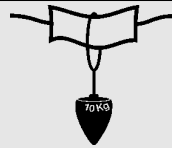


Widerstandsveränderungen bei gedehnten Drähten

Wettbewerb „Schüler Experimentieren“ 1999

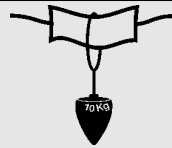
Karl Nikolas Biedermann (13 Jahre)

**Arbeitsgemeinschaft „Jugend Forscht“
des Christian-Gymnasiums Hermannsburg
Leitung: StD Thomas Biedermann**



Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
1.1	Wie kam ich auf das Thema?	3
1.2	Begriffe	3
2.	Was ich machte	4
2.1	Getestete Drähte und ihre Eigenschaften	4
2.2	Der Versuchsaufbau	4
2.3	Ablauf einer Messung	5
2.4	Formel zur Berechnung des Widerstandes	6
3.	Auswertung	8
3.1	Konstantendraht	9
3.2	Spezialdraht "Isachrom 60"	10
3.3	Kupferdraht	11
3.4	Stahldraht	13
3.4.1	Gedrehter Stahldraht	13
3.4.2	Massiver Stahldraht (Gitarrensaite)	13
3.5	Abweichungen bei den Berechnungen	14
4.	Schluss	15
5.	Anhang	15
5.1	Literaturliste	15
5.2	Danksagung	15



1. Einleitung

1.1 Wie kam ich auf das Thema?

Zuerst wollte ich mit einem ganz anderen Projekt antreten, ich wollte Meteoriteneinschläge simulieren. Das wurde dann aber im September mit der Zeit zu knapp, weil ich zu diesem Zeitpunkt noch nicht angefangen hatte den Versuchsaufbau zu bauen. Daraufhin machte ich mich auf Themensuche. Eines Tages fand ich bei meinem Vater eine Zeitschrift [5], in der Versuche zur Widerstandsfähigkeit von Konstantendraht beschrieben wurden. Nun dachte ich, dass das doch auch ein gutes Thema wäre, was ich auch in der Zeit, die mir noch verblieb, schaffen konnte. Nur wäre es natürlich sehr langweilig gewesen, wenn ich nur Konstantendraht testen würde, und so habe ich mich dafür entschieden, gleich mehrere Drahtarten zu untersuchen, um eventuelle Unterscheidungen festzustellen.

1.2 Begriffe

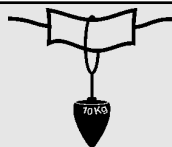
Zu Beginn meiner Arbeit musste ich mich erst einmal mit dem Begriff Widerstand befassen, da das bisher noch nicht im Unterricht behandelt wurde. So suchte ich mir aus mehreren Büchern Informationen zusammen. Außerdem mußte ich mich auch noch in die Begriffe Volt, Watt und Ampere einlesen. Ich verstehe nun unter dem Begriff:

- Ampere: Ampere ist die Maßeinheit, die die Stromstärke angibt. Bei einer Wasserleitung wäre das die Wassermasse, die pro Sekunde bewegt wird.
- Volt: Volt ist die Maßeinheit, mit der die Spannung, die am Draht anliegt, gemessen wird. Die Spannung ist in etwa das, was bei einer Wasserleitung die Pumpe ist.
- Watt: Watt ist die Einheit, mit der angegeben wird, wie stark die elektrische Leistung ist. Verglichen mit einer Wasserleitung ist das die Wassermenge, die pro Sekunde von der Pumpe befördert wird.
- Widerstand: Widerstand ist das, was die Stärke des Stromes in dem Draht bestimmt. In dem Draht sind überall Atome, mit denen der Strom in Berührung kommt. Bei jeder dieser Berührungen wird der Strom behindert, so dass er nicht mehr so schnell fließen kann. Die Maßeinheit heißt hier Ohm.

Hier schreibe ich noch die Formel zu der Berechnung des Widerstandes hin, weil es der wichtigste Begriff in meiner Arbeit ist:

$$R = U/I.$$

Darin ist U die Spannung in Volt, I die Stromstärke in Ampere und R der Widerstand in Ohm.



2. Was ich machte

2.1 Getestete Drähte und ihre Eigenschaften

Ich testete vier verschiedene Drahtarten: Konstantandraht, Stahldraht, Kupferdraht und einen Spezialdraht für Styroporschneider mit dem Namen "Isachrom 60".

Der Konstantandraht war 0,5 mm dick und wurde von mir getestet, weil sich der Widerstand auch bei einer Dehnung und Erhitzung nicht sehr verändert (Nach Angaben des Herstellers).

Der Stahldraht war nur 0,2 mm dick und wurde von mir getestet, da er sehr reißfest war und ich ihn deshalb größeren Belastungen aussetzen konnte.

Der "Isachrom 60" war 0,5 mm dick und wurde von mir getestet, weil ich noch Drähte brauchte und wir diesen gerade im Hause hatten.

Der Kupferdraht war 0,5 mm dick und wurde von mir ausgesucht, weil er sich plastisch verformt und ich deshalb eine Messreihe nach der ersten Dehnung machen konnte, wenn der Draht entspannt war.

2.2 Der Versuchsaufbau

Zuerst wollte ich einen Eimer voll Sand an den Draht hängen, und diesen mit dem benötigten Gewicht von Sand füllen, aber dann fanden wir es doch ein wenig unpraktisch, immer wieder Sand hinein und wieder heraus schaufeln zu müssen. Um die Dehnung der Drähte möglichst genau steuern zu können, brauchte ich auch einen ziemlich genauen Steuerapparat und eine Messuhr, um die Dehnung, die nur wenige Zehntel Millimeter betrug, messen zu können. Deshalb baute ich zusammen mit meinem Vater folgenden Aufbau auf:

Vor einiger Zeit bekamen wir von der Firma Rheinmetall Unterlüß einen

Hubtisch geschenkt. Er besteht aus einer sehr stabilen Grundplatte und einer senkrecht dazu angebrachten Säule, auf der ein Schlitten sowohl elektrisch mit Bedienungsknöpfen (2), als auch durch einen Feintrieb verfahren werden kann. Hierauf baute ich dann zwei Umlenkrollen in einer sehr stabilen Halterung an, um auf ihnen den Draht (1) zu spannen. Mit einem angeschlossenen Kraftmessgerät (3) konnte ich ablesen, wie stark die Kraft war, die gerade auf den Draht einwirkte. Auch eine

