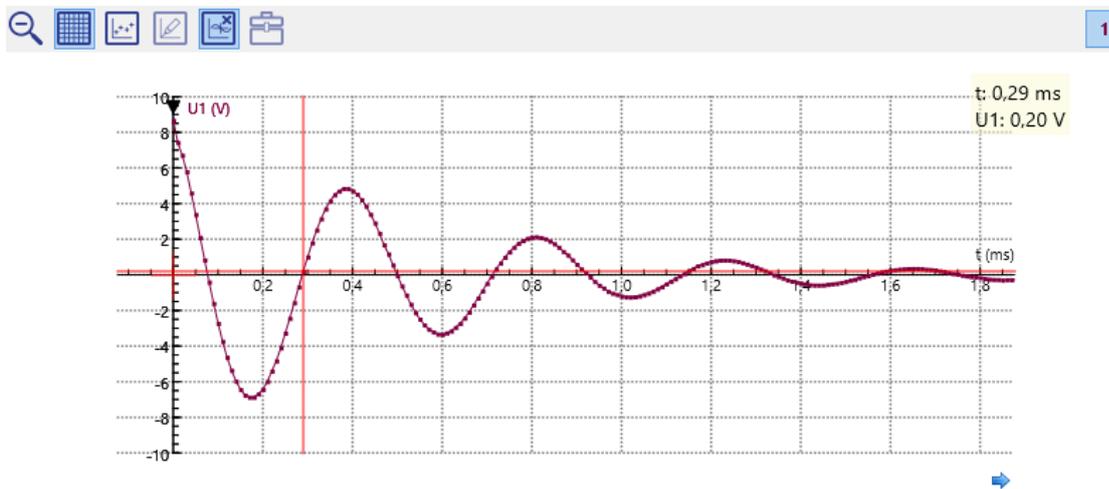
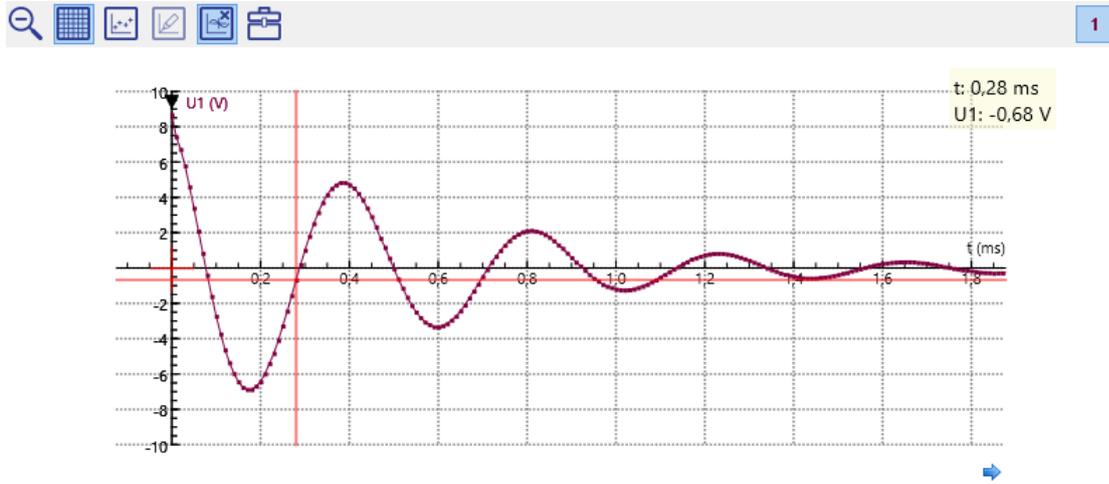
Die Abklingfunktion lässt sich durch die Gleichung $U(t)_{\max} = 7,405 \text{ V} e^{-2,035 \text{ ms}^{-1} t}$ beschreiben. Die Zeit t wird in Millisekunden eingesetzt. Die Dämpfungskonstante δ beträgt $2,035 \text{ ms}^{-1}$.

Hinweise zur Aufgabe 1.3.

Für die Bestimmung der Induktivität sind zwei Varianten möglich.

Variante 1: Aus dem Betrag der Zeitkonstanten $\delta = 2,035 \text{ ms}^{-1}$ lässt sich mit der Beziehung $\delta = \frac{R}{2L}$ die Induktivität abschätzen. Wobei R hier der ohmsche Gesamtwiderstand der Schaltung ist, welcher $13,9 \Omega$ beträgt. Es lässt sich eine Induktivität von $3,5 \text{ mH}$ ermitteln. Diese Methode führt bei realen Bauelementen meist zu stark abweichenden Werten. Die Induktivität der verwendeten Spule beträgt tatsächlich $4,43 \text{ mH}$.

Variante 2: Mit dem Werkzeug **Analyse** wird die Schwingungsdauer bestimmt. Die Induktivität kann daraus mit der Gleichung $T = 2\pi\sqrt{LC}$ ermittelt werden.



Mit den aus den Diagrammen abgeschätzten Werten 0,285 ms und 0,705 ms lässt sich eine Periodendauer von $T=0,42$ ms bestimmen. Aus diesem Wert lässt sich unter Verwendung des Wertes der Kapazität des Kondensators eine Induktivität von 4,3 mH ermitteln.

Energieumwandlungen beim Ausschwingen eines Schwingkreises

1. Aufgabenstellungen

- 1.1. Stellen Sie den zeitlichen Verlauf der Stromstärke und der Spannung am Kondensator beim Ausschwingen eines Schwingkreises dar. Interpretieren Sie die Darstellung.
- 1.2. Untersuchen Sie den zeitlichen Verlauf der elektrischen Feldenergie des Kondensators und der magnetischen Feldenergie der Spule. Interpretieren Sie die Darstellung.
- 1.3. Stellen Sie den zeitlichen Verlauf der vom Schwingkreis abgegebenen Energie dar. Diskutieren Sie die Darstellung.

2. Vorüberlegungen

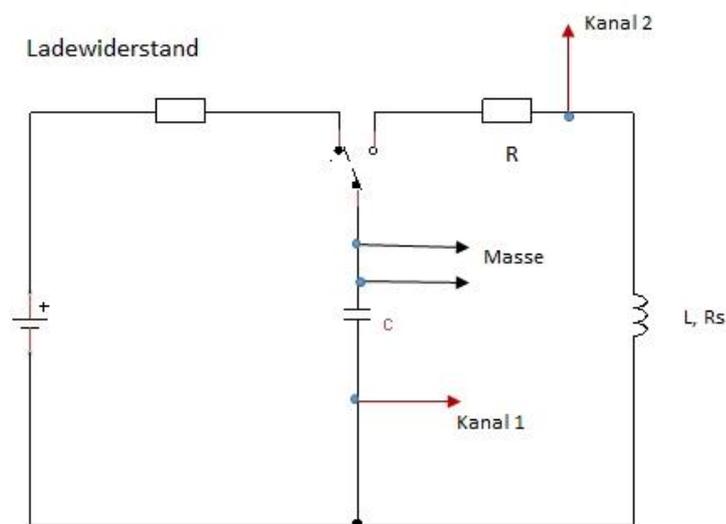
Beim Entladen des Kondensators fließt ein Strom im Schwingkreis. Um die Spule baut sich ein Magnetfeld auf und am ohmschen Widerstand wird elektrische Energie in thermische Energie umgewandelt. Es gibt eine Phasenverschiebung von Spannung und Stromstärke.

Die elektrische Feldenergie des Kondensators und die magnetische Feldenergie der Spule lassen sich über folgende Beziehungen berechnen: $E_{el} = \frac{1}{2}CU^2$, $E_{mag} = \frac{1}{2}LI^2$.

Die abgegebene Energie kann mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes bestimmt werden.

3. Durchführung

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan auf. Schließen Sie die Spannungssensoren an die Kanäle 1 und 2 des CLAB an, wie es im Schaltplan eingezeichnet ist.



$R=10 \Omega$, $R_s=3,9 \Omega$, $L=4,43 \text{ mH}$, $C=1 \mu\text{F}$, $9 \text{ V} < U < 10 \text{ V}$, Ladewiderstand: 100Ω

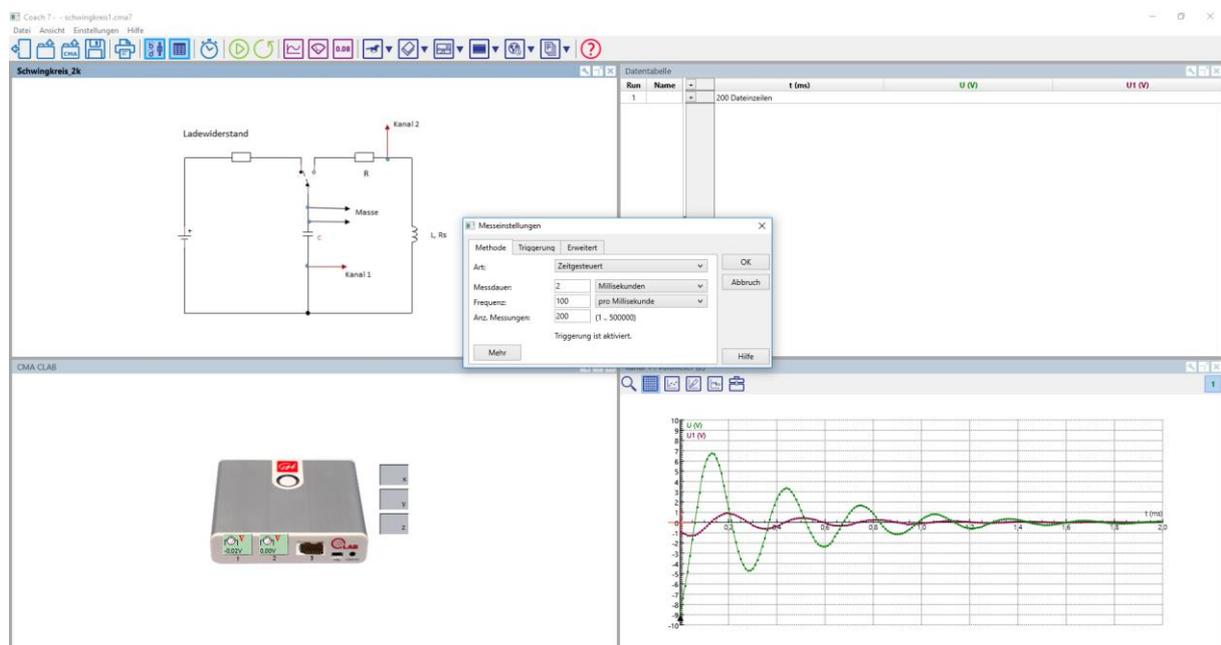
Die angegebenen Werte sind Beispiele.

- 3.1. Ermitteln Sie die Schwingungsdauer. Stellen Sie eine Messzeit im Messprogramm Coach 7 ein, mit der man ca. vier Perioden erfassen kann, und legen Sie eine geeignete Messrate (Abtastrate) fest, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.2. Stellen Sie für Kanal 1 einen Trigger mit einer Triggerschwelle von -9 V (aufwärts) ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.3. Richten Sie im Messprogramm die Ausgabe der Messwerte als Diagramm und als Tabelle ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.4. Starten Sie den Messvorgang im Programm und legen Sie den Schalter in der Schaltung auf den Schwingkreis um. Die Aufnahme der Messwerte beginnt mit dem Erreichen des Triggerwertes.
- 3.5. Exportieren Sie die Messwerte für die weitere Bearbeitung mit dem ClassPad-Manager.

4. Hinweise zur Durchführung der Messung

Hinweise zu 3.1.

Unter der Annahme, dass die Thomson'sche Schwingungsgleichung auf diesen Vorgang angewendet werden darf, ergibt sich eine Schwingungsdauer von 0,42 ms. Bei einer Messzeit von 2 ms lassen sich dann mindestens vier vollständige Perioden darstellen. Wählt man die Abtastrate mit 100 Messungen pro Millisekunde, so ergeben sich 200 Messwerte.



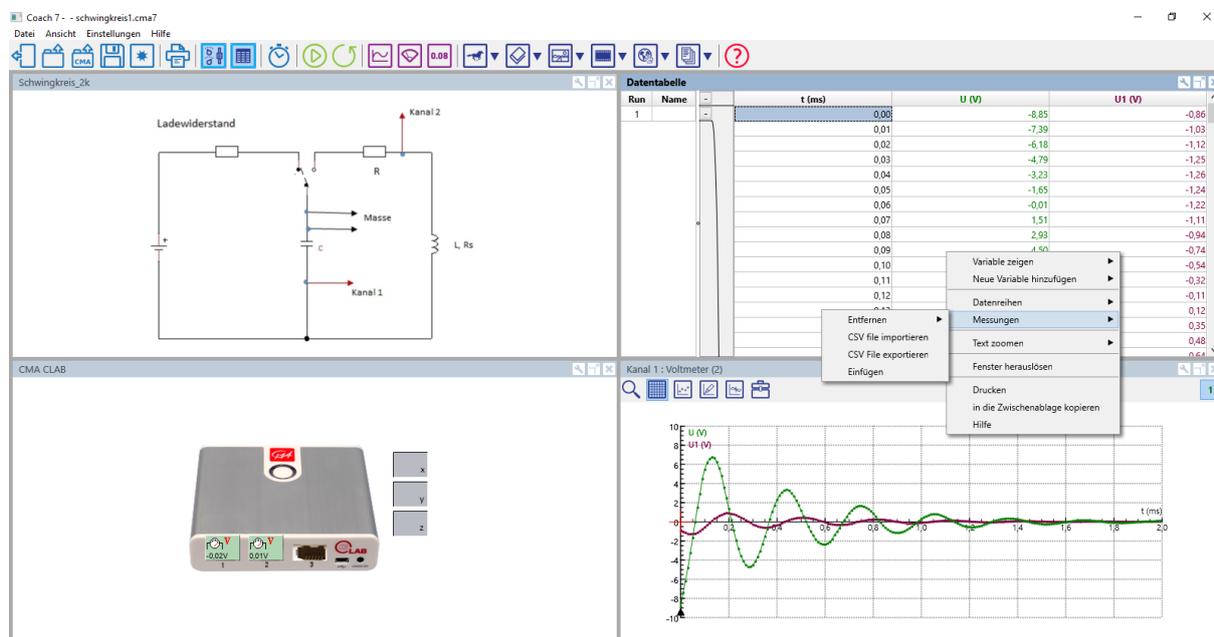
Der zeitliche Verlauf der Spannung am Kondensator wird durch die Kurve U dargestellt. Der zeitliche Verlauf der Stromstärke entspricht dem der Spannung am ohmschen Widerstand und ist durch die Kurve U1 dargestellt.

Hinweise zu 3.2.

Vor dem Umlegen des Schalters liegt am Kondensator eine Spannung von ca. 10 V an. Diese Spannung wird invertiert über den Kanal 1 erfasst: -9,89 V. Der Triggerwert für den Kanal 1 ist daher auf -9,0 V (aufwärts) eingestellt. Der Trigger startet den Messvorgang, wenn der Wert der Spannung nach dem Schalten zunimmt und den Triggerwert -9,0 V erreicht. Vertauscht man an der Spannungsquelle den Plus- und den Minuspol, so lässt sich ein Triggerwert von 9,0 V (abwärts) einstellen. In beiden Fällen wird die Spannung am ohmschen Widerstand phasenrichtig mit der Kondensatorspannung erfasst.

Hinweise zu 3.5.

Die Auswertung erfolgt mit der Tabellenkalkulation des ClassPad-Managers. Die Messwerte in der Tabelle werden als CSV-Datei exportiert und in das Verzeichnis des ClassPad-Managers kopiert.



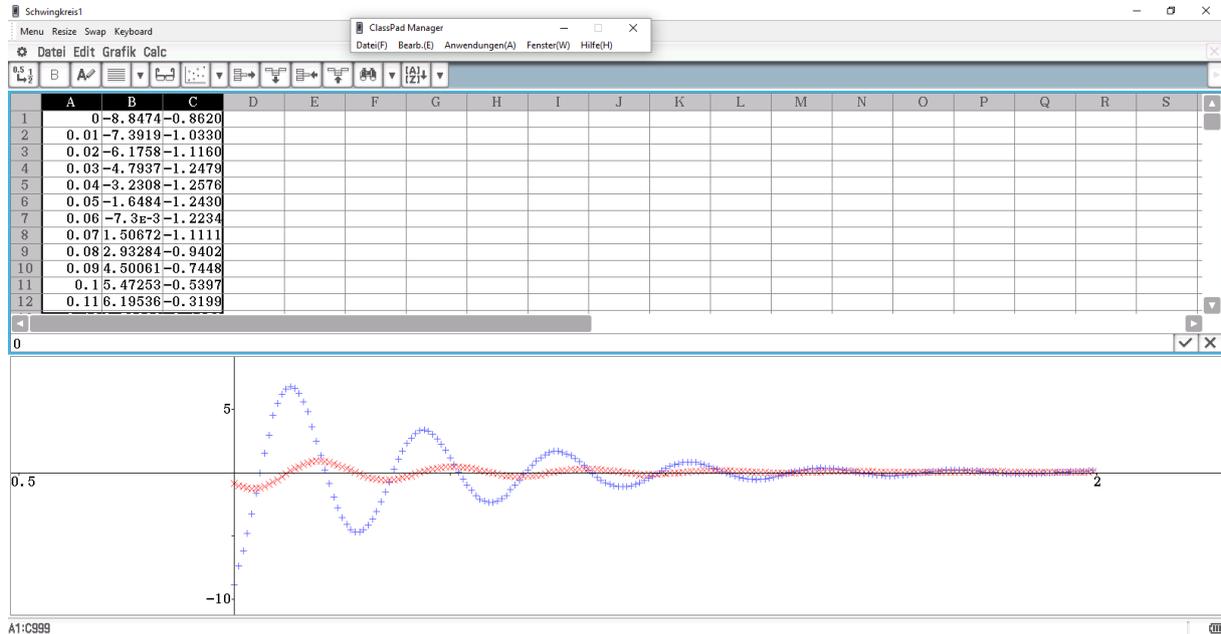
5. Hinweise zur Auswertung

Hinweise zur Aufgabe 1.2.

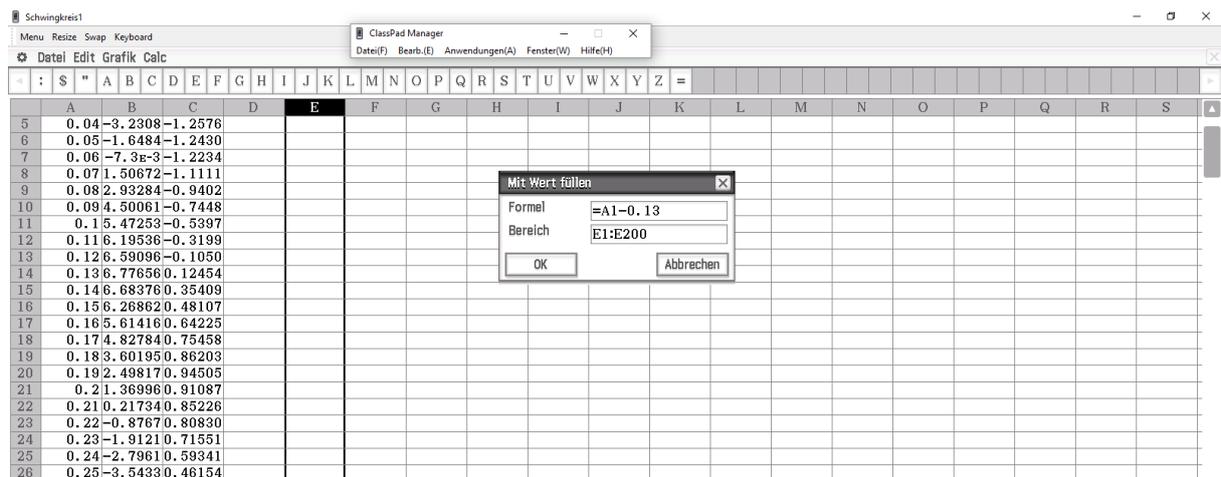
Die CSV-Datei wird mit der Tabellenkalkulation des ClassPad-Managers geöffnet. Die Messdaten für die Zeit in ms, die Spannung am Kondensator in V und die Spannung am ohmschen Widerstand in V sind in den Spalten A, B und C enthalten. Die Spannungen am Kondensator und am ohmschen Widerstand werden bei der hier verwendeten Schaltung beide invertiert aufgenommen. Auf eine weitere Invertierung beider Spannungen kann aber verzichtet werden, da die Phasenbeziehung zwischen beiden Größen stimmt. Außerdem wird so erreicht, dass der weitere zeitliche Verlauf der Kondensatorspannung nach dem Start mit einem vollständigen positiven Maximum in der graphischen Darstellung beginnt.

Durch Markieren der Spalten A, B und C ergeben sich unter Verwenden von **Grafik/Scatter** die zeitlichen Verläufe von Kondensatorspannung und Spannung am ohmschen Widerstand, welcher dem zeitlichen Verlauf der Stromstärke entspricht:

$$I = \frac{U_R}{R}$$

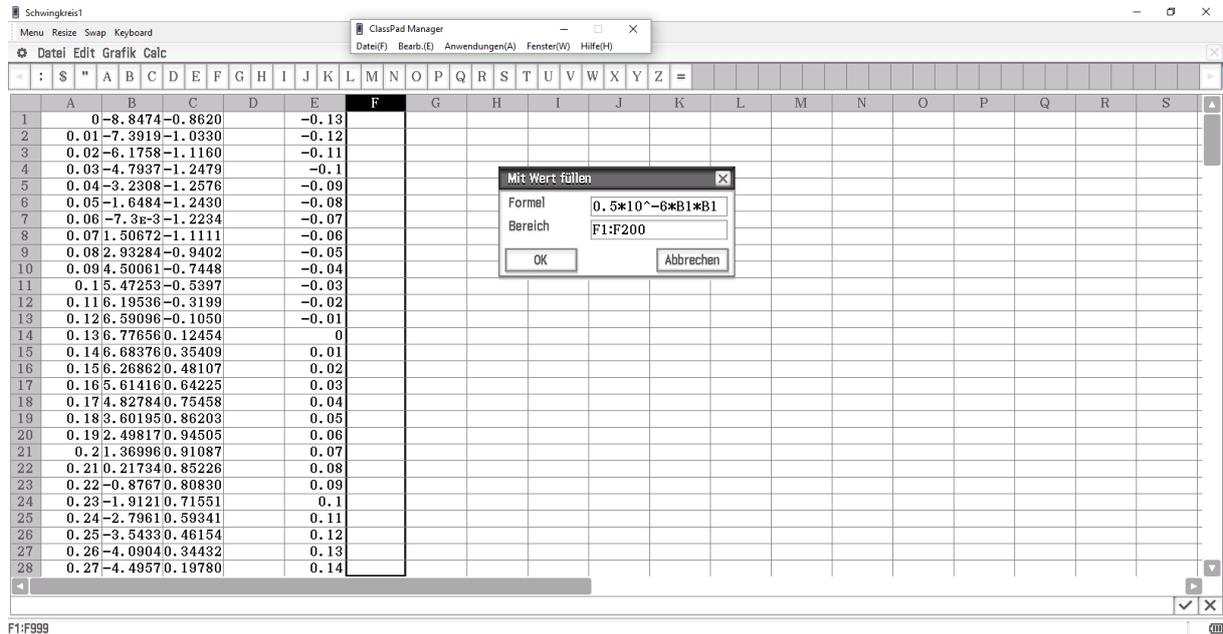


Zum Zeitpunkt null ist der Kondensator schon etwas entladen und es fließt bereits ein Strom. Daher ist es zweckmäßig die Beobachtung der Energieabgabe auf den Zeitpunkt zu verlegen, wenn die Spannung am Kondensator im Diagramm ihr nächstes Maximum erreicht. Wie in der Tabelle zu sehen ist, erfolgt dies bei 0,13 ms. Die Neuskalierung der Beobachtungszeit erfolgt in der Spalte E.

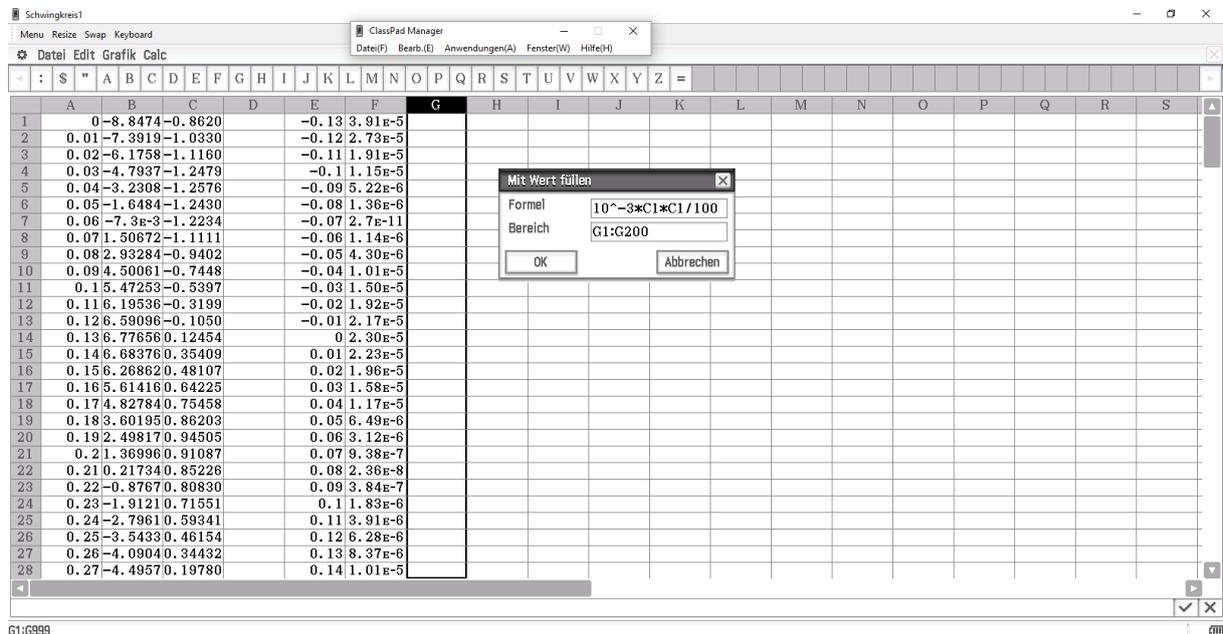


In den Spalten F und G werden die Feldenergien unter Verwendung der gegebenen Kapazität und Induktivität des Schwingkreises berechnet. Um die Werte für die Stromstärke zu erhalten, müssen dabei die Werte in Spalte C durch 10 (Wert des ohmschen Widerstandes) dividiert werden.

Die Berechnung der elektrischen Feldenergie des Kondensators erfolgt mit: $E_{el} = \frac{1}{2} CU^2$.

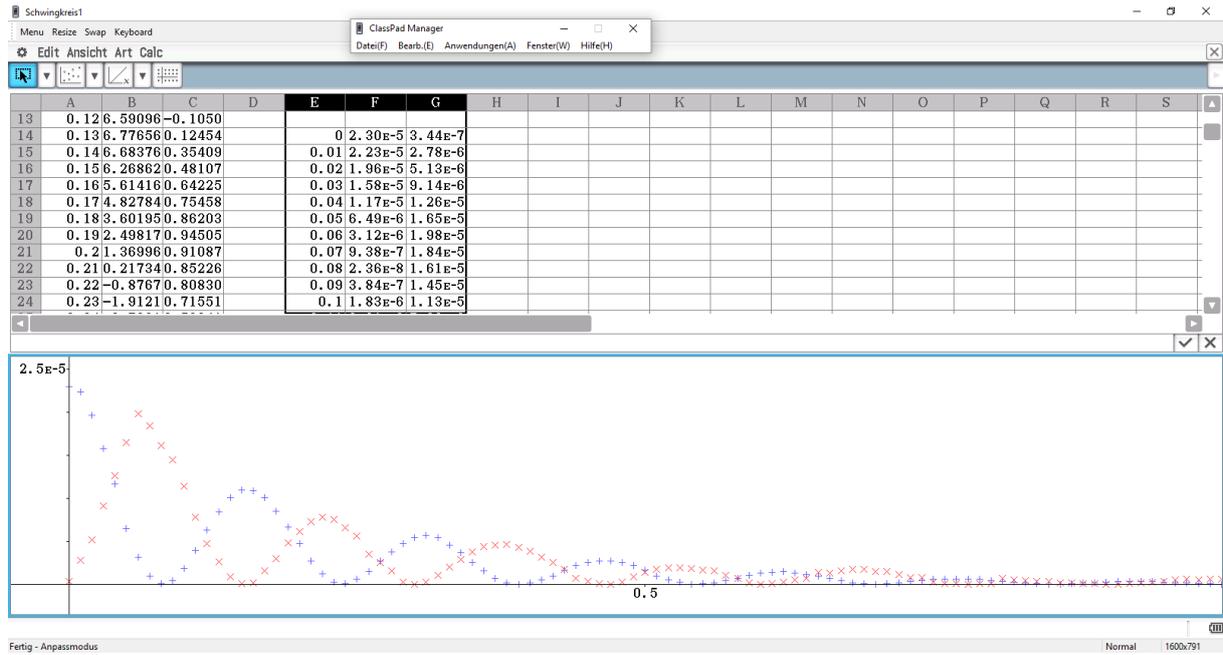


Die Berechnung der magnetischen Feldenergie der Spule erfolgt mit: $E_{mag} = \frac{1}{2} LI^2$.



Die negativen Zeitwerte in Spalte E sind physikalisch nicht relevant. Diese werden zusammen mit den zugehörigen Zellen in den Spalten F und G entfernt. Die Tabelle für die weitere Bearbeitung ist dann durch die restlichen Spalten E, F und G gegeben. Diese werden markiert. Mit **Grafik/Scatter** erhält man daraus die zeitlichen Verläufe der elektrischen und magnetischen Feldenergien im Schwingkreis.

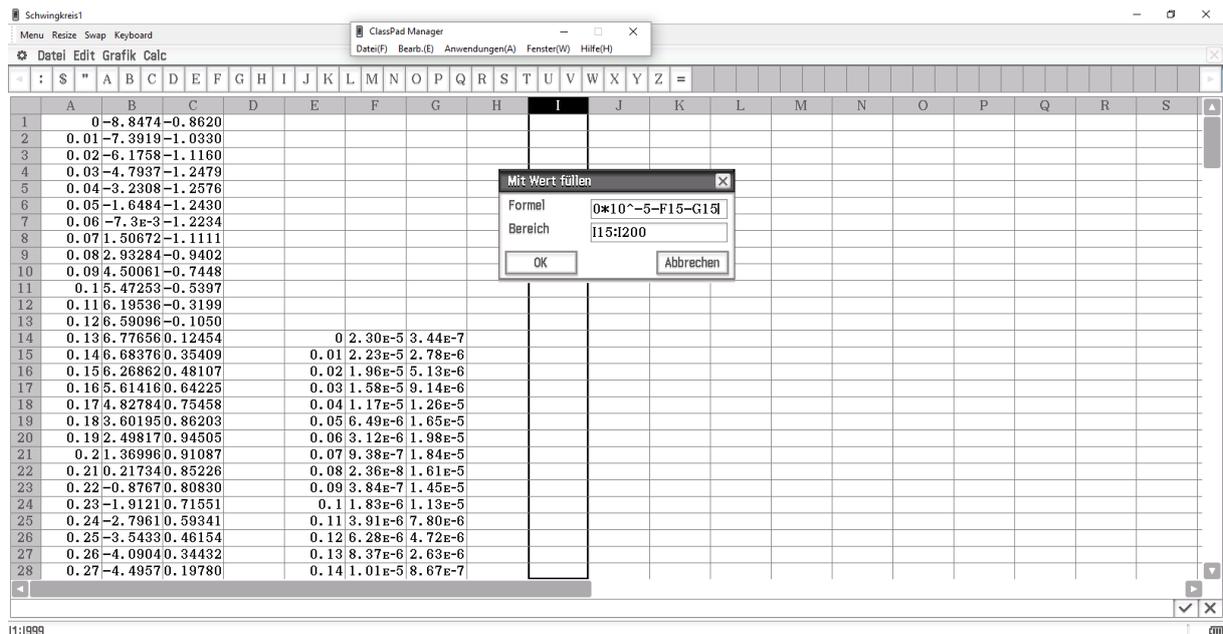
Kapitel 4 – Experimente mit einem Schwingkreis



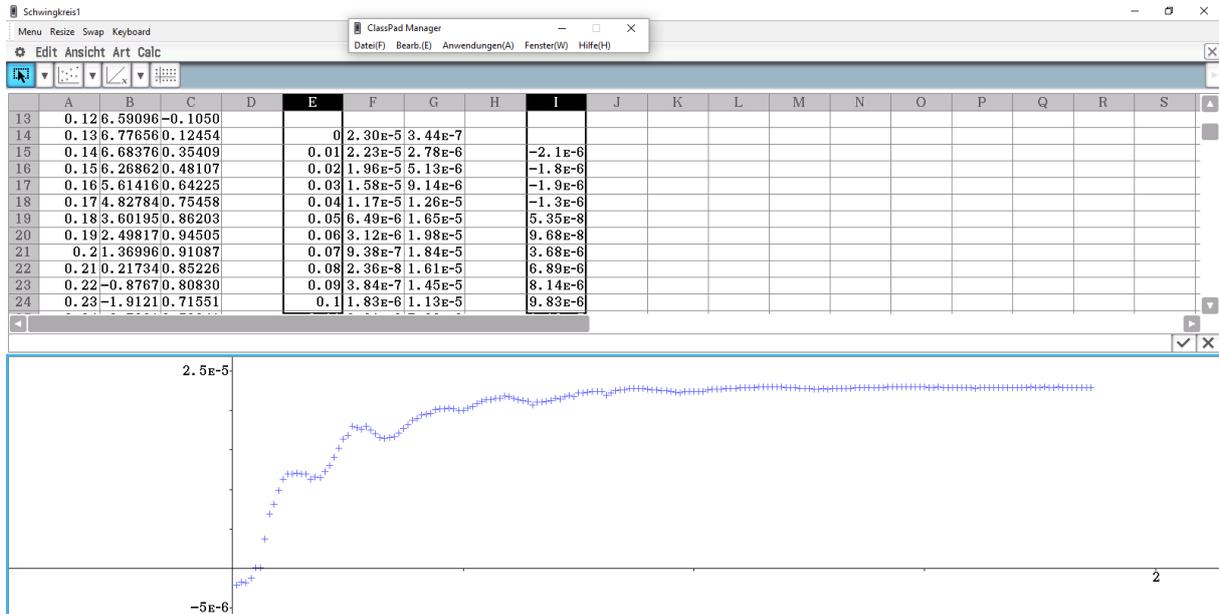
Die Darstellung zeigt die zeitlichen Verläufe der Feldenergien von Kondensator (+) und Spule (x). Bei den Einstellungen für das **Grafikfenster** wurde die Zeit-Achse gedehnt, um den Vorgang besser darzustellen.

