

# **PROGRAMMIEREN UND VIDEOANALYSEN IM PHYSIKUNTERRICHT**

**Walter Rigger  
Bundesgymnasium Dornbirn**

Dornbirn, 2003

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	2
Abstract .....	3
1. Programmieren im Physikunterricht.....	3
1.1 Einleitung .....	3
1.2 Programmbeispiele .....	4
1.3 Datenerfassung .....	9
1.4 Datenauswertung .....	9
1.5 Interpretation .....	10
1.6 Zusammenfassung und Ausblick.....	11
2 Lernprozesse bei Schüler/-innenversuchen zum Stromkreis Analyse einer Videoaufzeichnung, Teil 2 .....	13
2.1 Ausgangssituation und Problemstellung .....	13
2.2 Datenerfassung .....	14
2.3 Unterrichtsablauf .....	14
2.3.1 Methode der Datenerfassung.....	14
2.3.2 Ergebnisse der Datenerfassung.....	15
2.4 Dateninterpretation.....	17
2.5 Rückmeldung der Schülerin .....	17
2.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	18
Literatur .....	19
Anhänge .....	20
Anhang 1:.....	20
Anhang 2.....	21
Anhang 3.....	24

# ABSTRACT

*Im März 2002 programmierten Schüler/-innen der 6. Klasse des realistischen Gymnasiums am BG Dornbirn Lösungen zu einfachen Rekursionsgleichungen mit dem Computer-Algebra-System TI92. Da die Schüler/-innen schon vom Mathematikunterricht den Umgang mit dem Programm-Editor kannten und grundlegende physikalische Vorkenntnisse hatten, genügten drei Unterrichtseinheiten, um vier Beispiele (Abkühlung, Fall mit Luftwiderstand, gedämpfte und ungedämpfte Schwingung) zu erarbeiten. Allen Beispielen wurde ein Demonstrationsexperiment vorangestellt, bei dem die Messdaten mit einem PC graphisch dargestellt wurden. Vor der Programmierung wurde die entsprechende Rekursionsgleichung hergeleitet und erklärt.*

*Walter Rigger zeigt mittels Videoanalysen von Schülerexperimenten zum Stromkreis, dass entsprechendes Anschauungsmaterial das selbständige Experimentieren von Schüler/-innen erleichtert. Das zielgerichtete Lernen beim Experiment erfordert aber eine Klärung der theoretischen Grundbegriffe und bleibt zeitaufwändig.*

## 1. PROGRAMMIEREN IM PHYSIKUNTERRICHT

### 1.1 Einleitung

Seit dem Schuljahr 2001/02 unterrichte ich Mathematik und Physik in einer kleinen Gruppe von sechs Schüler/-innen (vier Buben, zwei Mädchen) im realistischen Zweig einer nach Typen geteilten fünften Klasse (9. Schulstufe). Im Mathematikunterricht führte ich das Computer-Algebra-System TI92 ein und machte die Schüler/-innen mit dem Umgang der verschiedenen Applikationen des Rechners, wie Grafikfenster, Texteditor und Programmeditor, vertraut. Insbesondere habe ich mit ihnen schon damals einfache lineare Programme und Zählschleifen erarbeitet.

Die Verwendung von TI-Dataloggern im Physikunterricht und die Auswertung der Messdaten mit den entsprechenden Programmen für den TI bzw. auch mit dem PC über das Programm COACH, legten es nahe, den Schüler/-innen auch für physikalische Problemstellungen iterative Lösungsverfahren mit dem Rechner näher zu bringen. Wertvolle Anregungen dafür verdanke ich Dr. Hildegard Urban-Woldron.

Im März 2003 habe ich mit den Schüler/-innen vier Beispiele zur iterativen Lösung von Differenzgleichungen erarbeitet. Wichtig war mir dabei, dass den Schüler/-innen die wesentlichen physikalischen Aspekte der Beispiele schon bekannt waren. So habe ich etwa schon im vorangegangenen Wintersemester den zeitlichen Verlauf der ungedämpften Schwingung aus der Projektion der Kreisbewegung hergeleitet.

Allen Beispielen wurde ein Demonstrationsexperiment vorangestellt, bei dem die Daten mit den Dataloggern CBL und CBR von Texas Instruments erfasst und mit dem PC oder mit dem TI92 dargestellt wurden.

In einem zweiten Schritt erklärte ich die physikalischen bzw. mathematischen Grundlagen, die den dargestellten Sachverhalt beschrieben.

Erst dann erfolgte die Programmierung. Sie richtete sich nach dem Grundsatz größtmöglicher Einfachheit. Auf Benutzerfreundlichkeit der Programme, etwa

Eingabedialoge, wurde verzichtet. Die Ausgabe der Daten erfolgt in allen Programmen rein graphisch. Dazu genügt die Kenntnis eines einzigen Befehles.

Mit den lauffähigen Programmen erhielten die Schüler/-innen dann die Möglichkeit, Auswirkungen bei veränderten Parametern zu ermitteln.

## 1.2 Programmbeispiele

Die Programmierung des TI92 erfolgte mit vier Beispielen:

Die Trägheit eines Thermometers

Fall mit Luftwiderstand

Die ungedämpfte Schwingung

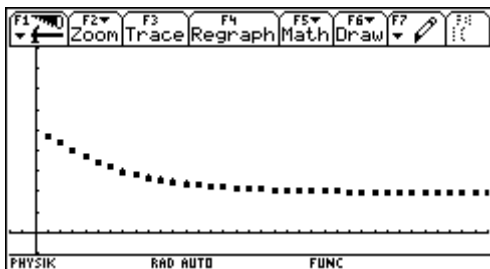
Die gedämpfte Schwingung

### 1. Beispiel: Temperaturmessung

Das Einführungsbeispiel geht von einer alltäglichen Erfahrung aus und erfordert zur Modellbildung keine vertiefenden physikalischen Kenntnisse.

Vom Fiebermessen weiß jeder, dass sich das Thermometer zuerst schnell und dann verlangsamt der Körpertemperatur nähert. Bringt man ein Thermoelement von wärmerem in kälteres Wasser, passiert das Umgekehrte. Zuerst erfolgt eine schnelle, dann eine langsamere Abkühlung des Messinstruments.

In einem ersten Experiment wurde ein Thermoelement von Wasser der Temperatur 49°C in Wasser von 19°C gebracht. Die Temperatur wurde mit dem TI - Datalogger CBL jede Sekunde gemessen und mit dem TI-92 graphisch dargestellt.



Zur Modellbildung genügt es anzunehmen, dass die Temperaturabnahme pro Sekunde proportional zum verbleibenden Temperaturunterschied ist. Die jeweils neue Temperatur nach einer Sekunde berechnet sich also durch die Gleichung:

$$T_{\text{neu}} = T_{\text{alt}} - p\% \cdot (T_{\text{alt}} - T_2)$$

$T_2$ .....untere Temperatur

$p\%$ ..... .prozentueller Anteil der Temperaturabnahme pro Sekunde

Das Programm zur Simulation wird hier durch eine Zählschleife realisiert. Aus der oben angeführten Messung wurde ermittelt, dass  $p\%=13\%$  ist.

Hier der Programmcode für den TI-92:

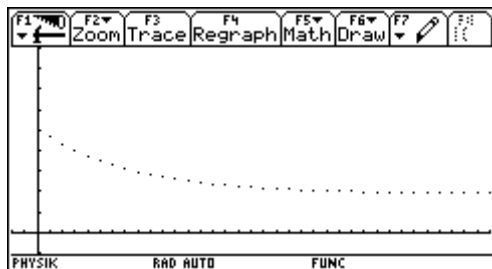
```
Kuehlen()  
Prgm  
Local t,u,i  
19 -> u  
49 -> t  
For i,1,36  
  PtOn i,t  
  t-0.13*(t-u) -> t  
EndFor  
EndPrgm
```

Erläuterung:

Die Variablen t, u und i sind nur zur Laufzeit belegt.

Die Endtemperatur und die Ausgangstemperatur werden auf die Variablen u und t gespeichert. Mit dem Befehl „PtOn x,y“ wird ein Punkt im Grafikfenster gezeichnet.

Dieses einfache Programm führt zu folgender Ausgabe:

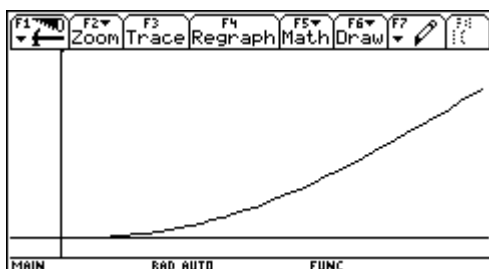


Die gemessene und die berechnete Kurve können gleichzeitig mit dem TI dargestellt werden. Sie liegen praktisch aufeinander.

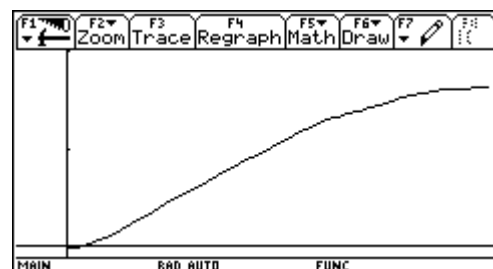
## 2.Beispiel: Luftwiderstand

Das Fallen eines Papptellers wurde mit dem Ultraschallsensor CBR aufgenommen und die Daten mit dem TI erfasst. Nachdem die ermittelten Zeit-Weg Daten in den Nullpunkt transformiert wurden, ergaben sich folgende Graphen:

a) Zeit-Weg-Diagramm:



b) Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm:



Die Modellbildung erfordert hier die Kenntnis der Bewegungsgleichung. Der Gewichtskraft ist der Luftwiderstand entgegengerichtet. Dieser ist proportional zum Quadrat der momentanen Fallgeschwindigkeit.

Aus der Bewegungsgleichung folgt für die Beschleunigung:  $a = g - c_L \cdot v^2$ , wobei zunächst  $c_L$  als Maß für den Luftwiderstand angenommen wird.