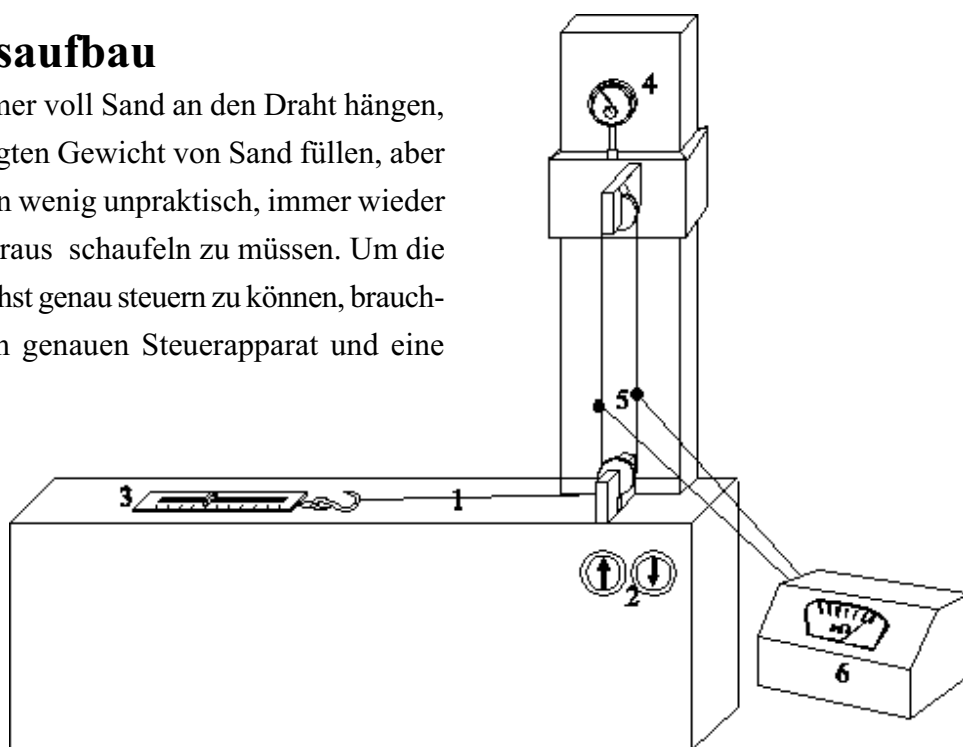
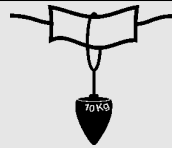


Abb.1: Zeichnung des Versuchsaufbaus



sehr genaue Messuhr (4) baute ich ein, damit ich die Strecke messen konnte, mit der der Draht gestreckt wurde. Um den Widerstand zu messen, brachte ich zwei Kontakte (5) an, mit denen ich die Meßstrecke regulieren konnte, und die Messungen durchführen konnte. An diesen Kabeln war ein Widerstandsmeßgerät (6) angebaut, mit dem ich den Widerstand messen konnte. Bei dem Messgerät handelt es sich um eine Messbrücke (vergl. Abb. 2), die sehr genaue Ergebnisse liefern soll. Im von mir benutzten Messbereich 400 m Ω bis 5000 m Ω kann man Widerstandswerte bis auf 5 m Ω Genauigkeit ablesen. Trotzdem musste ich feststellen, dass die Änderungen so gering sind, dass ich selbst bei diesem Gerät einen Trick anwenden musste, um noch genauere Ergebnisse zu erhalten. Es hat ein Zeigerinstrument, das eigentlich durch einen Drehknopf auf Null gestellt werden muss, damit man an der Knopfskala den richtigen Widerstand ablesen kann. Wenn man den Knopf um einen Skalenteil verdreht, was weniger als ein Millimeter ist, schlug der Zeiger aber mehrere Teilstriche aus. Dieser Ausschlag wurde sogar noch größer, wenn ich die Betriebsspannung des Gerätes vergrößerte. Und dies benutzte ich für meine Messungen. Statt den Knopf jedesmal auf Null zu stellen, machte ich das nur beim ersten Mal zu Beginn der Messung und las ansonsten den Widerstand über die Skalenteile des Zeigerinstrumentes ab. Zuvor hatte ich diese Skala "geeicht", indem ich für den ganzen Skalenausschlag bestimmte, welcher Widerstand jeweils dazu gehört. Und so wusste ich, welcher Widerstandswert zu einem Skalenteil gehört. Damit kann ich in diesem Messbereich Widerstände auf etwa 1 m Ω Genauigkeit ablesen.

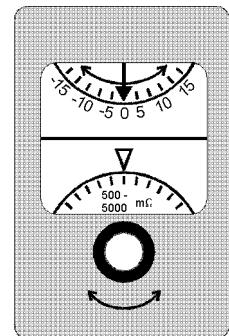


Abb.2: Messbrücke

2.3 Ablauf einer Messung

Zuerst messe ich die Länge des Drahtes und spanne ihn dann in den Versuchsaufbau ein. Nun bringe ich die Messkontakte an. Bei dem Kupferdraht muß ich erst noch die Lackierung abschleifen, damit ich korrekte Meßwerte erhalte. Dann messe ich die Länge der Strecke, die von einem Kontakt bis zum anderen reicht. Als Anfangszugkraft auf den Draht nehme ich 10 Newton, damit der Draht bereits zu Beginn einigermaßen glatt gespannt ist. Dann ziehe ich immer mit 10 Newton mehr an dem Draht und schreibe mir jedesmal auf, wieviele Millimeter sich dabei der Draht gestreckt hat und welchen Widerstand ich messe. Das mache ich solange, bis der Draht reißt.

Nun muß ich die Anzahl der Millimeter, die die Messuhr angezeigt hat, noch mit zwei multiplizieren, damit ich die richtigen Werte habe, da der Draht zweimal die Dehnungsstrecke durchläuft. Auch muß ich noch Unterlagen mit in die Werte einbeziehen, die ich benutzen muß, wenn der Messbereich der Messuhr nicht mehr ausreicht. Nun kann ich die Werte in den Computer eingeben, der mir dann, mit einer entsprechenden Formel in Excel, die Werte in relative Veränderungen umrechnet. Mit diesen kann ich ein Diagramm erstellen, in dem ich die Meßwerte besser überblicken kann.

Das Problem bei der ganzen Angelegenheit war, dass ich die Werte nicht überprüfen konnte und daher nicht wusste, ob ich richtig gemessen hatte oder nicht. Deshalb versuchte ich eine Formel zu finden, mit der ich den Widerstand des Drahtes nachrechnen konnte.