Hinweise zur Aufgabe 1.3.

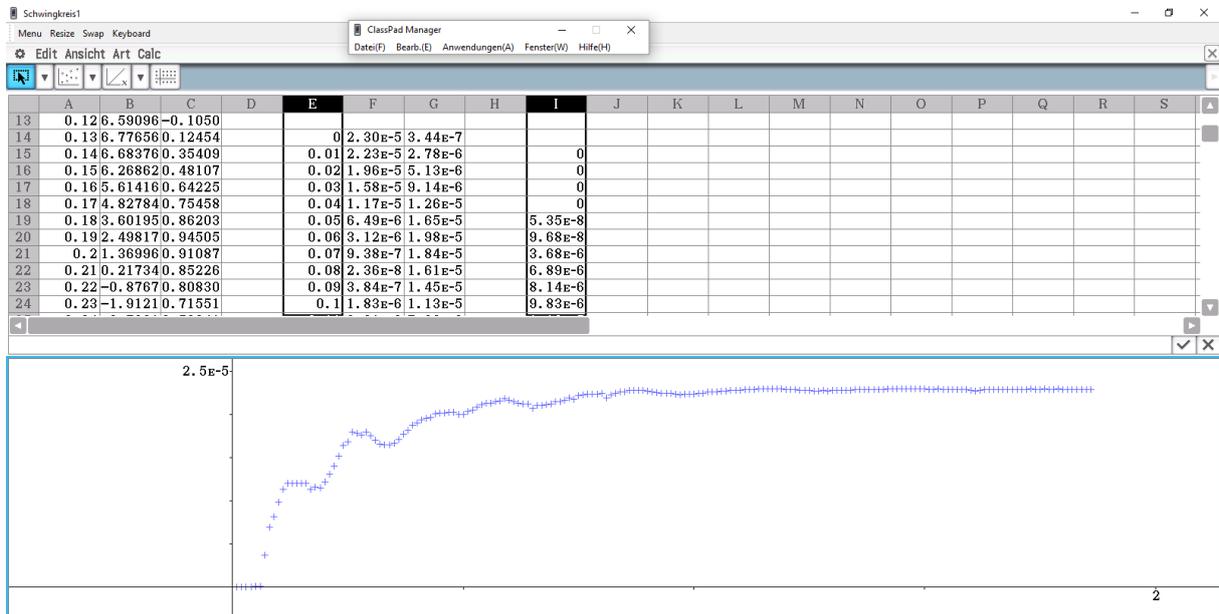
In Spalte I erfolgt die Berechnung der abgegebenen Energie, indem zum gewählten Startzeitpunkt null von der Feldenergie des vollständig geladenen Kondensators die zu einem bestimmten Zeitpunkt im Schwingkreis vorhandene elektrische und magnetische Feldenergie abgezogen wird.



Für den zeitlichen Verlauf der abgegebenen Energie ergibt sich somit die folgende Darstellung.



Die negativen Werte haben keine physikalische Bedeutung, sie kommen durch eine zu geringe Auflösung beim Messen rechnerisch zustande. Der Nulldurchgang der Spannung am ohmschen Widerstand liegt zwischen der 13. und 14. Zeile. Man kann somit im Rahmen der vorhandenen Genauigkeit die negativen Werte null setzen.



Die „Stufen“ lassen sich durch Vergleich mit der Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke bzw. der Spannung am ohmschen Widerstand erklären. Die elektrische Energie wird nur in thermische Energie gewandelt, wenn ein Strom fließt. Eine Erhöhung der zeitlichen Auflösung (Abtastrate) bei der Messung führt zu einer verbesserten Darstellung.

Experimente mit Wechselstromwiderständen

Hinweise zum Versuchskomplex – Wechselstromwiderstände

Die Lernenden untersuchen das Verhalten von Kondensatoren und Spulen im Wechselstromkreis und vertiefen ihre Kenntnisse über Wirk-, Blind- und Scheinwiderstände. Sie kombinieren einen Kondensator oder eine Spule mit einem ohmschen Widerstand in einer Reihenschaltung und erfassen den Einfluss verschiedener Größen auf die Phasenverschiebung.

Es werden dafür folgende Versuche vorgeschlagen:

- **Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung am Kondensator im Wechselstromkreis**

Die Auswertung dieses Versuches wird mit Coach 7 und dem ClassPad-Manager durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen das zeitliche Verhalten der Spannung und der Stromstärke und bestimmen die Phasenverschiebung. Sie ermitteln das zeitliche Verhalten der elektrischen Leistung am Kondensator und bestimmen die verrichtete elektrische Arbeit.

- **Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung an einer Spule im Wechselstromkreis**

Die Auswertung dieses Versuches wird mit Coach 7 und dem ClassPad-Manager durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen das zeitliche Verhalten der Spannung und der Stromstärke und bestimmen die Phasenverschiebung. Sie ermitteln das zeitliche Verhalten der elektrischen Leistung an der Spule und bestimmen die verrichtete elektrische Arbeit. Weiterhin untersuchen Sie den Einfluss der Frequenz auf die Amplituden von Stromstärke und Spannung.

- **Elektrische Leistung und Arbeit im Wechselstromkreis aus einem ohmschen Widerstand und einem Kondensator als Reihenschaltung**

Die Auswertung dieses Versuches wird mit Coach 7 und dem ClassPad-Manager durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen das zeitliche Verhalten der Spannung und der Stromstärke in Abhängigkeit vom ohmschen Widerstand. Sie ermitteln das zeitliche Verhalten der elektrischen Leistung und bestimmen die Wirkleistung.

- **Elektrische Leistung und Arbeit im Wechselstromkreis aus einem ohmschen Widerstand und einer Spule als Reihenschaltung**

Die Auswertung dieses Versuches wird mit Coach 7 und dem ClassPad-Manager durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen das zeitliche Verhalten der Spannung und der Stromstärke in Abhängigkeit von der Frequenz. Sie ermitteln das zeitliche Verhalten der elektrischen Leistung und bestimmen das Verhältnis von Wirkleistung und Scheinleistung.

Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung am Kondensator im Wechselstromkreis

1. Aufgabenstellungen

- 1.1. Untersuchen Sie das zeitliche Verhalten der Spannung und der Stromstärke an einem Kondensator im Wechselstromkreis und bestimmen Sie die Phasenverschiebung.
- 1.2. Ermitteln Sie das zeitliche Verhalten der Leistung am Kondensator.
- 1.3. Bestimmen Sie die am Kondensator verrichtete elektrische Arbeit für eine Periode der Wechselspannung.

2. Vorüberlegungen

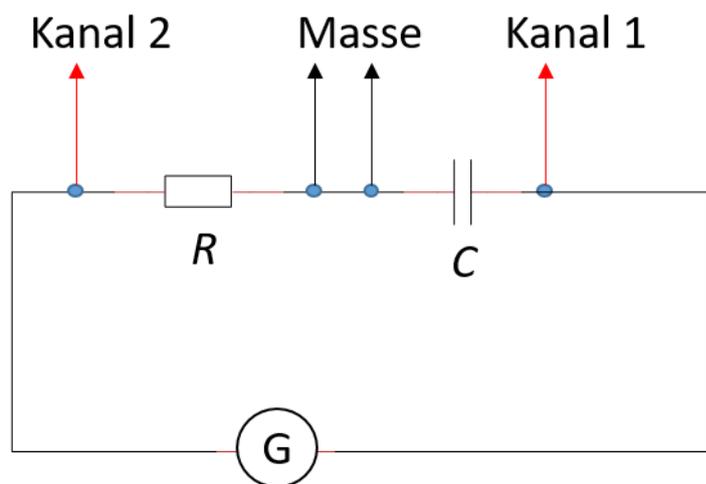
Ein Kondensator wird im Wechselstromkreis ständig mit wechselnder Polarität geladung und entladen. Das zeitliche Verhalten der Stromstärke entspricht dem der Spannung an einem zum Kondensator in Reihe geschalteten ohmschen Widerstand. Begründen Sie.

Die momentane Leistung ergibt sich aus dem Produkt der Momentanwerte der Spannung am Kondensator und der Stromstärke.

Die elektrische Arbeit lässt sich durch numerische Integration der Leistung über die Zeit einer Periode der Wechselspannung bestimmen. Begründen Sie.

3. Durchführung

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan auf. Schließen Sie die Spannungssensoren an die Kanäle 1 und 2 des CLAB an, wie es im Schaltplan eingezeichnet ist.



$R=1\text{ k}\Omega$, $C=1\text{ }\mu\text{F}$, $u(t)<10\text{ V}$, $f=100\text{ Hz}$

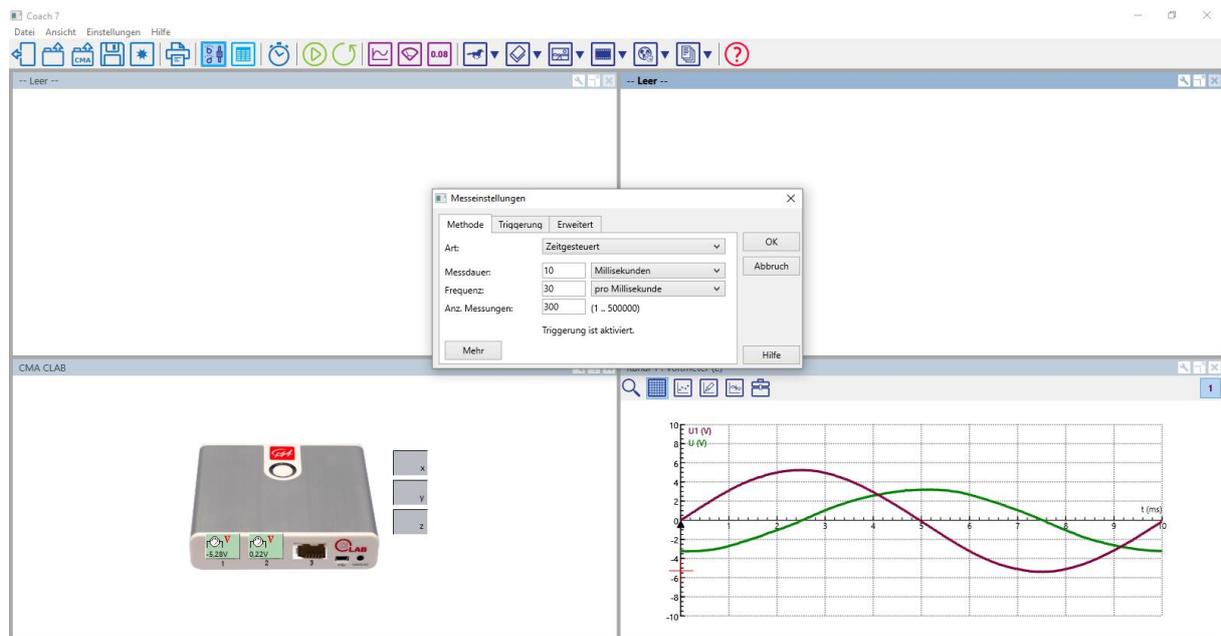
Die angegebenen Werte sind Beispiele.

- 3.1. Ermitteln Sie die benötigte Messzeit für das vollständige Erfassen einer Periode der Wechselspannung und legen Sie eine geeignete Messrate (Abtastrate) fest. Stellen Sie die Werte im Messprogramm Coach 7 ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7- Aktivität.
- 3.2. Stellen Sie den Trigger für Kanal 1 für den aufsteigenden Nulldurchgang des Signals ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.3. Richten Sie im Messprogramm die Ausgabe der Messwerte als Diagramm und als Tabelle ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7- Aktivität.
- 3.4. Starten Sie den Messvorgang im Programm. Die Aufnahme der Messwerte beginnt mit dem Erreichen des Triggerwertes.
- 3.5. Exportieren Sie die Daten für die weitere Bearbeitung mit dem ClassPad-Manager.

4. Hinweise zur Durchführung der Messung

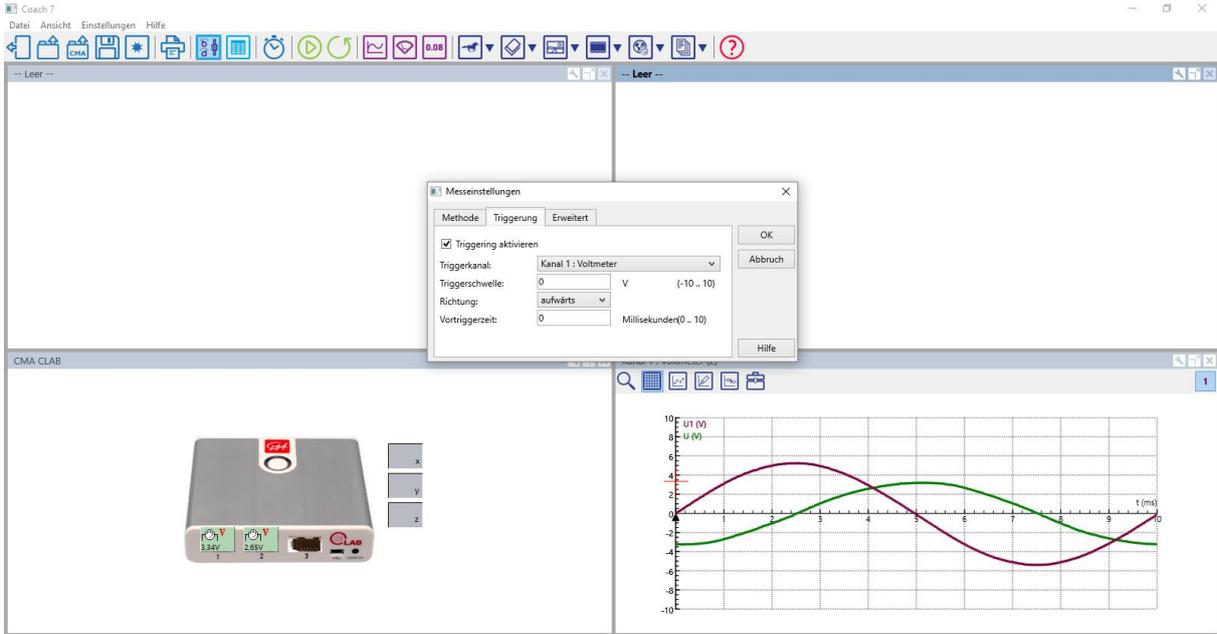
Hinweise zu 3.1.

Die Periodendauer beträgt 10 ms. Damit ist die Messzeit für eine Periode festgelegt. Wählt man die Abtastrate mit 30 Messungen pro Millisekunde, so ergeben sich 300 Messwertpaare, was für eine spätere numerische Bearbeitung optimal ist.



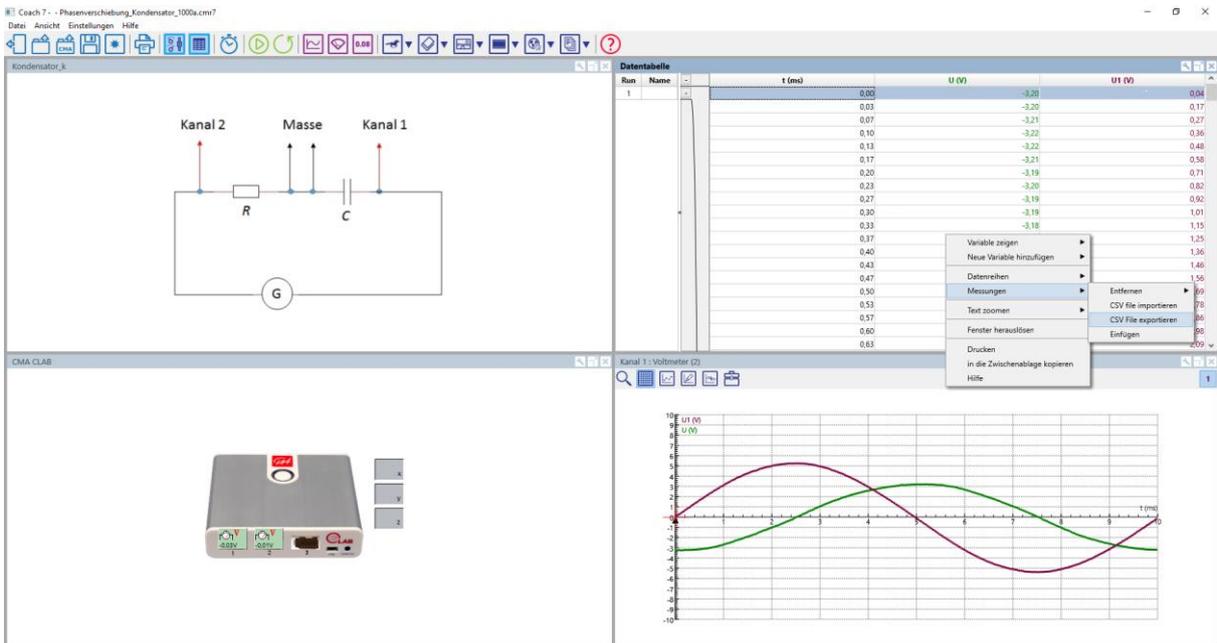
Hinweise zu 3.2.

An der Schaltung liegt eine harmonische Wechselspannung an. Die Messwertaufnahme setzt ein, wenn die Kondensatorspannung U_1 (Kanal 1) einen aufsteigenden Nulldurchgang hat. Die Kurve U stellt den zeitlichen Verlauf der Spannung am ohmschen Widerstand invertiert dar.



Hinweise zu 3.5.

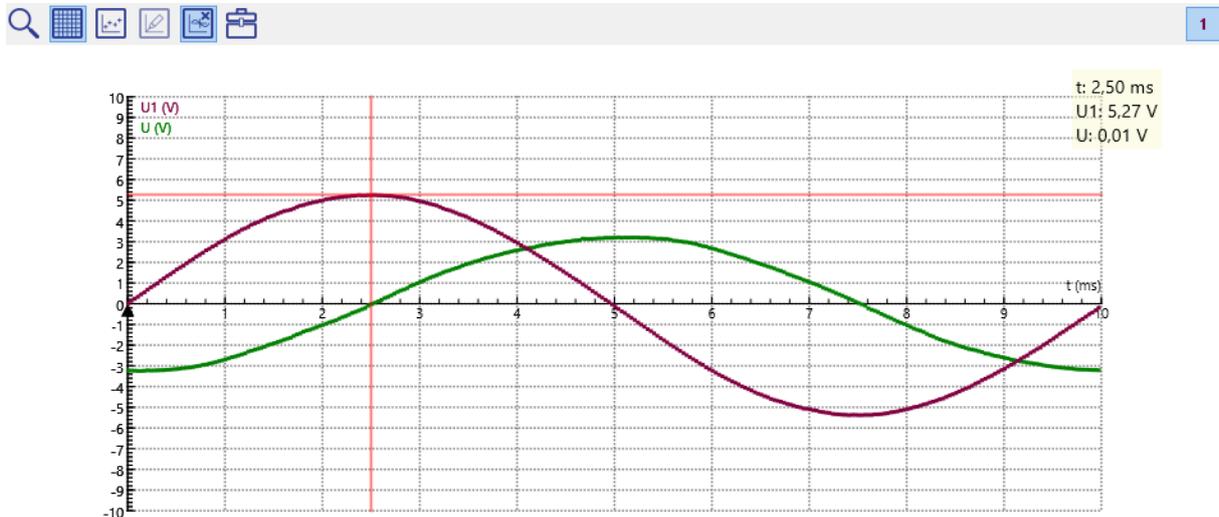
Für die Auswertung mit der Tabellenkalkulation des ClassPad-Managers wird die Messwerttabelle als CSV-Datei exportiert. Diese Datei wird in das Verzeichnis des ClassPad-Managers kopiert.



5. Hinweise zur Auswertung

Hinweise zu Aufgabe 1.1.

Die Phasenverschiebung wird mit dem Werkzeug *Analysieren* bestimmt.



Die Phasenverschiebung hat einen Betrag von 90° . Da die Kurve U invertiert dargestellt wird, hat sie bereits ein Maximum durchlaufen, wenn die Spannung am Kondensator (Kurve U1) aufsteigend einen Nulldurchgang hat. Der zeitliche Verlauf der Spannung am Widerstand entspricht dem zeitlichen Verlauf der Stromstärke. Der Strom eilt also der Spannung mit einer Phasendifferenz von 90° voraus.

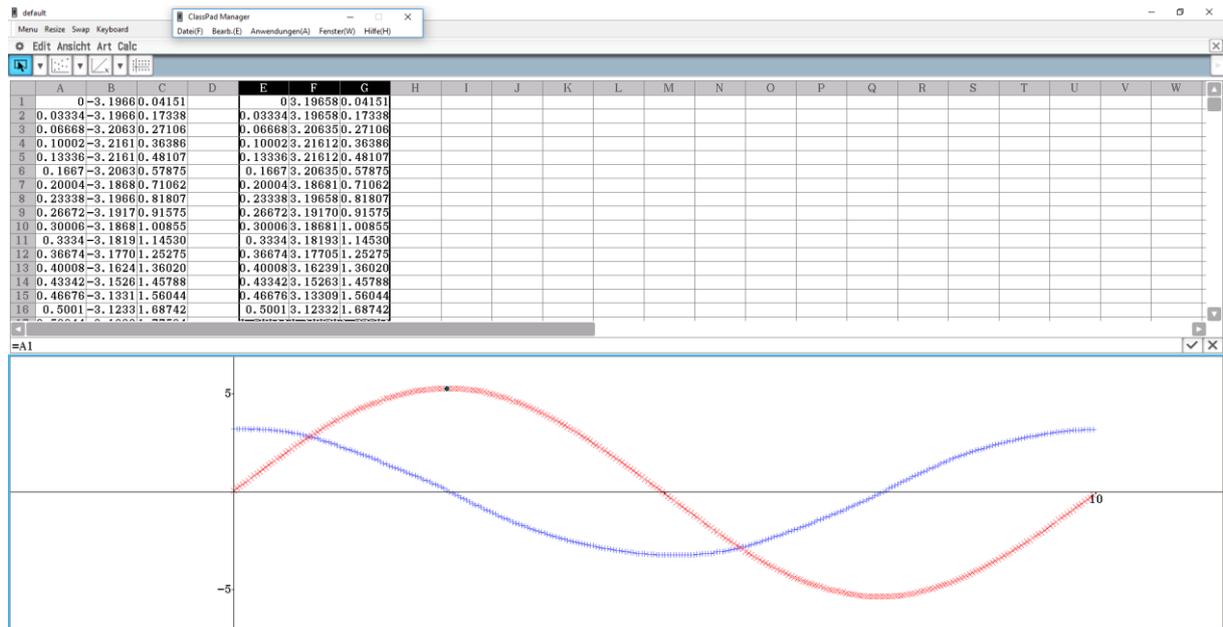
Hinweise zur Aufgabe 1.2.

In der Tabellenkalkulation des ClassPad-Managers wird das im Verzeichnis des ClassPad-Managers abgelegte CSV-File geöffnet. Die Messwerttabelle erscheint in den Spalten A, B und C.

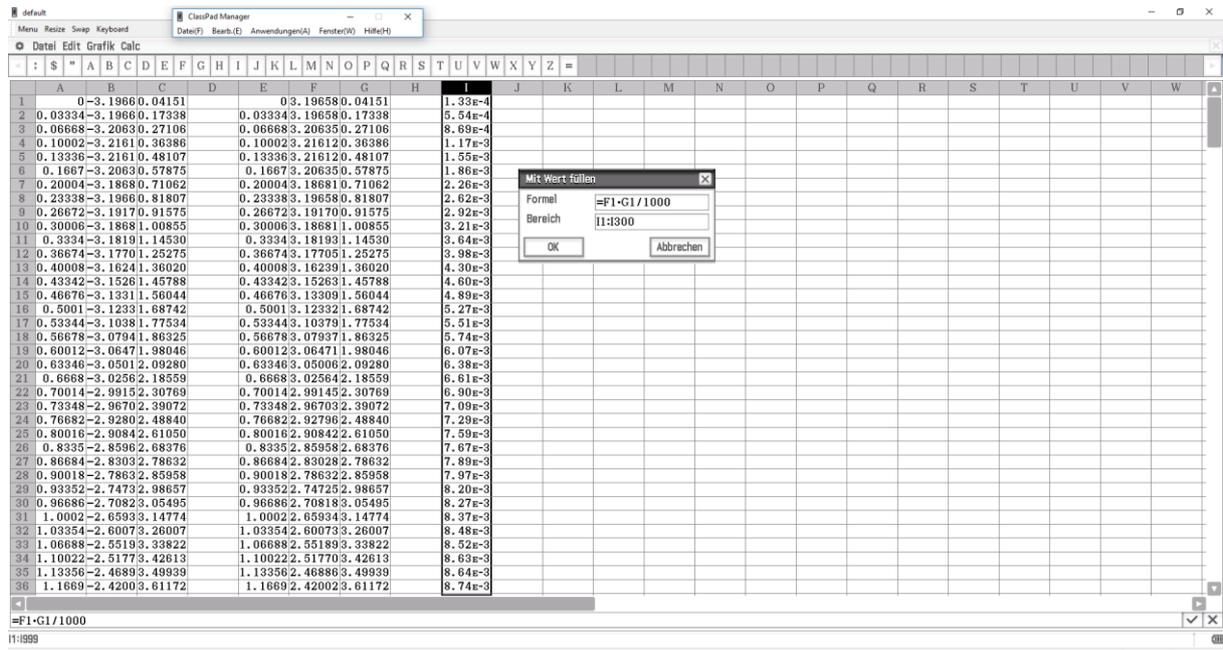
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
1		0	-3,1966	0,04151		0	3,19658	0,04151																
2		0,03334	-3,1966	0,17338		0,03334	3,19658	0,17338																
3		0,06668	-3,2063	0,27106		0,06668	3,2063	0,27106																
4		0,10002	-3,2161	0,36386		0,10002	3,2161	0,36386																
5		0,13336	-3,2161	0,48107		0,13336	3,2161	0,48107																
6		0,1667	-3,2063	0,57875		0,1667	3,2063	0,57875																
7		0,20004	-3,1868	0,71062		0,20004	3,1868	0,71062																
8		0,23338	-3,1966	0,81807		0,23338	3,1966	0,81807																
9		0,26672	-3,1917	0,91575		0,26672	3,1917	0,91575																
10		0,30006	-3,1868	1,00855		0,30006	3,1868	1,00855																
11		0,3334	-3,1819	1,14530		0,3334	3,1819	1,14530																
12		0,36674	-3,1770	1,25275		0,36674	3,1770	1,25275																
13		0,40008	-3,1624	1,36020		0,40008	3,1624	1,36020																
14		0,43342	-3,1526	1,45788		0,43342	3,1526	1,45788																
15		0,46676	-3,1331	1,56044		0,46676	3,1331	1,56044																
16		0,5001	-3,1233	1,68742		0,5001	3,1233	1,68742																
17		0,53344	-3,1038	1,77534		0,53344	3,1038	1,77534																
18		0,56678	-3,0794	1,86325		0,56678	3,0794	1,86325																
19		0,60012	-3,0647	1,98046		0,60012	3,0647	1,98046																

Durch Kopieren werden die Werte der Spalten A (Zeit in ms) und C (Kondensatorspannung in V) in die Spalten E und G eingefügt. Die Werte der Spalte B (Spannung am ohmschen Widerstand in V) müssen invertiert werden. Dies wird in Spalte F mit dem Befehl *Füllen/Mit Wert füllen* unter *Edit* durchgeführt. Die graphische Darstellung kann nun vorzeichenrichtig erfolgen.

Kapitel 5 – Experimente mit Wechselstromwiderständen

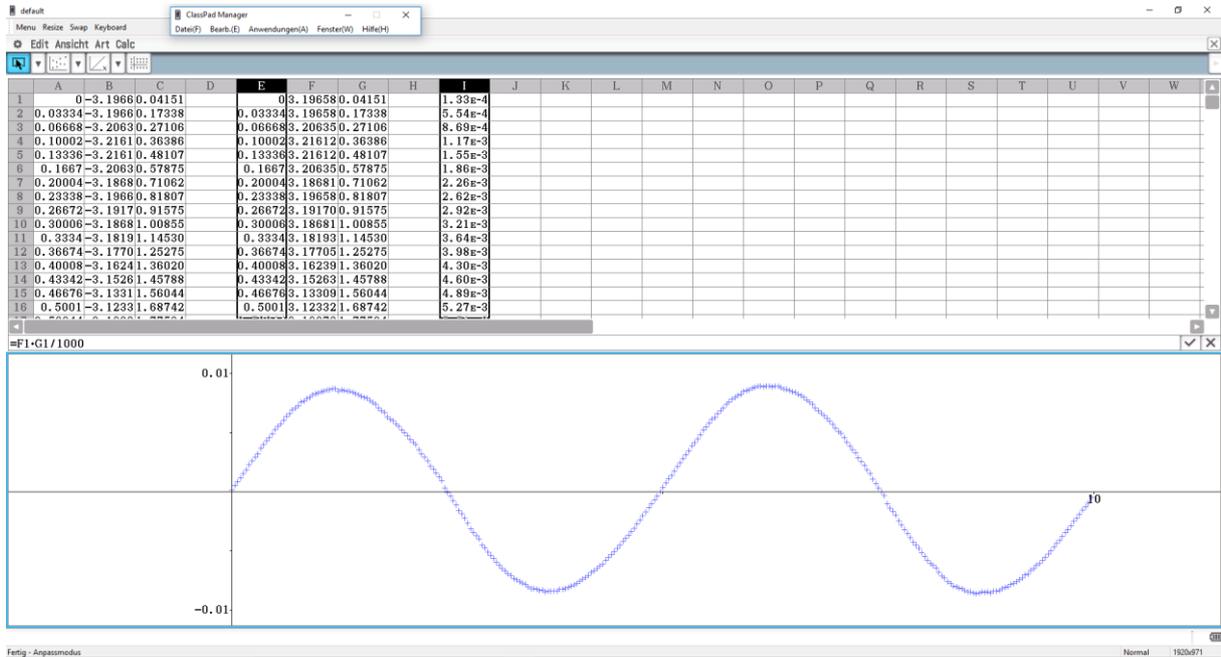


In Spalte I wird die Leistung am Kondensator berechnet. Um die Werte für die Stromstärke zu erhalten, müssen die Werte von Spalte F durch 1000 (Zahlenwert des ohmschen Widerstands) dividiert werden.



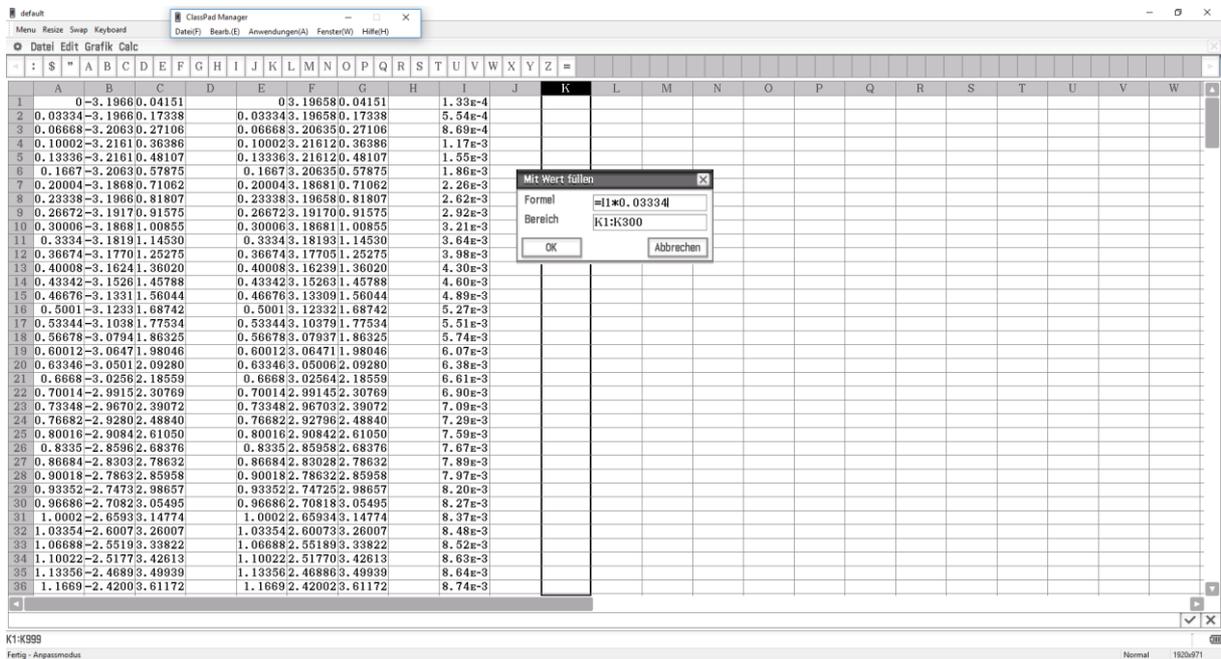
Die graphische Darstellung der Werte der Spalte I über denen der Spalte E ergibt den zeitlichen Verlauf der elektrischen Leistung am Kondensator.