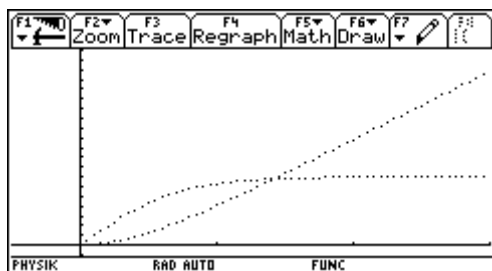
Mit  $\Delta v = a \cdot \Delta t$  und  $v_{\text{neu}} = v_{\text{alt}} + \Delta v$  folgt:  $v_{\text{neu}} = v_{\text{alt}} + (g - c \cdot v_{\text{alt}}^2) \cdot \Delta t$

Mit  $\Delta s = v \cdot \Delta t$  gilt auch  $s_{\text{neu}} = s_{\text{alt}} + v \cdot \Delta t$

Im folgenden Programm wird mit einer While-Wend-Kontrollstruktur die Geschwindigkeit und der zurückgelegte Weg graphisch dargestellt.

```
Pappfall()
Prgm
Local t,v,s
0->t
0->v
0->s
While t<3
  PtOn t,v
  PtOn t,s
  v+(9.81-0.2*v^2)*0.05->v
  s+v*0.05->s
  t+0.05->t
EndWhile
EndPrgm
```

Das Programm führt zu folgender Ausgabe:



Ein quantitativer Vergleich der Daten der Messung mit dem CBR erschien mir hier nicht notwendig, da eine qualitative Übereinstimmung der Diagramme die vermutete Abhängigkeit des Luftwiderstandes vom Quadrat der Geschwindigkeit bestätigt.

### 3. Beispiel: Die ungedämpfte Schwingung

Schon im Wintersemester 2002/03 wurde die Schwingung eines Federpendels als Projektion der Bewegung eines Punktes auf einer Kreisbahn im lehrerzentrierten Unterricht behandelt und die notwendigen Formeln hergeleitet. In einer darauf folgenden Freiarbeitsphase haben die Schüler/-innen anhand eines Arbeitsauftrages<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Vgl. Walter Rigger 1999 und Walter Rigger 2001

selbstständig den Verlauf der Schwingung eines Fadenpendels mit einem Bewegungssensor erfasst und mit dem Programm DILAB ausgewertet.

Um die Phasenbeziehung zwischen Auslenkung und Geschwindigkeit noch einmal zu wiederholen, wurde vorbereitend die Bewegung eines Fadenpendels mit dem CBR aufgezeichnet und mit dem Programm COACH demonstriert.

Für die Programmierung wurde aus der Bewegungsgleichung der schwingenden Masse berechnet:

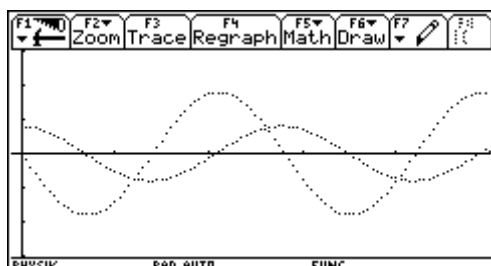
$$a = -k/m * y$$

Die Berechnung der neuen Geschwindigkeiten bzw. Auslenkungen erfolgt wie im zweiten Beispiel.

Der folgende Programmcode benutzt wieder eine While-Wend-Kontrollstruktur. Sowohl die y-Werte als auch die berechneten Geschwindigkeiten werden ausgegeben. Neu sind auch Kommentarzeilen.

```
swing()  
Prgm  
Local t,dt,k,m,v,y  
@startwerte  
0.05->dt  
0->t  
10->k  
2->m  
0.8->y  
0->v  
@schleife  
While t<5  
PtOn t,y  
PtOn t,v  
v-k/m*y*dt->v  
y+v*dt->y  
t+dt->t  
EndWhile  
EndPrgm
```

Das Programm führt zu folgender Grafik:



Aus den Anfangsbedingungen wird klar, dass die im Ursprung startende Kurve den zeitlichen Verlauf der Geschwindigkeit darstellt.

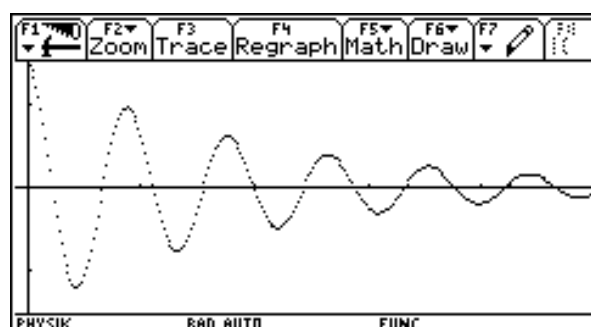
Die Schüler/-innen erhielten dann den Auftrag, aus der gegebenen Masse  $m$  und der Federkonstante  $k$  die Schwingungsdauer und die maximale Geschwindigkeit mit den bereits bekannten Formeln zu berechnen. Die Resultate:  $T = 2,8$  s und  $v_{\max} = 1,8$  m/s stimmen mit den vom Programm ermittelten Werten überein, was in der Grafik deutlich wird. Zusätzlich wurden auch die Auswirkungen von Änderungen der Masse und der Federkonstante untersucht.

#### 4. Beispiel: Die gedämpfte Schwingung

Den Schwingungsverlauf einer durch Reibung gedämpften Schwingung kannten die Schüler/-innen schon vom oben erwähnten Arbeitsauftrag. Für die Modellbildung kann das Programm von Beispiel 3 fast komplett übernommen werden. Nur die Zeile zur Berechnung der neuen Geschwindigkeit und die verwendeten Startbedingungen ändern sich. Es wird angenommen, dass die Abnahme der Geschwindigkeit proportional zur Geschwindigkeit  $v$  ist. Dies wird im Faktor  $cl$  berücksichtigt.

```
gedswing()
Prgm
Local t,dt,k,m,v,y,cl
@startwerte
0.02->dt
0->t
10->k
0.2->m
1.5->y
0->v
1 -> cl
@schleife
While t<5
PtOn t,y
v-k/m*y*dt-v*cl*dt->v
y+v*dt->y
t+dt->t
EndWhile
EndPrgm
```

Ausgabe:





## 1.3 Datenerfassung

Die ersten Rückmeldungen erfolgten direkt nach diesen drei Unterrichtseinheiten. Auf meine simple Frage, wie den Schüler/-innen das Programmieren der Physikbeispiele gefallen habe, erhielt ich vorwiegend positive Rückmeldungen. Die Schüler/-innen empfanden diese Unterrichtseinheiten insbesondere als Abwechslung zum gewohnten Physikunterricht.

„*War ganz gut, superinteressant, wenn man das Programm mit dem PC verglichen hat*“, ist die schriftliche Rückmeldung von Martin im Protokoll zum unten beschriebenen Arbeitsauftrag.

Wichtig erschien mir aber die Überprüfung, wie sich die Schüler/-innen mit dem Grundkonzept der iterativen Lösung von Rekursionsgleichungen vertraut gemacht haben und wie weit sie die erarbeiteten Programme später manipulieren und interpretieren können. Beinahe vier Monate später, am 25. Juni 2003, gab ich den Schüler/-innen unangekündigt einen einstündigen Arbeitsauftrag (vgl. Anhang), den jede/-r alleine auszuführen hatte. Zur Erarbeitung stand den Schüler/-innen ihr Rechner mit den oben vorgestellten Programmen zur Verfügung.

Die erste Anweisung enthielt die Frage, welche vier physikalischen Problemstellungen wir erarbeitet hatten und welche Programmier Techniken dazu notwendig waren.

Der restliche Teil des Arbeitsauftrages beschäftigte sich ausschließlich mit der ungedämpften Schwingung. Nach einer von mir vorangestellten Wiederholung des Kraftgesetzes und der Bewegungsgleichung sollten die Schüler/-innen selber die Rekursionsgleichung zur Berechnung der jeweils neuen Geschwindigkeit herleiten.

Anschließend mussten folgende Aufgaben mit Hilfe des Programmeditors und der ausgegebenen Grafik gelöst und protokolliert werden:

Erkennen der Rekursionsgleichung für die Geschwindigkeit und die Auslenkung im Code

Erklärung der Kontrollstruktur: `While...EndWhile`

Ablesen der Schwingungsdauer, der Amplitude und der maximalen Geschwindigkeit in der graphischen Ausgabe

Erkennen der Startwerte und Manipulation der Startwerte

## 1.4 Datenauswertung

Die Schüler/-innen konnten sich an mindestens drei der vier erarbeiteten physikalischen Problemstellungen zurückerinnern. Als Hilfe verwendeten sie teilweise die Programmnamen vom Rechner. Zum Begriff ‚Programmier Techniken‘ fand nur ein Schüler die Antwort: „*Eingabe von Werten, lokales Speichern von Werten, Ausgabe von Werten*“. Die verwendete Kontrollstruktur einer Schleife wurde von niemandem erwähnt.

Obwohl für die Herleitung der Rekursionsgleichung nur eine einfache algebraische Umwandlung erforderlich war, wurde diese Aufgabe nur von zwei der sechs Schüler/-innen richtig gelöst. Es erkannten aber alle die entsprechenden Programmzeilen zur Berechnung der neuen Geschwindigkeiten und Auslenkungen im Code.

Nur jene beiden Schüler, die das Wahlpflichtfach Informatik besuchen, haben die While-Wend-Schleife korrekt erklärt. Die vier anderen Schüler/-innen haben nicht klargestellt, dass bei jedem Durchgang eine Neuberechnung erfolgt. Ines formulierte etwa: „*While und EndWhile klammern die Bedingung ein*“.

Die Aufgabe, die Startwerte für die Masse und die Federkonstante aus dem Code zu lesen, wurde von allen richtig gelöst.

Bei der Interpretation des Graphen erkannten vier die richtige Schwingungsdauer, Stefan und Martin haben nur die Hälfte der richtigen Zeit als Schwingungsdauer angeschrieben. Vier Schüler/-innen gaben die richtige Amplitude und die korrekte maximale Geschwindigkeit an. Julian und Tanja verwechselten beide Größen.

Allen Schüler/-innen gelang die richtige Änderung der Startwerte für die Masse und die Federkonstante. Bei der Interpretation der graphischen Darstellung wiederholten sich aber die gleichen Fehler, welche auch schon bei den ursprünglichen Startwerten aufgetreten waren.

Nur zwei Schülern gelang es, die Anfangsbedingungen so abzuändern, dass die ‚Feder‘ aus der Ruhelage heraus mit einer bestimmten Geschwindigkeit startet. Auch die Amplitude und der erste Zeitpunkt, bei dem diese erreicht wird, wurden richtig angegeben.