2.4 Formel zur Berechnung des Widerstandes

Um nun herauszufinden, ob meine Werte, die ich gemessen hatte, korrekt waren, brauchte ich eine Möglichkeit um sie zu überprüfen. Deshalb versuchte ich eine Formel zu finden, mit der ich den Widerstand errechnen könnte. Im Physikbuch [3] fand ich schließlich die Formel, die hier abgebildet ist:

$$R_0 = \rho \cdot \frac{\ell}{V} \quad (1)$$

In dieser berechne ich den Widerstand R dadurch, dass ich den Quotient der Länge ℓ zum Quadrat und das Volumen V mit dem spezifischen Widerstand ρ multipliziere. So konnte ich allerdings nur die Anfangswerte überprüfen und nicht die Werte, die bei der Dehnung entstanden. Also mußte ich eine neue Formel entwickeln. Zusammen mit meinem Vater stellten wir dann folgende Formeln zusammen:

$$V_0 = A_0 \cdot \ell \Rightarrow A_0 = \frac{V_0}{\ell} \quad (2)$$

Zuerst definierten wir das Volumen V_0 . Dieses kann man errechnen indem man die Fläche A_0 mit der Anfangslänge des Drahtes ℓ multipliziert. V_0 bleibt konstant, da ja durch die Dehnung nichts hinzugefügt bzw. weggenommen wird. Bei der Abbildung 3 sieht man, was passiert, wenn der Draht gedehnt wird. Die Abb. 3a zeigt den Draht vor der Dehnung. Bei der Dehnung streckt er sich nun in der Länge, gleichzeitig wird aber der Durchmesser kleiner, wie in Abb. 3b gezeigt. Da ich aber zur Berechnung des Widerstandes den Durchmesser des Drahtes brauche, mußte ich diese Veränderung des Drahtes mit in meine Formel aufnehmen.

$$A_0 = \left(\frac{d_0}{2}\right)^2 \cdot \pi \Rightarrow d_0^2 = \frac{4 \cdot A_0}{\pi} \quad (3a)$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot A_0}{\pi}} \quad (3b)$$

Nun bestimmten wir die Anfangsfläche des Drahtdurchmessers A_0 und den Anfangsdurchmesser des Drahtes d_0 . Die Fläche erhält man dadurch, indem man die den Radius des Drahtes, also den halben Durchmesser des Drahtes, mit sich selbst und dann noch mal mit π multipliziert. Durch Umformung des Terms kommt dann die Formel (3b), die den Durchmesser ergibt, heraus. Wir brauchten aber nun noch Formeln zur Berechnung des Durchmessers nach bzw. während der Dehnung, um den Widerstand berechnen zu können. Die neue Fläche A , die kleiner ist als A_0 , wie man in Abb. 3 sehen kann, ist

$$A = \frac{V_0}{(\ell + \Delta\ell)} \quad (4)$$

Wir errechneten A nun dadurch, indem wir das unveränderte Volumen durch die neue Gesamtlänge

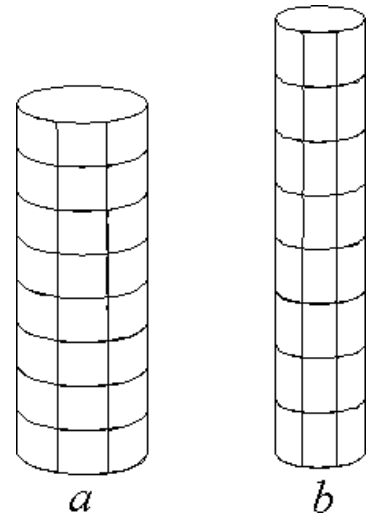
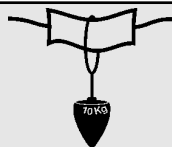


Abb.3: Draht während der Dehnung



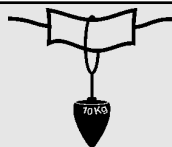
des Drahtes dividieren. Die Gesamtlänge kommt dadurch zustande, dass man die Anfangslänge ℓ mit der Längenänderung des Drahtes $\Delta\ell$ addiert. Nun setzen wir bei der Formel zur Berechnung des neuen Drahtdurchmessers statt A die Formel ein die wir errechnet hatten. Daraufhin lautete die Formel so:

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{V_0}{(\ell + \Delta\ell)}} \quad (5)$$

Ich hatte jetzt alle Werte um den Widerstand berechnen zu können. Also stellten wir nun die Formel zusammen und benutzen Termumformungen, um die Ergebnisse der anderen Gleichungen in die Gleichung einzusetzen und zu vereinfachen:

$$\begin{aligned} R &= \rho \cdot \frac{\ell + \Delta\ell}{A} = \rho \cdot \frac{\ell + \Delta\ell}{\frac{V_0}{(\ell + \Delta\ell)}} = \rho \cdot \frac{(\ell + \Delta\ell)^2}{V_0} = \rho \cdot \frac{(\ell + \Delta\ell)^2}{A_0 \cdot \ell} \\ &= \rho \cdot \frac{\ell^2 + 2 \cdot \Delta\ell \cdot \ell + \Delta\ell^2}{A_0 \cdot \ell} = \rho \cdot \left(\frac{\ell^2}{A_0 \cdot \ell} + \frac{2 \cdot \Delta\ell}{A_0} + \frac{\Delta\ell^2}{A_0 \cdot \ell} \right) \\ &= \rho \cdot \frac{\ell^2}{A_0 \cdot \ell} + \rho \cdot \frac{2 \cdot \Delta\ell}{A_0} + \rho \cdot \frac{\Delta\ell^2}{A_0 \cdot \ell} = \rho \cdot \frac{\ell^2}{V_0} + \rho \cdot \frac{2 \cdot \Delta\ell}{A_0} + \rho \cdot \frac{\Delta\ell^2}{A_0 \cdot \ell} \\ &= R_0 + \rho \cdot \frac{2 \cdot \Delta\ell}{A_0} + \rho \cdot \frac{\Delta\ell^2}{A_0 \cdot \ell} \approx R_0 + \rho \cdot \frac{2 \cdot \Delta\ell}{A_0} \end{aligned} \quad (6)$$