Kapitel 5 – Experimente mit Wechselstromwiderständen



Hinweise zur Aufgabe 1.3.

Die verrichtete elektrische Arbeit am Kondensator entspricht der Fläche unter der Leistungskurve. Sie wird numerisch ermittelt. Dazu werden in Spalte K die Leistungswerte mit dem Zeitschritt multipliziert. Anschließend werden die Werte der Spalte aufsummiert. Das Resultat wird in Zelle M1 angezeigt.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1		0	-3.1966	0.04151		0.3.19658	0.04151		1.33E-4		4.42E-6		1.50E-3										
2		0.03334	-3.1966	0.17338		0.03334	3.19658	0.17338		5.54E-4		1.85E-5											
3		0.06668	-3.2063	0.27106		0.06668	3.2063	0.27106		8.69E-4		2.90E-5											
4		0.10002	-3.2161	0.36386		0.10002	3.2161	0.36386		1.17E-3		3.90E-5											
5		0.13336	-3.2161	0.48107		0.13336	3.2161	0.48107		1.55E-3		5.16E-5											
6		0.1667	-3.2063	0.57875		0.1667	3.2063	0.57875		1.96E-3		6.19E-5											
7		0.20004	-3.1868	0.71062		0.20004	3.1868	0.71062		2.26E-3		7.55E-5											
8		0.23338	-3.1966	0.81807		0.23338	3.19658	0.81807		2.62E-3		8.72E-5											
9		0.26672	-3.1917	0.91575		0.26672	3.1917	0.91575		2.92E-3		9.74E-5											
10		0.30006	-3.1868	1.00855		0.30006	3.1868	1.00855		3.21E-3		1.07E-4											
11		0.3334	-3.1819	1.14530		0.3334	3.1819	1.14530		3.64E-3		1.21E-4											
12		0.36674	-3.1770	1.25275		0.36674	3.1770	1.25275		3.98E-3		1.33E-4											
13		0.40008	-3.1624	1.36020		0.40008	3.1623	1.36020		4.30E-3		1.43E-4											
14		0.43342	-3.1526	1.45788		0.43342	3.1526	1.45788		4.60E-3		1.53E-4											
15		0.46676	-3.1331	1.56044		0.46676	3.1309	1.56044		4.89E-3		1.63E-4											
16		0.5001	-3.1233	1.68742		0.5001	3.1232	1.68742		5.27E-3		1.76E-4											
17		0.53344	-3.1038	1.77534		0.53344	3.1037	1.77534		5.51E-3		1.84E-4											
18		0.56678	-3.0794	1.86325		0.56678	3.0797	1.86325		5.74E-3		1.91E-4											
19		0.60012	-3.0647	1.98046		0.60012	3.0647	1.98046		6.07E-3		2.02E-4											
20		0.63346	-3.0501	2.09280		0.63346	3.0500	2.09280		6.38E-3		2.13E-4											
21		0.6668	-3.0256	2.18559		0.6668	3.0256	2.18559		6.61E-3		2.20E-4											
22		0.70014	-3.9915	2.30789		0.70014	2.9914	2.30789		6.90E-3		2.30E-4											
23		0.73348	-2.9670	2.39072		0.73348	2.9670	2.39072		7.09E-3		2.36E-4											
24		0.76682	-2.9280	2.48840		0.76682	2.9279	2.48840		7.29E-3		2.43E-4											
25		0.80016	-2.9084	2.61050		0.80016	2.9084	2.61050		7.59E-3		2.53E-4											
26		0.8335	-2.8596	2.68376		0.8335	2.8596	2.68376		7.67E-3		2.56E-4											
27		0.86684	-2.8303	2.78632		0.86684	2.8302	2.78632		7.89E-3		2.63E-4											
28		0.90018	-2.7863	2.85958		0.90018	2.7862	2.85958		7.97E-3		2.66E-4											
29		0.93352	-2.7472	2.98657		0.93352	2.7472	2.98657		8.20E-3		2.74E-4											
30		0.96686	-2.7082	3.05495		0.96686	2.7081	3.05495		8.27E-3		2.76E-4											
31		1.0002	-2.6593	3.14774		1.0002	2.6593	3.14774		8.37E-3		2.79E-4											
32		1.03354	-2.6007	3.26007		1.03354	2.6007	3.26007		8.48E-3		2.83E-4											
33		1.06688	-2.5519	3.3822		1.06688	2.5519	3.3822		8.52E-3		2.84E-4											
34		1.10022	-2.5177	3.42613		1.10022	2.5177	3.42613		8.63E-3		2.88E-4											
35		1.13356	-2.4689	3.49939		1.13356	2.4689	3.49939		8.64E-3		2.88E-4											
36		1.1669	-2.4200	3.61172		1.1669	2.4200	3.61172		8.74E-3		2.91E-4											

Die am Kondensator verrichtete elektrische Arbeit beträgt 0,0015 mWs. Was im Rahmen der Mess- und Auswertegenauigkeit null ist. Die Wirkleistung ist daher mit dem zugehörigem Wert 0,00015W ebenfalls null. Zur Kontrolle des Wertes wird nochmals die Phasenverschiebung bestimmt. Die Scheinleistung ergibt sich aus dem Produkt der Effektivwerte der Spannung am Kondensator und der Stromstärke. Diese lassen sich aus den Maximalwerten der Spannungen am Kondensator und am ohmschen Widerstand unter Verwendung des Werkzeuges **Analysieren** ermitteln. Es ergibt sich für die Scheinleistung der Wert 0,00854W. Aus dem Verhältnis von Wirk- und Scheinleistung lässt sich eine Phasenverschiebung von 89° ermitteln, was im Rahmen der Mess- und Auswertegenauigkeit 90° entspricht.



Es wird hier der Maximalwert für die Spannung am ohmschen Widerstand bestimmt. Der Maximalwert der Spannung am Kondensator wurde bereits bei Aufgabe 1.1. ermittelt.

Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung an einer Spule im Wechselstromkreis

1. Aufgabenstellungen

- 1.1. Untersuchen Sie das zeitliche Verhalten der Spannung und der Stromstärke an einer Spule im Wechselstromkreis und bestimmen Sie die Phasenverschiebung.
- 1.2. Ermitteln Sie die Amplituden für die Spannung an der Spule und die Stromstärke für zwei verschiedene Frequenzen.
- 1.3. Stellen Sie für einen Fall den zeitlichen Verlauf der elektrischen Leistung an der Spule dar.
- 1.4. Ermitteln Sie die an der Spule verrichtete elektrische Arbeit für eine Periode der Wechselspannung.

2. Vorüberlegungen

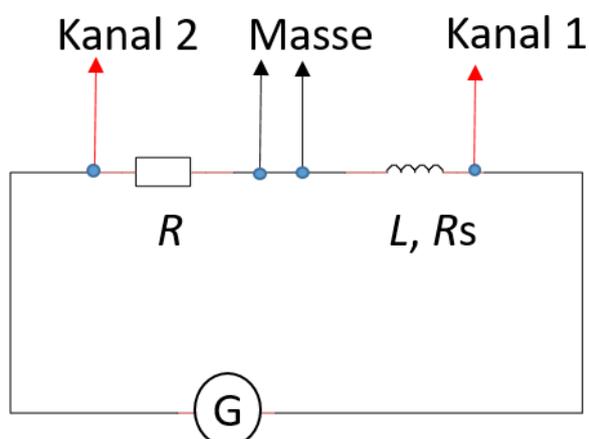
Das zeitliche Verhalten der Stromstärke entspricht dem der Spannung an einem zur Spule in Reihe geschalteten ohmschen Widerstand. Begründen Sie.

Die momentane Leistung ergibt sich aus dem Produkt der Momentanwerte der Spannung an der Spule und der Stärke des elektrischen Stromes durch die Spule.

Die elektrische Arbeit lässt sich durch numerische Integration der Leistung über die Zeit einer Periode der Wechselspannung bestimmen. Begründen Sie.

3. Durchführung

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan auf. Schließen Sie die Spannungssensoren an die Kanäle 1 und 2 des CLAB an, wie es im Schaltplan eingezeichnet ist.



$R=10\ \Omega$, $L=4,43\ \text{mH}$, $R_s=3,9\ \Omega$, $u(t)<10\ \text{V}$, $f=1400\text{Hz}$

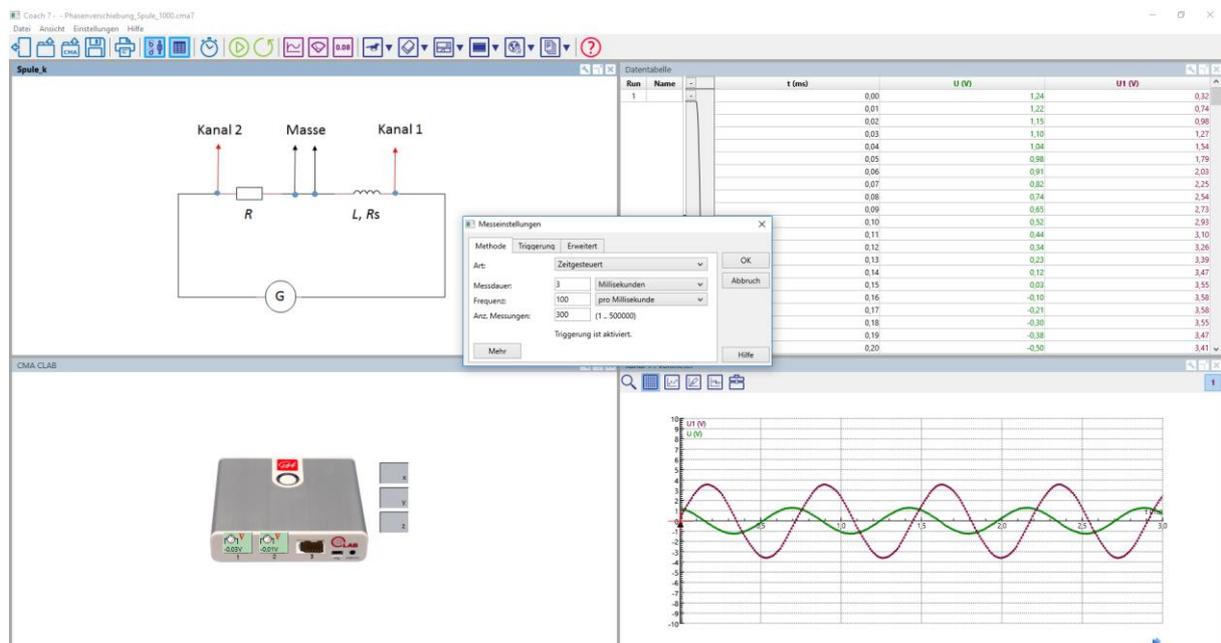
Die angegebenen Werte sind Beispiele.

- 3.1. Ermitteln Sie die benötigte Messzeit für das vollständige Erfassen einer Periode der Wechselspannung und legen Sie eine geeignete Messrate (Abtastrate) fest. Stellen Sie die Werte im Messprogramm Coach 7 ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.2. Stellen Sie den Trigger für Kanal 1 für den aufsteigenden Nulldurchgang des Signals ein.
- 3.3. Richten Sie im Messprogramm die Ausgabe der Messwerte als Diagramm und als Tabelle ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.4. Starten Sie den Messvorgang im Programm. Die Aufnahme der Messwerte beginnt mit dem Erreichen des Triggerwertes.
- 3.5. Exportieren Sie die Daten für die weitere Bearbeitung mit dem ClassPad-Manager.

4. Hinweise zur Durchführung der Messung

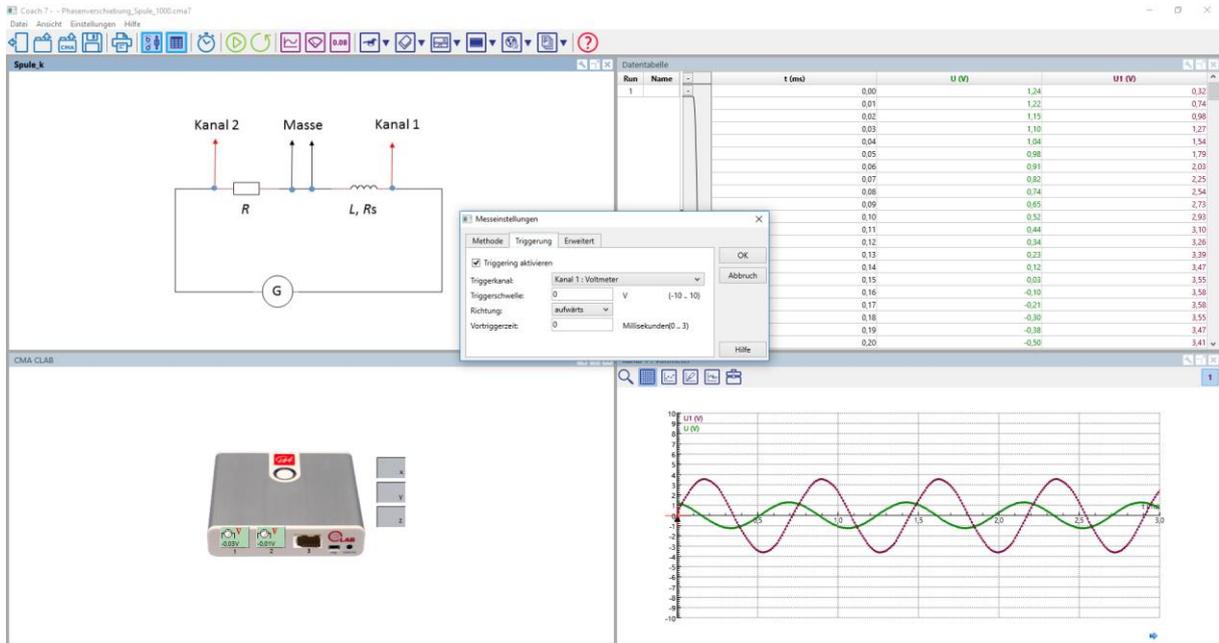
Hinweise zu 3.1.

Für eine angelegte Wechselspannung von ca. 1400 Hz ist es möglich, bei einer Messzeit von 3 ms ca. vier Perioden zu erfassen. Wählt man die Abtastrate mit 100 Messungen pro Millisekunde, so ergeben sich 300 Messwertpaare für die Auswertung.



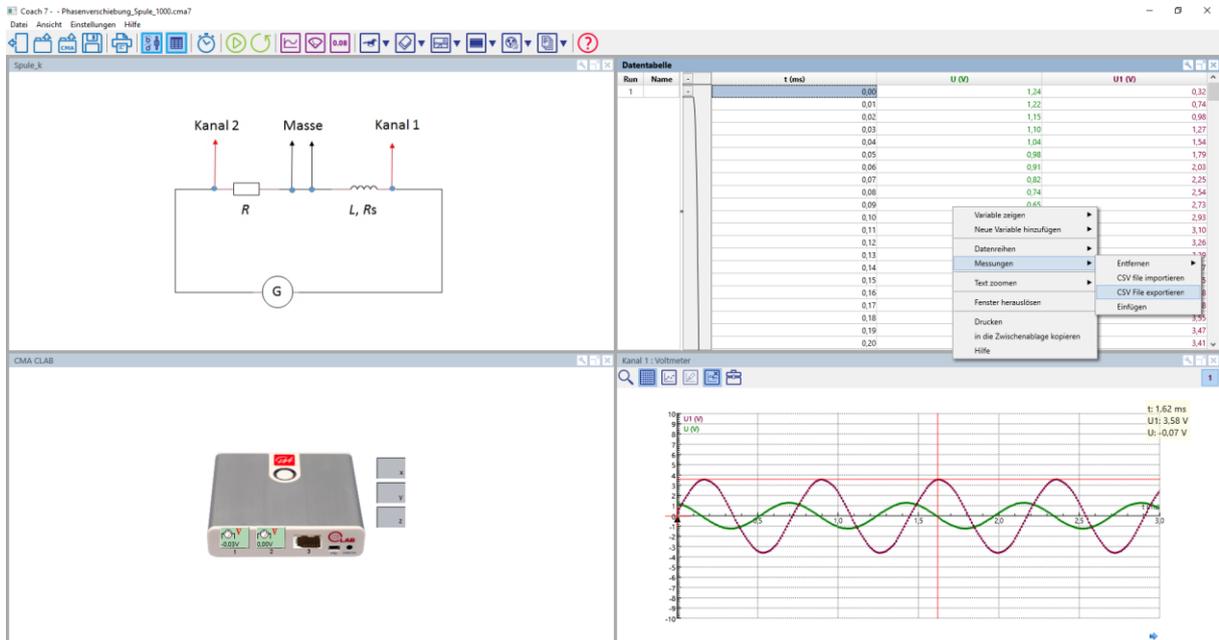
Hinweise zu 3.2.

An der Schaltung liegt eine harmonische Wechselspannung an. Die Messwertaufnahme setzt ein, wenn die Spannung an der Spule U1 (Kanal 1) einen aufsteigenden Nulldurchgang hat. Die Kurve U stellt den zeitlichen Verlauf der Spannung am ohmschen Widerstand invertiert dar.



Hinweise zu 3.5.

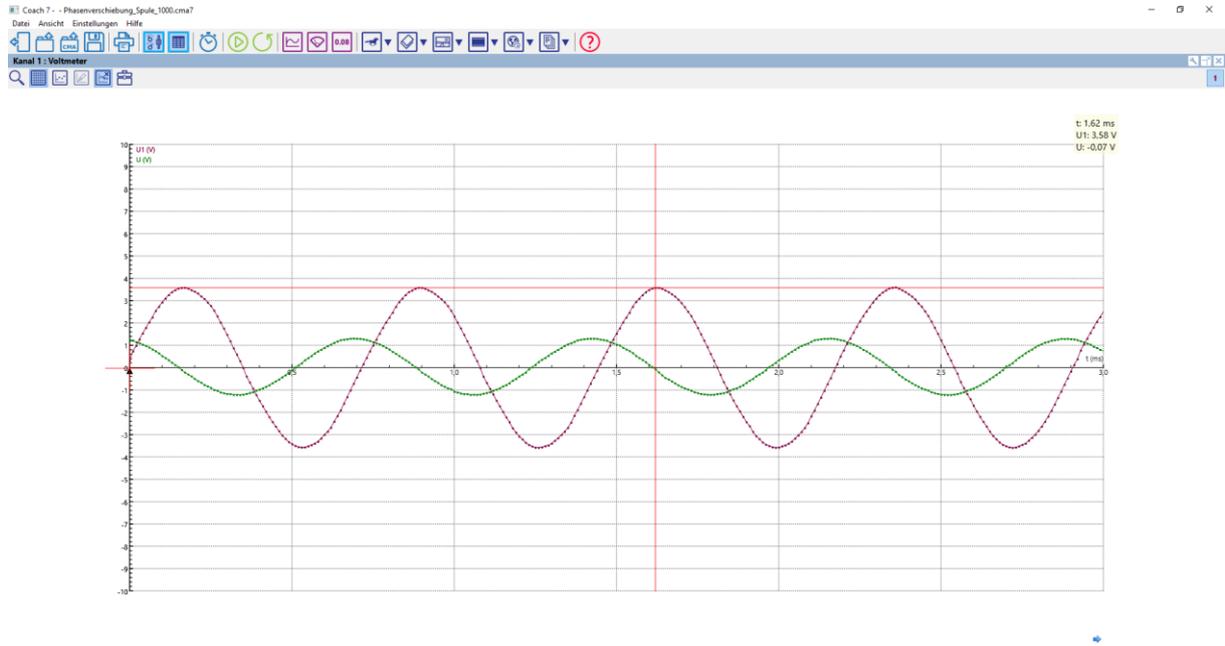
Für die Auswertung mit der Tabellenkalkulation des ClassPad-Managers wird die Messwerttabelle als CSV-Datei exportiert. Diese Datei wird in das Verzeichnis des ClassPad-Managers kopiert.



5. Hinweise zur Auswertung

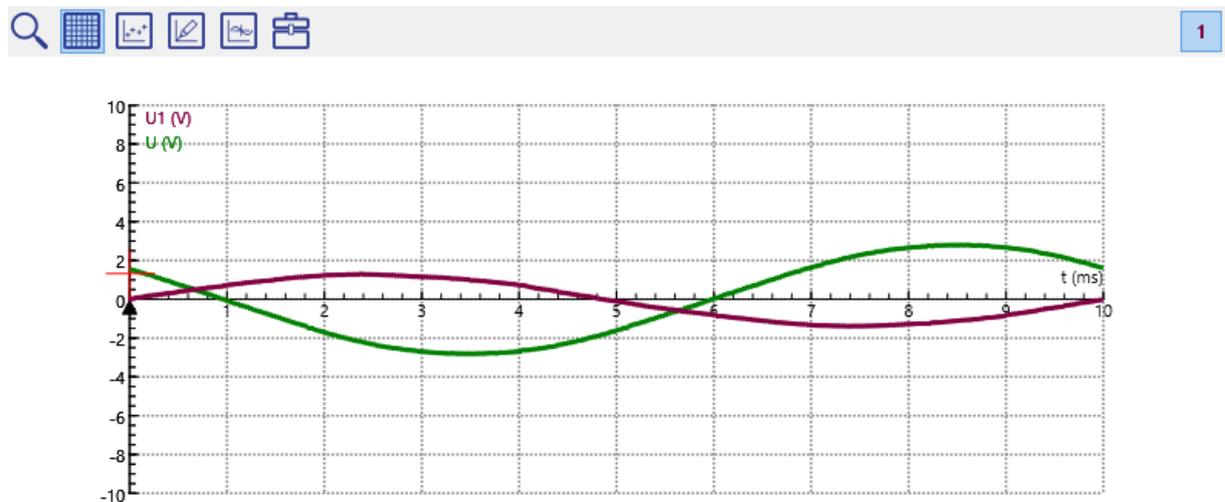
Hinweise zu den Aufgaben 1.1. und 1.2.

Die Phasenverschiebungen und die Amplituden werden mit dem Werkzeug **Analysieren** bestimmt.



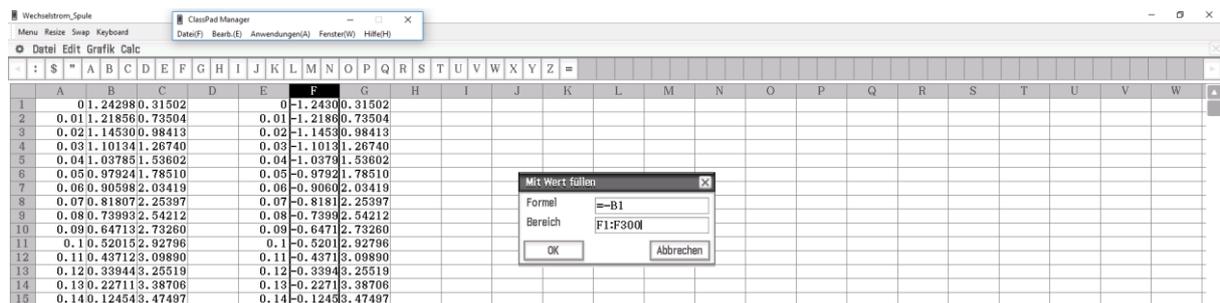
Die obige Abbildung zeigt die Situation für eine angelegte Wechselspannung mit einer Frequenz von 1000 Hz.

Die Phasenverschiebung hat einen Betrag von ca. 90° . Da die Kurve U invertiert dargestellt wird, durchläuft sie ihr Maximum erst nach der Spannung an der Spule (Kurve U1). Der zeitliche Verlauf der Spannung am Widerstand entspricht dem zeitlichen Verlauf der Stromstärke. Der Strom läuft also der Spannung an der Spule mit einer Phasendifferenz von 90° nach.

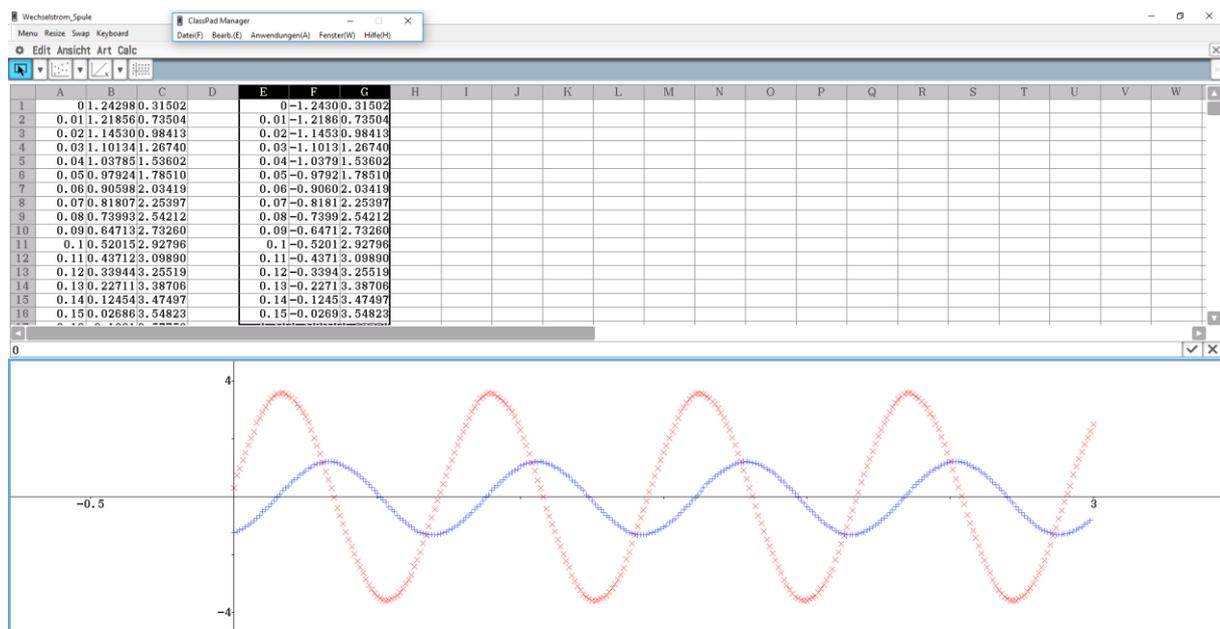


Diese Abbildung zeigt die Situation für eine angelegte Wechselspannung mit einer Frequenz von 100 Hz. Das Maximum der Spannung an der Spule ist deutlich kleiner als das der Spannung am ohmschen Widerstand. Zwar läuft auch hier der Strom der Spannung an der Spule nach, aber die Phasenverschiebung ist etwas kleiner als 90° , was am ohmschen Widerstand der Spule liegt. Eine genauere Betrachtung hierzu wird am Ende des Abschnittes *Hinweise zur Aufgabe 1.4.* angestellt.

Um das zeitliche Verhalten der Spannung und der Stromstärke vorzeichenrichtig darzustellen, wird das im Verzeichnis des ClassPad-Managers abgelegte CSV-File geöffnet. Die Messwerttabelle erscheint mit den Spalten A, B, C.

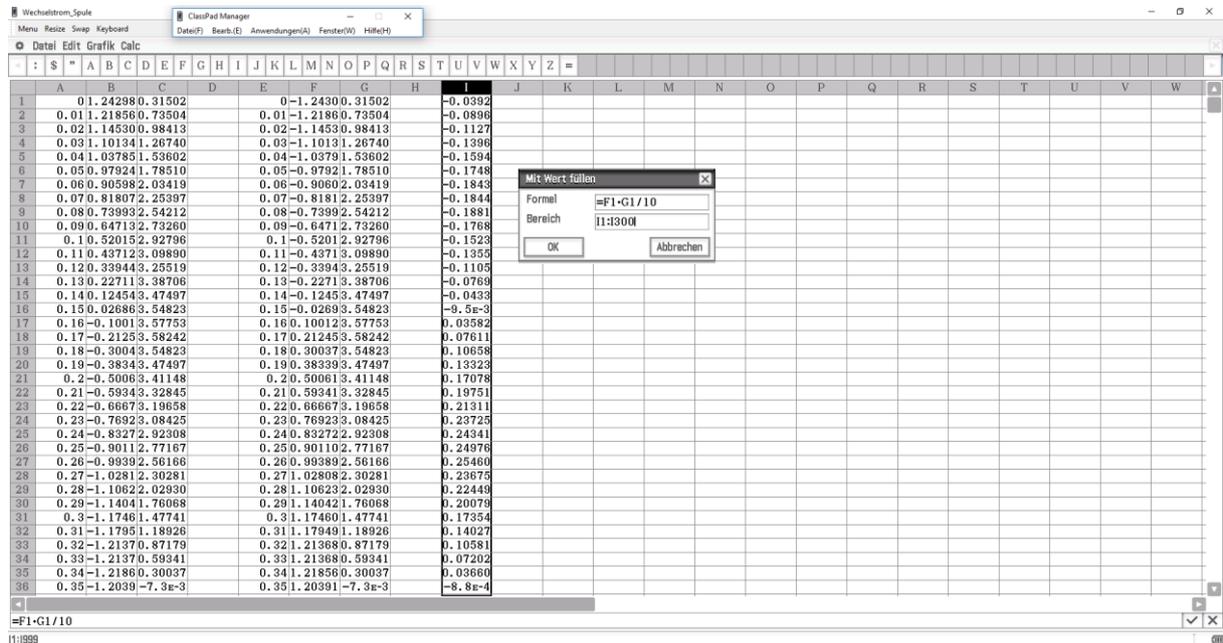


Durch Kopieren werden die Werte der Spalten A (Zeit in ms) und C (Spannung an der Spule in V) in die Spalten E und G eingefügt. Die Werte der Spalte B (Spannung am ohmschen Widerstand) müssen invertiert werden. Das wird in der Spalte F mit dem Befehl **Füllen/Mit Wert füllen** unter **Edit** ausgeführt. Die graphische Darstellung kann nun vorzeichenrichtig durch Auftragen der Werte der Spalten F und G über denen der Spalte E erfolgen.

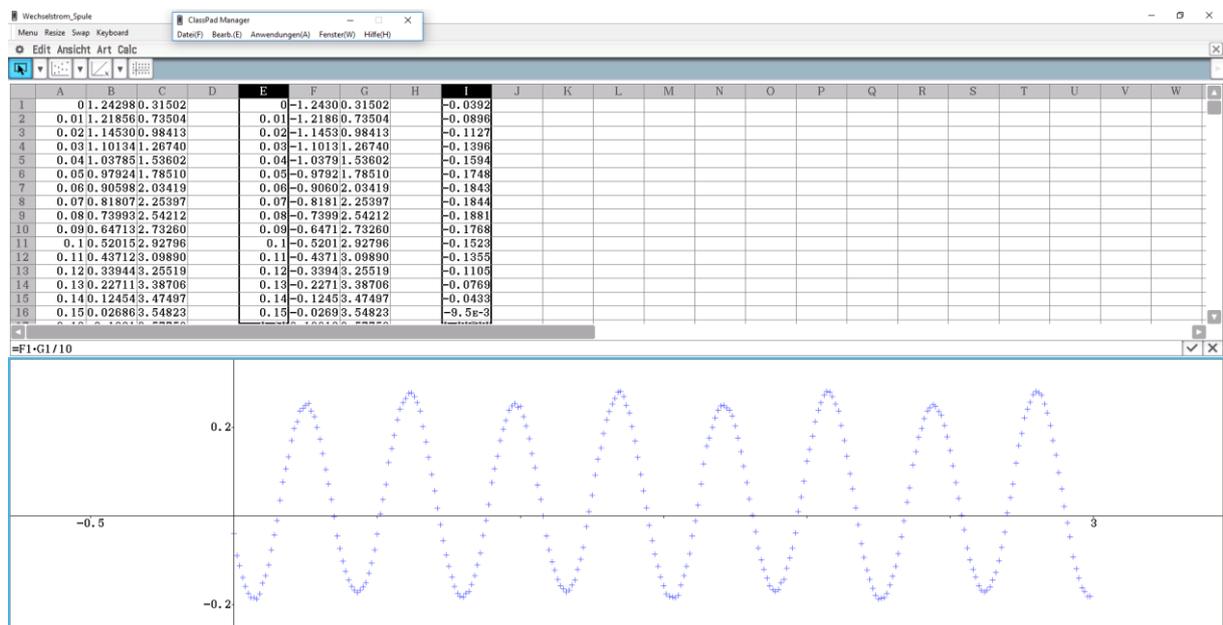


Hinweise zur Aufgabe 1.3.