Die Auswertung der schriftlichen Protokolle des Arbeitsauftrages zur ungedämpften Schwingung ergab, dass die Schüler/-innen

- Probleme hatten, aus der Bewegungsgleichung für die Schwingung die Rekursionsgleichung für die Geschwindigkeiten herzuleiten
- den Umgang mit dem Rechner beherrschten
- die Bedeutung der Programmschleife häufig nicht richtig verstanden
- graphische Ausgaben überwiegend richtig interpretierten
- Startwerte richtig erfassten und meist richtig manipulierten

## 1.5 Interpretation

Eigentlich hatte ich mir erwartet, dass alle Schüler/-innen den gesamten Arbeitsauftrag richtig lösen. Trotzdem hat mich die Auswertung der Arbeitsprotokolle nicht völlig enttäuscht, da sich die Schüler/-innen auf diese ‚Überprüfung‘ nicht vorbereiten konnten und die Arbeitszeit mit 50 Minuten knapp bemessen war. Darüber hinaus war das gewählte Beispiel wegen der Ausgabe von Auslenkung und Geschwindigkeit schwer und die Fragestellungen - etwa zur Programmier technik - teilweise verwirrend. Erfreulich ist, dass alle Schüler/-innen problemlos mit den verschiedenen Anwendungen des Rechners umgehen konnten.

Zu den einzelnen Aufgabestellungen soll folgendes angeführt werden:

### 1. Herleitung der Rekursionsgleichung:

Leider verwenden meine Schüler/-innen auch bei einfachen algebraischen Umformungen den Rechner. Bei schrittweise schriftlichen Umformungen zeigen sich dann Probleme mit der richtigen Schreibweise von Termen.

Auch wenn die Schüler/-innen den Begriff der Beschleunigung erfassen, muss genau erklärt werden, dass aus der Differenz der Geschwindigkeiten eine Rekursionsgleichung zur Berechnung der neuen Geschwindigkeit aus der vorhandenen abgeleitet wird.

Lineare Rekursionsgleichungen sind nur ein Näherungsverfahren zur Lösung der Bewegungsgleichung. Dies kann erst dann klargestellt werden, wenn den Schüler/-innen der Differentialkalkül bekannt ist. Leider habe ich den Startwert für das Zeitintervall immer so gewählt, dass die graphischen Ausgaben klar interpretierbar sind. Vergrößert man diese Zeitintervalle, wird die Näherung sofort deutlich.

## **2. Kontrollstruktur while...EndWhile:**

Weil die Schüler/-innen im Pflichtfach Informatik meistens keine Programmier-techniken lernen, muss die Bedeutung einer Programmschleife mit einer Abbruchbedingung anhand von unterschiedlichen Beispielen gefestigt werden. Erst dadurch wird die wiederholte Neuberechnung der Daten nach kleinen Zeitabständen verständlich.

## **3. Interpretation der Ausgabegrafik**

Diese Aufgabe wurde von den meisten Schüler/-innen richtig gelöst, obwohl die unterschiedliche Bedeutung beider ‚Kurven‘ nur aus den Startwerten des Codes gefolgert werden konnte. Gewundert hat mich, dass sonst gute Schüler/-innen die Schwingungsdauer aus der Grafik nicht richtig ablesen konnten.

## **4. Manipulation der Startwerte**

Die Änderung der Startwerte für Masse und Federkonstante hatte ich schon im März mit den Schüler/-innen untersucht. Der Transfer auf die Änderung der kinematischen Startwerte ist aber nur einem Drittel der Schüler/-innen gelungen. Ursache dafür kann auch der Zeitdruck gewesen sein, denn diese Aufgabe war die letzte des Arbeitsauftrages.

# **1.6 Zusammenfassung und Ausblick**

Die Lösung physikalischer Problemstellungen mit Computerprogrammen ist nicht nur eine interessante Abwechslung für Schüler/-innen und Lehrkräfte, sie zielt auch auf wichtige Erkenntnisse:

- Den Schüler/-innen wird die grundlegende Bedeutung der Bewegungsgleichung klarer.
- Die Berechenbarkeit von Naturvorgängen wird deutlich.
- Die Notwendigkeit von Näherungsverfahren wird aufgezeigt.
- Unterschiedliche mathematische Modelle (Projektion der Kreisbewegung und iterative Lösung der Bewegungsgleichung) führen zu korrekten Beschreibungen des physikalischen Sachverhaltes.
- Die Darstellung trigonometrischer Funktionen durch iterative Anwendung der Grundrechnungsarten wird sichtbar.

Mein Vorhaben ist, Ergänzungen und Vertiefungen dieser Programmbeispiele in weitere Arbeitsaufträge einzubinden. Möglich wären folgende Aufgaben:

- Die Beschleunigung der schwingenden Masse soll im Graphen dargestellt werden!
- Ändert sich die Schwingungsdauer, wenn man die Amplitude verändert?
- Wie ändert sich der Verlauf, wenn die Reibung proportional zu  $v^2$  ist?

Durch diese Wiederholungen und Vertiefungen erwarte ich mir die Beseitigung von Wissenslücken und eine nachhaltige Wirkung von Programmierbeispielen im Physikunterricht.

## 2 LERNPROZESSE BEI SCHÜLER/ INNENVERSUCHEN ZUM STROMKREIS

### ANALYSE EINER VIDEOAUFZEICHNUNG, TEIL 2

#### 2.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Im Schuljahr 2001/02 analysierte ich anhand einer Videoaufzeichnung das Lernverhalten bei Schüler/-innenversuchen zum Stromkreis. Zwei Schüler/-innengruppen hatten damals den Arbeitsauftrag<sup>2</sup>, die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von der Länge eines Leiters zu messen. Die Analyse des Videofilms<sup>3</sup> führte zu folgenden Resultaten:

- Durch die Verwendung eines Netzgerätes mit unterschiedlichen Ausgängen und die Verwendung von Multimetern zur Strom- und Spannungsmessung werden einfache Experimente zum Stromkreis recht komplex. Die Schüler/-innen sind dadurch vor Probleme gestellt, welche die geforderte Aufgabenstellung überdecken.
- Die Analyse des Films und die Schüler/-innenrückmeldungen zeigen, dass Verbesserungen der Arbeitsaufträge und der Materialien zu den Schüler/-innenexperimenten erforderlich sind.

Ich erwartete mir damals eine Verbesserung der Lernbedingungen, wenn:

- die Schüler/-innen einzeln arbeiten
- neben dem Schaltplan ein Blatt zur Erklärung des Multimeters und ein Bild eines Stromkreises mit eingebautem Spannungs- und Strommessgerät aufliegen
- der Lehrer nur nach Aufforderungen der Schüler/-innen Hilfestellungen gibt.

Die Überprüfung dieser Annahmen erfolgte im Schuljahr 2002/03. Hier ist zu berücksichtigen, dass meine Arbeitsaufträge in den Wochenarbeitsplänen jeweils unterschiedliche Stoffgebiete aufgreifen. Jedes einzelne Stoffgebiet wird dadurch in einzelnen zeitlich auseinander liegenden Etappen erarbeitet. Zwischen dem Schüler/-innenexperiment zur Messung des elektrischen Widerstandes eines Drahtes und dem hier beschriebenen Schülerexperiment liegt etwa die Dauer eines halben Jahres.

---

<sup>2</sup> Seit der ersten Klasse werden die Schüler/-innen in einem Freiarbeitsmodell unterrichtet. Vgl. Walter Rigger 1999

<sup>3</sup> Vgl. Walter Rigger 2002

## 2.2 Datenerfassung

## 2.3 Unterrichtsablauf

Im November 2002 erhielten die sechs Realist/-innen einer typengeteilten Klasse folgenden Arbeitsauftrag zur Serien- und Parallelschaltung:

### **Parallel- und Serienschaltung (3h)**

*Schülerversuch: Miss zuerst die Widerstände der beiden Glühbirnen (vgl. 3.1)!<sup>4</sup>*

*Beide Glühbirnen sind parallel und in Serie zu schalten. Zeichne die entsprechenden Schaltpläne und notiere deine Beobachtungen zur Helligkeit der Glühbirnen!*

*Miss für die Parallelschaltung die Ströme, die durch die einzelnen Glühbirnen fließen und ermittle daraus den Gesamtstrom durch die Spannungsquelle!*

*Miss für die Serienschaltung die Spannungen, die an den Glühbirnen anliegen und ermittle daraus die Gesamtspannung der Spannungsquelle! Ergänze in beiden Fällen die Schaltpläne durch die entsprechenden Messgeräte!*

*Im Buch SEXL3 findest du eine Erklärung, wie aus den Einzelwiderständen der Gesamtwiderstand bei Serienschaltung und Parallelschaltung ermittelt werden. Schreibe eine Zusammenfassung ins Heft (incl. Kirchhoffscher Gesetze)!*

Vor der Durchführung dieses Arbeitsauftrages habe ich in einer lehrerzentrierten Stunde die Schaltpläne für die Parallel- und die Serienschaltung erklärt.

Die Schüler/-innen mussten diesen Arbeitsauftrag einzeln ausführen und erhielten von mir noch zusätzliches Anschauungsmaterial<sup>5</sup>:

- ein Foto mit Erläuterung der Ausgänge des Netzgerätes
- ein Foto mit Erläuterung der Eingänge des digitalen Multimeters
- ein Foto mit Erläuterung der Eingänge des analogen Multimeters
- ein Foto eines Stromkreises mit einer Glühbirne und einen entsprechenden Schaltplan zur Messung von Spannung und Stromstärke

### **2.3.1 Methode der Datenerfassung**

Die Experimente einer Schülerin (SW) wurden mit einer digitalen Videokamera aufgezeichnet. Die Kamera war auf einem Stativ so fixiert, dass der Experimentiertisch gut einzusehen war. Ein externes Mikrofon zeichnete die Dialoge zwischen SW und dem Lehrer (L) deutlich auf. Ich habe die Videos mehrmals betrachtet und in Hinblick auf meine Fragestellungen analysiert. Mir wesentlich erscheinende Szenen habe ich transkribiert. Aus dem Transkript<sup>6</sup> wird insbesondere auch der zeitliche Ablauf des Versuches deutlich. Nach der Fertigstellung des Arbeitsauftrages holte ich von SW eine schriftliche Rückmeldung ein.