Unsere Ansatzüberlegung war, dass, wenn man die jeweilige Länge des Drahtes, berechenbar indem man die Anfangslänge ℓ mit der Längenänderung des Drahtes $\Delta\ell$ addiert, durch die Fläche des Drahtes A dividiert und mit dem spez. Widerstand ρ multipliziert, der Widerstand R herauskommt. Nun war A aber eine Größe, die ich nicht messen konnte, also muss ich die Formel auf von mir messbare Größen zurechtformen. Deshalb ersetzte ich A durch die Gleichung (4), mit der ich A berechnet habe. Ich vereinfachte nun die Formel, indem ich die Gesamtlängen zusammenfasste. Dann ersetze ich das Volumen durch die Gleichung (2), nur dass ich statt A_0 die Formel nehme, die ich mir dafür überlegt hatte. Nun multiplizierte ich den Zähler aus. Dann trennte ich den Bruch in drei Teile. Jetzt konnte ich die Klammer, die entstanden war, ausmultiplizieren. Bei der zweiten Gleichung in der Klammer konnte ich den Faktor ℓ aus dem Nenner und aus dem Zähler wegekürzen. In der nach dem Ausmultiplizieren entstandenen Gleichung, konnte ich den Nenner zu V_0 zusammenfassen. Dann bemerkte ich, dass der nun entstandene Bruch bei mir ja zur Berechnung des Anfangswiderstandes aufgeführt war. Diesen Teilterm kann ich also durch R_0 ersetzen. Der zweite Teilterm enthält im Zähler $\Delta\ell$, was angibt, dass der Widerstand proportional mit der Länge wächst. Der dritte Teilterm enthält $\Delta\ell^2$, der Wert von $\Delta\ell^2$ ist aber so klein, dass ich ihn bei der Berechnung des neuen Widerstandes nicht berücksichtigen muss. Nun aber zur Auswertung.



3. Auswertung

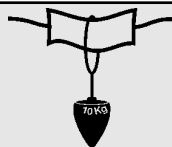
Ich wertete die Werte aus, indem ich sie in Diagrammen darstellte. Dazu gab ich die gemessenen Werte ein und der Computer errechnete mit der oben angegebenen Formel den nach der Theorie her zu erwartenden Widerstand. Nun ließ ich den Computer ein Diagramm erstellen, indem die tatsächlichen und die berechneten Widerstandsänderungen des Drahtes miteinander verglichen werden können. Erstaunlicherweise waren die Veränderungen des Widerstandes fast identisch. Als besonders kritisch erwies sich dabei die Angabe zur Dicke des Drahtes, da diese das zu berechnende Ergebnis ganz stark beeinflusst und ich mich auf die Herstellerangaben nicht so sehr verlassen konnte, besonders dann, wenn dieser bei einigen Messungen schon gedehnt war und daher nicht mehr seine ursprüngliche Dicke besaß. Eine Beispieltabelle habe ich in Abb. 4 wiedergegeben.

Material:	Stahldraht								
Anfangslänge:	960	mm							
Anfangsdurchmesser:	0,1929	mm	(0,2 mm laut Hersteller)						
spez. Widerst.	0,1000	Ohm·mm ² /m							
Abgrifflänge:	640	mm							
Skaleneichung:	10	mOhm/Skt							
Anfangswiderst.:	2190	mOhm							
Verfahrweg	Widerstandsänd.	Wegoffset	Dehnung	Gesamtlänge	R(mess)	R(rech)	Kraft	dR(mess)	dR(rechn.)
-5	0	5	0	960,00	2190,0	2189,91	10	0	0
-3,04	1,2	5	3,92	963,92	2202,0	2207,83	20	12	18
-1,13	2,2	5	7,74	967,74	2212,0	2225,36	30	22	35
0,72	3,3	5	11,44	971,44	2223,0	2242,41	40	33	53
2,6	5	5	15,2	975,20	2240,0	2259,80	50	50	70
4,4	6,4	5	18,8	978,80	2254,0	2276,52	60	64	87
6,49	8,5	5	22,98	982,98	2275,0	2296,00	70	85	106
8,68	12,1	5	27,36	987,36	2311,0	2316,51	80	121	127
mm	Skt	mm	mm	mm	mOhm	mOhm	N	mOhm	mOhm

Abb.4: Beispiel einer Messtabelle, wie ich sie in Excel verwendet habe (hier: Stahldraht - geseilt)

Wenn man sich die Werte in der Tabelle anschaut, dann sieht man, dass sich die Werte von den berechneten immer noch unterscheiden, aber da ich nur im mΩ-Bereich gemessen hatte, waren diese Unterschiede nicht sehr groß, sondern betragen nur wenige mΩ.

Eine sehr interessante Beobachtung konnte ich beim Dehnen der Drähte machen. Immer dann wenn ich den Schlitten gerade angehalten habe, um die Werte zu messen, mußte ich ein bisschen warten, bis die Anzeige der Messbrücke sich auf einen stabilen Wert eingestellt hatte, denn anfangs war dieser immer zu gross. Als ich durch Zufall merkte, dass ein Anfassen des Drahtes den gleichen Effekt hatte, konnte ich das darauf zurückführen, dass der Draht seinen Widerstand auch dann ändert, wenn er erwärmt wird. Daraus konnte ich schließen, dass bei der Dehnung der Drähte sich diese offensichtlich etwas erhitzen. Diese Veränderung des Widerstandes spielte zum Glück keine sehr große Rolle, weil die Temperatur im Zimmer immer gleich blieb, und es wäre sehr aufwendig gewesen, diesen Einfluss auch noch zu messen, also beachte ich die Erwärmung nicht weiter. Nun werde ich ein wenig genauer auf die einzelnen Drähte eingehen:



3.1 Konstantandraht

Mit dem Konstantandraht machte ich aufgrund der Konstantanvorräte in unserem Haus leider nur zwei Messungen. Sie erfolgten auch noch mit den selben Drähten, so dass ich sie leider nicht untereinander vergleichen konnte, da der eine schon vorgedehnt war der andere aber noch nicht und so die Länge des Drahtes und damit die Längenänderung eine ganz andere war.

Die erste Messung erfolgte mit einem Konstantandraht mit einer Länge von 960 mm. Die Messlänge für den Widerstand betrug 640 mm und der Anfangswiderstand dieser Strecke 2190 m Ω . Ich konnte diesen Draht bis zu 80 N dehnen, dann riss er. Die relative Änderung der Länge und des Widerstandes waren am Anfang etwa gleich stark, aber bei etwa 40 N schritt die Änderung des Widerstandes schneller voran als die Änderung der Länge. Der Draht wurde insgesamt um 27,36 mm gedehnt, die Widerstandsänderung betrug 184 m Ω . Die Dehnung und auch die Widerstandsänderung waren im Vergleich zu den anderen Drähten nicht sehr groß.