In Spalte I wird die Leistung berechnet. Um die Werte für die Stromstärke zu erhalten, müssen die Werte von Spalte F durch 10 (Zahlenwert des ohmschen Widerstands) dividiert werden.

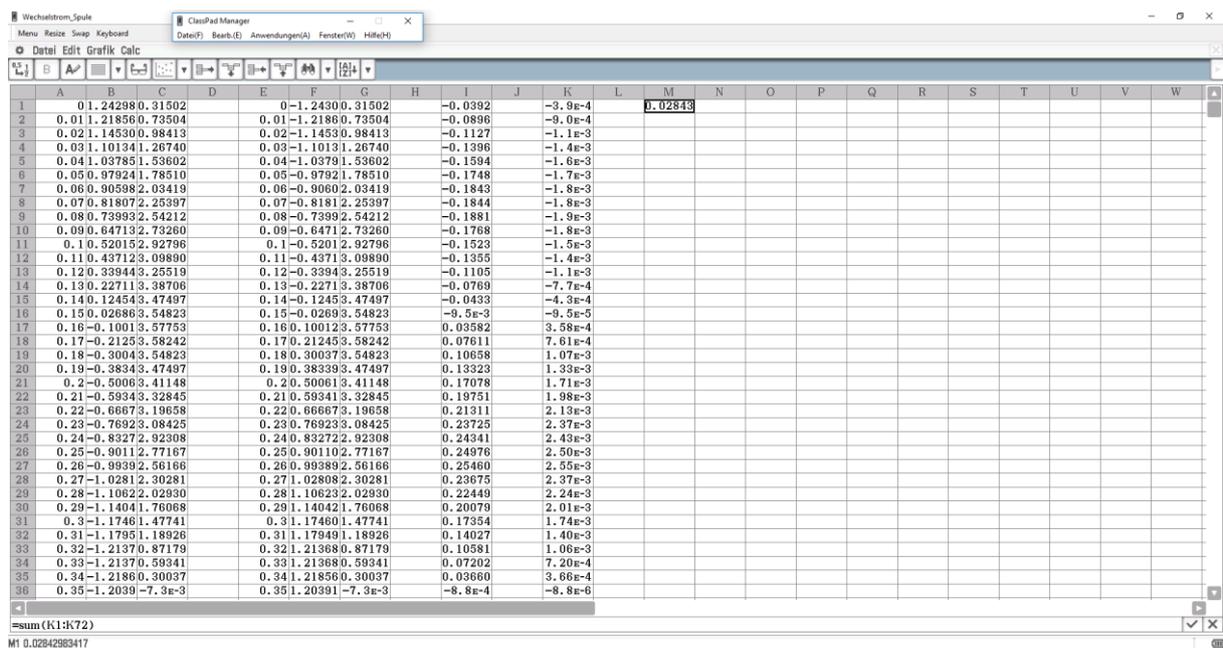
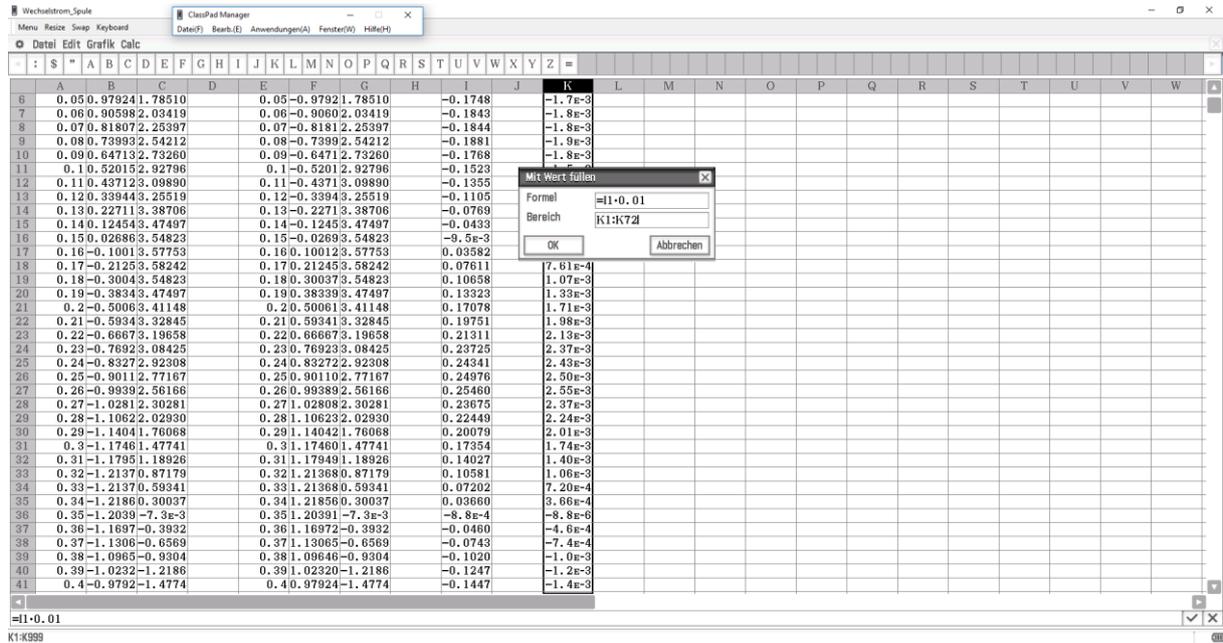


Die graphische Darstellung der Werte der Spalte I über den Werten der Spalte E zeigt den zeitlichen Verlauf der elektrischen Leistung an der Spule.



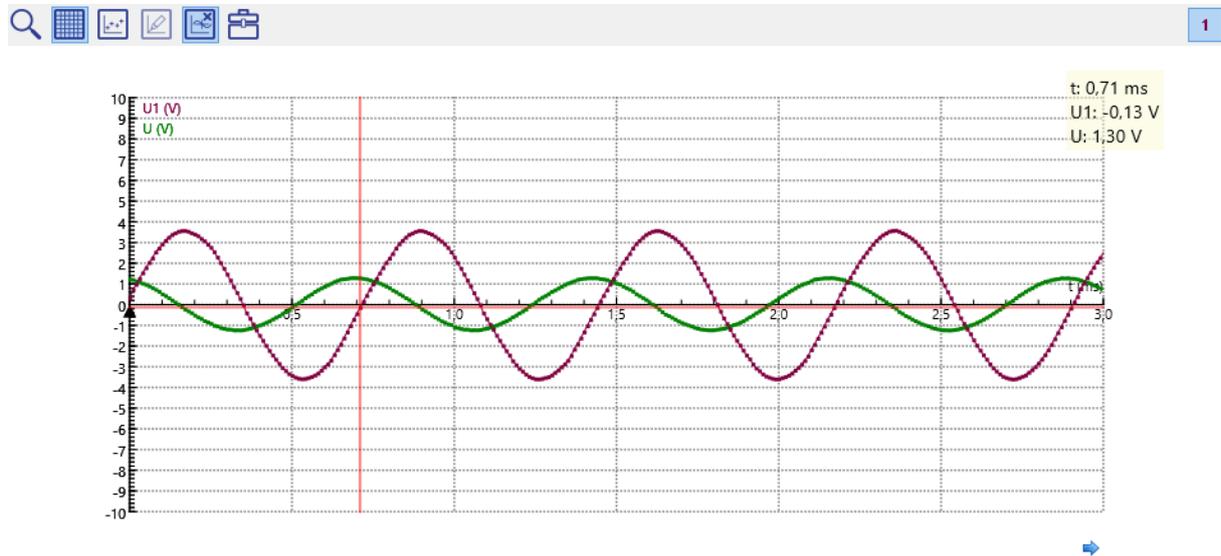
Hinweise zur Aufgabe 1.4.

Die verrichtete elektrische Arbeit an der Spule entspricht der Fläche unter der Leistungskurve. Sie wird numerisch ermittelt. Dazu werden in Spalte K die Leistungswerte mit dem Zeitschritt multipliziert. Anschließend werden die Werte der Spalte K aufsummiert. Das Ergebnis wird in Zelle M1 angezeigt. Die erste Nullstelle der Spannungskurve nach dem Start der Messung liegt bei Zeile 36. Die zweite Nullstelle ist dann bei Zeile 72 zu finden. Damit umfasst eine Periode alle Messwerte in den Zeilen 1 bis 72.



Die an der Spule verrichtete elektrische Arbeit beträgt 0,0284 mWs, was im Rahmen der Mess- und Auswertegenauigkeit verschieden von null ist.

Ergänzungen zu den Hinweisen zur Aufgabe 1.1.



Betrachtungen zur Phasenverschiebung:

Mit der ermittelten Zeit für eine Periode von 0,71 ms, ergibt sich eine mittlere Wirkleistung von 0,04 W.

Die Scheinleistung berechnet man als Produkt der Effektivwerte der Spannung an der Spule und der Stromstärke. Diese lassen sich aus den Maximalwerten der Spannungen an der Spule und am ohmschen Widerstand unter Verwendung des Werkzeuges **Analysieren** ermitteln. Die Scheinleistung beträgt 0,25 W.

Aus diesen Werten ergibt sich eine Phasenverschiebung von ca. 81°. Die Ursache dafür ist der im Vergleich zum induktiven Widerstand der Spule nicht vernachlässigbare ohmsche Widerstand der Spule. Bei der verwendeten Frequenz ist das Verhältnis etwa 10:1. Durch Einsetzen eines Eisenkernes in die Spule oder weiteres Erhöhen der Frequenz kann man den induktiven Widerstand bei einem gleichen ohmschen Widerstand erhöhen und somit die Phasenverschiebung gegen 90° führen.

Elektrische Leistung und Arbeit im Wechselstromkreis aus einem ohmschen Widerstand und einem Kondensator als Reihenschaltung

1. Aufgabenstellungen

- 1.1. Untersuchen Sie das zeitliche Verhalten der Stromstärke und der Spannung an einer Reihenschaltung aus einem ohmschen Widerstand und einem Kondensator im Wechselstromkreis in Abhängigkeit von der Größe des ohmschen Widerstandes.
- 1.2. Stellen Sie den zeitlichen Verlauf der elektrischen Leistung an der RC-Schaltung für zwei verschiedene ohmsche Widerstände dar.
- 1.3. Ermitteln Sie die Wirkleistungen für zwei verschiedene ohmsche Widerstände.

2. Vorüberlegungen

Das zeitliche Verhalten der Stromstärke entspricht dem der Spannung an einem zum Kondensator in Reihe geschalteten ohmschen Widerstand. Begründen Sie.

Die momentane Leistung ergibt sich aus dem Produkt der Momentanwerte der an der Schaltung anliegenden Spannung und der Stärke des elektrischen Stromes.

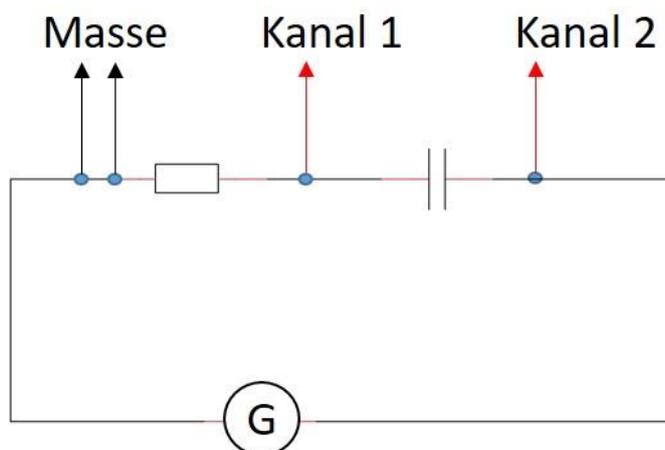
Die Scheinleistung ist gleich dem Produkt aus den Effektivwerten der Spannung an der RC-Schaltung und der Stromstärke.

Die mittlere Wirkleistung für eine Periode ergibt sich aus der in dieser Zeit an der Schaltung verrichteten elektrischen Arbeit.

Die elektrische Arbeit ermittelt man durch numerische Integration des zeitlichen Verlaufes der elektrischen Leistung an der Schaltung.

3. Durchführung

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan auf. Schließen Sie die Spannungssensoren an die Kanäle 1 und 2 des CLAB an, wie es im Schaltplan eingezeichnet ist.



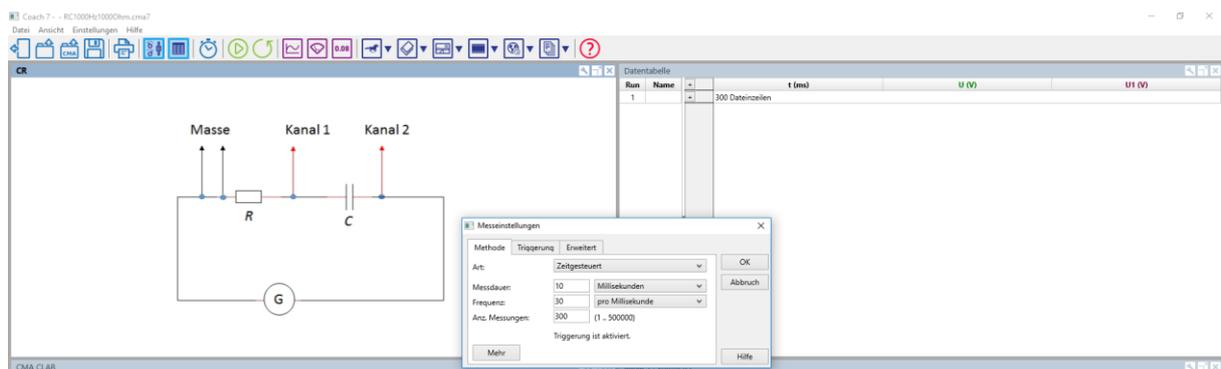
$R=100\ \Omega$ bzw. $1000\ \Omega$, $C=1\ \mu\text{F}$, $u(t)<10\ \text{V}$, $f=1000\ \text{Hz}$
Die angegebenen Werte sind Beispiele.

- 3.1. Ermitteln Sie die benötigte Messzeit für das vollständige Erfassen einer Periode der Wechselspannung und legen Sie eine geeignete Messrate (Abtastrate) fest. Stellen Sie die Werte im Messprogramm Coach 7 ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.2. Stellen Sie den Trigger für Kanal 1 für den aufsteigenden Nulldurchgang des Signals ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.3. Richten Sie im Messprogramm die Ausgabe der Messwerte als Diagramm und als Tabelle ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.4. Starten Sie den Messvorgang im Programm. Die Aufnahme der Messwerte beginnt mit dem Erreichen des Triggerwertes.
- 3.5. Exportieren Sie die Daten für die weitere Bearbeitung mit dem ClassPad-Manager.

4. Hinweise zur Durchführung der Messung

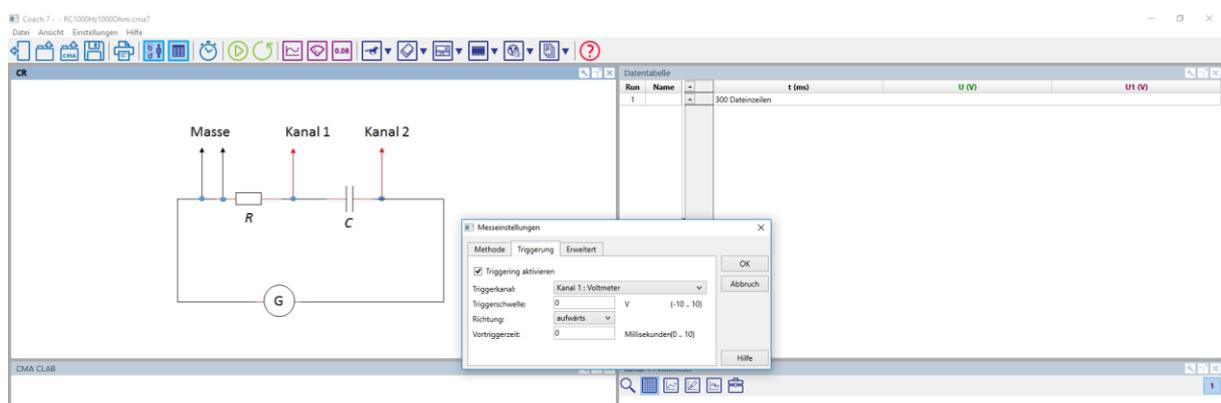
Hinweise zu 3.1.

Die Periodendauer bei 1000 Hz beträgt 1 ms. Um 10 Perioden zu erfassen, wird eine Messzeit von 10 ms eingestellt.



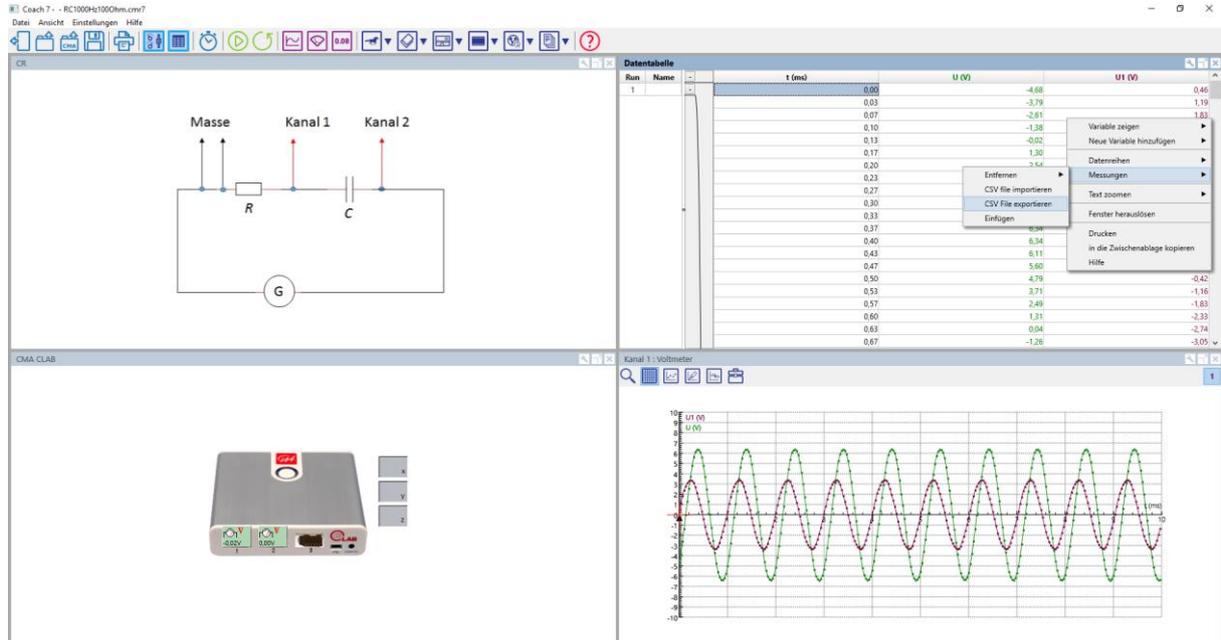
Hinweise zu 3.2.

Der Trigger wird so eingestellt, dass die Messung mit dem aufsteigenden Nulldurchgang der Stromstärke gestartet wird. Das geschieht, wenn die Spannung am ohmschen Widerstand (Kanal 1) einen aufsteigenden Nulldurchgang hat (Kurve U1).



Hinweise zu 3.5.

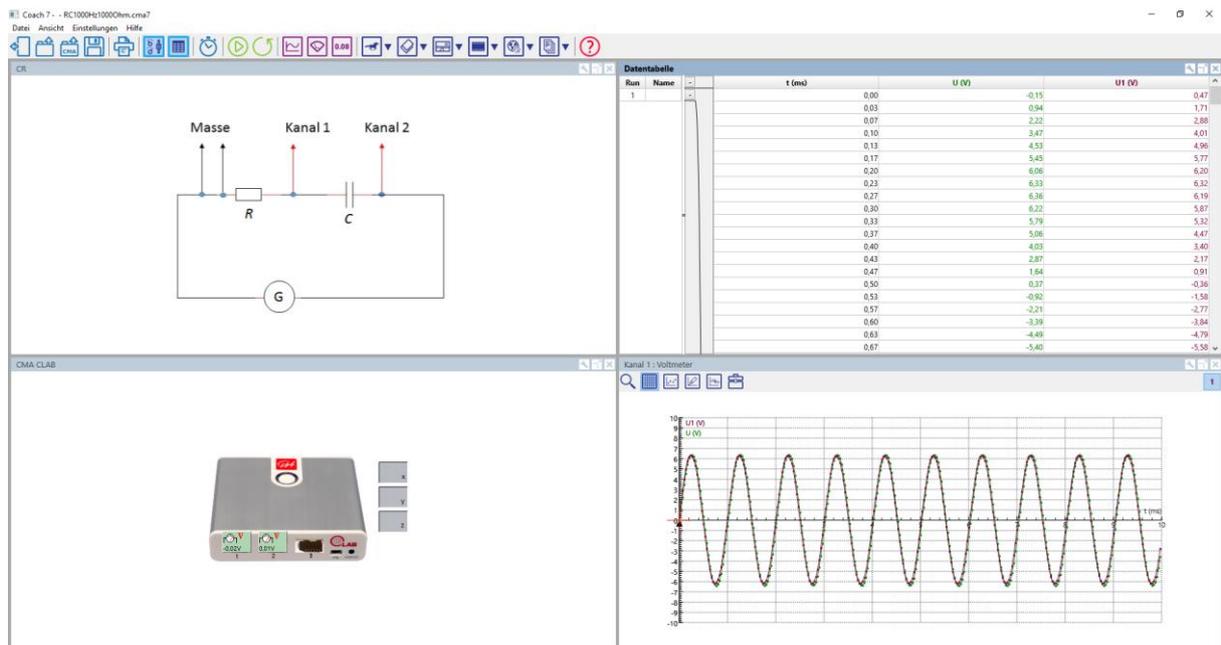
Für die Auswertung mit der Tabellenkalkulation des ClassPad-Managers muss die Messwerttabelle als CSV-Datei exportiert und in das Verzeichnis des ClassPad-Managers kopiert werden.

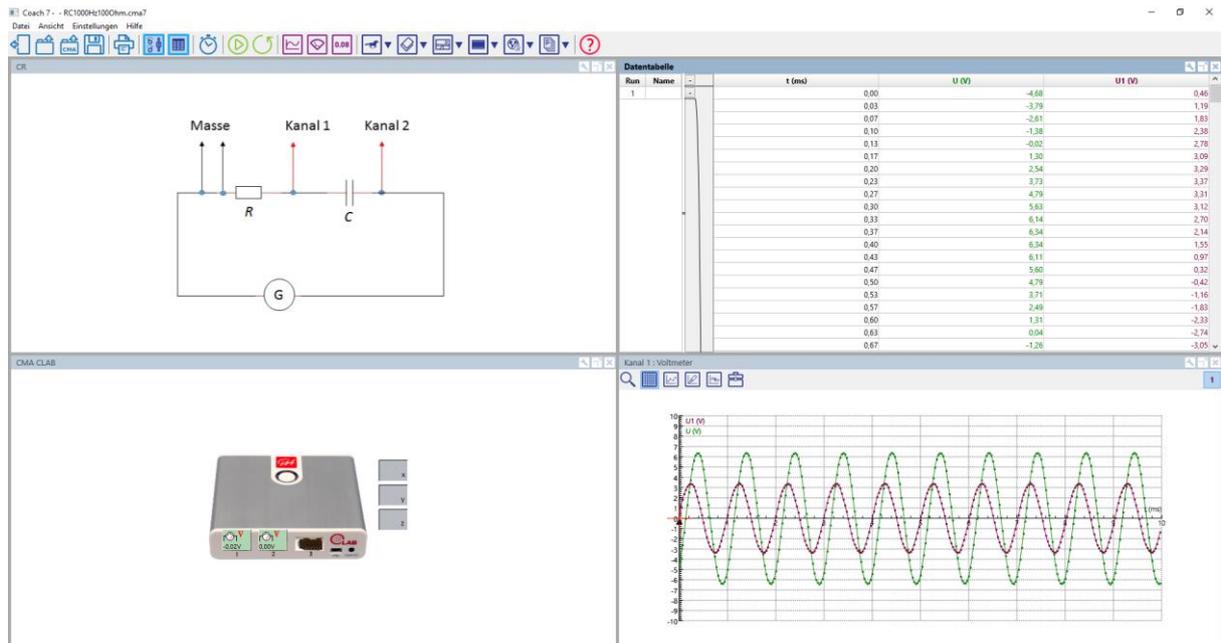


5. Hinweise zur Auswertung

Hinweise zur Aufgabe 1.1.

Die Zeitverläufe der Gesamtspannung und der am ohmschen Widerstand anliegenden Spannung werden für den Widerstand 1000Ω und den Widerstand 100Ω dargestellt.



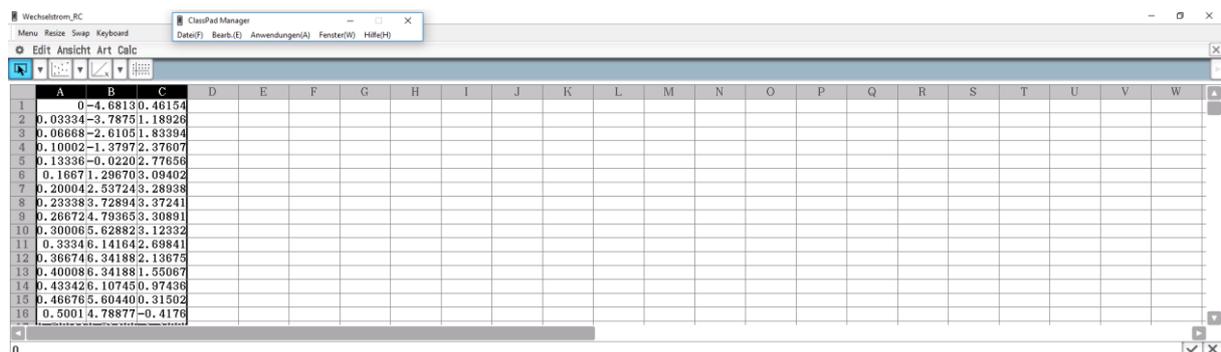


Aus den Abbildungen entnimmt man, dass die jeweilige Phasenverschiebung der Maximalwerte der Kurven U1 und U vom Wert des ohmschen Widerstandes abhängt. Für 1000 Ω ist die Phasenverschiebung etwa null. Für 100 Ω eilt der Strom, dargestellt über die Spannung am ohmschen Widerstand, der Gesamtspannung voraus. Mit dem Werkzeug **Analysieren** kann man die Werte der Phasenverschiebung genauer ermitteln.

Hinweise zur Aufgabe 1.2.

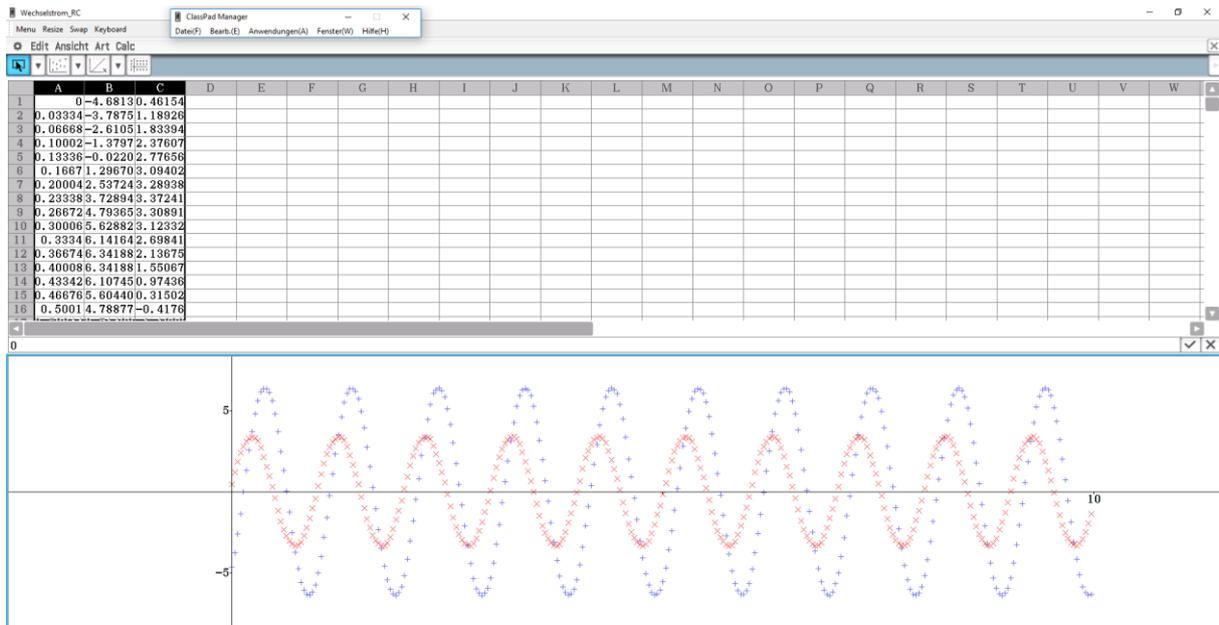
Die weiteren Auswertungen werden exemplarisch am Beispiel des Messergebnisses für 100 Ω beschrieben. Sie erfolgen mit der Tabellenkalkulation des ClassPad-Managers.

In der Tabellenkalkulation wird die in das Verzeichnis des ClassPad-Managers abgelegte CSV-Datei geöffnet. Die Messwerttabelle ist durch die Spalten A (Zeit in ms), B (Gesamtspannung in V), C (Spannung am ohmschen Widerstand in V) gegeben.

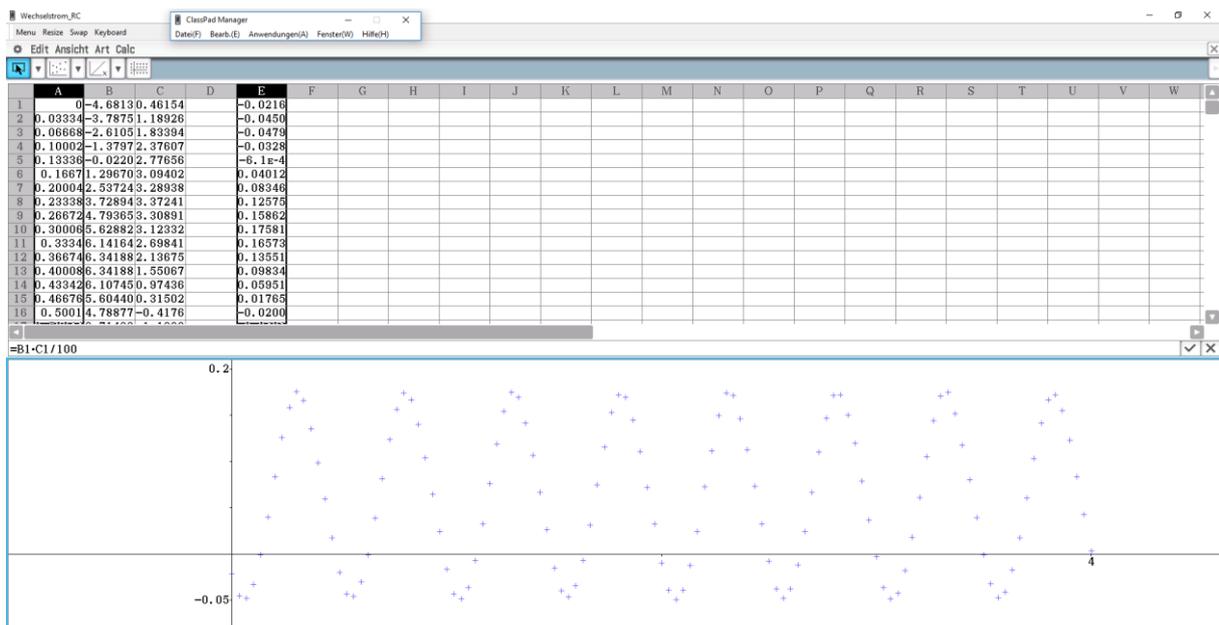
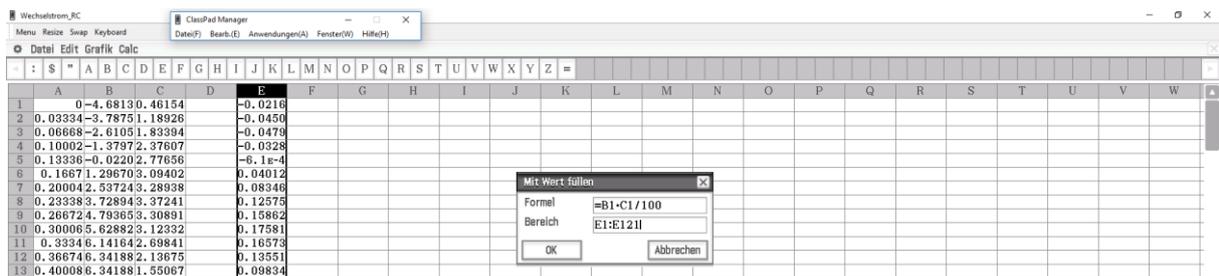


In der daraus gewonnenen graphischen Darstellung stellt die Kurve mit dem kleineren Maximalwert den zeitlichen Verlauf der Spannung am ohmschen Widerstand und die andere Kurve den zeitlichen Verlauf der Gesamtspannung dar.