---

<sup>4</sup> Hinweis auf das Protokoll des 3. Arbeitsauftrages des vergangenen Schuljahres

<sup>5</sup> siehe Anhang 2

<sup>6</sup> siehe Anhang 3

### 2.3.2 Ergebnisse der Datenerfassung

SW ist nicht in der Lage, das Experiment des Arbeitsauftrages in einer Unterrichtseinheit zu erfüllen, sie benötigt dazu drei Einheiten. Das liegt auch daran, dass sie erst in der zweiten Hälfte der ersten Unterrichtsstunde mit den Messungen beginnt.

In der ersten Unterrichtseinheit (ca. 30 Minuten) gelingt es ihr nur den Stromkreis samt Messgeräten aufzubauen. Zur Messung selbst kommt sie nicht mehr.

In der zweiten Unterrichtseinheit ist sie 45 Minuten mit dem Versuch beschäftigt. In dieser Stunde hat sie die einzelnen Widerstände gemessen und die Serienschaltung aufgebaut und gemessen. Bevor sie die Ströme bei der Parallelschaltung messen konnte, war die Stunde vorbei.

In der dritten Unterrichtseinheit hat sie den Versuch innerhalb von zwanzig Minuten fertig gestellt.

Hier werden die für die Fragestellung wichtigen Abschnitte des Versuches vorgestellt:

#### Erste Unterrichtseinheit:

SW hält sich nicht an die Reihenfolge des Auftrages und versucht, direkt mit dem Multimeter den Widerstand einer einzelnen Glühbirne zu messen.

Nach zehn Minuten kontrolliert L unaufgefordert SW. Dialog:

L: „Was misst du da?“

SW: „Widerstand“

L: „Mit dem Gerät?“

SW: „Da (zeigt auf Bild des Multimeters): Eingang für Spannung und Widerstandsmessung“

L: „Du hast da die Parallelschaltung - du misst?“

SW: „Widerstandsmessung“

L: „Den Widerstand misst du mit der Formel: Der Widerstand ist Spannung durch Stromstärke. Nicht direkt, sondern mit Spannung durch Stromstärke.“

SW: „Also muss ich die Spannung zuerst messen“

L: „Du musst die Spannung messen und die Stromstärke. Und zuerst solltest du ohne Parallel (kontrolliert Schaltung, zeigt auf Arbeitsauftrag). Hast du das schon gemacht? (Zitierend) Miss zuerst den Widerstand der beiden Glühbirnen.“

SW: „Also beide einzeln?“

L: „Einzeln. Probiere das zuerst einzeln zu messen!“

SW entfernt eine Glühbirne und schaltet ein Voltmeter in Serie mit der anderen Glühbirne. Nach weiteren drei Minuten fragt sie L:

SW : „Jetzt weiß ich nicht. Also da ist der Eingang für die Spannung (zeigt auf Multimeter). Wo ist der Ausgang?“

L: „Was misst du wirklich?. Hast du das Bild angeschaut? Es steht alles da. Im Schaltbild. Es ist da hinten.“ L zeigt auf Blätter.

SW: „Ja“

L: „Strom- Spannungsmessung, wie das genau aussieht“

SW sucht Schaltplan, zeigt dann auf das Photo des Multimeters: „Ja hier ist der Eingang für Spannungs- und Widerstandsmessung“

L: „Was willst du mit dem messen?“

SW: „Die Spannung“

L: „Für welche Spannungsquelle? “ SW zeigt auf Netzgerät: „Da“.

L: „Dann miss sie dort!“ L wendet sich ab, kommt gleich zurück: „Du musst also wirklich die Spannung messen! Was misst du so, wenn du es so hereinschaltest?“

SW: „Widerstand“

L: „Also den Widerstand eigentlich nicht, du solltest nur die Spannung messen!“

SW lässt Voltmeter immer noch in Serie zur Glühbirne und dreht an den Reglern des Netzgerätes. L kommt nach fünf Minuten wieder unaufgefordert.

SW zeigt auf Drehregler: „Auf wie viel muss ich da stellen?“

L: „Weiß nicht, schau, wenn die Glühbirne leuchtet. Bei welcher Spannung.“

SW: „Wie sehe ich?“

L: „Du musst halt schauen, bei welcher Spannung!“

SW: „Irgendwas habe ich da falsch.“ Steckt alle Kabel aus.

L: „Du kannst ja schauen, bei welcher Spannung die Birne leuchtet.“ L zeigt auf das Bild mit der Versuchsanordnung. L: „Hier sind alle Sachen so geschaltet, wie man das für diese Messung...“ L verlässt SW.

Knapp vor Ende der Stunde baut SW mit Hilfe der Bilder das Voltmeter richtig ein. Kommt aber nicht mehr dazu, die Messung auszuführen.

### Zweite Unterrichtseinheit:

Am Anfang der Stunde erklärt L noch einmal, dass sie zuerst bei jeder Glühbirne den Widerstand berechnen soll. Obwohl sie die Abbildung mehrmals betrachtet, baut sie wieder das Voltmeter in Serie ein. Nach sechs Minuten kommt L unaufgefordert und sagt nur, dass die Schaltung falsch ist. Nach weiteren drei Minuten bringt L ein weiteres Multimeter, das sie dann mit Hilfe des Fotos richtig einbaut. Bevor sie mit der Messung beginnt, holt sie L.

L prüft Schaltung. L: „Also gut, dann schalten wir die Geräte ein. Du hast einen Spannungsbereich von 200V eingestellt. Brauchst du so viel?“

S: „Nein.“ L: „Du musst also was einstellen?“ S: „Zwanzig“ L: „Zwanzig. Dann hast du einen Strommessbereich bis zu 200 Milliampère eingestellt. Das würde ich sicherheitshalber lassen. Wir drehen zuerst den Spannungsregler zurück und jetzt gehen wir hoch.“

S dreht am Regler. L: „Kannst du dich erinnern, was für eine Spannung du das letzte mal hattest?“ S schaut auf Ampèremeter: „Hundertachtundzwanzig.“

L: „Warte einmal. Was für eine Spannung hast du?“ L schaut auf richtiges Gerät. S: „7,8 Volt“ L: „Du kannst ruhig auf zehn Volt gehen“ S macht das. L: „Jetzt haben wir das erste Birnchen. Du brauchst einen Rechner. Würde gleich den Widerstand ausrechnen.“

L zeigt auf Ampèremeter: „Das sind Milliampère“ S: „Ja“ L: „Du musst das in Ampère umwandeln. Das ist die erste Birne. Und wenn du die zweite Birne nimmst, kannst du alles eingeschaltet lassen. Du arbeitest jetzt immer mit 10 Volt. Dann kannst du die zweite Birne hierher geben.“

Nach insgesamt achtzehn Minuten hat SW beide Einzelwiderstände berechnet. L erklärt ihr dann unaufgefordert, dass sie bei der Serienschaltung die beiden Spannungen an den Glühbirnen messen soll. SW schließt wieder ein Voltmeter in Serie nach der ersten Glühbirne an und verlangt dann L.

L kommt.

SW: „Ich muss hier immer den Widerstand messen. Nach dem...“ SW zeigt dabei auf die erste Glühbirne.

L: „Was misst du denn hier?“

S: „Den Widerstand, Ampère ..., ich weiß nicht.“



L fährt mit Finger über die Bauelemente der Schaltung. L: „Wenn der Strom hier durchfließt... Zeige mir das Bild“

SW zeigt Schaltbild.

L: „Was steht hier für eine Bezeichnung?“

SW: „U“

L: „Ja, was ist U?“

SW „U?.. U ist...“ SW blättert, grinst L an. SW: „Ich weiß nicht“

L wartet lange, ist verdattert. L: „ U ist Spannung“ SW: „Spannung. Das heißt ich muss Volt messen.“

L zeigt auf Schaltung: „Ja, aber nicht so. Mach das Bild noch einmal und baue ein Spannungsmessgerät ein. Welche Spannung ist an dieser Birne und welche Spannung ist an dieser Birne. ...“

Nach insgesamt dreißig Minuten hat SW den Schaltplan für die Serienschaltung mit den beiden Voltmetern richtig gezeichnet. Beim Stecken bleibt das Voltmeter in Serie. Nach einer weiteren Hilfestellung von L baut sie die beiden Spannungsmessgeräte richtig ein. Auch bei der Messung ist L behilflich.

### Dritte Unterrichtseinheit:

SW hat die Messung für die Parallelschaltung alleine durchgeführt. L war nur noch beim Ablesen der Stromstärke vom analogen Messgerät behilflich.

## **2.4 Dateninterpretation**

Die Anleitung des Arbeitsauftrages: „*miss zuerst die Widerstände der beiden Glühlampen (vgl. 3.1)!*“ wurde von SW falsch verstanden, da sie das Arbeitsprotokoll des Auftrages 3.1 des Vorjahres nicht mehr zur Verfügung hatte. Anstatt den Widerstand aus der Ohm'schen Beziehung zu ermitteln, hat sie versucht, diesen direkt mit dem Multimeter zu messen.

Trotz Schaltplan und Foto gelang es SW lange nicht, das Spannungsmessgerät richtig anzuschließen. Die Schülerin hat den Begriff der elektrischen Spannung nicht richtig erfasst, sie kennt nicht einmal das dafür verwendete Symbol.

Bei allen zielführenden Handlungen musste L die nötigen Anweisungen geben. An den Vorsatz, nur dann einzugreifen, wenn die Schülerin das will, hat sich L nicht gehalten.

Trotz vieler Hilfestellungen benötigt SW für den Versuch etwa die doppelte Zeit, die ich dafür etwa erwartet habe. Den größten Teil der Arbeitszeit brauchte sie für den richtigen Einbau der Messgeräte bei einem einfachen Stromkreis. Erst in der dritten Unterrichtseinheit hat sie die Problemstellung richtig erfasst und fast selbstständig gelöst.

## **2.5 Rückmeldung der Schülerin**

Am Ende des Arbeitsauftrages verlangte ich von SW eine schriftliche Rückmeldung zur Vorbereitung des Versuches, zum aufgelegten Bildmaterial und zu den schriftlichen Anleitungen.