Bei der zweiten Messung war der Draht nur 875 mm lang und, wie schon erwähnt, bereits vorgedehnt. Die Messlänge des Drahtes betrug 625 mm, der Anfangswiderstand betrug 2190 m Ω . Dass der Widerstand genauso groß ist wie bei dem anderen Draht, obwohl der länger war, liegt wahrscheinlich daran, dass bei dieser Messung der Draht schon einmal vorgedehnt war und somit der Draht auch schon andere Eigenschaften besitzt als vor dem ersten Dehnen. Hierbei spielt wahrscheinlich eine ganz wesentliche Rolle, dass der Draht riss und sich damit ziemlich ruckartig entspannte. Diesen Draht konnte ich mit einer Kraft von bis zu 80 N dehnen, dann riss er. Die Längen- und Widerstandsänderung verhielt sich hier ebenso wie bei der anderen Messung, also stieg der Widerstand ab 40 N schneller als die Länge. Der Draht wurde hier insgesamt um 24,73 mm gedehnt. Der Widerstand war am Ende 192 m Ω größer als zu Beginn der Messung.

Bei beiden Messungen ist es so, dass die errechneten Werte am Anfang noch mit den gemessenen Werten übereinstimmen, aber ab 40 N steigt der Widerstand schneller an als die Länge und damit ändert sich hier das Verhältnis. Denn nun kommt der Draht langsam in die plastische Verformung und der Widerstand steigt. Aber dieses Verhalten des Drahtes ist bei dem Konstantandraht noch nicht so stark ausgeprägt wie bei den anderen Drähten.

In der Graphik nach Abbildung 5 kann man erkennen, wie sich der Unterschied zwischen berechneter Widerstandsänderung und der tatsächlich gemessenen ab ca. 50 N immer mehr vergrößert. Dies ist ein Indiz dafür, dass sich der Draht zunehmend plastisch verformt und dabei dünner wird, als es durch die Kraft bei elastischer Verformung allein zu erwarten wäre. Man sagt, das Material beginnt zu "fließen".

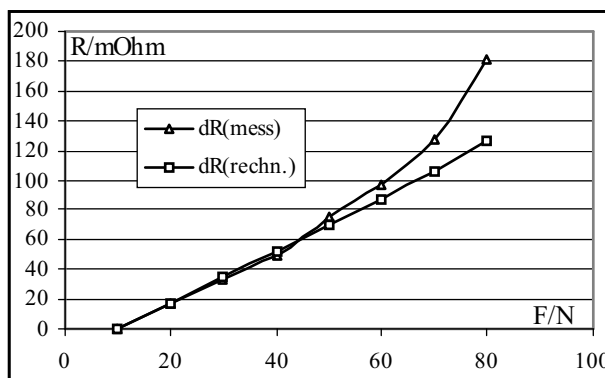
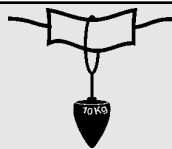


Abb.5: Konstantandraht



3.2 Spezialdraht "Isachrom 60"

Mit diesem Spezialdraht machte ich vier Messungen aufgrund des vielen Drahtes, den wir im Haus hatten und weil die Ergebnisse am interessantesten waren. Ich benutze für die Messungen insgesamt zwei Drahtabschnitte. Bei den Messungen achtete ich darauf, dass die Drähte die gleichen Längen hatte, so dass ich jeweils einmal zwei und einmal drei Messungen miteinander vergleichen konnte. Bei der ersten Messung war der Draht 890 mm lang. Die Teststrecke war 615 mm lang und der Anfangswiderstand dieser Strecke betrug 4360 m Ω . Der Draht ließ sich sehr stark belasten: 120 Newton hält er aus. Das Verhältnis zwischen dem Widerstandsanstieg und der Längenänderung war ungefähr gleich, nur gegen Ende der Messung, bei 100 N begann der Draht allmählich in die plastische Verformung zu kommen und damit den Widerstand stärker zu erhöhen. Doch kurz bevor es anfang interessant zu werden, indem der Draht in die plastische Verformung kam, riss der Draht. Insgesamt dehnte sich der Draht um 37,6 mm und änderte seinen Widerstand insgesamt um 417 m Ω . Den Verlauf der Widerstandsänderung zeigt die Abbildung 6.

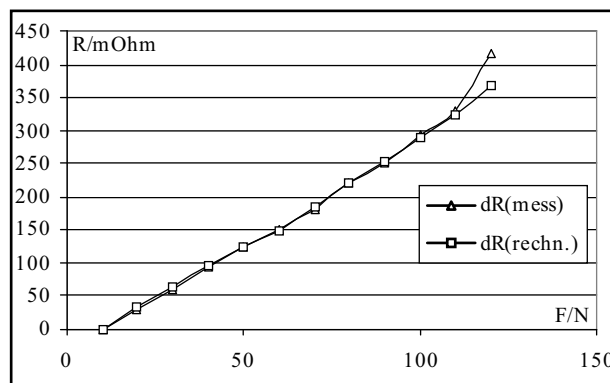
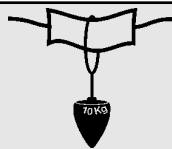


Abb. 6: Isachrome 60 - Messung 1

Bei der zweiten Messung mit diesem Draht, war er nur noch 875 mm lang, die Messstrecke betrug 625 mm. Der Anfangswiderstand dieser Strecke betrug 4415 m Ω . Die Messstrecke war hier länger, deshalb war der Widerstand größer, obwohl der Draht vorher schon einmal gerissen war und damit zwar die Gesamtlänge kürzer war, doch ich habe ja nicht den Widerstand des ganzen Drahtes gemessen, sondern nur den Widerstand der Messstrecke. Dieser Draht riss schon bei 100 N. Die Längenänderung stieg fast proportional an, der Widerstand fällt nach 30 N etwas ab, fing sich dann aber wieder, und stieg etwa im gleichen Maße wie die Länge. Auch mit diesem Draht kam ich nicht in die plastische Verformung, da er schon weit vorher riss. Dieser Draht dehnte sich insgesamt noch einmal um 30,82 mm, obwohl er schon zuvor bis an die Grenzen belastet war. Der Widerstand stieg hier insgesamt um 310 m Ω .

Bei der dritten Messung, wieder mit einem neuen Draht, war dieser 890 mm lang, die Teststrecke betrug, wie auch schon bei der ersten Messung 615 mm. Der Widerstand war auch identisch und betrug somit 4360 m Ω . Der Draht riss hier auch wieder schon bei 100 N. Die relative Veränderung des Widerstandes und die der Länge verlief folgendermaßen: Beide starten bei 0. Die Länge steigt proportional an, während der Widerstand einen schwächeren Anstieg zeigt. Bei 50 N nimmt der Widerstand kaum weiter zu, bleibt aber stetig steigend. Am Ende der Messung ist der Draht um 49,68 mm länger und hat einen um 302 m Ω größeren Widerstand.