Kapitel 5 – Experimente mit Wechselstromwiderständen



In der Spalte E wird die Leistung berechnet. Dazu muss das Produkt der Werte der Spannungen aus den Spalten B und C durch den Wert des ohmschen Widerstandes von 100Ω dividiert werden.



Die graphische Darstellung der Werte der Spalte E über den Werten der Spalte A ergibt den zeitlichen Verlauf der Leistung an der RC-Schaltung. Die Darstellung wurde für eine bessere Ansicht auf 4 ms verkürzt. Es werden 121 Zeilen dargestellt.

Hinweise zur Aufgabe 1.3.

Die verrichtete elektrische Arbeit an der RC-Schaltung entspricht der Fläche unter der oben ermittelten Leistungskurve. Sie wird numerisch berechnet. Dazu werden in Spalte G die Leistungswerte aus Spalte E mit dem Wert des Zeitschrittes 0,03334 multipliziert. Anschließend werden die Werte der Spalte aufsummiert. Das Ergebnis wird in Zelle I1 angezeigt.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
1	0	-4.6813	0.46154		-0.0216		-7.2e-4		0.24638															
2	0.08334	-3.7875	1.18926		-0.0450		-1.5e-3																	
3	0.06698	-2.6105	1.83394		-0.0479		-1.6e-3																	
4	0.10002	-1.3797	2.37607		-0.0328		-1.1e-3																	
5	0.13336	-0.0220	2.77656		-6.1e-4		-2.0e-5																	
6	0.16671	2.2967	3.09402		0.04012		1.34e-3																	
7	0.20004	2.5372	3.28938		0.08346		2.78e-3																	
8	0.23338	3.7289	3.37241		0.12575		4.19e-3																	
9	0.26672	4.7936	3.30891		0.15862		5.29e-3																	
10	0.30006	5.6288	3.12332		0.17581		5.86e-3																	
11	0.33340	6.1416	2.89841		0.16579		5.53e-3																	
12	0.36674	6.3418	2.13675		0.13551		4.52e-3																	
13	0.40008	6.3418	1.55067		0.09834		3.28e-3																	
14	0.43342	6.1074	0.97436		0.05951		1.98e-3																	
15	0.46676	5.6044	0.31502		0.01765		5.89e-4																	
16	0.50010	4.7887	-0.4176		-0.0200		-6.7e-4																	
17	0.53344	3.7142	-1.1600		-0.0431		-1.4e-3																	
18	0.56678	2.4884	-1.8291		-0.0455		-1.5e-3																	
19	0.60012	1.3064	-2.3321		-0.0305		-1.0e-3																	
20	0.63346	0.0366	-2.7375		-1.0e-3		-3.3e-5																	
21	0.66680	-1.2576	-3.0501		0.03836		1.28e-3																	
22	0.70014	-2.5275	-3.2357		0.08178		2.73e-3																	
23	0.73348	-3.7143	-3.3333		0.12381		4.13e-3																	
24	0.76682	-4.7448	-3.2991		0.15654		5.22e-3																	
25	0.80016	-5.5800	-3.1184		0.17401		5.80e-3																	
26	0.83350	-6.0781	-2.7375		0.16639		5.55e-3																	
27	0.86684	-6.3468	-2.2051		0.13995		4.67e-3																	
28	0.90018	-6.3761	-1.6288		0.10385		3.46e-3																	
29	0.93352	-6.1856	-1.0379		0.06420		2.14e-3																	
30	0.96686	-5.7460	-0.4225		0.02428		8.09e-4																	
31	1.00020	-4.8988	0.32479		-0.0162		-5.4e-4																	
32	1.03354	-3.9878	1.98181		-0.0431		-1.4e-3																	
33	1.06688	-2.7912	1.74603		-0.0487		-1.6e-3																	
34	1.10022	-1.5849	2.30281		-0.0365		-1.2e-3																	
35	1.13356	-0.2564	2.72772		-7.0e-3		-2.3e-4																	
36	1.16690	1.0622	3.05495		0.03245		1.08e-3																	

Die an der RC-Schaltung verrichtete elektrische Arbeit beträgt 0,24638 mWs. Diese Arbeit wurde in einer Zeit von 4 ms verrichtet. Die mittlere Wirkleistung beträgt somit 0,0616 W.

Man kann die Genauigkeit wesentlich erhöhen, indem man weitere Messungen mit einer Messzeit von 1 ms bei einer Abtastrate von 300 Messungen pro Millisekunde durchführt und auswertet.

Elektrische Leistung und Arbeit im Wechselstromkreis aus einem ohmschen Widerstand und einer Spule als Reihenschaltung

1. Aufgabenstellungen

- 1.1. Untersuchen Sie das zeitliche Verhalten der Stromstärke und der Spannung an einer Reihenschaltung aus einem ohmschen Widerstand und einer Spule in Abhängigkeit von der Frequenz und bestimmen Sie die Phasenverschiebung.
- 1.2. Stellen Sie den zeitlichen Verlauf der elektrischen Leistung an der RL-Schaltung für zwei verschiedene Frequenzen dar.
- 1.3. Ermitteln Sie das Verhältnis von Wirk- und Scheinleistung für zwei verschiedene Frequenzen und bestimmen Sie daraus die jeweilige Phasenverschiebung.

2. Vorüberlegungen

Das zeitliche Verhalten der Stromstärke entspricht dem der Spannung an dem zur Spule in Reihe geschalteten ohmschen Widerstand. Begründen Sie.

Die momentane Leistung ergibt sich aus dem Produkt der Momentanwerte der an der Schaltung anliegenden Spannung und der Stärke des elektrischen Stromes.

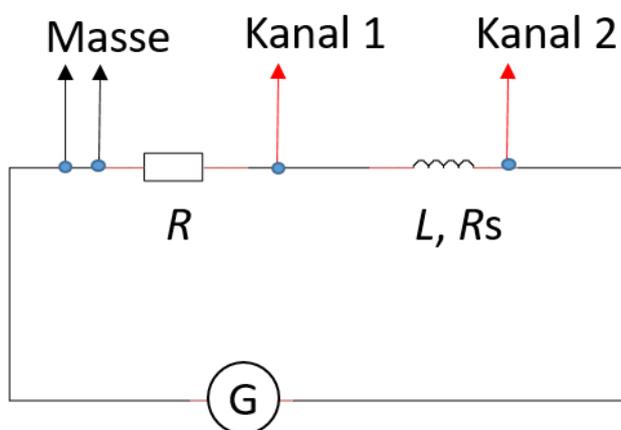
Die Scheinleistung ist gleich dem Produkt aus den Effektivwerten der an der RL-Schaltung anliegenden Spannung und der Stromstärke.

Die mittlere Wirkleistung für eine Periode ergibt sich aus der in dieser Zeit an der Schaltung verrichteten elektrischen Arbeit.

Die elektrische Arbeit ermittelt man durch numerische Integration des zeitlichen Verlaufes der elektrischen Leistung an der Schaltung.

3. Durchführung

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan auf. Schließen Sie die Spannungssensoren an die Kanäle 1 und 2 des CLAB an, wie es im Schaltplan eingeschaltet ist.



$R=100 \Omega$, $L=4,43 \text{ mH}$, $R_s=3,9 \Omega$, $u(t)<10 \text{ V}$, f ca. 140Hz, 1400Hz, 2700Hz

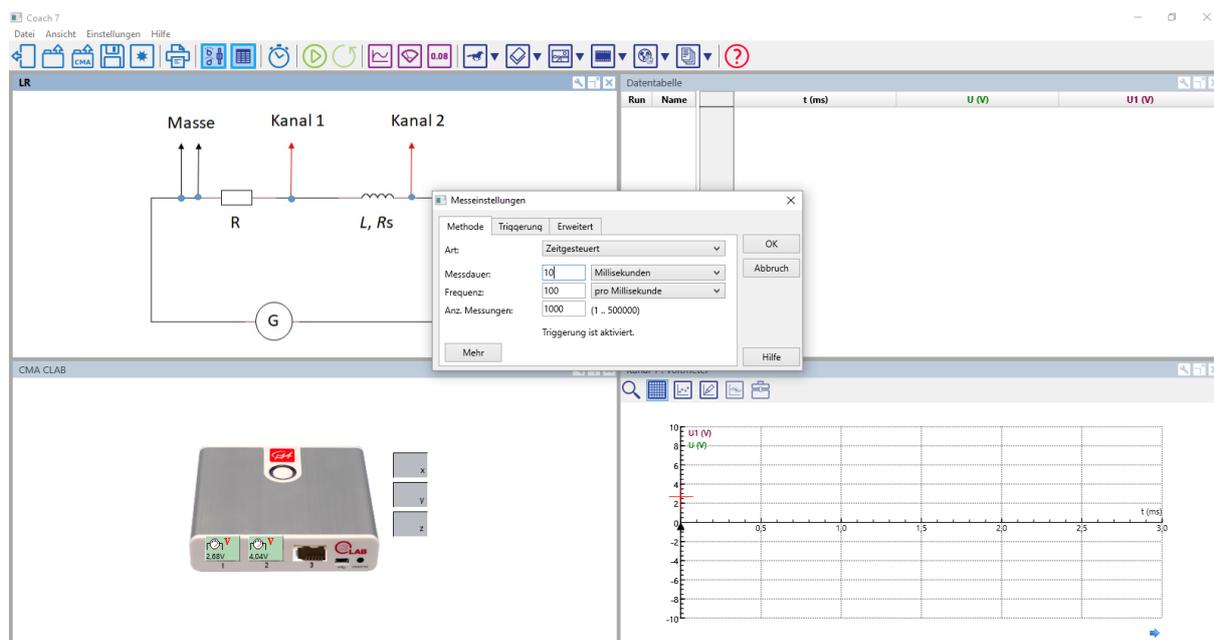
Die angegebenen Werte sind Beispiele.

- 3.1 Ermitteln Sie die benötigte Messzeit für das vollständige Erfassen einer Periode der Wechselspannung und legen Sie eine geeignete Messrate (Abtastrate) fest. Stellen Sie die Werte im Messprogramm Coach 7 ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.2 Stellen Sie den Trigger für Kanal 1 für den aufsteigenden Nulldurchgang des Signals ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.3 Richten Sie im Messprogramm die Ausgabe der Messwerte als Diagramm und als Tabelle ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.4 Starten Sie den Messvorgang im Programm. Die Aufnahme der Messwerte beginnt mit dem Erreichen des Triggerwertes.
- 3.5 Exportieren Sie die Daten für die weitere Bearbeitung mit dem ClassPad-Manager.

4. Hinweise zur Durchführung der Messung

Hinweise zu 3.1.

Für eine angelegte Wechselspannung von ca. 140 Hz ist es möglich, bei einer Messzeit von 10 ms etwas mehr als eine Periode zu erfassen. Für die Frequenzen von ca. 1400Hz und 2700Hz empfiehlt es sich die Messzeit auf 2 ms zu verkürzen.



Hinweise zu 3.2.

Der Trigger wird so eingestellt, dass die Messung mit dem aufsteigenden Nulldurchgang der Stromstärke gestartet wird. Das geschieht, wenn die Spannung am Kanal 1 (Spannung am ohmschen Widerstand) einen aufsteigenden Nulldurchgang hat (Kurve U1).

The screenshot shows the Coach 7 interface. At the top left, the title bar reads "Coach 7" and the menu bar includes "Datei", "Ansicht", "Einstellungen", and "Hilfe". The main window is divided into several panes:

- LR (Circuit Diagram):** Shows a circuit with a resistor R and an inductor L, R_s connected in series. A voltmeter G is connected across the inductor. The circuit is connected to a power source. Labels "Masse", "Kanal 1", and "Kanal 2" indicate measurement points.
- Messeinstellungen (Measurement Settings):** A dialog box is open, showing settings for "Kanal 1: Voltmeter". The "Triggerring aktivieren" checkbox is checked. The "Triggerschwellen" (trigger level) is set to 0 V, and the "Richtung" (direction) is set to "aufwärts" (upwards). The "Vortriggerzeit" (pre-trigger time) is set to 0 milliseconds.
- Datentabelle (Data Table):** A table with columns for "Run", "Name", "t (s)", "U (V)", and "U1 (V)".
- CMA CLAB (Hardware):** Shows a photograph of the CMA CLAB interface box with its ports labeled X, Y, and Z.
- Graph:** A blank coordinate system with a vertical axis labeled "U (V)" ranging from -10 to 10 and a horizontal axis labeled "t (s)" ranging from 0 to 10.

Hinweise zu 3.5.

Für die Auswertung mit der Tabellenkalkulation des ClassPad-Managers wird die Messwerttabelle als CSV-Datei exportiert. Diese Datei wird in das Verzeichnis des ClassPad-Managers kopiert.

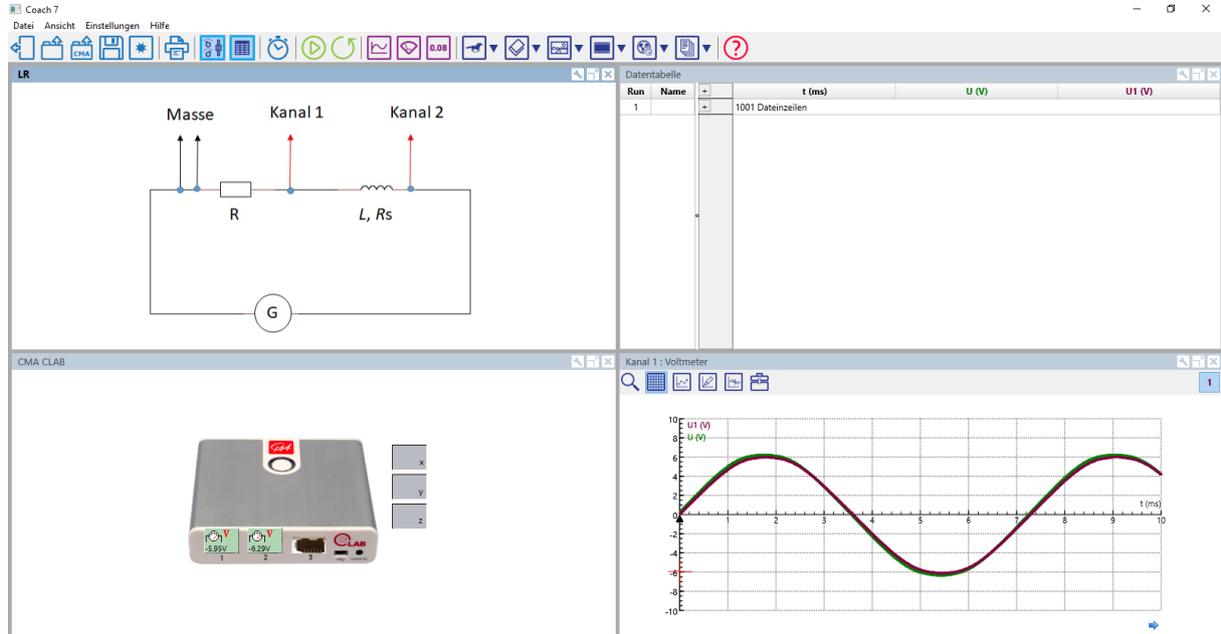
This screenshot shows the Coach 7 interface after the experiment has been completed. The layout is similar to the previous screenshot, but with the following changes:

- Datentabelle (Data Table):** The table is now populated with data. A context menu is open over the table, showing options like "Variable zeigen", "Neue Variable hinzufügen", "Datenreihen", "Messungen", "Text zoomen", "Fenster herauslösen", "Drucken", "In die Zwischenablage kopieren", and "Hilfe".
- Graph:** The graph now displays a sine wave. The vertical axis is labeled "U (V)" and "U1 (V)", and the horizontal axis is labeled "t (ms)".
- CMA CLAB (Hardware):** The hardware interface is shown with the text "Inaktives Interface" (Inactive Interface).

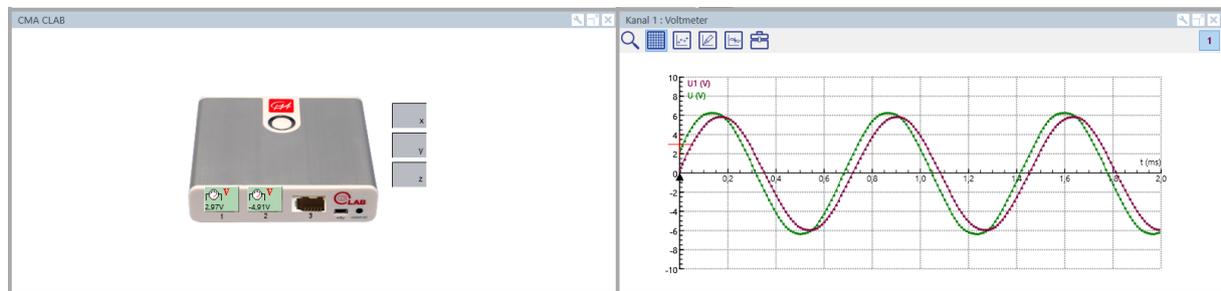
5. Hinweise zur Auswertung

Hinweise zur Aufgabe 1.1.

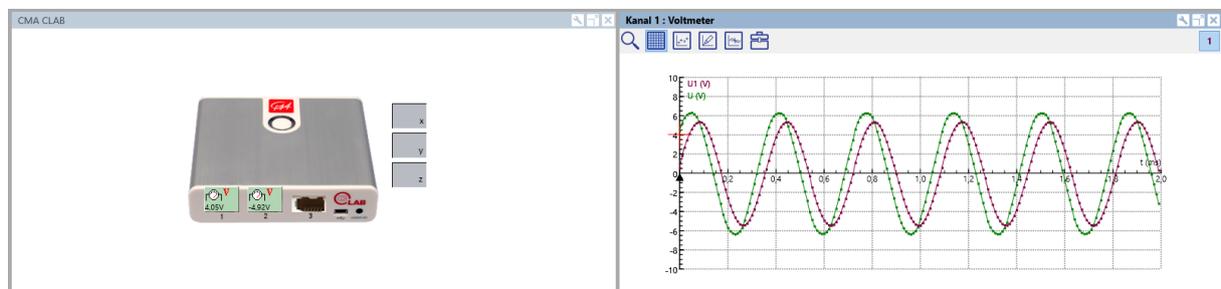
Die Zeitverläufe der Gesamtspannung und der am ohmschen Widerstand anliegenden Spannung werden für eine Wechselspannung mit der Frequenz von 137 Hz,



für eine Wechselspannung mit einer Frequenz von 1381 Hz und

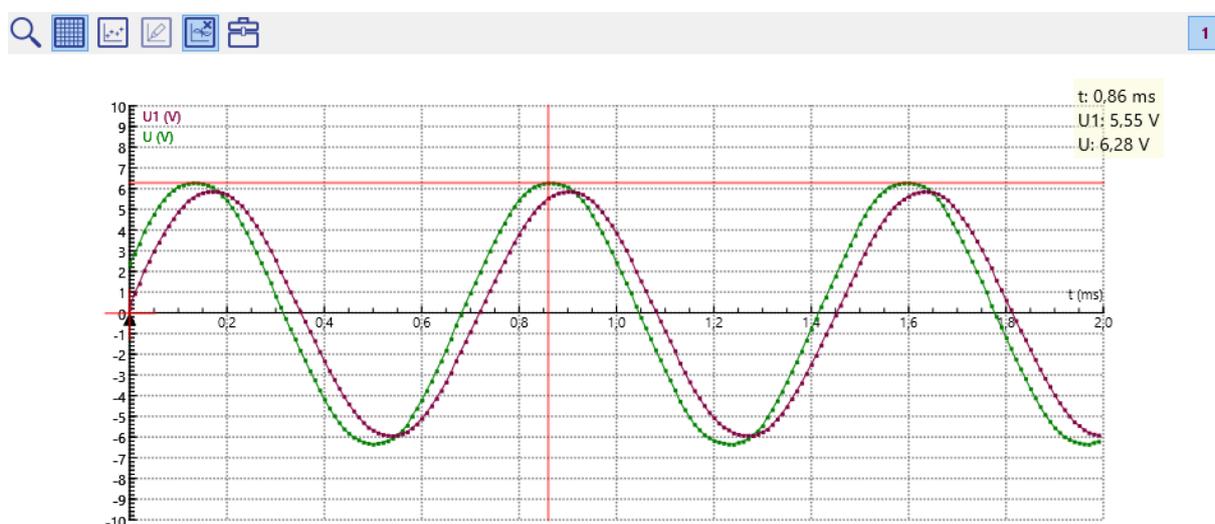
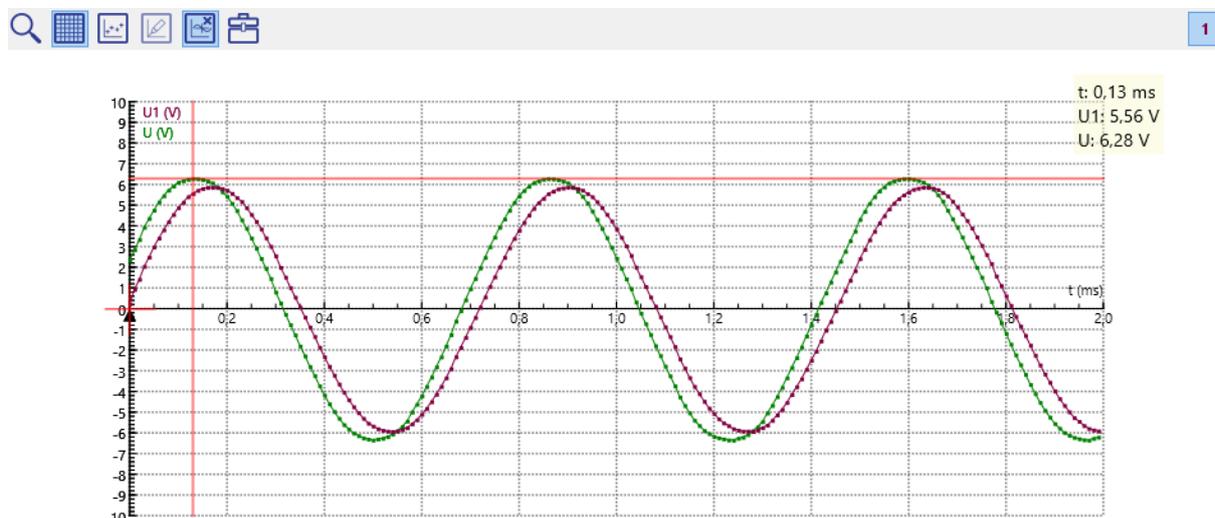


für eine Wechselspannung mit einer Frequenz von 2750 Hz dargestellt.



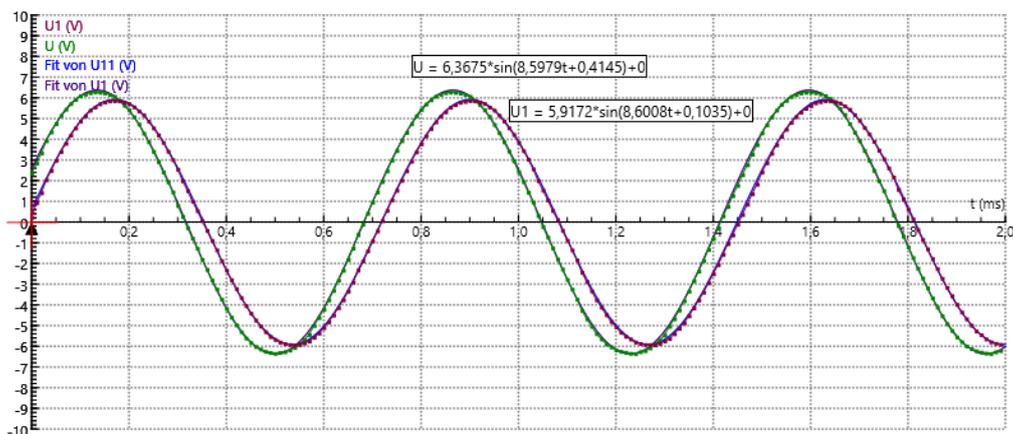
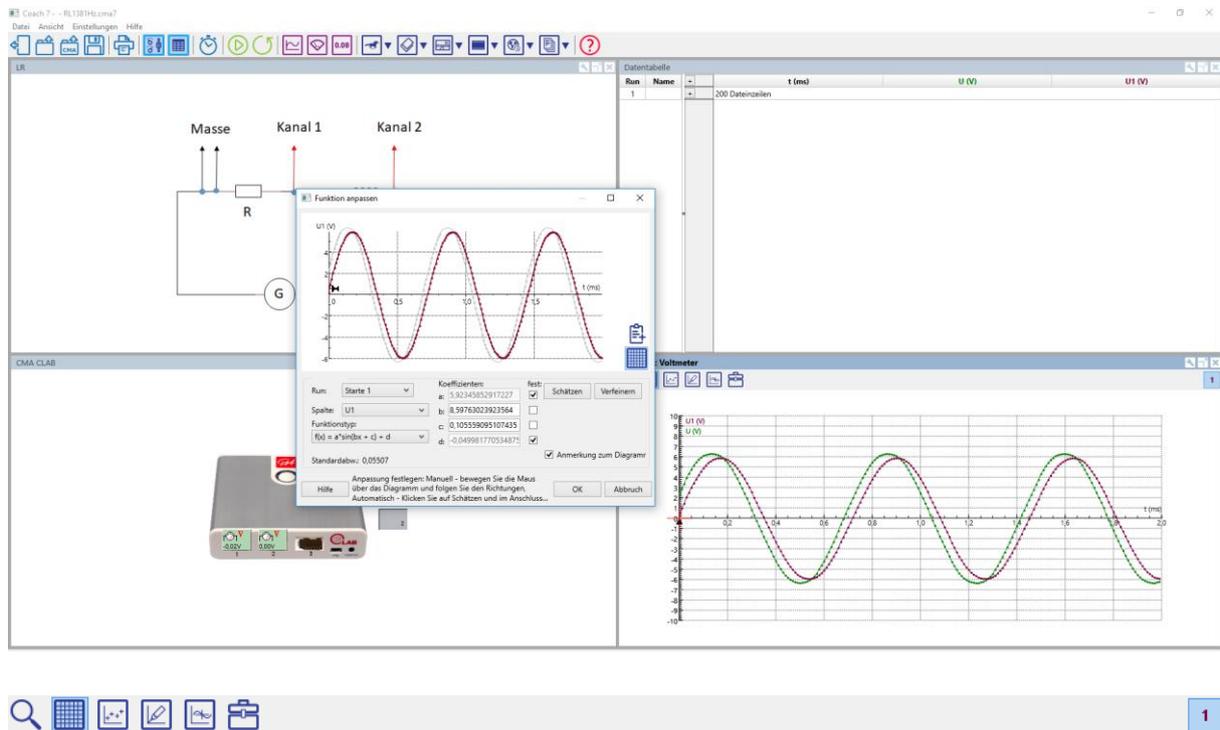
Für die weitere Bearbeitung der Aufgabe werden exemplarisch für die Messung der Wechselspannung mit der Frequenz von 1381 Hz zwei Wege gezeigt.

Variante 1: Die Phasenverschiebungen und die Amplituden werden mit dem Werkzeug **Analysieren** bestimmt.



Aus den Abbildungen entnimmt man, dass die Maximalwerte der Kurve U und der Kurve U1 mit einer Zeitverschiebung von 0,04 ms erreicht werden. An der Kurve U wurde eine Periodendauer von 0,73 ms ermittelt, was 360° im Winkelmaß entspricht. Über eine einfache Verhältnisgleichung erhält man eine Phasenverschiebung von $19,7^\circ$ mit der die Spannung dem Strom vorausläuft.

Variante 2: Die Phasenverschiebungen und die Amplituden werden durch Verwenden des Analyse/Verarbeitungs-Werkzeuges *Anpassen der Funktionen* ermittelt.

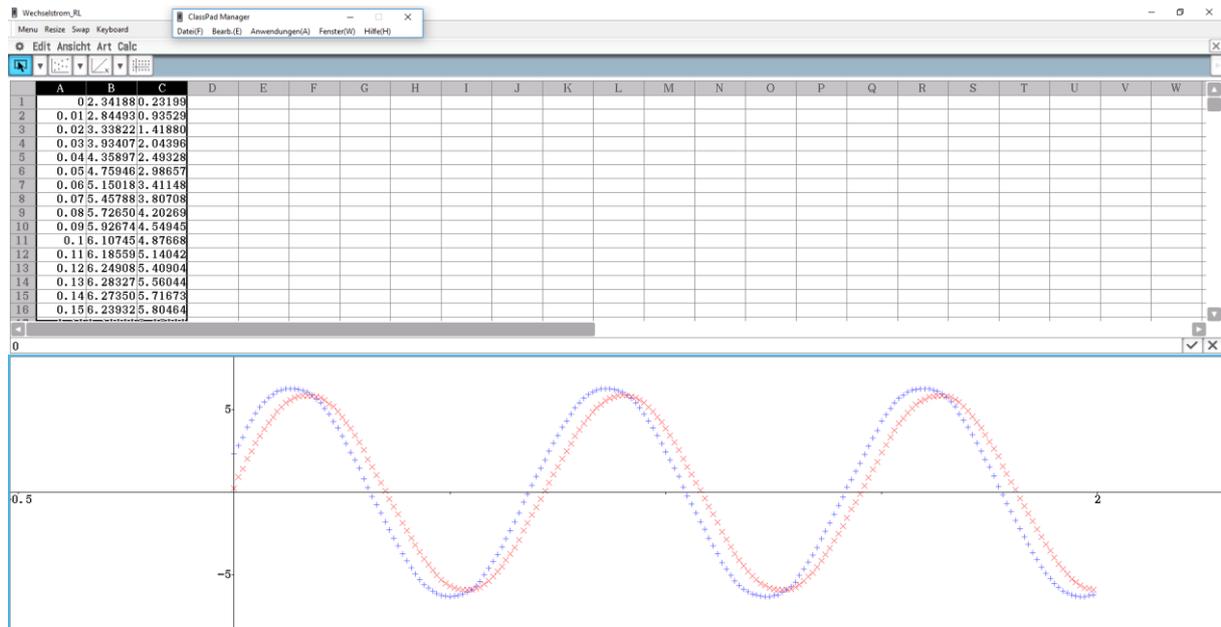


Aus den Phasenwinkeln der beiden Sinusfunktionen kann man entnehmen, dass eine Phasenverschiebung von 0,3110 vorliegt. Über eine einfache Verhältnisgleichung lässt sich diese ins Gradmaß umrechnen und man erhält eine Phasenverschiebung von $17,8^\circ$, mit der die Gesamtspannung an der RL-Schaltung der Stromstärke voraussieht.

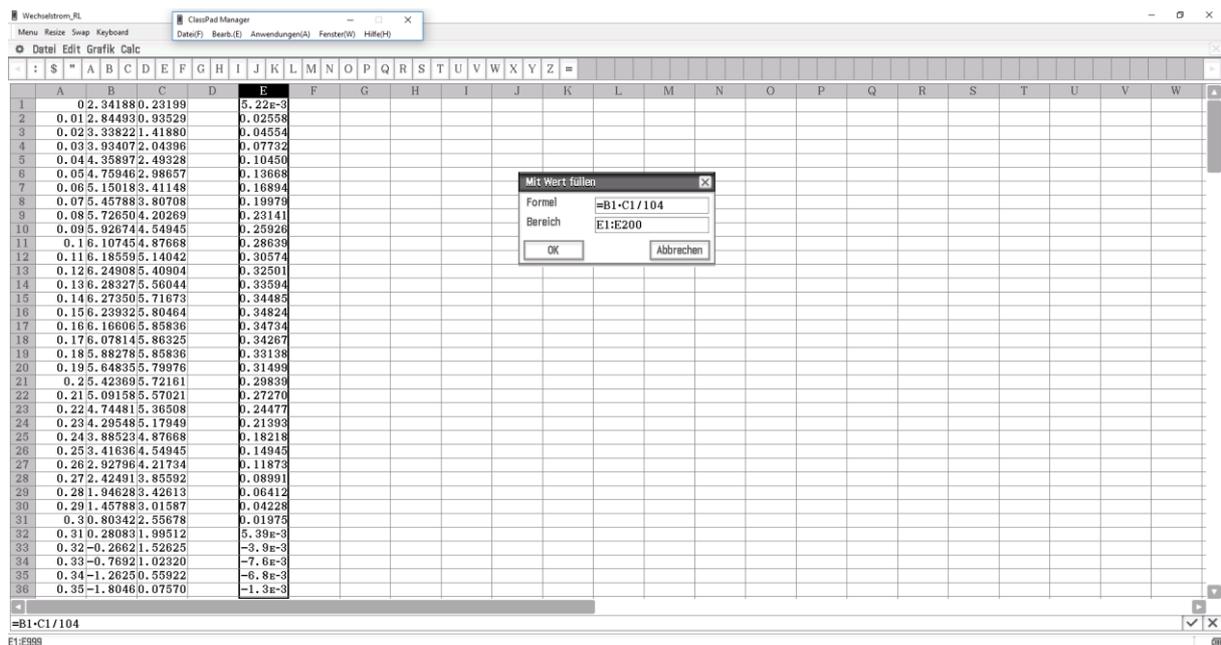
Die Differenz der Phasenverschiebungen, die mit den Varianten 1 und 2 ermittelt wurden, beträgt 1° . Es bietet sich daher an, über die Genauigkeit der beiden Auswertemethoden nachzudenken.