Zu den Begriffen der verwendeten Symbole und Einheiten schreibt sie: „Musste ich vereinzelt nachfragen“. Weiter: „Im Schulbuch bin ich eigentlich nicht wirklich mitgekommen und hat mir auch so gut wie nichts gebracht. Bilder und Schaltpläne waren sehr wichtig, ohne die hätte ich wahrscheinlich viel länger gebraucht. Die Anleitung wäre besser gewesen, wenn die Formel für U und die wichtigsten Zeichen und deren Bedeutung noch angeführt worden wären.“

Auf die Frage, was sie gelernt habe, antwortet sie: „Ja, da ich alleine arbeiten musste (obwohl ich es nicht mochte), musste ich mehr denken und alles alleine herausfinden.“

## 2.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Obwohl Arbeitsaufträge für die Schüler/-innen eine willkommene Abwechslung zum lehrerzentrierten Unterricht sind, erfordern Schüler/-innenexperimente zum Stromkreis einige Hilfestellungen. Notwendig ist insbesondere ein theoretisches Grundkonzept zum Stromfluss und zur elektrischen Spannung sowie eine Erläuterung zur Symbolik eines elektrischen Schaltplans.

Darüber hinaus müssen die Schüler/-innen die verschiedenen Verwendbarkeiten des Multimeters als Spannungs- und Strommessgerät verstehen. Die Analyse des Films hat gezeigt, dass dafür ein Bild eines Stromkreises und der dazugehörige Schaltplan nicht ausreichen. Der Zeitaufwand für dieses Schüler/-innenexperiment ist trotz Hilfestellungen von Seiten des Lehrers unerwartet hoch. Es hat sich aber gezeigt, dass die Schülerin am Schluss doch in der Lage war, die erforderlichen Messungen selbständig und richtig durchzuführen.

Ob dieser Lerneffekt auch nachhaltig ist, könnte in einer weiteren Videoanalyse nach einem zeitlich größeren Abstand überprüft werden. Notwendige Voraussetzungen für ein erfolgreiches Schüler/-innenexperiment erscheinen mir:

- Wiederholung der elektrischen Größen: Spannung, Strom und Widerstand mit deren Symbolen und Einheiten
- erklärendes Anschauungsmaterial zu den Messgeräten
- Schaltpläne (mit eingebauten Messgeräten)

Meine Erfahrungen mit selbstständigem, eigenverantwortlichem Lernen im Physikunterricht zeigen, dass für das Verständnis der relevanten physikalischen Größen im elektrischen Stromkreis sowohl eine fundierte theoretische Erklärung als auch das praktische Experimentieren notwendig sind.

## LITERATUR

Rigger, Walter: Freiarbeit im Physikunterricht der Oberstufe, Können unterschiedliche Stoffgebiete der Physik gleichzeitig unterrichtet werden?, PFL-Naturwissenschaften, Nr.51, IFF, Klagenfurt 1999

Rigger, Walter: Freiarbeit im Physikunterricht der Oberstufe, Wird das Freiarbeitsmodell den Fähigkeiten der Schüler/-innen gerecht? IMST<sup>2</sup>, Klagenfurt 2001, <http://imst.uni-klu.ac.at>

Rigger Walter: Lernprozesse bei Schülerversuchen zum Stromkreis. Analyse eines Films (Teil 1) in: Gebhard Köb, Gerda Oelz, Walter Rigger: Physikunterricht neu - Aktivitäten am BG Dornbirn im Schuljahr 2001/02, IMST<sup>2</sup>, Klagenfurt 2002, <http://imst.uni-klu.ac.at/>

# ANHÄNGE

## Anhang 1:

1. Skizziere im Rückblick folgende Aspekte des Projektes:

- a) Lösung physikalischer Problemstellungen (Welche? Wie?)
- b) Erlernen von Programmier Techniken (Welche? Wie?)

Das Programm ‚swing‘ berechnet die Auslenkung und die Geschwindigkeit einer an einer Feder schwingenden Masse.

Hier gilt:  $F = -k \cdot y$  (k... Federkonstante, y... Auslenkung)

Setzt man die Federkraft in die Bewegungsgleichung:  $F = m \cdot a$  ein, erhält man:

$$-k \cdot y = m \cdot a \quad \text{Jetzt kann man die Beschleunigung } a \text{ berechnen.}$$

Da  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ , gilt für die Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v = a \cdot \Delta t$ .

Die neue Geschwindigkeit berechnet sich  $v_{\text{neu}} = v_{\text{alt}} + \Delta v$  !

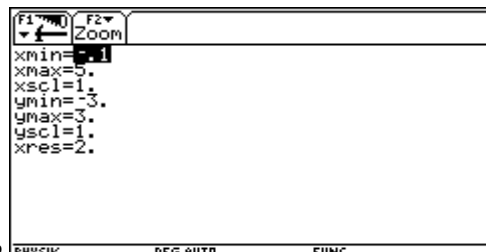
2. Berechne die neue Geschwindigkeit mit der Bewegungsgleichung!

(Die Lösung enthält nur die Masse, die momentane Auslenkung, die Federkonstante und das Zeitintervall)

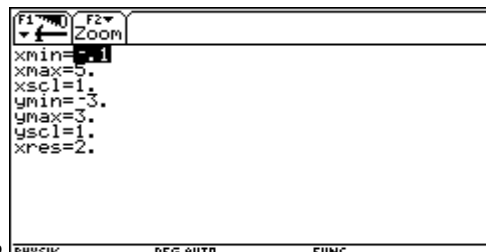
3. Wie lautet die entsprechende Zeile im TI-Programm?

4. Erkläre, wie man die neue Auslenkung y berechnet!

5. Was bewirkt der Befehl **While**?



```
F1 F2  
Zoom  
xmin=0  
xmax=5  
xscl=1  
ymin=-3  
ymax=3  
ysc1=1  
xres=2  
PHYSIK DEG AUTO FUNC
```

Stelle unter WINDOW die Fensterdaten so ein  und führe das Programm swing() aus!

6. Welche Startwerte haben Masse und Federkonstante?

7. Miss im Graphen die Schwingungsdauer T, die Amplitude (max. Auslenkung) und die maximale Geschwindigkeit! Lösche den Graphen mit F4!

8. Ändere in den Startwerten die Masse auf 4 und die Federkonstante auf 15! Führe wie vorher das Programm aus und miss wieder Schwingungsdauer T, die Amplitude und die maximale Geschwindigkeit!

9. Ändere die Anfangsbedingungen so, dass die Masse aus der Ruhelage heraus mit einer Geschwindigkeit von  $v=2$  zu schwingen beginnt! Wie groß wird die maximale Auslenkung? Wann wird sie erreicht?