Bei der vierten Messung benutzte ich einen neuen Drahtabschnitt. Der Draht war wie auch schon bei der zweiten Messung 875 mm lang, leider versäumte ich auch die Teststrecke auf die gleiche Länge zu bringen und so war diese dann nur 610 mm lang, der Widerstand dieser Strecke betrug 3650 m Ω .



Diesen Draht konnte ich bis 130 Newton belasten. Die Längenänderung sagte schon ziemlich viel über die Messung aus. Bei 110 N verdoppelte sich plötzlich die Widerstandsstärke, um dann immer schneller anzusteigen, bis der Draht bei 130 N riss. Die Länge nahm anders als der Widerstand einfach nur gleichmäßig zu. Sie blieb bei ihrem mittleren Anstieg, und obwohl am Anfang die Länge noch stärker anstieg, so war am Ende der Messung der Widerstand

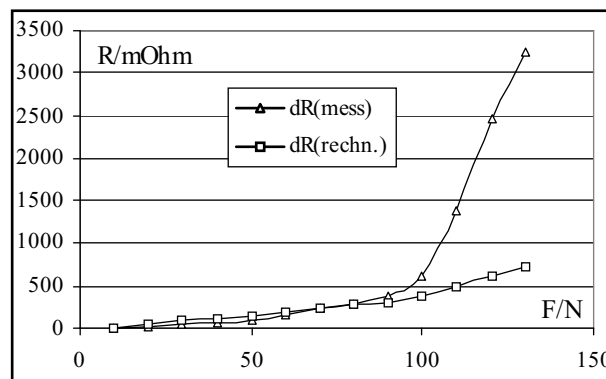


Abb.7: Isachrome 60 - Messung 4

um ein Vielfaches mehr gestiegen als die Länge. Die Widerstandsveränderung betrug im Vergleich zum vorherigen Wert 92 %, die Länge nahm nur um 6 % zu. Am Ende der Messung war der Draht dann 77,5 mm länger, der Widerstand nahm um 3250 m Ω zu. Die Ähnlichkeit dieses Verlaufes nach Abbildung 7 mit der Abbildung 5 für Konstantan zeigt, dass es sich hier um den selben Vorgang handelt, nur ist er hier noch ausgeprägter, weil das Material wohl weicher ist.

Wie man sehen konnte, waren die Messungen mit dem Spezialdraht wirklich sehr interessant. Zum einen weil der Draht sehr stabil ist und man deshalb eine sehr lange Messreihe hat, zum anderen weil ich mit zwei Drähten in die plastische Verformung kam und die natürlich sehr interessant ist, da sich in dieser die Eigenschaften des Drahtes stark verändern. Alles in allem hat der Spezialdraht den größten Widerstand unter den Drähten. Außerdem lässt er sich sehr weit dehnen.

3.3 Kupferdraht

Bei dem Kupferdraht machte ich, wie auch schon beim Konstantandraht, zwei Messungen. Bei beiden benutzte ich aber neue Drähte, da die alten in der Mitte rissen. Das Problem bei diesem Draht war, dass er eine Lackschicht hatte und ich daher seine Dicke nicht genau bestimmen konnte. Angegeben war der Draht mit 0,5 mm, aber das war ja mit der Lackschicht und so musste ich den Durchmesser aus den Werten, die ich gemessen hatte, errechnen.

Bei der ersten Messung war der Draht 980 mm lang, die Messstrecke betrug 660 mm, der Widerstand war 421 m Ω groß. Dieser Draht ließ sich nur bis knapp 44 N dehnen. Allerdings nahm die Länge ab 40 N stark zu, da der Draht dann in die plastische Verformung übergeht. Bei der Messung war das ganz deutlich zu sehen, da bei dieser der Wagen immer weiter fuhr, aber die Kraftanzeige fast gleich blieb. Wenn man sich diese Stelle in dem Diagramm einmal ansieht, dann bemerkt man, dass hier die Punkte in einigem Abstand übereinanderliegen, aber sich auf der x-Achse kaum voneinander entfernen. Der Draht ist nach der Dehnung um 10 % länger, der Widerstand nimmt um 20 % zu. Das heißt, dass der Widerstand nach der Messung 501 m Ω groß ist. Das entspricht einer Steigerung von 80 m Ω . Die Länge nimmt hier um 91,14 mm zu, das ist die größte Dehnung überhaupt. Ich komme bei diesem Draht zwar noch in die Bereiche plastischer Verformung, aber es besteht kein großer Unterschied zwischen der Längenänderung und der Widerstandsänderung.



Bei der zweiten Messung war der Draht auch wieder 980 mm und auch die Messstrecke betrug 660 mm, damit ich die beiden Messungen vergleichen konnte, der Widerstand war mit $420 \text{ m}\Omega$ erwartungsgemäß genau so groß. Diesen Draht konnte ich nur noch bis 40 N dehnen und kam deshalb nicht mehr so weit in die plastische Verformung. Vermutlich wies er bereits an einer Stelle eine Schwächung auf. Trotzdem sind die Werte ganz interessant, da man hier sieht, dass der Wert während der Dehnung deutlich steigt. Das Verhältnis

der Länge gegenüber dem Widerstand ist folgendermaßen: Die Länge steigt ungefähr halb so stark wie der Widerstand, gegen Ende der Messung komme ich in die plastische Verformung und der Widerstandswert fängt noch stärker an zu steigen. Am Ende ist der Draht auch um etwa 10 % länger geworden, der Widerstand ist aber nur um 10 % gestiegen. Das heißt das der Widerstand um ca. $38 \text{ m}\Omega$ gestiegen ist und jetzt $458 \text{ m}\Omega$ beträgt. Allerdings muss ich zugeben, dass das Diagramm, das ich erstellt habe, nicht sehr viele Übereinstimmungen mit den errechneten Werten zeigt. Auch mit der anderen Messung die ich gemacht habe, kann ich nicht viele Gemeinsamkeiten erkennen, außer, dass beide Drähte bei 40 N in die plastische Verformung übergangen.

Das Problem bei dem Messen mit dem Kupferdraht war, dass dieser von einer Lackschicht eingehüllt war, und ich deshalb den Durchmesser des Drahtes nicht genau bestimmen konnte. Das gab Probleme bei dem Erstellen des Diagramms, da der Durchmesser in meinen Berechnungen einen wichtigen Wert darstellt. Von allen Drähten war der Kupferdraht der Draht mit dem geringsten Widerstand, was ich aber von vornherein wusste. Aber dass er sich in der plastischen Verformung so verhält, wie er es bei mir tat, das wusste ich nicht. Die Widerstandsänderung des Drahtes war die geringste überhaupt bei meinen Messungen, was aber auch daran liegen könnte, dass sich dieser Draht nur bis zu knapp 40 N dehnen ließ. Wie eine genauere Auswertung (Abb. 10) zeigt, ist hier d überhaupt nicht proportional zu der Kraft F . Das erklärt den scheinbar merkwürdigen Verlauf in Abb. 8, während Abb. 9 zeigt, dass die Widerstandsänderung sehr schön proportional zur Längenänderung des Drahtes ist.