Hinweise zur Aufgabe 1.2.

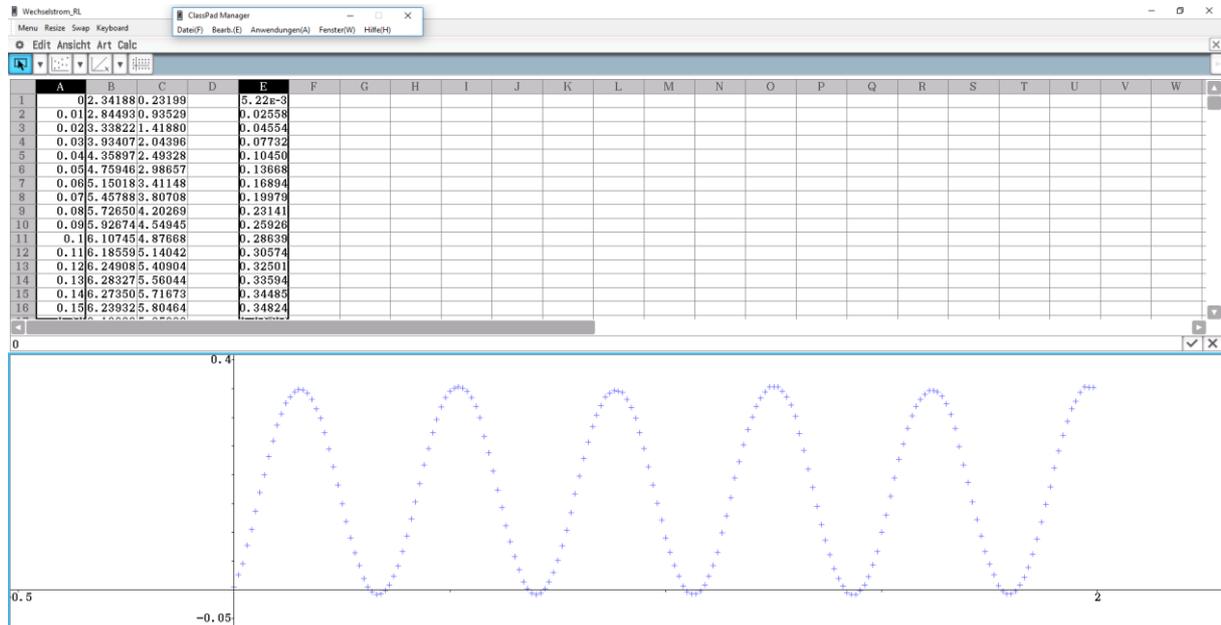
Die weitere Auswertung erfolgt exemplarisch am oben bearbeiteten Beispiel mit der Tabellenkalkulation des ClassPad-Managers. Das im Verzeichnis des ClassPad-Managers abgelegte CSV-File wird geöffnet. Die Messwerttabelle wird durch die Spalten A (Zeit in ms), B (Gesamtspannung in V) und C (Spannung am ohmschen Widerstand in V) gegeben. Die zugehörige graphische Darstellung erhält man durch Markieren der drei Spalten und Ausführen von **Grafik/Scatter**.



In der Spalte E wird die elektrische Leistung berechnet. Dazu muss das Produkt der Spannungswerte aus den Spalten B und C durch den Wert des ohmschen Gesamtwiderstands der Schaltung von ca. 104 Ω dividiert werden.

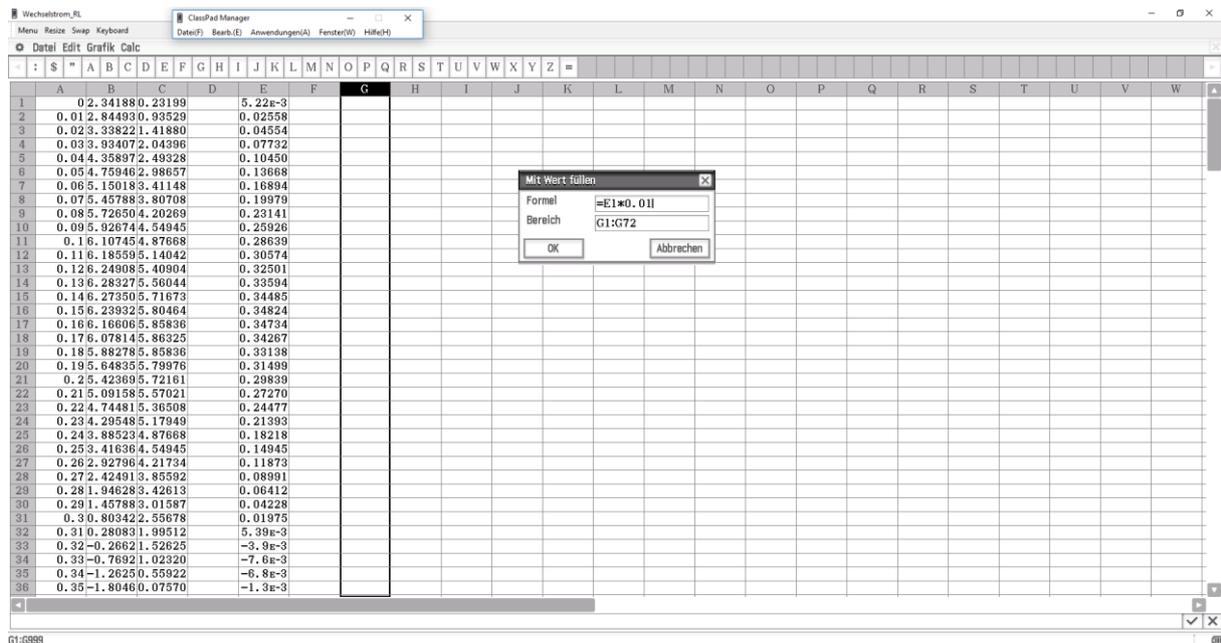


Die graphische Darstellung der Werte aus der Spalte E über denen der Spalte A zeigt den zeitlichen Verlauf der elektrischen Leistung an der RL-Schaltung.



Hinweise zur Aufgabe 1.3.

Die an der RL-Schaltung verrichtete elektrische Arbeit entspricht der Fläche unter der Leistungskurve. Sie wird numerisch ermittelt. Dazu werden in die Leistungswerte aus Spalte E mit dem Zeitschritt multipliziert. Diese Berechnung erfolgt in Spalte G. Anschließend werden die Werte der Spalte aufsummiert. Das Resultat wird in Zelle I1 angezeigt. Das Ende der ersten Periode ist bei Zeile 72 zu finden.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1		0.2.34188	0.23199		5.22e-3		5.22e-5		0.12611														
2		0.012.84493	0.93529		0.02558		2.56e-4																
3		0.023.33822	1.41880		0.04554		4.55e-4																
4		0.033.93407	2.04396		0.07732		7.73e-4																
5		0.044.35897	2.49328		0.10450		1.05e-3																
6		0.054.75946	2.98657		0.13668		1.37e-3																
7		0.065.15019	3.41148		0.16894		1.69e-3																
8		0.075.45788	3.80708		0.19979		2.00e-3																
9		0.085.72650	4.20269		0.23141		2.31e-3																
10		0.095.92674	4.54945		0.25926		2.59e-3																
11		0.116.18559	5.14042		0.30574		3.06e-3																
12		0.126.24908	5.40904		0.32501		3.25e-3																
13		0.136.28327	5.56044		0.33594		3.36e-3																
14		0.146.27350	5.71673		0.34485		3.45e-3																
15		0.156.23932	5.80464		0.34824		3.48e-3																
16		0.166.16606	5.85836		0.34734		3.47e-3																
17		0.176.07814	5.86325		0.34267		3.43e-3																
18		0.185.88278	5.85836		0.33198		3.31e-3																
19		0.195.64835	5.79976		0.31499		3.15e-3																
20		0.215.42389	5.72181		0.29839		2.98e-3																
21		0.215.09158	5.57021		0.27270		2.73e-3																
22		0.224.74481	5.36508		0.24477		2.45e-3																
23		0.234.29548	5.17949		0.21393		2.14e-3																
24		0.243.88523	4.87688		0.18218		1.82e-3																
25		0.253.41636	4.54945		0.14945		1.49e-3																
26		0.262.92796	4.21734		0.11873		1.19e-3																
27		0.272.42491	3.85592		0.08991		8.99e-4																
28		0.281.94629	3.42613		0.06412		6.41e-4																
29		0.291.45788	3.01587		0.04228		4.23e-4																
30		0.30.80342	2.55678		0.01975		1.98e-4																
31		0.310.28083	1.99512		5.39e-3		5.39e-5																
32		0.32-0.26621	1.52625		-3.9e-3		-3.9e-5																
33		0.33-0.76921	1.02320		-7.6e-3		-7.6e-5																
34		0.34-1.26250	0.55922		-6.8e-3		-6.8e-5																
35		0.35-1.80460	0.07570		-1.3e-3		-1.3e-5																
36																							

Die an der RL-Schaltung verrichtete elektrische Arbeit beträgt 0,1261 mWs. Mit der oben bestimmten Periodendauer von 0,73 ms ergibt sich eine mittlere Wirkleistung von 0,1751 W.

Die Scheinleistung berechnet man aus dem Produkt der Effektivwerte der Spannung an der RL-Schaltung und der Stromstärke. Diese Werte erhält man aus den bereits ermittelten Maximalwerten der Spannungen. Die Scheinleistung beträgt 0,1836 W.

Das Verhältnis von Wirk- zu Scheinleistung entspricht dem Kosinus der Phasenverschiebung. Es ergibt sich eine Phasenverschiebung von 17,4°. Dieser Wert zeigt eine gute Übereinstimmung mit dem aus der Anpassung der Funktionen gewonnenen Wert (siehe oben).

Experimente mit Halbleiterdioden

Versuchskomplex – Siliziumdioden

Die Lernenden untersuchen das Verhalten von Halbleiterdioden auf Siliziumbasis. Sie vertiefen dabei ihre Kenntnisse über nichtlineare Widerstände und die Vorgänge am pn-Übergang. Sie untersuchen weiterhin das Gleichrichterverhalten der Diode.

Es werden dafür folgende Versuche vorgeschlagen:

- **$I(U)$ -Kennlinie einer Halbleiterdiode**

Die Auswertung dieses Versuches wird mit Coach 7 und dem ClassPad-Manager durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler verwenden dabei die manuelle Erfassung von Messwerten mit Coach 7. Sie ermitteln die Schleienspannung der Diode und untersuchen die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes der Diode von der an ihr anliegenden Spannung.

- **Gleichrichtung mit einer Halbleiterdiode**

Die Auswertung dieses Versuches wird mit Coach 7 und dem ClassPad-Manager durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen die Gleichrichtung von harmonischen Wechselspannungen an einer Halbleiterdiode in Abhängigkeit von der Amplitude der Wechselspannung. Sie untersuchen weiterhin das zeitliche Verhalten der Spannungen an der Diode und am in Reihe geschalteten Widerstand.

Beide Versuche lassen sich gut kombinieren.

$I(U)$ -Kennlinie einer Halbleiterdiode

1. Aufgabenstellungen

- 1.1. Untersuchen Sie die Abhängigkeit der Stromstärke des elektrischen Stromes durch eine Halbleiterdiode von der Spannung an der Diode.
- 1.2. Ermitteln Sie die Schleusenspannung der Diode.
- 1.3. Untersuchen Sie die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes der Diode von der an ihr anliegenden Spannung.
- 1.4. Ermitteln Sie die Größenordnung des elektrischen Widerstandes der Diode, wenn die anliegende Spannung null ist.

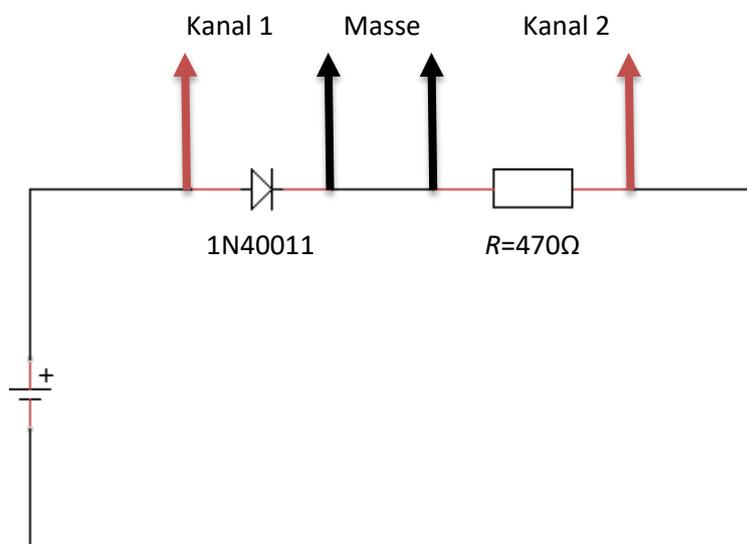
2. Vorüberlegungen

In einer Halbleiterdiode steigt die Stromstärke nichtlinear mit zunehmender Spannung an. Begründen Sie.

Der Spannungswert, bei dem der elektrische Widerstand der Diode vom hochohmigen Bereich in den niederohmigen Bereich wechselt, heißt Schleusenspannung. Bei typischen Siliziumdioden liegt diese im Intervall von 0,5 V bis 0,8 V.

3. Durchführung

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan auf. Schließen Sie die Spannungssensoren an das CLAB an, wie es im Schaltplan eingezeichnet ist.



Die angegebenen Werte sind Beispiele. Wählen Sie den Schutzwiderstand R so, dass die maximal zulässige Stromstärke für die Diode nicht überschritten wird.

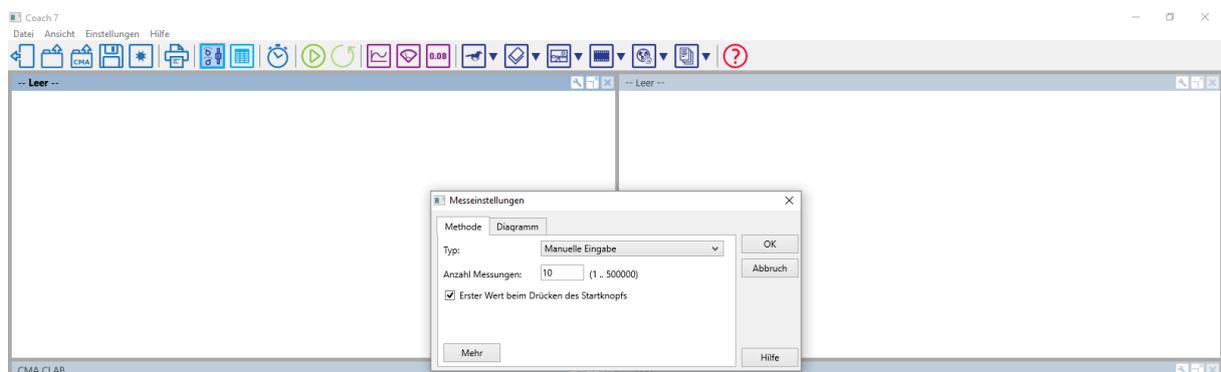
- 3.1. Nehmen Sie manuell ca. 20 geeignete Messwertepaare im Bereich von 0 bis ca. 1 V auf. Stellen Sie diese Methode des Messens im Messprogramm Coach 7 ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.

- 3.2. Richten Sie im Messprogramm die Ausgabe der Messwerte als **Wert** und als Tabelle ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.3. Starten Sie den Messvorgang im Programm. Die Aufnahme der Messwerte erfolgt über die Aufnahmetaste.
- 3.4. Exportieren Sie die Messwerte für die weitere Bearbeitung mit dem ClassPad-Manager.

4. Hinweise zur Durchführung der Messung

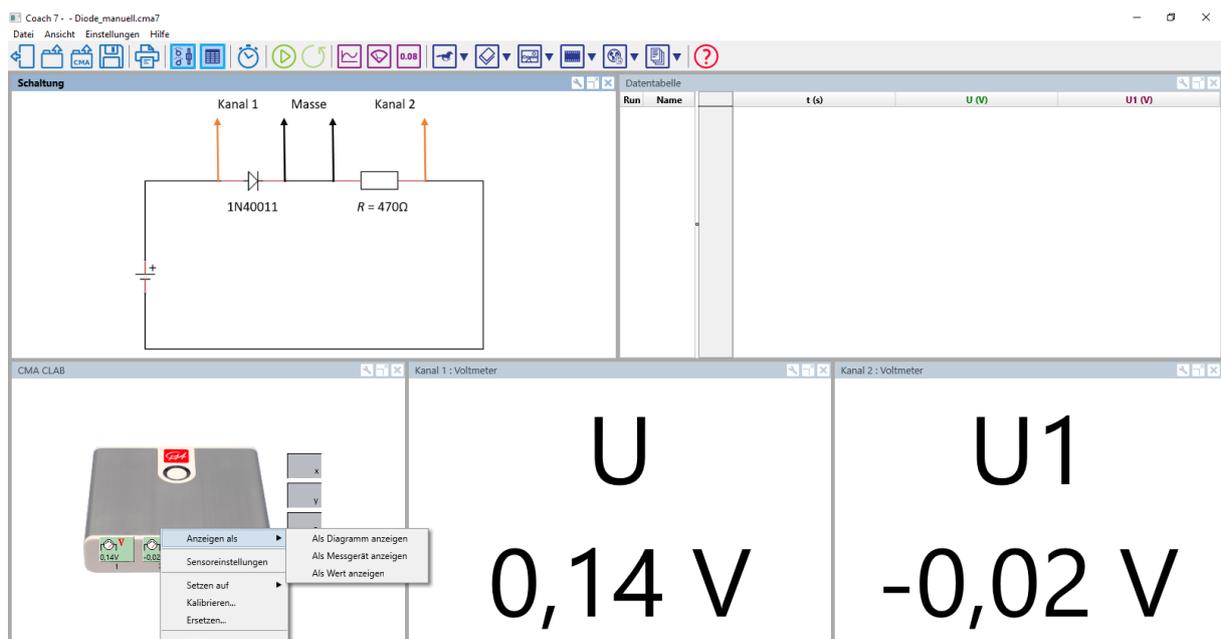
Hinweise zu 3.1.

Im Menü **Messeinstellungen** wird als Messmethode **Manuelle Eingabe** eingestellt. Die Messwerte werden durch Betätigen der grünen Starttaste erfasst.



Hinweise zu 3.2.

Mit der Maus lassen sich die rechten bzw. linken Begrenzungen der Fenster verschieben, wodurch sich weitere Fenster ergeben, in welchen die an den Kanälen 1 und 2 anliegenden Spannungswerte als **Wert** angezeigt werden können.



Die Spannung U_1 am ohmschen Widerstand (Kanal 2) wird mit umgekehrten Vorzeichen gemessen, da die Kanäle des CLAB nicht masseunabhängig sind und daher beide Massen verbunden werden müssen. Diese Spannung ist ein Maß für die Stromstärke durch die Diode.

Hinweise zu 3.3.

Es werden 20 Messwertpaare erfasst. Die Zahl der Messwertpaare wird bei den **Messeinstellungen** festgelegt.

The screenshot shows the Coach 7 software interface. At the top left, there is a circuit diagram titled 'Schaltung' showing a 1N40011 diode and a resistor $R = 470\Omega$ connected to a power source. The diode is connected to 'Kanal 1' and the resistor to 'Kanal 2'. The ground is labeled 'Masse'. To the right of the diagram is a 'Datentabelle' (data table) with columns for 'Run', 'Name', 't (s)', 'U (V)', and 'U1 (V)'. The table contains 20 rows of data. Below the diagram and table, there are three panels: 'CMA CLAB' showing a physical device, 'Kanal 1 : Voltmeter' showing a large 'U' and '0,13 V', and 'Kanal 2 : Voltmeter' showing a large 'U1' and '0,03 V'.

Run	Name	t (s)	U (V)	U1 (V)
1		0,00	0,13	-0,03
		34,05	0,28	-0,03
		42,64	0,46	-0,10
		50,47	0,52	-0,28
		54,38	0,55	-0,44
		57,47	0,56	-0,61
		62,66	0,57	-0,72
		67,95	0,59	-1,02
		70,92	0,61	-1,31
		74,52	0,61	-1,40
		77,39	0,62	-1,56
		105,47	0,64	-2,51
		110,16	0,64	-2,86
		115,47	0,65	-3,31
		123,92	0,66	-4,18
		128,72	0,67	-4,66

Wenn alle 20 Messwertpaare erfasst sind, können weitere Messungen in der Tabelle in einem zweiten Durchlauf aufgenommen werden.

Am Ende aller Messungen muss die manuelle Messwernerfassung durch Betätigen der roten Stoppaste beendet werden.

Hinweise zu 3.4.

Die Messwerte in der Tabelle werden als CSV-Datei exportiert und in das Verzeichnis des ClassPad-Managers kopiert.

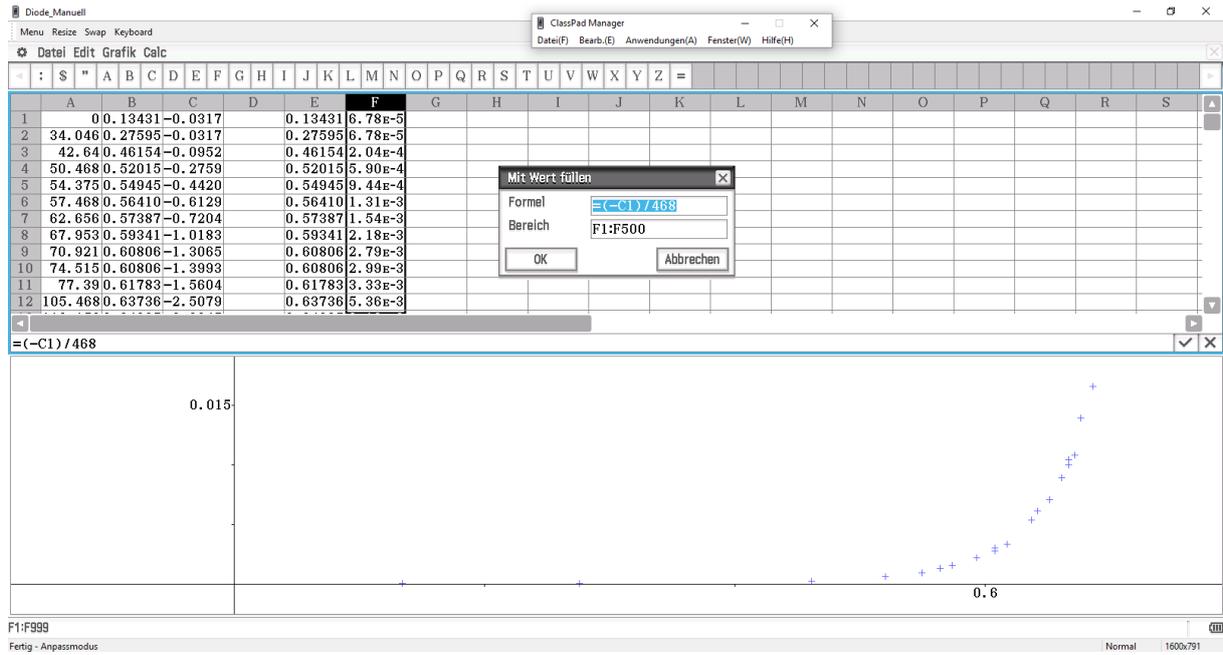
5. Hinweise zur Auswertung

Hinweise zu den Aufgaben 1.1. und 1.2.

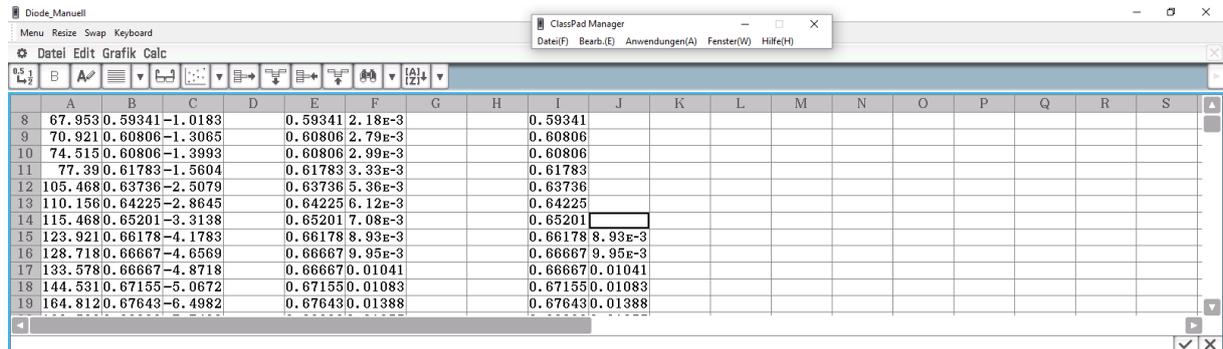
Mit der Tabellenkalkulation wird das im Verzeichnis des ClassPad-Managers abgelegte CSV-File geöffnet. Die Messwerttabelle wird durch die Spalten A, B und C gegeben.

Die Zeitwerte in der Spalte A spielen keine Rolle. In der Spalte B ist die an der Diode anliegende Spannung in V erfasst und in Spalte C ist die am ohmschen Widerstand (468Ω) anliegende Spannung in V eingetragen, die noch invertiert werden muss. Die Berechnung der Stromstärke erfolgt in Spalte F. Die Werte der Spalte B werden in Spalte E kopiert. Aus den Werten in den Spalten E, F lässt sich die $I(U)$ -Kennlinie darstellen.

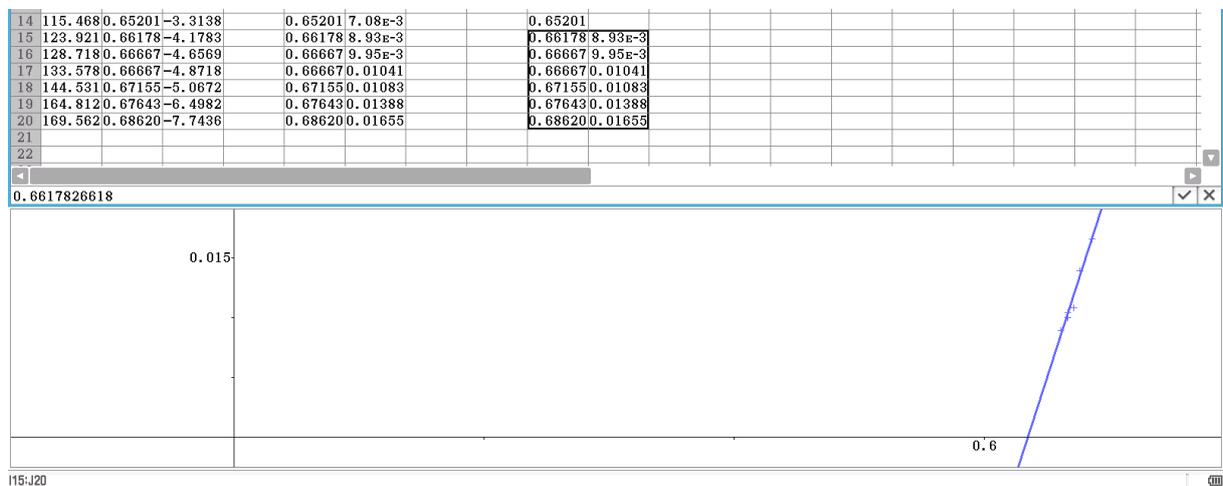
Kapitel 6 – Experimente mit Halbleiterdioden



Die Schleienspannung ermittelt man durch lineare Regression im näherungsweise linearen Teil der Kennlinie. Dafür werden die Werte der Spalten E und F in die Spalten I und J kopiert. In Spalte J werden alle Werte des nichtlinearen Teils der Kurve entfernt.



Die lineare Regression wird mit den verbliebenen Wertepaaren ausgeführt.



Lineare Regression

$y = a \cdot x + b$

$a = 0.3238515$

$b = -0.205725$

$r = 0.9831714$

$r^2 = 0.966626$

$MSe = 3.455E-7$

Mit den Parametern der linearen Funktion ($a=0,3238515$, $b=-0,205725$), lässt sich die Schleusenspannung aus der Nullstelle der Funktion ermitteln.

solve(0=0.3238515x-0.205725, x)

{x=0.6352448576}

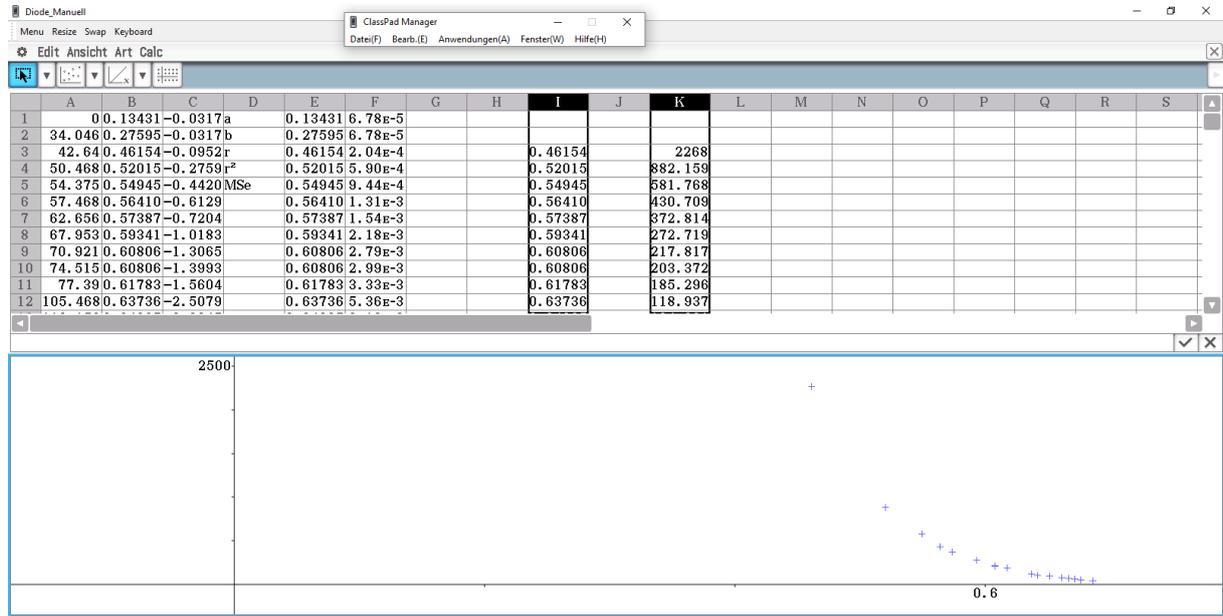
Die Schleusenspannung beträgt 0,635 V.

Hinweise zu den Aufgaben 1.3. und 1.4.

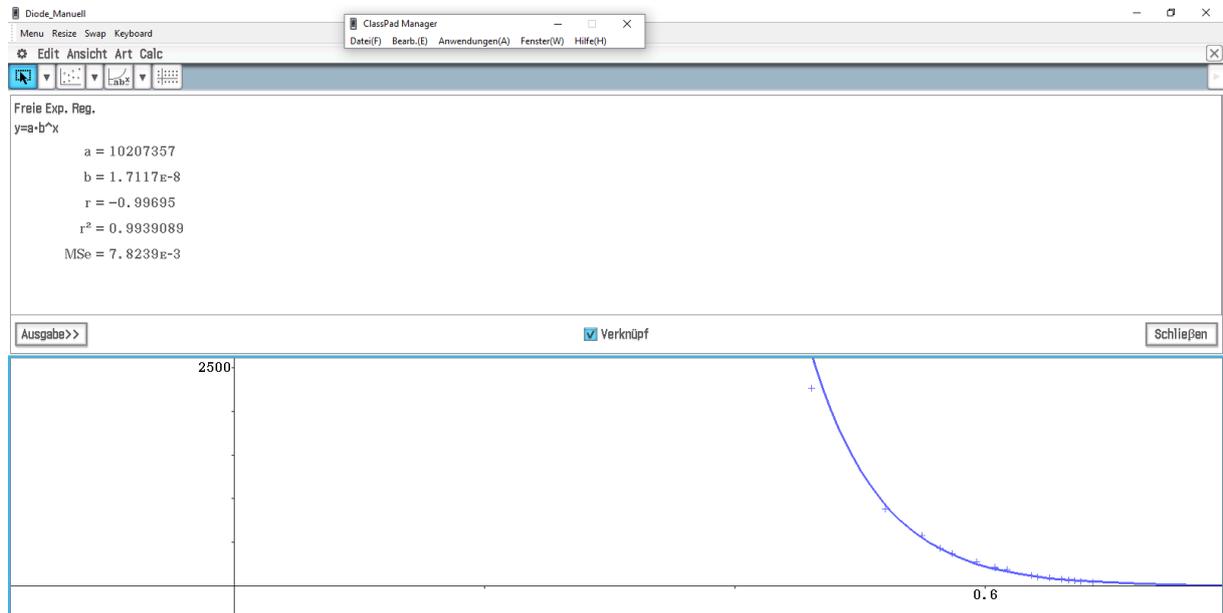
Der elektrische Widerstand der Diode wird in Spalte K berechnet. In Spalte I sind die Werte der an der Diode anliegenden Spannung hinein kopiert. Die $R(U)$ -Kennlinie der Diode lässt mit den Werten aus den Spalten I und K darstellen.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	0	0.13431	-0.0317	a	0.13431	6.78E-5			0.13431		1980								
2	34.046	0.27595	-0.0317	b	0.27595	6.78E-5			0.27595		4068								
3	42.64	0.46154	-0.0952	r	0.46154	2.04E-4			0.46154		2268								
4	50.468	0.52015	-0.2759	r ²	0.52015	5.90E-4			0.52015		882.159								
5	54.375	0.54945	-0.4420	MSe	0.54945	9.44E-4			0.54945		581.768								
6	57.468	0.56410	-0.6129		0.56410	1.31E-3			0.56410		430.709								
7	62.656	0.57387	-0.7204		0.57387	1.54E-3			0.57387		372.814								
8	67.953	0.59341	-1.0183		0.59341	2.18E-3			0.59341		272.719								
9	70.921	0.60806	-1.3065		0.60806	2.79E-3			0.60806		217.817								
10	74.515	0.60806	-1.3993		0.60806	2.99E-3			0.60806		203.372								
11	77.39	0.61783	-1.5604		0.61783	3.33E-3			0.61783		185.296								
12	105.468	0.63736	-2.5079		0.63736	5.36E-3			0.63736		118.937								
13	110.156	0.64225	-2.8645		0.64225	6.12E-3			0.64225		104.931								
14	115.468	0.65201	-3.3138		0.65201	7.08E-3			0.65201		92.0825								
15	123.921	0.66178	-4.1783		0.66178	8.93E-3			0.66178		74.1251								
16	128.718	0.66667	-4.6569		0.66667	9.95E-3			0.66667		66.9974								
17	133.578	0.66667	-4.8718		0.66667	0.01041			0.66667		64.0421								
18	144.531	0.67155	-5.0672		0.67155	0.01083			0.67155		62.0241								
19	164.812	0.67643	-6.4982		0.67643	0.01388			0.67643		48.7170								
20	169.562	0.68620	-7.7436		0.68620	0.01655			0.68620		41.4721								

Die ersten beiden Werte in Spalte F liegen in der Größenordnung 10^{-5} und sind folglich sehr unsicher. Diese beiden Messwerte werden daher für die weiteren Berechnungen nicht verwendet. Die darauf basierenden Ergebnisse werden entfernt.