Arbeitsauftrag vom 25. Juni 2003

## Anhang 2

# Netzgerät

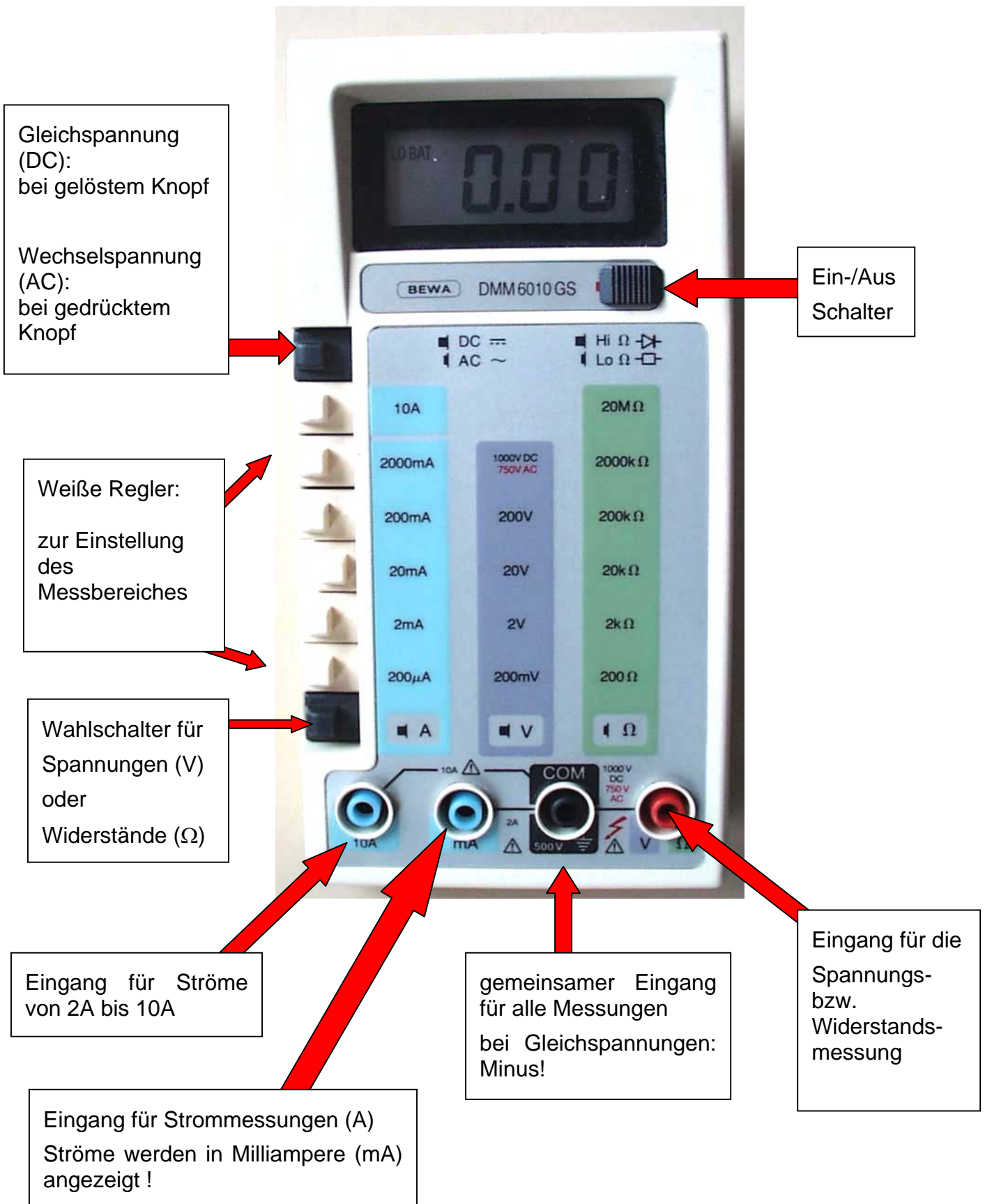


Fixe Wechselspannungen

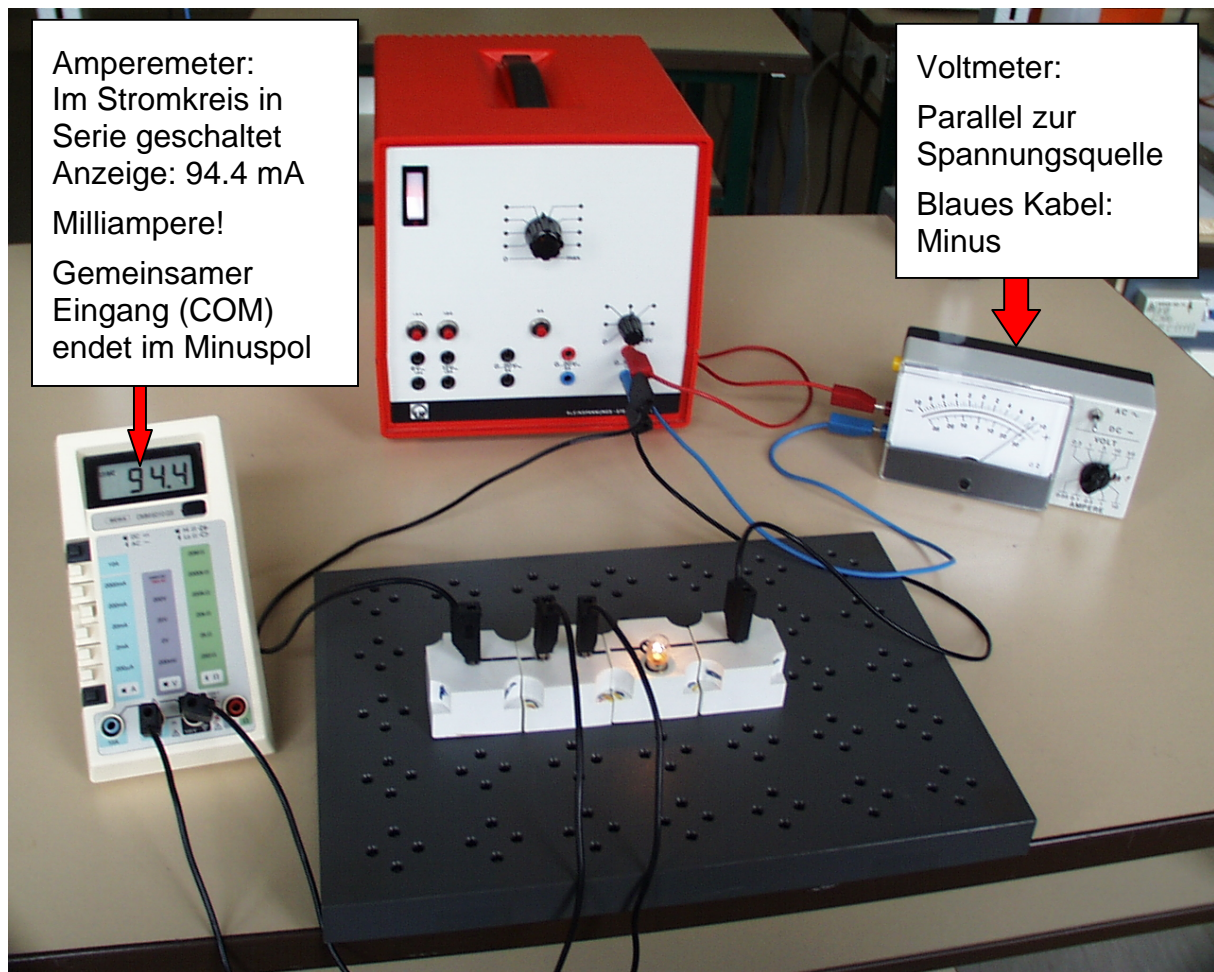
Gleichspannungen:  
Blau: minus  
Rot: plus  
Rechts: kleiner Regler

Spannungen für großen Regler:  
Links: Wechselspannung  
Rechts: Gleichspannung

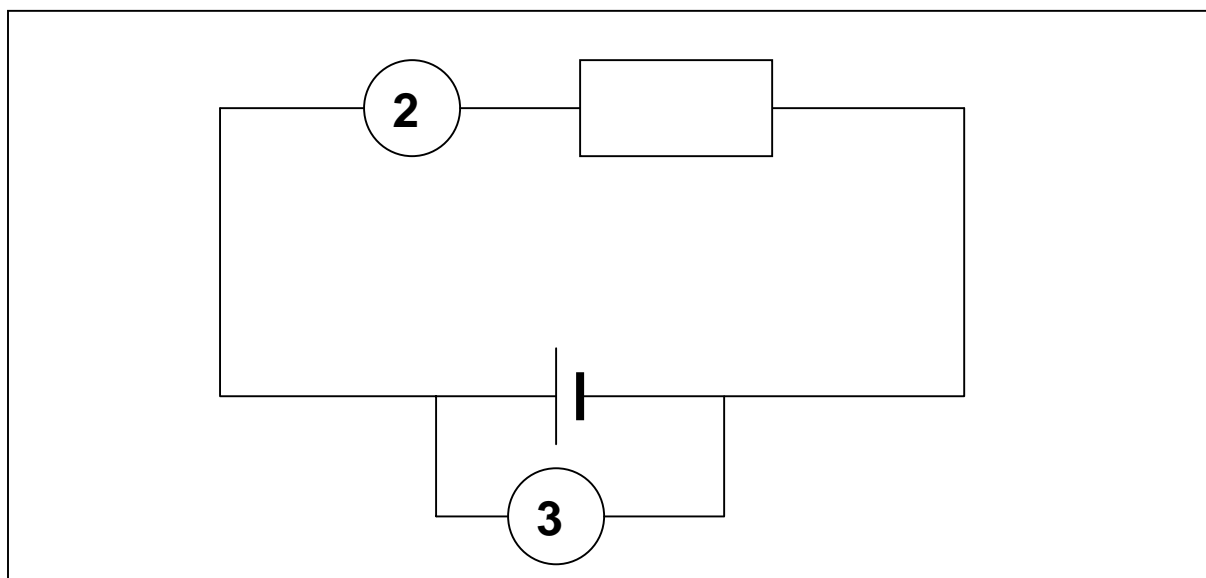
# Multimeter



# Elektrischer Stromkreis



Schaltbild:



# Anhang 3

## Videotranskript

### Widerstandsmessung von Parallel- und Serienschaltung Okt 2002 SW

Nachdem SW in der ersten Hälfte der Unterrichtseinheit einen anderen Arbeitsauftrag erledigte, hat sie Arbeitsmaterialien, Multimeter, Netzgerät, Steckplatte und Schaltelemente für Schülerversuche am hinteren Arbeitstisch hergerichtet.

Min	Handlung
00	SW liest Arbeitsauftrag, erhält von L Fotos mit Schaltbildern, Geräten und Versuchsaufbau
01	SW beginnt die Parallelschaltung mit den Steckelementen aufzubauen und blickt dabei immer kontrollierend auf den Schaltplan. Sie benötigt dafür fast alle Steckelemente
04	SW beobachtet Bild mit Multimeter, Foto mit Schaltkreis und Netzgerät
06	schließt Schaltkreis mit Kabel an Netzgerät an
07	schließt mit Kabel Multimeter parallel an eine Glühbirne
09	SW verlangt nach mir, zeigt auf Anschluss des Multimeters. „Also das stimmt nicht da. Hier ist der Eingang.“ L: „Was misst du da?“ SW: „Widerstand“ L: „Mit dem Gerät?“ SW: „Da (zeigt auf Bild des Multimeters): Eingang für Spannung und Widerstandsmessung“ L: „Du hast da die Parallelschaltung - du misst?“ SW: „Widerstandsmessung“ L: „Den Widerstand misst du mit der Formel: Der Widerstand ist Spannung durch Stromstärke. Nicht direkt, sondern mit Spannung durch Stromstärke.“ SW: „Also muss ich die Spannung zuerst messen“ L: „Du musst die Spannung messen und die Stromstärke. Und zuerst solltest du ohne Parallel. (kontrolliert Schaltung, zeigt auf Arbeitsauftrag) Hast du das schon gemacht? (Zitierend) Miss zuerst den Widerstand der beiden Glühbirnen.“ SW: „Also beide einzeln?“ L: „Einzeln. Probierst das zuerst einzeln zu messen!“
10	L lässt SW wieder alleine. Sie steckt Parallelschaltung wieder aus. Übrig bleibt Stromkreis mit einer Glühbirne an den sie das Voltmeter in Serie schaltet.
12	Holt Bleistift, schreibt auf die Rückseite des Arbeitsauftrages?
13	SW verlangt nach L: „Jetzt weiß ich nicht. Also da ist der Eingang für die Spannung(zeigt auf Multimeter). Wo ist der Ausgang?“ L: „Was misst du wirklich? Hast du das Bild angeschaut? Es steht alles da. Im Schaltbild. Es ist da hinten (zeigt auf Blätter). SW: „Ja“ L: „Strom- Spannungsmessung, wie das genau aussieht“ SW sucht Schaltplan, zeigt dann auf das Photo des Multimeters: „Ja hier ist der Eingang für Spannungs- und Widerstandsmessung“ L: „Was willst du mit dem messen?“ SW: „Die Spannung“ L: „Für welche Spannungsquelle? “. SW zeigt auf Netzgerät: „Da“.



L: „Dann miss sie dort!“ L wendet sich ab, kommt gleich zurück: „ Du musst also wirklich die Spannung messen! Was misst du so, wenn du es so hereinschaltest?“

SW: „Widerstand“

L: „Also den Widerstand eigentlich nicht, du solltest nur die Spannung messen!“

- 15 L verlässt SW, sie lässt Voltmeter in Serie im Stromkreis, schaltet am Messgerät aus und ein, versucht Drehregler, betrachtet lange Zeit das Netzgerät, ohne etwas zu machen, schreibt dann etwas auf das Blatt, betrachtet das Bild des Versuchsaufbaus, radiert etwas aus.
- 18 L kommt unaufgefordert. SW zeigt auf Drehregler: „Auf wie viel muss ich da stellen?“  
L: „Weiß nicht, schau, wenn die Glühbirne leuchtet. Bei welcher Spannung.“  
SW: „Wie sehe ich?“  
L: „Du musst halt schauen, bei welcher Spannung!“  
SW: „Irgendwas habe ich da falsch.“ Steckt alle Kabel aus.  
L: „Du kannst ja schauen, bei welcher Spannung die Birne leuchtet.“ L zeigt auf das Bild mit der Versuchsanordnung. L: „Hier sind alle Sachen so geschaltet, wie man das für diese Messung...“ L verlässt SW.
- 19 SW steckt wieder die Kabel so, dass das Voltmeter in Serie zum Stromkreis liegt. Sie schaltet das Netzgerät ein und dreht erfolglos am Drehregler.
- 20 schaut jetzt das Bild der Versuchsanordnung an und versucht den Stromkreis anhand des Bildes nachzubauen, stockt, betrachtet lange das Bild.
- 22 SW baut beinahe alle Schaltelemente aus mit Hilfe des Bildes schaltet sie jetzt das Voltmeter parallel zum Stromkreis.
- 24 Es läutet. SW ist nicht mehr in der Lage die aufgebaute Schaltung zu überprüfen und baut ab.