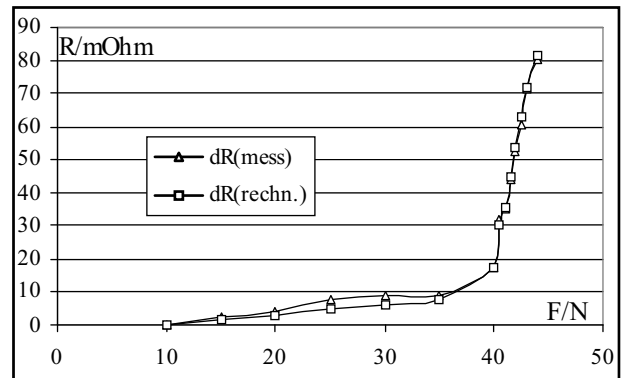


Abb.8: Kupferdraht - Abhängigkeit von F

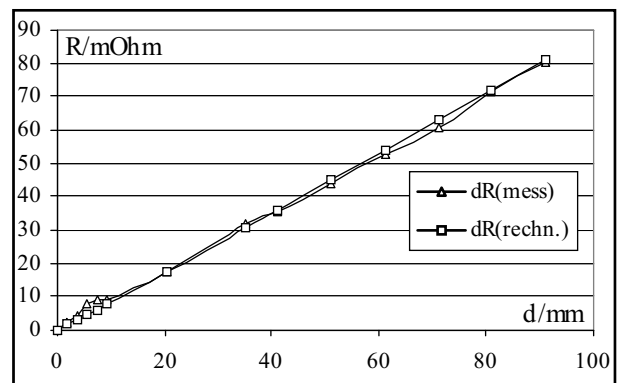


Abb.9: Kupferdraht - Abhängigkeit von d

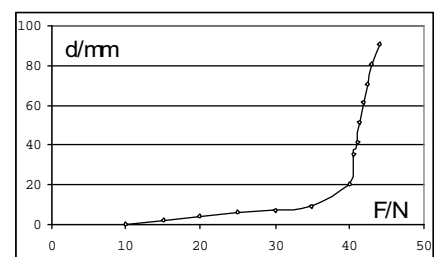


Abb.10: Wie hängt d von F ab?



3.4 Stahldraht

3.4.1 Gedrehter Stahldraht

Der gedrehte Stahldraht war als einziger Draht 0,2 mm dick. Mit diesem machte ich eigentlich zwei Messungen, beide mit demselben Draht. Allerdings konnte ich die erste Messung nicht werten, da ich bei dem Erstellen der Datei versehentlich die Werte aus der Datei des Konstantandrahtes kopiert hatte. Leider fiel mir das erst auf, als ich diese Arbeit schrieb, und zu dem Zeitpunkt hatte ich den Zettel mit den Notizen, wo auch die ganzen Werte aufgeschrieben waren, in das Altpapier gegeben. So hatte ich leider nur eine Messung mit dem gedrehten Stahldraht, die ich benutzen konnte.

Bei dieser Messung war der Draht 760 mm lang, die Teststrecke betrug 510 mm, der Widerstand dieser Strecke war 2250 m Ω groß. Ich konnte diesen Draht bis zu 60 N dehnen, dann riss er. Hierbei sollte man aber beachten, dass der Draht sehr kurz war, im Vergleich zu den anderen Drähten und er schon einmal vorgedehnt war. Der Stahldraht hielt vorher, daran erinnere ich mich noch, 140 N aus, also sehr viel mehr, als bei dieser Messung. Das Verhältnis der Längenänderung und der Widerstandsänderung war ziemlich interessant. Hierin sah man nämlich, dass beide proportional anstiegen, nur dass der Widerstandswert schneller anstieg, als die Länge. Am Ende der Messung war der Draht um 1,79 % länger als zuvor, der Widerstand stieg um 4,27 %. Das heißt, dass der Draht um 13,6 mm länger wurde und der Widerstand der Teststrecke um 96 m Ω stieg.

Der Stahldraht war wohl der festeste Draht, denn er ließ sich nicht sehr weit dehnen. Auch der Widerstand des Drahtes ist eher mittelgroß, wie auch der des Konstantandrahtes. Auch sonst ähnelt er dem Konstantandraht, denn auch er hat nur einen geringen Widerstandsanstieg. Allerdings ist er stabiler und lässt sich weiter dehnen, wie die erste Messung mir zeigte, obwohl ich leider nicht mehr die Werte habe. Die Abbildung 11 zeigt den Verlauf der Werte für die mir erhalten gebliebenen Messwerte. Auffällig ist der nahezu proportionale Zusammenhang zwischen der Kraft F und der Widerstandsänderung.

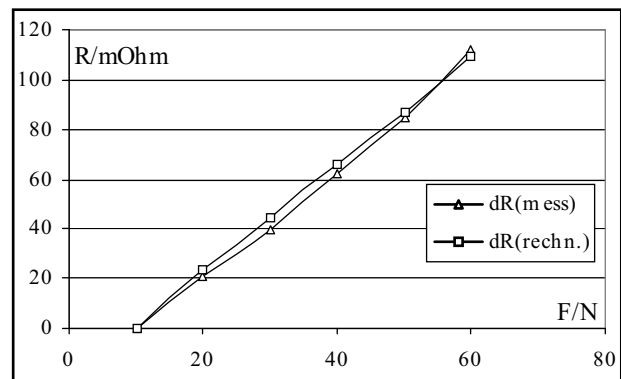
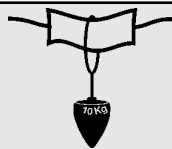


Abb.11: Stahldraht - geseilt

3.4.2 Massiver Stahldraht (Gitarrensaite)

Von der Gitarrensaite, die ich als massive Stahlsaite benutzt habe, machte ich nur eine Messung aufgrund der Gitarrensaiten, die wir in unserem Haus haben. Bei dieser Messung versuchte ich die gleiche Länge des Drahtes zu nehmen. Die Länge des Drahtes betrug daher bei der Messung 790 mm, die Messstrecke betrug 510 mm. Der Widerstand dieser Strecke war 1180 m Ω groß. Diesen Draht konnte ich mit Abstand am stärksten belasten: 180 N hielt er aus, bei 190 N riss er. Während



dieser Dehnung wurde der Draht um 75,48 mm gedehnt. Der Widerstand nahm bei dieser Messung um $316 \text{ m}\Omega$ zu und war dann $1496 \text{ m}\Omega$ groß. Das Verhältnis der Längenänderung gegenüber der Widerstandsveränderung ist so, dass die Länge in einem stärkeren Maße ansteigt, als der Widerstand. Da ich mit diesem Draht auch nicht in die plastische Verformung komme, verändert sich nicht allzuviel bei diesem Verhältnis. Allerdings gibt es in beiden Fällen Schwankungen,