Das Widerstandsverhalten der Diode in Abhängigkeit von der anliegenden Spannung kann mit einer freien exponentiellen Regression näherungsweise beschrieben werden, da die Diode bei der Spannung null einen großen, endlichen Widerstand hat.



Der Widerstand der spannungslosen Diode lässt sich mit einem Wert von ca. 10 MΩ abschätzen.

Gleichrichtung mit einer Halbleiterdiode

1. Aufgabenstellungen

- 1.1. Stellen Sie die angelegte Wechselspannung und die am zur Diode in Reihe geschalteten Widerstand anliegende Spannung in einem $u(t)$ -Diagramm bei Wechselspannungsamplituden von ca. 5 V und ca. 1 V dar. Diskutieren Sie den Verlauf der Graphen.
- 1.2. Stellen Sie die gleichgerichteten Spannungen am Widerstand und an der Diode in einem $u(t)$ -Diagramm dar. Diskutieren Sie den Verlauf der Graphen.

2. Vorüberlegungen

Ein Wechselstromquelle ändert ständig ihre Polarität. Bei einer Halbleiterdiode gibt es bezüglich des Stromflusses eine Durchlass- und eine Sperrrichtung. Begründen Sie.

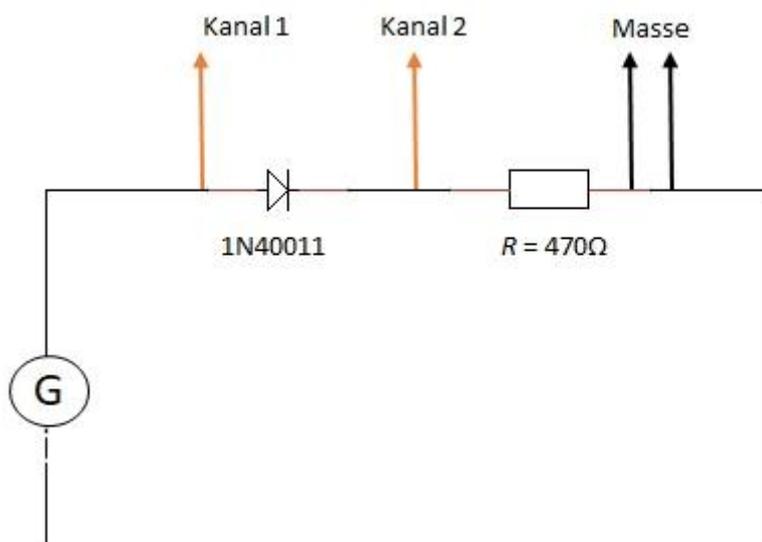
In einer Halbleiterdiode wächst die Stromstärke nicht linear mit der Spannung an. Der Spannungswert, bei dem der Widerstand der Diode vom hochohmigen Bereich in den niederohmigen Bereich wechselt, heißt Schleusenspannung. Bei typischen Siliziumdioden liegt diese im Intervall von 0,5 V bis 0,8 V.

Mit dem Erreichen der Schleusenspannung fließt ein merklicher Strom durch die Diode und am ohmschen Widerstand fällt eine Spannung ab.

3. Durchführung

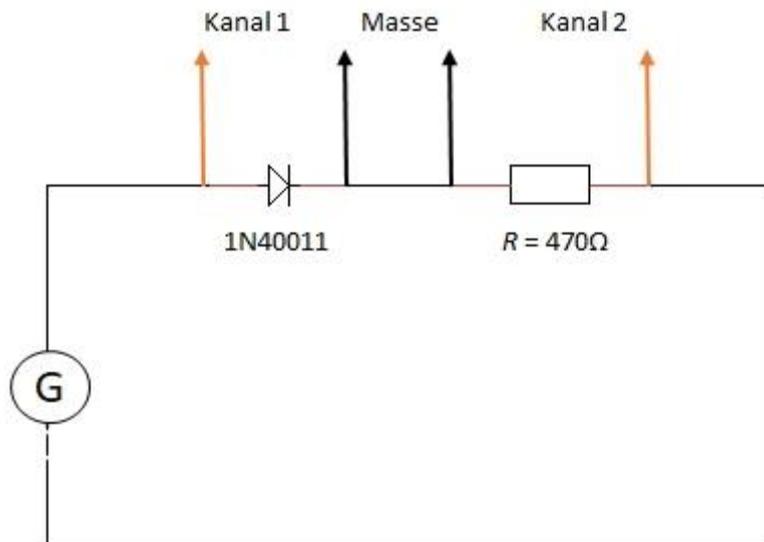
Experiment zur Aufgabe 1.1.

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan auf. Schließen Sie die Spannungssensoren an das CLAB an, wie es im Schaltplan eingezeichnet ist.



Experiment zur Aufgabe 1.2.

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan auf. Schließen Sie die Spannungssensoren an das CLAB an, wie es im Schaltplan eingezeichnet ist.



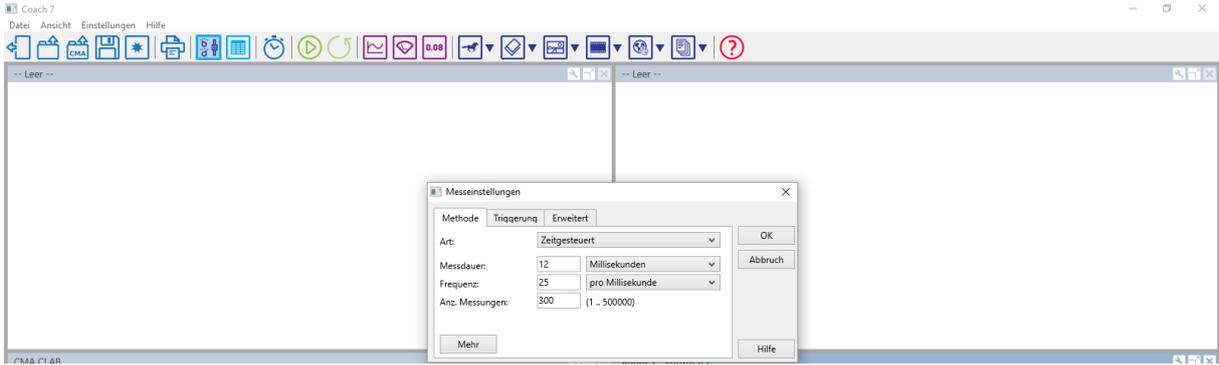
Die für beide Experimente angegebenen Werte sind Beispiele. Wählen Sie den Widerstand R so, dass die für die Diode maximal zulässige Stromstärke nicht überschritten wird.

- 3.1. Stellen Sie die Messzeit so ein, dass mindestens eine vollständige Periode der Wechselspannung erfasst wird und wählen Sie eine geeignete Abtastrate für die Messung hinreichend vieler Werte. Alternativ können Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität verwenden.
- 3.2. Stellen Sie den Trigger so ein, dass die Messung beginnt, wenn die Spannung am Kanal 1 einen Nulldurchgang mit aufsteigender Flanke hat, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.3. Übertragen Sie die Messwerte zur Aufgabe 1.2 für die weitere Bearbeitung in den ClassPad-Manager.

4. Hinweise zur Durchführung der Messung

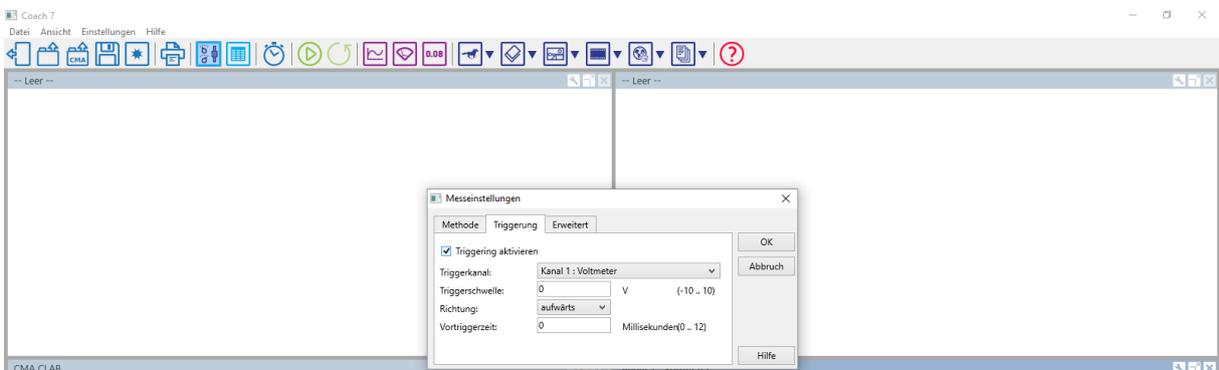
Hinweise zu 3.1.

Die Frequenz der Wechselspannung hat einen Wert von 100 Hz. Die Periodendauer beträgt 10 ms. Um mindestens eine Periode darzustellen, werden 300 Messwertpaare bei einer Messzeit von 12 ms aufgenommen.



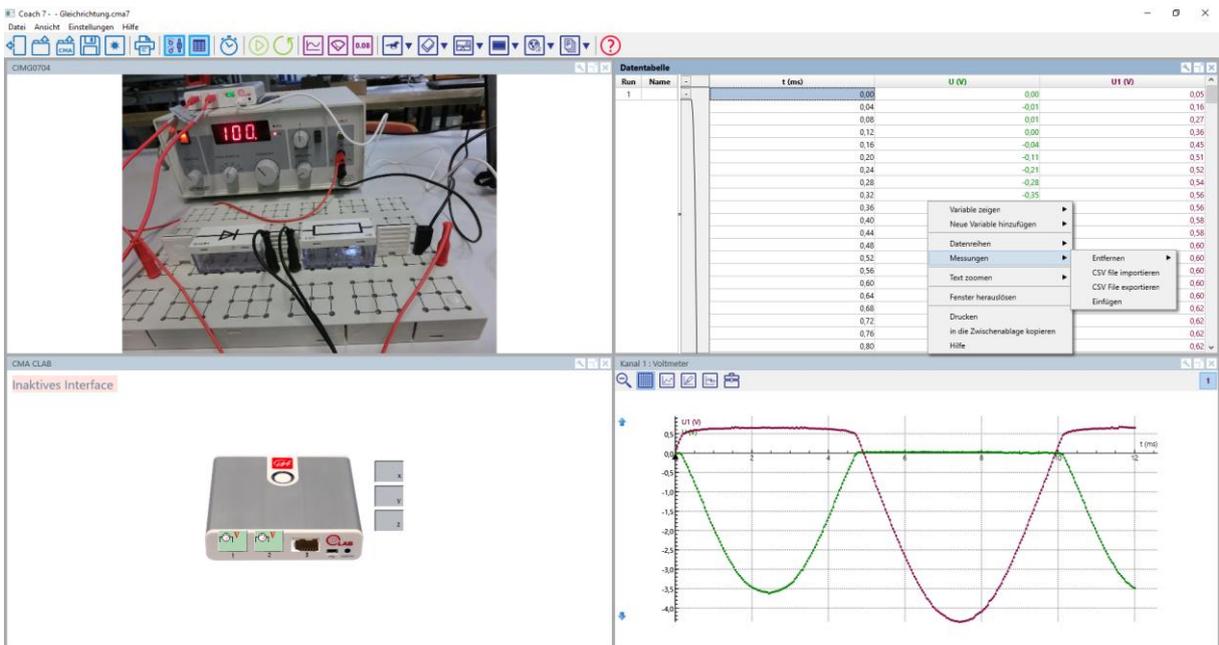
Hinweise zu 3.2.

Getriggert wird mit dem Signal der am Kanal 1 anliegenden Spannung beim Nulldurchgang mit aufsteigender Flanke.



Hinweise zu 3.3.

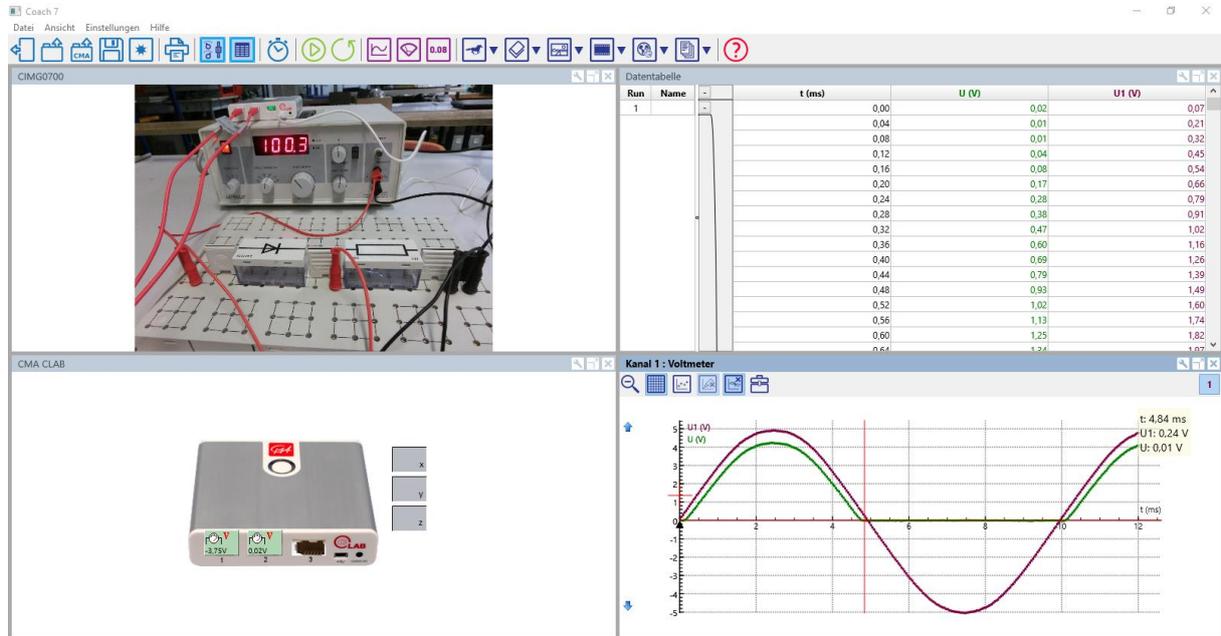
Die Messwertetabelle zur Aufgabe 1.2. wird als CSV-Datei exportiert und in das Verzeichnis des ClassPad-Managers kopiert.



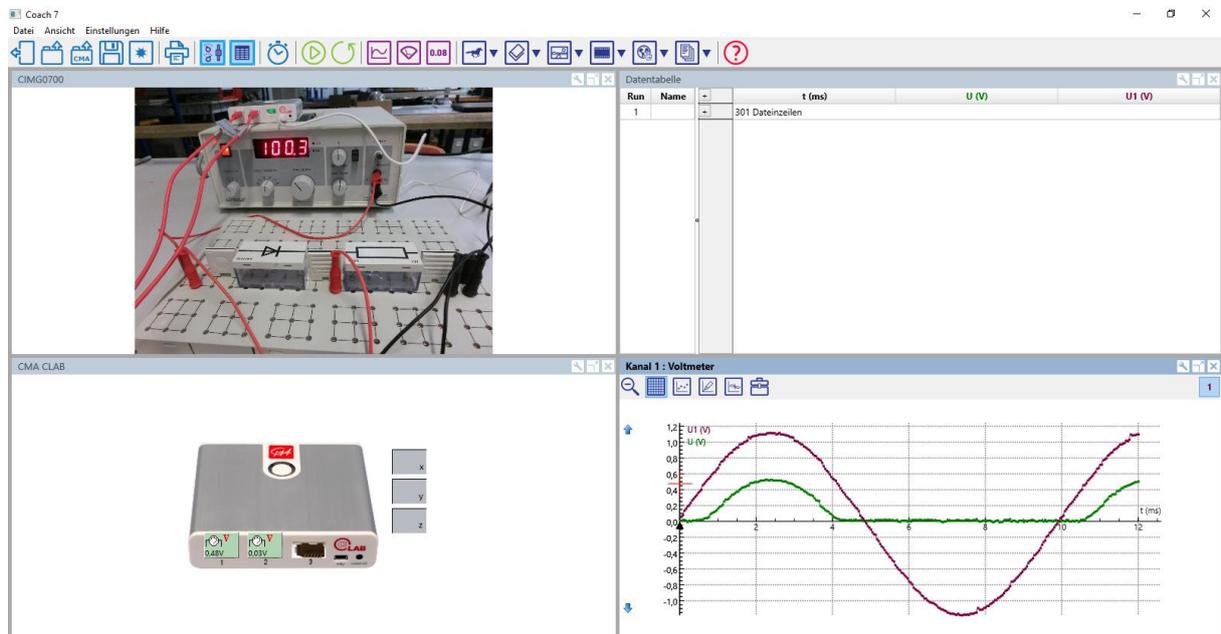
5. Hinweise zur Durchführung der Auswertung

Hinweise zur Aufgabe 1.1.

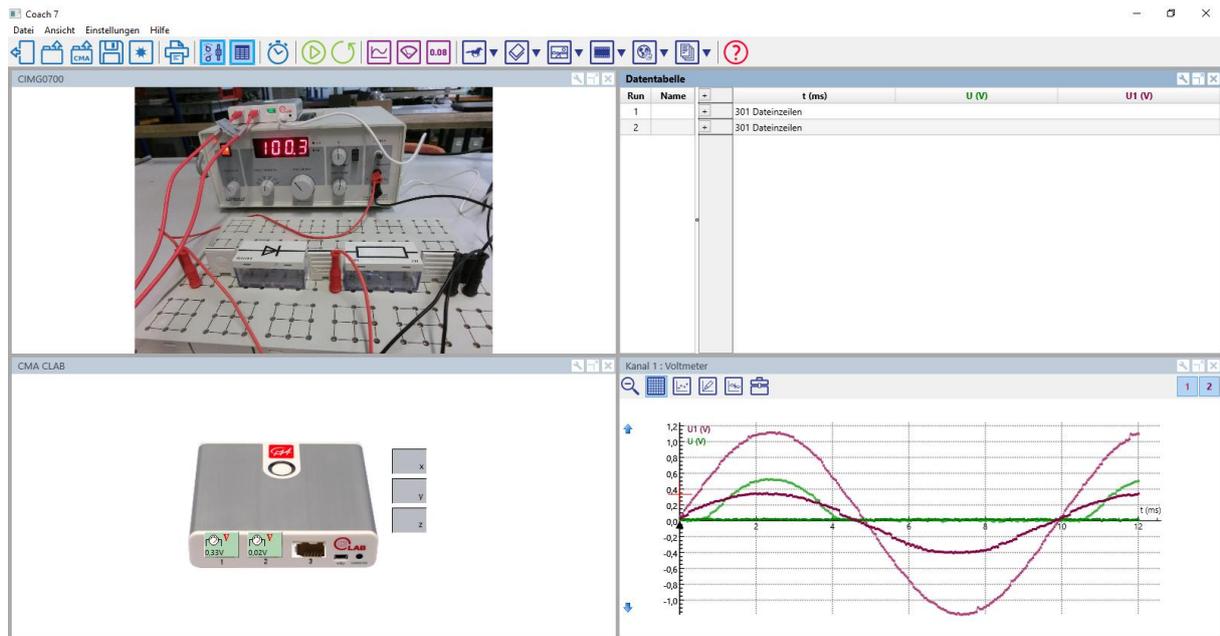
Es werden die Messergebnisse für angelegte Wechselspannungen mit einer Amplitude von ca. 5 V



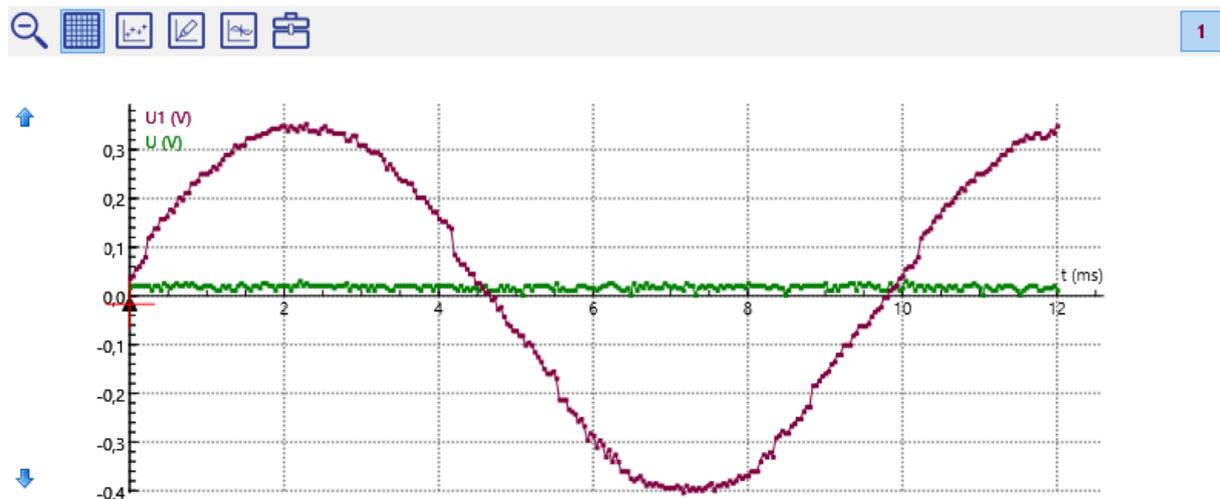
und mit einer Amplitude von ca. 1 V



und zusätzlich mit einer Amplitude, die deutlich kleiner als 1 V ist und somit unter dem Wert der Schliessenspannung der Diode liegt, in jeweils einem Diagramm dargestellt.



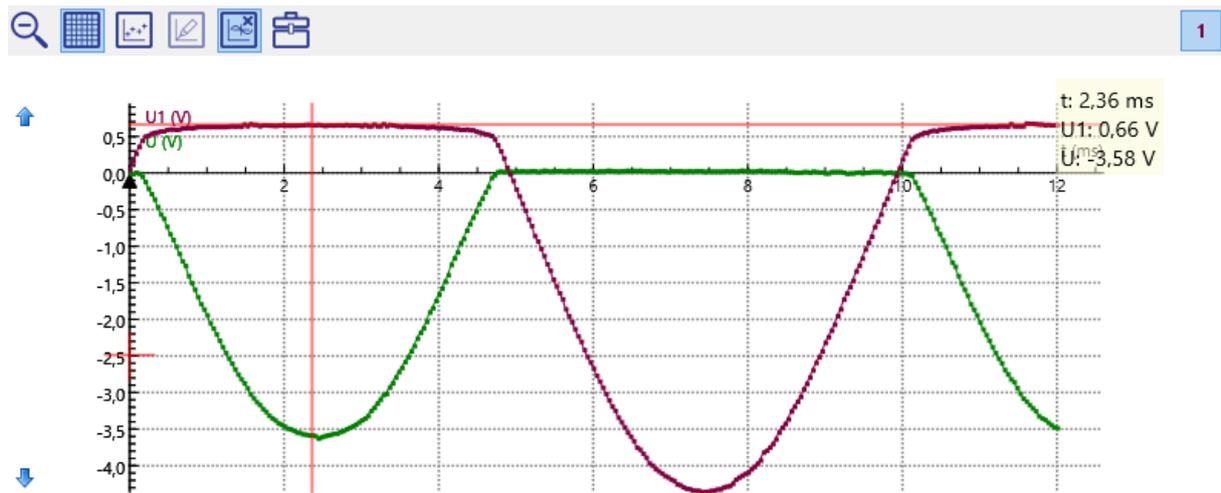
Für die Auswertung und Diskussion der Kurven lässt sich das Werkzeug **Analysieren** nutzen. Das jeweilige Diagramm kann dafür mit der Lupenfunktion vergrößert werden. Es fällt auf, dass die Zeitdauer für Stromfluss bzw. Nicht-Stromfluss unterschiedlich lang ist. Unterhalb der Schleusenspannung fließt kein nennenswerter Strom durch die Diode. Am ohmschen Widerstand liegt dann keine Spannung U an.



Hinweise zur Aufgabe 1.2.

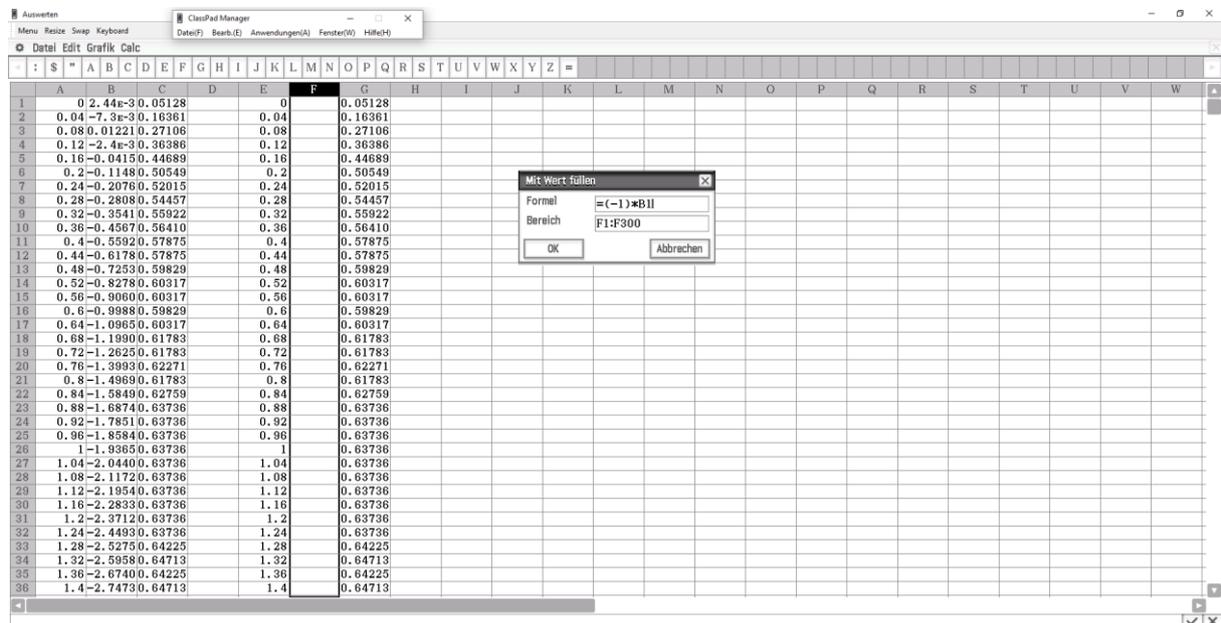
Die Kurve U_1 stellt die am Kanal 1 anliegende Spannung an der Diode dar. Die Kurve U zeigt den zeitlichen Verlauf der Spannung am Widerstand. Diese Kurve wird messtechnisch bedingt invertiert dargestellt.

Der Maximalwert der Spannung an der Diode beträgt $0,66\text{ V}$. Bei diesem Wert erreichen auch die Spannung am ohmschen Widerstand und somit die Stärke des elektrischen Stromes durch die Diode ein Maximum.

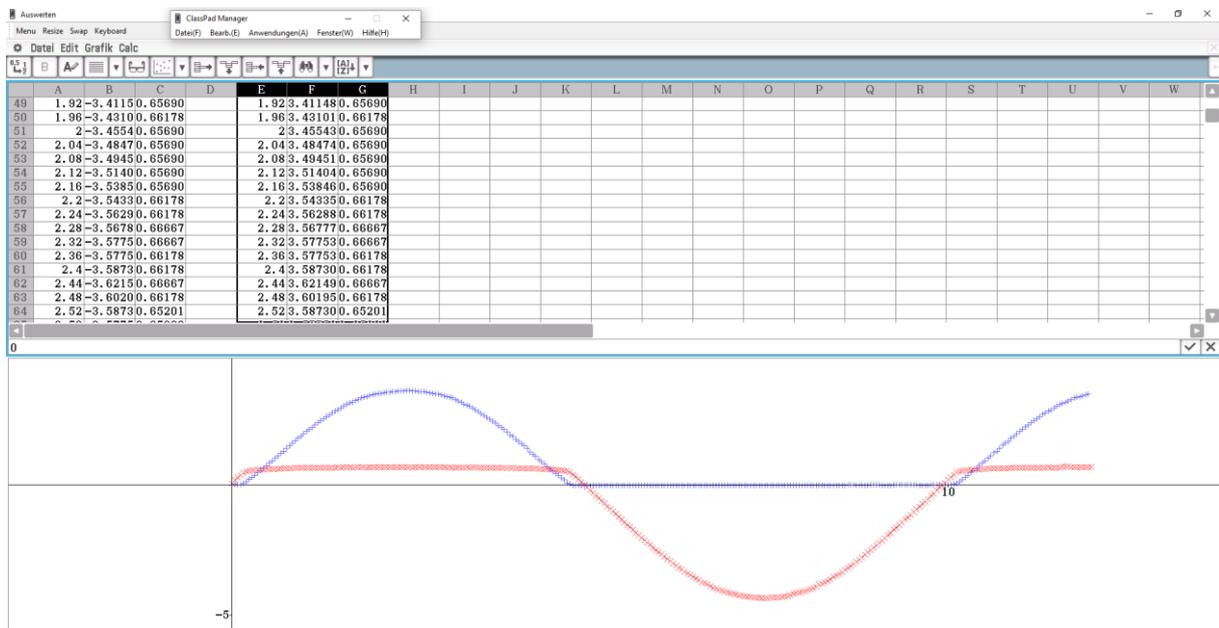


Die weitere Bearbeitung erfolgt mit dem ClassPad-Manager. Mit der Tabellenkalkulation wird das im Verzeichnis des ClassPad-Managers abgelegte CSV-File geöffnet. Die Messwerttabelle wird durch die Spalten A, B und C gegeben.

Die Zeitwerte in der Spalte A sind in ms angegeben. In der Spalte C ist die an der Diode anliegende Spannung in V erfasst und in Spalte B ist die am ohmschen Widerstand anliegende Spannung in V eingetragen, die noch invertiert werden muss. Das Invertieren erfolgt in Spalte F. Die Werte der Spalte A und C werden in Spalte E und G kopiert.



Aus den Werten in den Spalten E, F und G ergibt sich die vorzeichenrichtige Darstellung der Spannungen. Diese erhält man durch Anwenden von **Grafik/Scatter**.



Man erkennt deutlich den Übergang vom hochohmigen Verhalten der Diode zu ihrem niederohmigen Verhalten in der Nähe des Wertes der Schleusenspannung.

Experimente mit einer Glühlampe

Versuchskomplex - Glühlampen

Glühlampen werden im Physikunterricht als Beispiel für Bauelemente genutzt, bei denen das ohmsche Gesetz infolge der Eigenerwärmung nicht gilt.

Im folgenden Versuch sollen die Schülerinnen und Schüler untersuchen, welche Vorgänge nach dem Einschalten einer Glühlampe ablaufen.

- **Elektrischer Widerstand einer Glühlampe**

Die Auswertung dieses Versuches wird mit Coach 7 und dem ClassPad-Manager durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen den zeitlichen Verlauf der Stromstärke und der Spannung an der Glühlampe nach dem Einschalten des Stromkreises. Sie ermitteln daraus die zugehörige $I(U)$ -Kennlinie. Weiterhin diskutieren sie das zeitliche Verhalten der elektrischen Leistung an der Glühlampe und das des elektrischen Widerstandes der Glühlampe.