In der darauf folgenden Ph-Stunde ist SW krank. Eine Woche später macht sie den Arbeitsauftrag noch einmal.

### **Min Handlung**

- 0 S hat Bauelemente, Anleitungen und ein Multimeter am Arbeitstisch. L: „Erstens brauchst du das Angabeblatt“ SW holt es. L: „Schau her, da steht, miss zuerst die beiden Widerstände“  
S: „Also jeden einzeln“ L: „das heißt, du misst den Stromkreis und der Widerstand ergibt sich durch Spannung durch Stromstärke. Dann baust du den entsprechenden Schaltplan. Das heißt, du gibst beide an die Spannungsquelle hin, und zwar so, dass sie einmal in Serie und einmal parallel sind.“ L zeigt auf Bilder. L: „Hier hast du noch Anschauungsmaterial! Du misst immer nur Ströme und Spannungen und schaust dann, was sind die Widerstände.“ L verlässt SW.
- 2 Schaut auf Stromkreisfoto, baut Stromkreis, schließt Voltmeter an, achtet dabei immer wieder auf das Foto. Wechselt Kabel von Volt- auf Ampèremeter. Kommt nicht weiter, betrachtet Fotos von Schaltkreis und Multimeter.
- 6 L kommt unaufgefordert. L: „Du darfst mich natürlich jederzeit fragen“ S: „Passt das jetzt so?“ L kontrollierend: „Nein, dieses Gerät stimmt nicht. Du misst auch nicht die Spannung! Versuche das am Multimeter zu ändern. Dieses Gerät ist falsch“. L geht.
- 8 Schaut Foto an, ändert Messbereich am Voltmeter, erscheint hilflos, gibt L ein Handzeichen zum Kommen.
- 9 L kommt. S: „Stimmt das so?“ L: „Was willst du mit diesem Gerät messen?“ S: „Spannung“  
L zeigt ihr das Foto. L: „Überlege, ob das stimmen kann!“ Beide betrachten Foto. L: „Der Widerstand ist die Glühbirne“ S: „Mit dem messe ich die Spannung.“ L: „Richtig ich gebe dir gerne noch ein anderes Messgerät.“ L holt dieses vom Kasten direkt hinter Arbeitstisch.
- 10 SW baut mit Hilfe der Bilder weiter. Schließt zweites Multimeter an Spannungsquelle, prüft noch einmal die Schaltung anhand des Bildes.

- 13 SW holt L. L prüft Schaltung. L: „Also gut, dann schalten wir die Geräte ein. Du hast einen Spannungsbereich von 200V eingestellt. Brauchst du so viel?“ S: „Nein.“ L: „Du musst also was einstellen?“ S: „Zwanzig“ L: „Zwanzig. Dann hast du einen Strommessbereich bis zu 200 Milliampère eingestellt. Das würde ich sicherheitshalber lassen. Wir drehen zuerst den Spannungsregler zurück und jetzt gehen wir hoch“: S dreht am Regler. L: „Kannst du dich erinnern, was für eine Spannung du das letzte mal hattest?“ S schaut auf Ampèremeter: „Hundertachtundzwanzig“ L: „Warte einmal. Was für eine Spannung du hast?“ L schaut auf richtiges Gerät. S: „7,8 Volt“ L: „Du kannst ruhig auf zehn Volt gehen“ S macht das. L: „Jetzt haben wir das erste Birnchen. Du brauchst einen Rechner. Würde gleich den Widerstand ausrechnen.“ L zeigt auf Ampèremeter: „Das sind Milliampère“ S: „Ja“ L: „Du musst das in Ampère umwandeln. Das ist die erste Birne. Und wenn du die zweite Birne nimmst, kannst du alles eingeschaltet lassen. Du arbeitest jetzt immer mit 10 Volt. Dann kannst du die zweite Birne hierher geben.“ S: „Ja.“ L zieht an Glühbirnenbauelement: „Die kannst du so wechseln.“
- 15 L verlässt SW. SW protokolliert Messdaten, holt den Rechner, schreibt, rechnet noch einmal
- 17 SW wechselt Glühbirne, liest Stromstärke ab. Ist unsicher, wendet sich an Mitschüler am Nebentisch: „Du der Widerstand dieser Glühbirnen, also hier ist Volt“ SW lacht: „Komm einmal!“ Mitschüler kommt nicht. SW rechnet, protokolliert, schaltet Geräte ab und entfernt Kabel.
- 18 L kommt unaufgefordert: „Hast du schon beide Widerstände berechnet?“ S: „Ja, da.“ L prüft Protokoll: „Das sind die beiden Widerstände. Jetzt solltest du dir überlegen,... jetzt steht das Schaltbild nicht mehr darauf (meint Abbildung von Stromkreis mit Schaltbild). Diese zwei Widerstände solltest du einmal in Serie und einmal parallel schalten.“ SW: „Ja“ SW zeigt schon fertiges Schaltbild (hat sie schon vor der letzten Stunde angefertigt) L: „Mit welcher Schaltung willst du anfangen?“ SW zeigt auf ihr Schaltbild: „Serie“. L: „Serie. Also du hast das Schaltbild richtig. Jetzt solltest du dir hier nur überlegen. Du brauchst jetzt drei Geräte. Du lässt die Spannung 10Volt eingeschaltet“: L fährt mit Finger über Schaltbild: „Also da kann nur ein Strom fließen. Und dann schreibst du hierher U1 und U2!“ S: „Muss ich hier auch noch messen?“  
L: „Diese zwei Spannungen will ich gemessen haben. Also du baust es zuerst auf. Und ich will die Spannung U1 und U2, dass du diese auch misst. Also das kann man.“ SW: „Hmm“
- 19 L verlässt SW. Sie holt weitere Bauelemente, schaltet Lampen in Serie, prüft Anschlüsse mit dem Schaltplan. Schließt Voltmeter an einer Seite der ersten Glühbirne in Serie falsch an. Hantiert mit Ampèremeter.
- 22 SW verlangt nach L. L kommt nicht sofort, SW geht zum Nachbartisch.
- 24 L kommt. SW: „Ich muss hier immer den Widerstand messen. Nach dem“ SW zeigt dabei auf die erste Glühbirne. L: „Was misst du denn hier?“ S: „Den Widerstand, Ampère ..., ich weiß nicht.“ L fährt mit Finger über die Bauelemente der Schaltung. L: „Wenn der Strom hier durchfließt... Zeige mir das Bild“ SW zeigt Schaltbild. L: „Was steht hier für eine Bezeichnung?“ SW: „U“ L: „Ja, was ist U?“ SW „U?.. U ist...“ SW blättert, grinst L an. SW: „Ich weiß nicht“ L wartet lange, ist verdattert. L: „ U ist Spannung“ SW: „Spannung. Das heißt ich muss Volt messen.“
- 25 L zeigt auf Schaltung: „Ja, aber nicht so. Mach das Bild noch einmal und baue ein Spannungsmessgerät ein. Welche Spannung ist an dieser Birne und welche Spannung ist an dieser Birne. Im Übrigen musst du nur einmal den Strom messen. Bau hier in dieses Schaltbild irgendwo...“ L fährt über die Bauelemente: „Der Strom ist dieses schwarze, da ist doch überall der gleiche Strom.“ SW schaut auf Schaltung: „Ja, das messe ich jetzt einmal hier.“
- 26 L: „Ja, es genügt, wenn du irgendwo einmal den Strom misst, wo ist egal.“ SW: „Das messe ich einmal hier“ SW zeigt auf Schaltung: „Und dann messe ich hier die Spannung.“ L: „Ja, aber mach das Bild noch einmal neu, wo diese Spannungsgeräte so eingebaut sind wie hier.“ L zeigt auf Bild mit Schaltplan. SW: „Soll ich das gleich?“
- 27 L verlässt SW. SW zeichnet Schaltbild und wartet dann untätig auf L.
- 30 SW verlangt L mit Handzeichen. L kommt. SW: „Da habe ich ihn.“ L zeigt mit Finger auf Plan: „An jeder Glühbirne ist ein Voltmeter parallel geschaltet.“ SW: „Ah, parallel.“ L mit Finger auf Schaltplan: „Natürlich, hier ist eine bestimmte Spannung, damit etwas durchfließen kann und hier ist eine bestimmte Spannung, damit etwas durchfließen kann. SW: „Ok.“
- 31 SW korrigiert Plan und beginnt sofort mit dem Aufbau der Schaltung. L kommt wieder: „Stimmt. Jetzt kannst du anfangen. Aber pass auf, der Strom muss durchfließen können. Ich