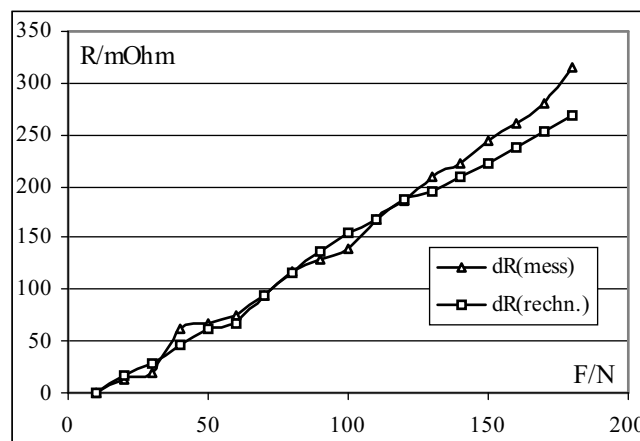


Abb. 12: Stahldraht - massiv

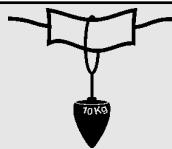
die aber nicht sehr stark sind. Bei dem Diagramm, in dem ich die errechneten Werte mit den gemessenen Werten vergleiche, sind ebenfalls Schwankungen in beiden Fällen festzustellen. Dadurch liegen die Werte nicht auf einer Linie, wie sonst bei den anderen Drähten zum größten Teil.

Bei dem massiven Stahldraht ist für mich überraschend, dass der Widerstand dieses Drahtes kleiner ist, als beim gedrehten Stahldraht. Ich hätte es mir andersherum gedacht. Aber vielleicht kommt es daher, dass die Fasern des gedrehten Stahldrahtes länger sind, da hier sich die Drähte ja umeinanderwinden, und der Widerstand dadurch größer wird. Der massive Stahldraht war allerdings sehr viel stabiler als der andere. Auch hier stimmen gemessene und berechnete Werte gut überein, wie man an der Abbildung 12 sieht. Es scheint offensichtlich zu sein, dass hier keine plastische Verformung eintritt, bevor der Draht reißt. Dafür ist der Stahl wahrscheinlich zu spröde.

3.5 Abweichungen bei den Berechnungen

Es fällt auf, dass bei einigen (den meisten) Graphen die Kurve für die berechneten Werte von der Kurve abweicht, die ich gemessen habe. In allen Fällen steigen zum Ende hin die gemessenen Werte schneller an als die berechneten. Die einzige Ausnahme bilden auf den ersten Blick die Messungen mit dem Kupferdraht.

Mir ist aufgefallen, dass ich immer die Widerstandsänderung in Abhängigkeit von der Kraft dargestellt habe, aber die Berechnung der berechneten Werte im Wesentlichen vom Durchmesser abhängt, also eigentlich von meiner gemessenen Längenänderung. Das macht so lange nichts aus, wie die Größe der wirkenden Kraft und die Längenänderung des Drahtes zueinander proportional sind. Dieses Gesetz bezeichnet man in der Physik als "Hooke'sche Gesetz" [4]. Es besagt, dass die Länge eines elastischen Körpers, z.B. einer Feder, proportional mit der an ihr angreifenden Kraft zunimmt. Wenn der Draht aber beginnt, sich plastisch zu verformen, stimmt dieses Gesetz nicht mehr. Eigentlich müsste ich meine Graphen in Abhängigkeit von der Längenänderung darstellen, damit das nicht passiert. In meiner Darstellung kann ich aber dafür erkennen, ab welcher Kraft sich der Draht nicht mehr elastisch, sondern plastisch verformt, und das ist auch eine wichtige Information. Dieses Gesetz ist außer bei Kupfer bei eigentlich allen meinen Messungen mehr oder weniger erfüllt gewesen.



4. Schlussteil

Ich kann feststellen, dass ich für jeden Draht nachweisen konnte, dass sich sein Widerstand verändert, wenn der Draht in Längsrichtung gedehnt wird. In allen Fällen wurde der Widerstand größer. Solange sich der Draht so verhält, dass zwischen der Zugkraft und der Längenänderung ein proportionaler Zusammenhang besteht, ist die Widerstandsänderung anfänglich auch proportional zur Kraft. Wenn dies nicht mehr gegeben ist, gibt es zwei Möglichkeiten: entweder bestimmt allein der Durchmesser, wie stark sich der Widerstand vergrößert (z.B. beim Kupfer), oder es treten Veränderungen im Material ein, die keine Proportionalität mehr erkennen lassen (z.B. Konstantan oder Isachrom). Ich nehme an, dass sich dabei etwas im Inneren des Metalls verändert (Anordnung der Atome?). In der Mechanik fällt das wohl zusammen mit dem Beginn einer plastischen Verformung, die also auch nach Wegfall der Kraft zu einer verbleibenden größeren Länge führt.

5. Anhang

5.1 Literaturliste

- [1] *Dipl.-Phys. Bergmann, M.: "Schülerduden Physik"*
Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1995, S. 465-466
- [2] *Hrsg. Prof. Dr. W. Kuhn.: "Lehrbuch der Physik 1"*
Westermann Schulbuchverlag GmbH, Braunschweig 1990, S. 245 ff
- [3] *siehe [2], S. 257*
- [4] *siehe [2], S. 104*
- [5] *G. Höhne: "Konstantandrähte und Dehnungsmeßstreifen als Meßwandler für Kraft- und Wegmessungen", in: Praxis der Naturwissenschaften 1/36, Jahrgang 1987, S. 9 - 14*

5.2 Danksagung

Ich danke meinem Vater, der mir bei dem Versuchsaufbau und den Formeln sehr geholfen hat und der mir immer dann half, wenn ich etwas nicht wusste oder nicht verstand oder wenn ich einfach nicht mehr weiterkam.

Außerdem danke ich der Firma Rheinmetall, dass sie uns den Fahrtisch geschenkt hat, mit dem ich die Arbeit einfacher und genauer durchführen konnte, als das mit der anderen Methode die ich hatte, mit dem Eimer voll Sand, gegangen wäre.