Elektrischer Widerstand einer Glühlampe

1. Aufgabenstellungen

- 1.1. Untersuchen Sie den zeitlichen Verlauf der Stromstärke und der Spannung an einer Glühlampe nach dem Einschalten.
- 1.2. Untersuchen Sie die Abhängigkeit der Stromstärke von der anliegenden Spannung. Bilden Sie Hypothesen über den zeitlichen Verlauf des Widerstandes und der elektrischen Leistung der Glühlampe.
- 1.3. Untersuchen Sie das Verhalten des Widerstandes der Glühlampe in Abhängigkeit von der Zeit und von der anliegenden Spannung.
- 1.4. Untersuchen Sie den zeitlichen Verlauf der elektrischen Leistung der Glühlampe. Stellen Sie die elektrische Leistung als Funktion des Widerstandes der Lampe dar.

2. Vorüberlegungen

Die $I(U)$ -Kennlinie einer Glühlampe ist nichtlinear. Begründen Sie.

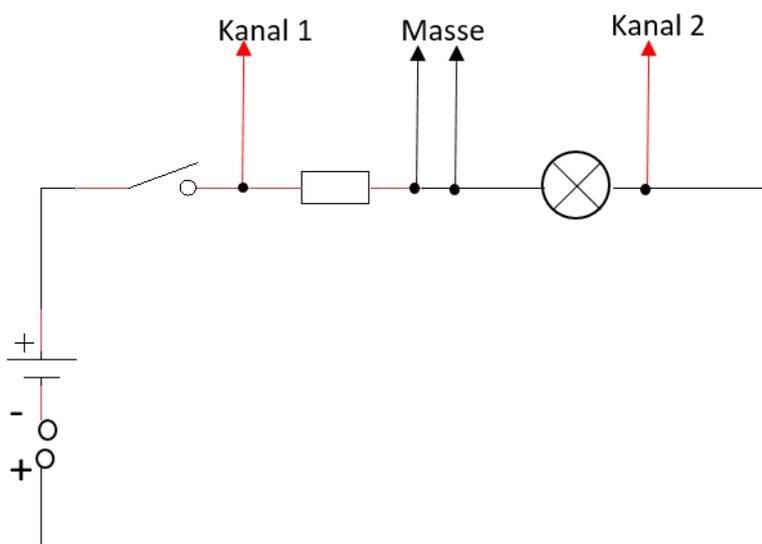
Eine Glühlampe wird bei einer vorgegebenen Nennspannung betrieben. Wenn die angelegte Spannung größer ist, wird die Glühlampe zerstört.

Die Stromstärke durch die Glühlampe hängt von ihrer elektrischen Nennleistung ab.

Das zeitliche Verhalten der Stromstärke entspricht dem der Spannung an einem ohmschen Widerstand, der zur Glühlampe in Reihe geschaltet ist. Begründen Sie.

3. Durchführung

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan auf. Schließen Sie die Spannungssensoren an das CLAB an, wie es im Schaltplan eingezeichnet ist.



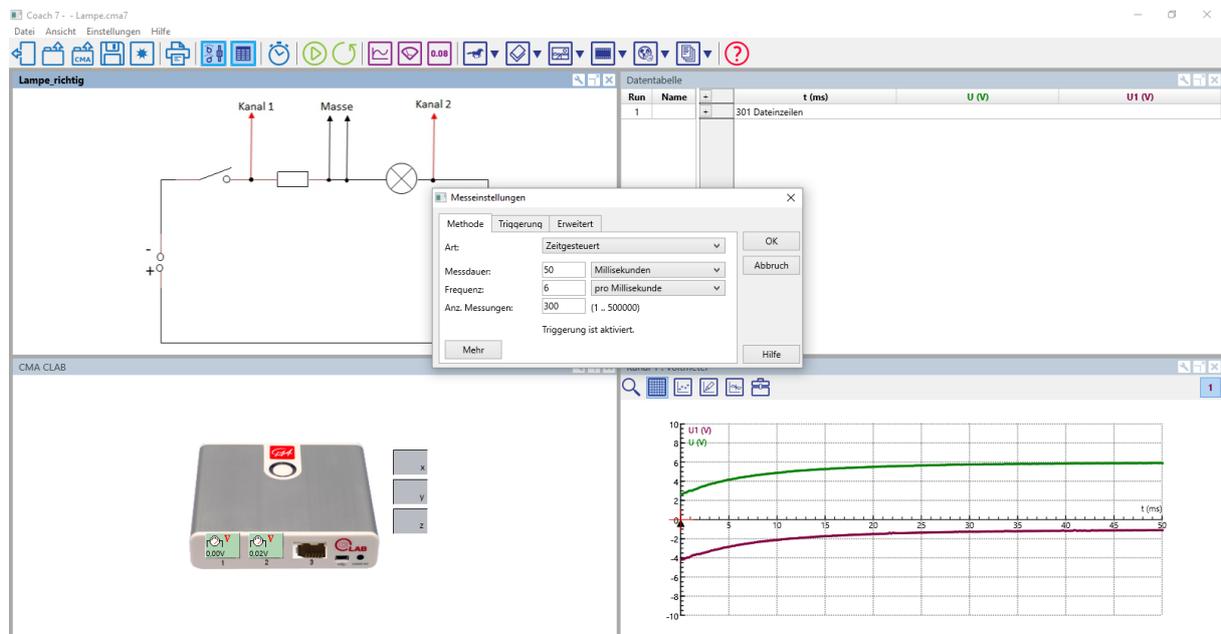
$R=10 \Omega$, Glühlampe (6 V, 0,1A), $U=6 \text{ V}$
Die angegebenen Werte sind Beispiele.

- 3.1. Ermitteln Sie für die von Ihnen verwendeten Bauelemente die benötigte Zeit für das Erreichen der Nennspannung an der Glühlampe und legen Sie eine geeignete Messzeit und Messrate (Abtastrate) für die Charakterisierung des zeitlichen Verhaltens der Lampe nach dem Einschalten fest. Stellen Sie Werte im Messprogramm Coach 7 ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.2. Stellen Sie einen Trigger für Kanal 2 mit einer Triggerschwelle von 0,02 V(aufwärts) ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.3. Richten Sie im Messprogramm die Ausgabe der Messwerte als Diagramm und als Tabelle ein, bzw. verwenden Sie die vorgefertigte Coach 7 - Aktivität.
- 3.4. Starten Sie den Messvorgang im Programm und schalten Sie mit dem Schalter den Stromkreis ein. Die Aufnahme der Messwerte beginnt mit dem Erreichen des Triggerwertes.
- 3.5. Übertragen Sie die Messwerte für die weitere Bearbeitung in den ClassPad-Manager

4. Hinweise zur Durchführung der Messung

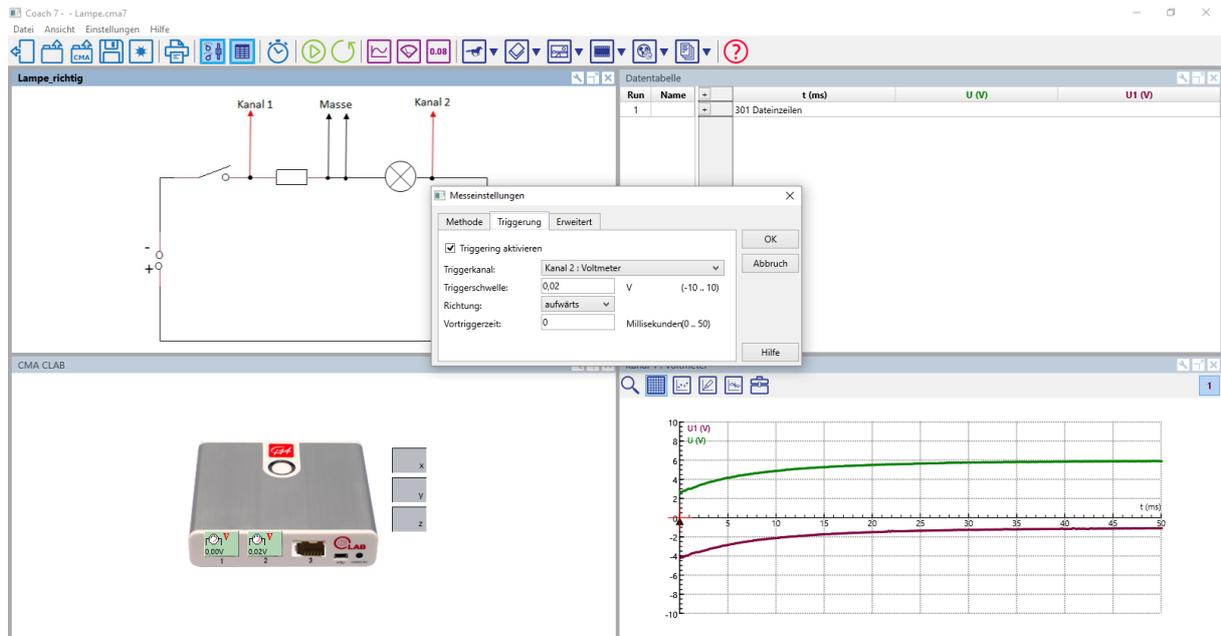
Hinweise zu 3.1.

Durch Probieren findet man, dass eine Messzeit von maximal 50 ms geeignet ist, um die Vorgänge an der verwendeten Glühlampe bis zum Erreichen der Nennspannung zu erfassen. Es werden 300 Messwerte erfasst.



Hinweise zu 3.2.

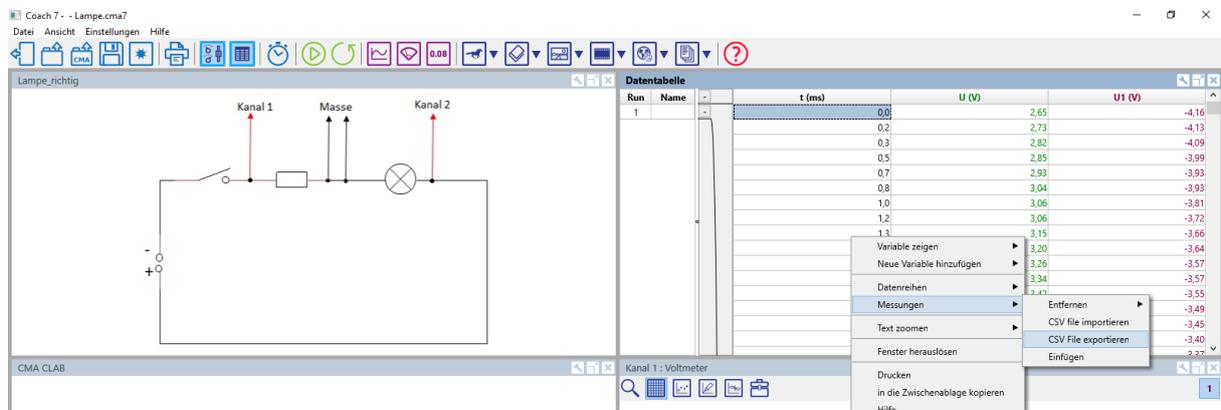
Vor dem Einschalten liegt am Widerstand eine Spannung von 0 V an. Die Spannung an der Lampe ist ebenfalls null. Der angezeigte Wert von 0,02 V kann auf null gesetzt werden. Die Spannung am Widerstand wird mit umgekehrten Vorzeichen gemessen, da die Kanäle des CLAB nicht masseunabhängig sind und daher die Massen beider Kanäle verbunden werden müssen. Der Triggerwert wird für den Kanal 2 eingestellt und beträgt hier 0,02 V (aufwärts). Damit beginnt der Messvorgang mit dem Einschalten.



Der Graph U1 im unteren Teil entspricht dem zeitlichen Verlauf der invertierten Spannung am ohmschen Widerstand (Kanal 1). Der Graph U im oberen Teil zeigt den zeitlichen Verlauf der Spannung an der Glühlampe (Kanal 2).

Hinweise zu 3.5.

Die Messwerte in der Tabelle werden als CSV-Datei exportiert und in das Verzeichnis des ClassPad-Managers kopiert.



5. Hinweise zur Auswertung

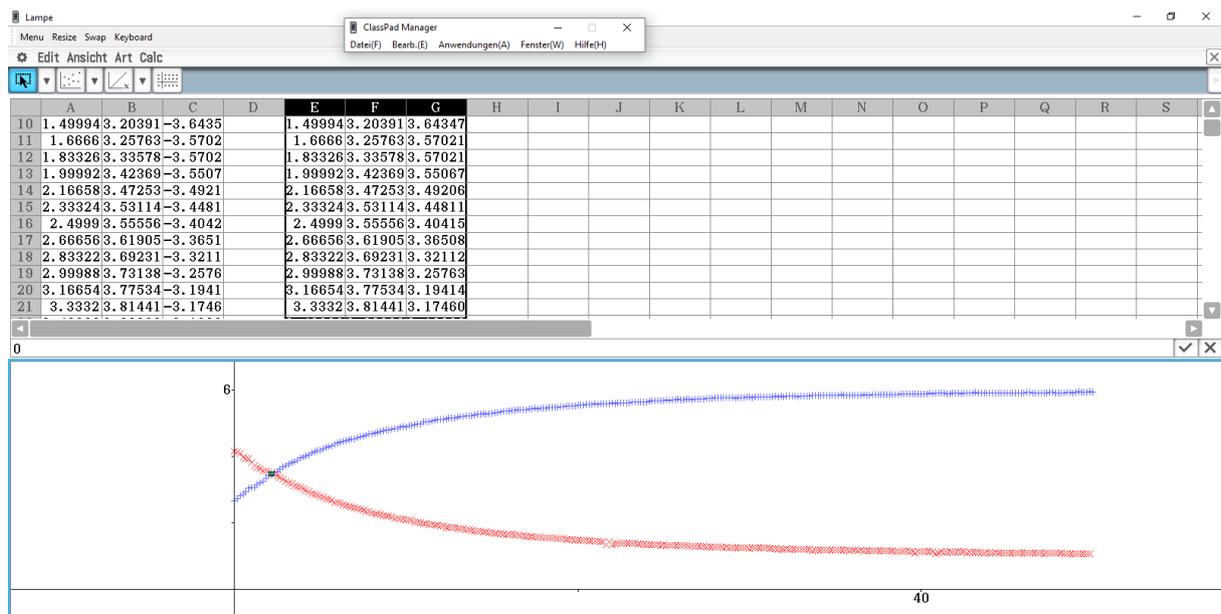
Hinweise zur Aufgabe 1.1.

Die Auswertung erfolgt mit der Tabellenkalkulation des ClassPad-Managers.

Die CSV-Datei wird mit der Tabellenkalkulation des ClassPad-Managers geöffnet. Die Spalten A, B und C enthalten die Zeit in ms, die Spannung an der Lampe in V und die Spannung am ohmschen Widerstand in V, die noch invertiert werden muss. Die Spalten A und B werden in die Spalten E und F kopiert, das Invertieren der Spalte C erfolgt in Spalte G.

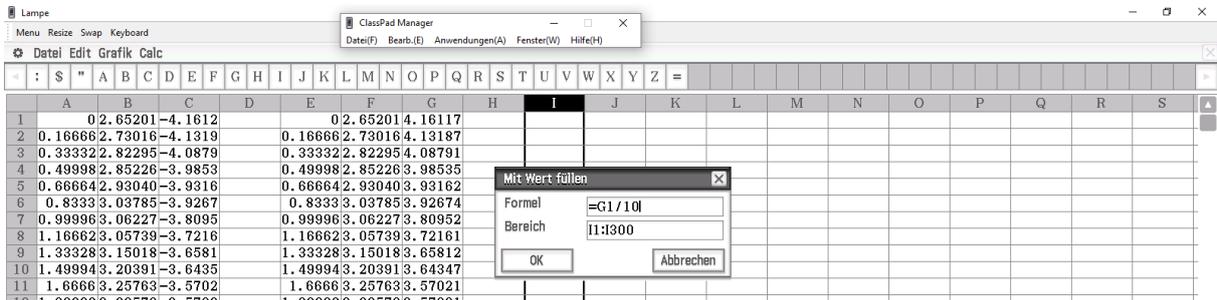
	A	B	C	D	E	F	G
1	0	2.65201	-4.1612			0	2.65201
2	0.16666	2.73016	-4.1319		0.16666	2.73016	
3	0.33332	2.82295	-4.0879		0.33332	2.82295	
4	0.49998	2.85226	-3.9853		0.49998	2.85226	
5	0.66664	2.93040	-3.9216		0.66664	2.93040	
6	0.8333	2.03785	-3.9267		0.8333	2.03785	
7	0.99996	2.06227	-3.8095		0.99996	2.06227	
8	1.16662	2.05739	-3.7216		1.16662	2.05739	
9	1.33328	2.15018	-3.6581		1.33328	2.15018	
10	1.49994	2.20391	-3.6435		1.49994	2.20391	
11	1.6666	2.25763	-3.5702		1.6666	2.25763	
12	1.83326	2.33578	-3.5702		1.83326	2.33578	
13	1.99992	2.42369	-3.5507		1.99992	2.42369	
14	2.16658	2.47253	-3.4921		2.16658	2.47253	
15	2.33324	2.53114	-3.4481		2.33324	2.53114	
16	2.4999	2.55556	-3.4042		2.4999	2.55556	
17	2.66656	2.61905	-3.3651		2.66656	2.61905	
18	2.83322	2.69231	-3.3211		2.83322	2.69231	
19	2.99988	2.73138	-3.2576		2.99988	2.73138	
20	3.16654	2.77534	-3.1941		3.16654	2.77534	
21	3.3332	2.81441	-3.1746		3.3332	2.81441	

Aus den Werten der Spalten E, F und G ergibt sich durch Anwenden von **Grafik/Scatter** das vorzeichenrichtige Diagramm für die zeitlichen Verläufe der Spannung an der Glühlampe und der Spannung am ohmschen Widerstand, welcher dem zeitlichen Verlauf der Stromstärke entspricht.

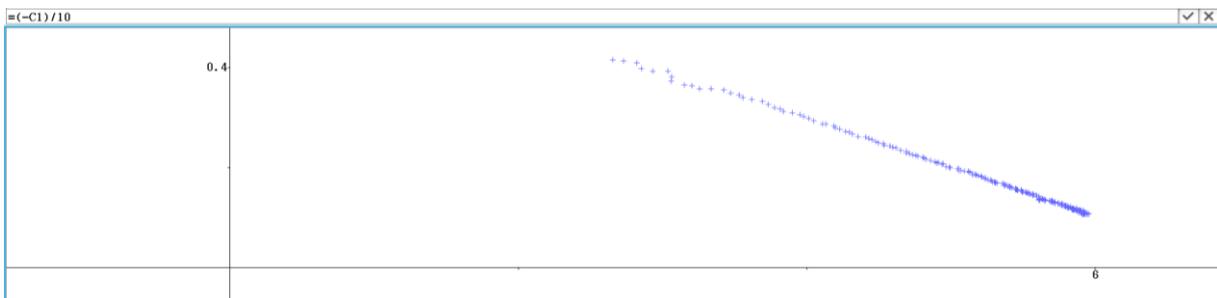


Hinweise zur Aufgabe 1.2.

In Spalte I werden die Werte der Stromstärke berechnet. Dafür werden die vorzeichenrichtigen Werte der Spannung am ohmschen Widerstand durch den Zahlenwert des ohmschen Widerstandes (10Ω) dividiert: $I = \frac{U_R}{R}$.

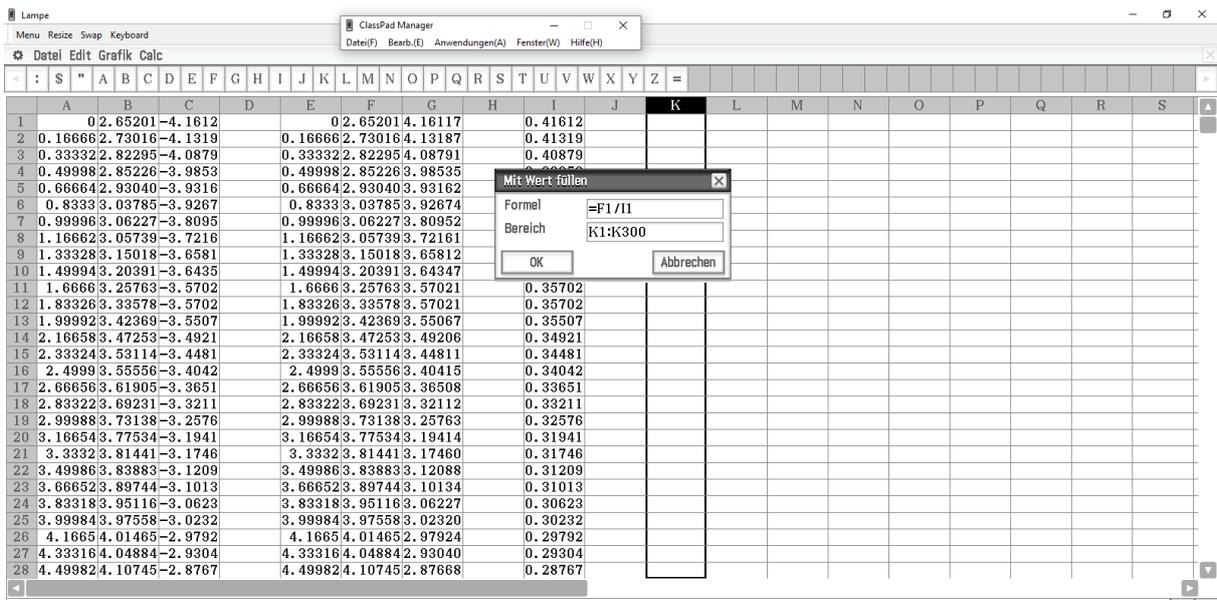


Die Darstellung der Werte der Spalte I über denen der Spalte F führt zur $I(U)$ - Abhängigkeit nach dem Einschalten.

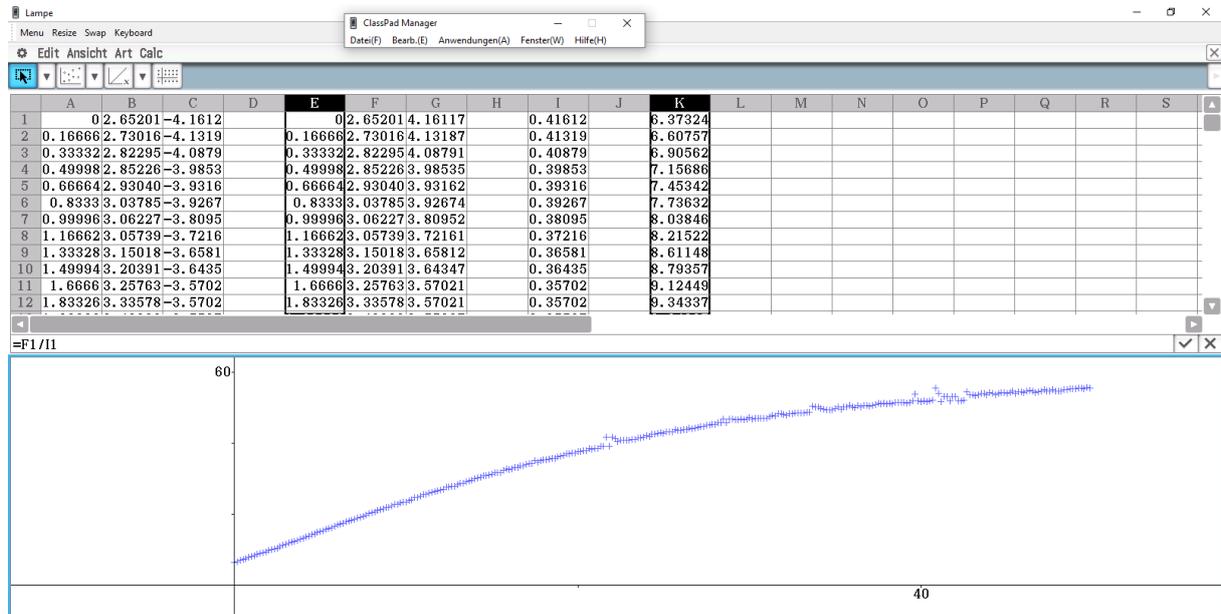


Hinweise zur Aufgabe 1.3.

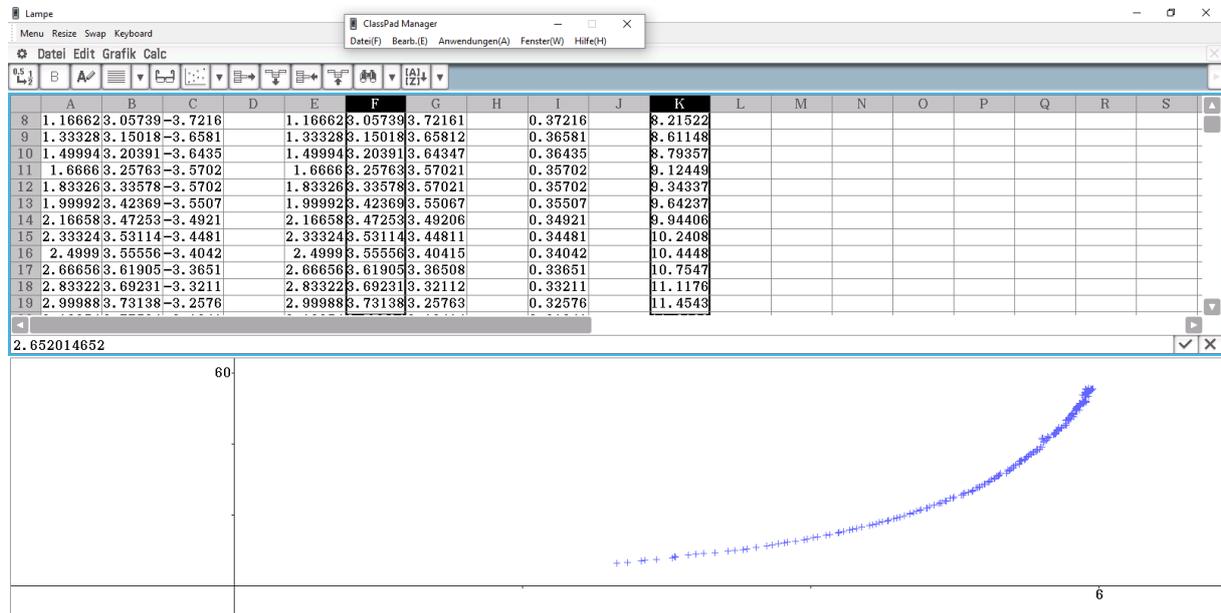
In Spalte K wird der elektrische Widerstand der Glühlampe berechnet, indem die Werte der Spalte F durch die Werte der Spalte I dividiert werden.



Die Darstellung der Werte der Spalte K über denen der Spalte E zeigt das zeitliche Verhalten des elektrischen Widerstandes der Glühlampe nach dem Einschalten.



Die folgende Abbildung zeigt den Widerstand der Lampe in Abhängigkeit von der anliegenden Spannung. Aus jedem der beiden Diagramme lässt sich der ohmsche Widerstand der Glühlampe vor dem Einschalten abschätzen.



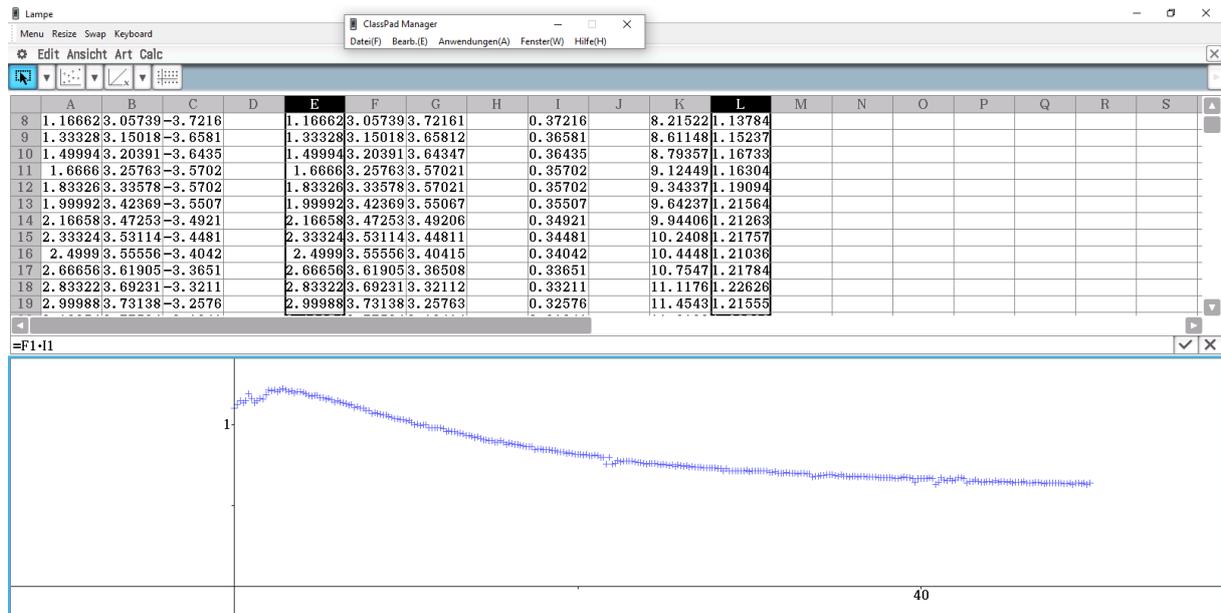
Hinweise zur Aufgabe 1.4.

In Spalte L werden die Werte der zu einer bestimmten Zeit erbrachten elektrischen Leistung berechnet. Dafür werden die Werte der Spannung an der Glühlampe mit den Werten für die Stromstärke des Stromes durch die Glühlampe multipliziert.

Kapitel 7 – Experimente mit einer Glühlampe

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1	0.2	0.65201	-4.1612		0.2	0.65201	4.16117		0.41612		6.37324									
2	0.16666	2.73016	-4.1319		0.16666	2.73016	4.13187		0.41319		6.60757									
3	0.33332	2.82295	-4.0879		0.33332	2.82295	4.08791		0.40879		6.90562									
4	0.49998	2.85226	-3.9853		0.49998	2.85226	3.98535													
5	0.66664	2.93040	-3.9316		0.66664	2.93040	3.93162													
6	0.83333	3.03785	-3.9267		0.83333	3.03785	3.92674													
7	0.99996	3.06227	-3.8095		0.99996	3.06227	3.80952													
8	1.16662	3.05739	-3.7216		1.16662	3.05739	3.72161													
9	1.33328	3.15018	-3.6581		1.33328	3.15018	3.65812													
10	1.49994	3.20391	-3.6435		1.49994	3.20391	3.64347													
11	1.66663	3.25763	-3.5702		1.66663	3.25763	3.57021		0.35702		9.12449									
12	1.83326	3.33578	-3.5702		1.83326	3.33578	3.57021		0.35702		9.34337									
13	1.99992	3.42369	-3.5507		1.99992	3.42369	3.55067		0.35507		9.64237									
14	2.16658	3.47253	-3.4921		2.16658	3.47253	3.49206		0.34921		9.94406									
15	2.33324	3.53114	-3.4481		2.33324	3.53114	3.44811		0.34481		10.2408									
16	2.49993	3.55556	-3.4042		2.49993	3.55556	3.40415		0.34042		10.4448									
17	2.66656	3.61905	-3.3651		2.66656	3.61905	3.36508		0.33651		10.7547									
18	2.83322	3.69231	-3.3211		2.83322	3.69231	3.32112		0.33211		11.1176									
19	2.99988	3.73138	-3.2576		2.99988	3.73138	3.25763		0.32576		11.4543									
20	3.16654	3.77534	-3.1941		3.16654	3.77534	3.19414		0.31941		11.8196									
21	3.33323	3.81441	-3.1746		3.33323	3.81441	3.17460		0.31746		12.0154									
22	3.49986	3.83883	-3.1209		3.49986	3.83883	3.12088		0.31209		12.3005									
23	3.66652	3.89744	-3.1013		3.66652	3.89744	3.10134		0.31013		12.5669									
24	3.83318	3.95116	-3.0623		3.83318	3.95116	3.06227		0.30623		12.9027									
25	3.99984	3.97558	-3.0232		3.99984	3.97558	3.02320		0.30232		13.1502									
26	4.16654	4.01465	-2.9792		4.16654	4.01465	2.97924		0.29792		13.4754									
27	4.33316	4.04884	-2.9304		4.33316	4.04884	2.93040		0.29304		13.8167									
28	4.49982	4.10745	-2.8767		4.49982	4.10745	2.87668		0.28767		14.2784									

Die Darstellung der Werte der Spalte L über denen der Spalte E zeigt den zeitlichen Verlauf der elektrischen Leistung der Glühlampe. Die graphische Darstellung erhält man durch Anwenden von **Grafik/Scatter**.



Es gibt im zeitlichen Verlauf der Leistung an der Glühlampe ein Maximum. Der Vergleich mit den zeitlichen Verläufen der Spannungen am ohmschen Widerstand und an der Lampe zeigt, dass dieses Maximum der Leistung eintritt, wenn die Werte beider Spannungen gleich sind.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Verlauf der elektrischen Leistung in Abhängigkeit vom aktuellen Widerstand der Glühlampe. Bei einem Widerstand der Glühlampe von ca. 11Ω tritt das Maximum der Leistung auf. Der Gesamtwiderstand der Schaltung beträgt dann 21Ω .

Kapitel 7 – Experimente mit einer Glühlampe