- würde jetzt von vorne anfangen das aufbauen. Ja probier das aus.“  
 SW: „Ich komme schon weiter.“ SW zeigt Anschluss des Ampèremeters: „Da ist Ampère, Stromstärke.“ L zeigt auf Schaltplan: „Mach das hier außerhalb von der ganzen Geschichte. Und dann kommen...“ SW unterbrechend: „Da kommt das hier.“
- 32 L: „Das ist aber nicht so, wie du das aufgezeichnet hast. Du hast das immer noch in Serie gelassen, wie es drinnen ist. Es stimmt nicht.“ L zeigt auf Schaltplan: „Das ist nicht so, wie es drinnen ist“ SW: „Nicht?“ L zeigt auf Glühbirnen im Plan: „Du musst hier und hier immer auf beiden Seiten weggehen und immer auf beiden Seiten ans Voltmeter“ L zeigt auf Schaltung: „Und das hast du hier nicht. Nicht von einer und von der anderen Seite.“ SW nimmt Kabel zum richtig angeschlossenen Voltmeter: „Jetzt hier ist die eine Seite und hier die andere“ L schaut Anschluss an: „Das geht, das ist richtig.“ SW zeigt auf richtige Glühbirne: „Und hier habe ich das Gleiche noch einmal.“ L: „Das ist die eine Seite, das ist die andere Seite, da misst du Volt.“ L zeigt auf Anschluss des zweiten Voltmeters: „Und jetzt ist hier herinnen noch ein Fehler.“
- 33 „Ach so, jetzt komme ich, glaube ich, mit“ SW nimmt Bauelement mit einem Anschluss: „Da sollte ich so eines nehmen“. L entfernt falsches Bauelement, an dem Voltmeter in Serie liegt. L steckt an richtiges Bauelement einen Eingang des Voltmeters, nimmt anderes Kabel: „Was mache ich mit dem?“ SW zeigt auf richtige Buchse. L: „Ja. Natürlich.“ L prüft noch einmal die Anschlüsse: „Jetzt haben wir die 10 Volt eingeschaltet. Und wo ist die Strommessung?“ SW zeigt auf Voltmeter: „Hier“. L: „Das ist die Spannungsmessung.“ SW zeigt auf Ampèremeter: „Hier ist die Strommessung.“ L stellt daran den Messbereich ein, schaltet Netzgerät ein: „Jetzt musst du aufpassen.“ L gibt das Ampèremeter auf die andere Seite der Schaltung: „Das hier ist die Stromstärke, die gesamte Stromstärke, die wir jetzt haben.“ SW protokolliert Messwert.
- 34 L verlässt SW. SW liest Messwerte an beiden Voltmetern ab und protokolliert diese. SW wartet auf L untätig.
- 37 SW gibt ein Handzeichen, L kommt. SW: „Muss ich hier den Widerstand ausrechnen für beide? Also für die erste Glühbirne und für die zweite?“ L: „Was fällt dir hier auf?“ SW: „Dass sie nicht so stark leuchten.“ L: „Ja überhaupt weniger stark leuchten. Beide nicht.“ SW: „Ja.“ L: „Warum?“ SW lächelnd: „Ja weil sie zusammen halt mehr Stromstärke haben.“ L: „Haben die zusammengezählt mehr Stromstärke? In dieser Situation?“ SW: „Nein.“ L: „Weniger.“ SW: „Ja.“ L: „Jetzt pass auf. Warum leuchten sie weniger stark?“ L zeigt auf Anschluss am Netzgerät: „Hier haben wir eine Spannung von? Was haben wir hier eingestellt?“ SW: „Zehn.“ L: „Zehn Volt. Aber an dieser Birne ist nur noch eine Spannung von?“ SW schaut auf Voltmeter: „5,8 V“ L: „Also wir haben eine kleinere Spannung da.“ SW: „Ja.“ L zeigt auf andere Glühbirne: „An dieser habe ich schon gar nicht.“ SW unterbrechend: „4,2V“
- 38 L: „Also leuchten sie weniger stark. Jetzt dadurch, dass sie weniger stark leuchten und weniger Spannung haben sind die Drähte kälter, haben sie also andere Widerstände. Du kannst ja diese Widerstände berechnen noch einmal. Du hast ja Spannung durch Stromstärke. Es gibt nur einen Strom. Den hast du.“ SW: „Ja.“ L zeigt auf Ampèremeter: „Die gesamte Stromstärke ist die. Was hat jetzt diese Birne für einen Widerstand?“ SW: „Ja, das rechne ich aus.“ L: „Und was hat die Birne für einen. Und dann kannst du den Gesamtwiderstand ausrechnen. Du hast gesamt zehn Volt und gesamt diesen Strom und den kannst du durchrechnen.“ SW: „Und dann noch die Parallelschaltung.“ L: „Und dann machst du die Parallelschaltung und überlegst dir, was kann ich alles messen. Du musst wieder die Geräte richtig einbauen.“
- 39 L verlässt Arbeitstisch, kurz darauf auch SW. Sie kommt aber gleich wieder zurück.
- 40 SW protokolliert Messdaten und berechnet Widerstände. Protokolliert auf verschiedenen Blättern.
- 43 SW schaltet Netzgerät ab, entfernt Kabel, liest Arbeitsanleitung. SW entfernt Bauelemente der Serienschaltung.
- 44 SW betrachtet Schaltplan und beginnt den Aufbau der Parallelschaltung.
- 45 L kommt unaufgefordert. SW erklärend: „Parallelschaltung.“ L: „Du machst die Parallelschaltung. Was wird man innerhalb der Parallelschaltung messen wollen?“ L zeigt auf Schaltplan: „Du hast es hier schon deutlich gemacht.“ SW: „Ja.“ L: „Was sollte ich denn innerhalb der Parallelschaltung messen, dass du dir das vielleicht gleich überlegst.“ SW: „Ja, auch den Widerstand, halt die Stromstärke.“ L: „Auch die Stromstärke und zwar die einzelnen Ströme. Probier das so zu stecken, dass die drinnen sind.“ L verlässt SW.

- 46 SW baut Schaltung. L kommt wieder unaufgefordert: „So schaffst du es nicht.“  
L zeigt auf Schaltung: „Du solltest schauen. Hier fließt der Strom durch, da hast du es richtig gesteckt.“ L zeigt auf Anschluss für das Ampèremeter für den Gesamtstrom: „Da misst du den Strom.“ L zeigt auf Stromleitung durch eine einzelne Glühbirne: „Jetzt will ich aber diese hier auch.“ L steckt neues Element ein: „Also könnten wir probieren, dass wir diesen hier auch messen. Den Einzelstrom hier auch noch.“ L schaltet auch Ampèremeter für den ersten Teilstrom an: „Den auch noch, welcher fließt hier durch?“ SW: „Spannung hier.“ L: „Nein. Nicht Spannung.“ SW: „Stromstärke?“ L fährt erklärend mit Finger über die Bauelemente: „Hier fließt der Strom herein und jetzt verzweigt sich der Strom.“ SW: „Aha, ja.“ L: „Da geht er hier durch. Jetzt messe ich diesen Strom und hier mache ich dasselbe. Ich messe den Strom auch.“ L findet kein passendes Bauelement für den zweiten Anschluss und steckt das Ampèremeter direkt an Leiterplatte an: „Du brauchst dieses Ding nicht. Du kannst das auch so anstecken.“ SW zeigt auf Anschluss für Gesamtstrom: „Und soll ich das hier auch messen?“
- 47 L: „Ja, alle. Drei Messgeräte daran. Die 10 Volt stimmen schon, da drüben sind der Gesamtstrom und die beiden anderen. SW: „Und dann nachher noch die Volt?“ L: „Volt musst du nicht mehr messen.“ SW zeigt an beide Enden einer Glühbirne: „Da.“ L: „Das könntest du das nächste mal probieren, wie viel Volt dort dran sind.“ SW: „Soll ich das jetzt noch machen?“ L: „Wenn es geht die Ströme messen, oder willst du es das nächste mal?“ SW: „Ich mach es das nächste mal.“ L: „Ok, dann räumen wir ab.“

In der darauf folgenden Ph-Stunde ist mache ich hier nicht erwähnte Aufnahmen mit einem Buben. Erst in der zweiten Stundenhälfte beginnt SW mit dem Aufbau der Parallelschaltung.

#### **Min Handlung**

- 0 SW startet sofort mit dem Aufbau der Schaltung, sie verwendet keinen Schaltplan und unnötig viele Bauelemente, die sie immer wieder neu herum steckt.
- 6 SW beginnt von vorne, weil sie zu wenig Platz auf Steckplatte hat.
- 8 SW hat ohne Lehrerhilfe mit vielen Bauteilen eine richtige Schaltung gesteckt, schließt Netzgerät richtig an. SW schließt Ampèremeter für Gesamtstrom und für beide Teilströme richtig an. Verwendet für einen Teilstrom das analoge Messgerät.
- 10 SW betrachtet fertige Schaltung und gibt L ein Handzeichen.
- 11 L kommt, prüft Schaltung: „Da kommt der Gesamtstrom herein, hier fließt der Strom durch die erste Glühbirne, hier durch die zweite. Das stimmt so schon. Du misst hier jeweils Ströme.“ L prüft Messbereiche der Ampèremeter: „200 Milliampère, 200 Milliampère“ L deutet auf analoges Messgerät: „Und hier ein Ampère.“ L deutet auf Netzgerät: „Und hier haben wir die Gesamtspannung. Diese lassen wir. Oder haben wir diese zurückgedreht?“ L dreht am Regler: „Hier gehen wir auf 10 Volt.“ SW: „Ja, wie messe ich die 10 Volt?“ L bringt weiteres Messgerät: „Müssen wir halt schnell messen.“ L zeigt Anschluss am Netzgerät: „Miss hier die 10 Volt!“ L geht weg.
- 12 SW holt weitere Kabel, schließt Spannungsgerät richtig, aber an den Bauelementen der Steckplatte an. SW schaltet Netzgerät ein, reguliert die Spannung, schaltet Netzgerät wieder ab, ändert Messbereich am Voltmeter und reguliert wieder die Spannung.
- 14 L erscheint unaufgefordert: „Ja genau.“ SW zeigt auf entsprechendes Messgerät: „Das ist der Gesamtstrom.“ L: „Das ist der Gesamtstrom.“ L geht. SW protokolliert Stromstärken der Digitalgeräte und berechnet mit Rechner die Widerstände.
- 17 SW hat Probleme beim Ablesen des analogen Messgerätes und fragt den Mitschüler am Nebentisch. „He, wie schaut man hier?“ L kommt: „Was passt nicht?“ SW zeigt auf analoges Gerät: „Wie misst man hier?“ L fährt mit Finger über die Anzeige: „Was ist der ganze Ausschlag? Bei der Schalterstellung hier?“ SW: „10 Volt“ L: „Nein.“ SW: „30 Milliampère.“ L zeigt auf Schalterstellung: „Nullkommadrei Ampère ist der ganze Ausschlag.“ SW „Ja. Milliampère sind drei Stellen.“ L zeigt auf 2 in Anzeige: „Nullkommadrei sind der ganze Ausschlag, dann sind das Nullkomma?“ SW: „Zwei.“  
L deutet auf Zeigerstellung. SW „Nullkommanullacht. Ja das rechne ich das nächste Mal aus. L: „Ok.“
- 18 SW protokolliert Stromstärke und baut ab.