

Versuchsprotokoll zum Versuch Nr. 3
„Urspannung und innerer Widerstand
eines galvanischen Elements“
vom 19.03.1996

Gruppe: A2
Karsten Klein (Protokollant)
Sky Lemke

Künzell, den 29.03.2002

Das galvanische Element - Was ist das?

Das galvanische Element ist eine chemische Spannungsquelle, das uns häufig auch als Batterie begegnet. Die Spannung zwischen der Elektrode entsteht dabei durch eine Reaktion zwischen der metallischen Elektrode und der Lösung (Elektrolyt). Wenn eine Metallelektrode in eine solche Lösung getaucht wird, geben die Metalle positive Ionen an die Lösung ab, sie umgeben sich somit mit einer dünnen Hülle positiver Ionen. Dadurch wird die Elektrode gegenüber der Lösung negativ aufgeladen. Will man diese Spannung nun messen, geht das nicht so ohne weiteres, da man einen geschlossenen Stromkreis dazu benötigt. Der negative Pol steht in Form der Elektrode zur Verfügung, der positive Pol allerdings ist die Flüssigkeit. Taucht man nun einfach den zweiten Meßanschluß in die Flüssigkeit, reagiert dieser mit der Flüssigkeit und baut seinerseits eine Spannung gegenüber der Flüssigkeit auf. Man geht daher von einer *Normal-Wasserstoffelektrode* aus, die mit Platinschwarz überzogen ist, von reinem Wasserstoff umspült wird und in eine Säure taucht, die 1g Wasserstoffionen je Liter enthält. Man setzt dieses Potential der Elektrode willkürlich gleich Null und erhält somit die *elektrochemische Spannungsreihe der Metalle*

Metall	Li+	K+	Na+	Zn ⁺⁺	Fe ⁺⁺	Ni ⁺⁺	H+	Cu ⁺⁺	Ag+	Hg+	Au+
Spannung in Volt	-3,02	-2,92	-2,71	-0,76	-0,44	-0,25	0	0,34	0,81	0,86	1,5

Die angegebenen Zahlenwerte gelten nur dann, wenn das betreffende Material in eine Lösung taucht, die 1 g Ion des Metalls je Liter enthält.

Taucht man nun 2 verschiedene Metalle in nebeneinander ein, so hat jedes ein bestimmtes Potential gegenüber dem Elektrolyten, d. h. es gibt eine Spannungsdifferenz zwischen den beiden Metallen. Eine solche Anordnung nennt man **galvanisches Element**.

Die Urspannung eines solchen galvanischen Elements ist gleich der Differenz der Einzelpotentiale gegenüber der Lösung. Sie hängt nur von den Materialeigenschaften ab, nicht jedoch von der Größe des galvanischen Elements.

Das erste galvanische Element wurde von Volta gebaut. Es bestand aus einem Glas mit verdünnter Schwefelsäure und zwei eingetauchten Metallstreifen, einer aus Kupfer (Pluspol) und einer aus Zink (Minuspol). Es lieferte etwa eine Spannung von etwa 1,1 Volt.

Bei den meisten elektrolytischen Vorgängen treten noch zusätzliche chemische Reaktionen auf, die das galvanische Element beeinträchtigen. Sie verändern die Elektroden selbst und sorgen so für eine andere Spannung. Man nennt diesen Vorgang elektrolytische Polarisation. Dabei entsteht ein zweites sekundäres galvanisches Element, was eine entgegengesetzte Spannung aufbaut. Stoffe die diesem Vorgang vorbeugen, nennt man Depolarisatoren. Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Polarisierung entgegenzuwirken, eine davon ist der Einsatz von Braunstein.

Wie wir später noch sehen werden ist der Polarisationsvorgang zeitlich ausgedehnt und hängt außerdem noch von der Belastung der Spannungsquelle ab.

In unserem Versuch befinden sich zwei unterschiedliche galvanische Elemente in einem Gehäuse, aus dem nichts weiter als die Anschlüsse herausgeführt sind. Im inneren befinden sich vermutlich ein paar handelsübliche Batterien.

Bestimmung der Urspannung

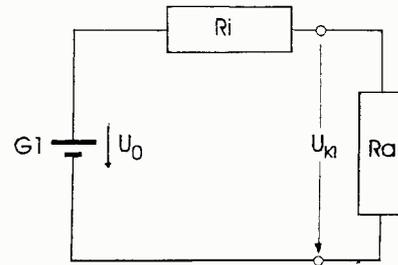
Wir wollen zunächst die Urspannung der Elemente bestimmen. Wenn man aber einfach ein Multimeter anschließen würde, bekäme man ein falsches Ergebnis.

Versuchsprotokoll zum Versuch Nr. 3
„Urspannung und innerer Widerstand
eines galvanischen Elements“
vom 19.03.1996

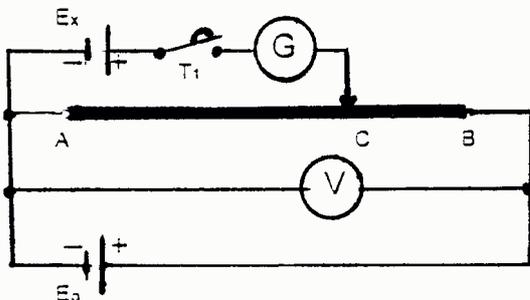
Gruppe: A2
 Karsten Klein (Protokollant)
 Sky Lemke

Künzell, den 29.03.2002

Eine reale Spannungsquelle hat immer auch einen Innenwiderstand. Im Bild ist eine solche Spannungsquelle mit einem Lastwiderstand dargestellt.



Wird eine solche Spannungsquelle belastet (ein Multimeter stellt eine solche Belastung dar, auch wenn deren Innenwiderstand im Megaohm-Bereich liegt) fließt ein Strom I durch den Lastwiderstand und durch den Innenwiderstand. Am Innenwiderstand entsteht ein Spannungsabfall, so dass wir an den Anschlüssen nur noch die Klemmenspannung messen, die aber geringer ist als die Urspannung (also im unbelasteten Zustand). Wir müssen also die Urspannung feststellen ohne die Spannungsquelle zu belasten. Dies geschieht mit folgender Schaltung.



Hier wird dem galvanischen Element E_x eine weitere regelbare Spannungsquelle parallel geschaltet. Diese besteht aus einer Spannungsquelle E_0 , deren Spannung wir genau bestimmen können und einem Spannungsteiler, an dem das galvanische Element parallel geschaltet ist. Ist nun die Spannung am Spannungsteiler gleich der Spannung des Elementes, fließt kein Ausgleichsstrom mehr, was wir mit dem Galvanometer G feststellen können.

Versuchsdurchführung

Wir beginnen damit die oben aufgeführte Schaltung aufzubauen, dabei werden folgende Komponenten verwendet:

	Gerät/Funktion	Hersteller/Bezeichnung	Inventarnummer
G	Galvanometer	Metravo 1H-LH	020000205
R	Schleifdraht-Meßbrücke	Phywe	020000161
V	Voltmeter	Voltcraft M3610D	
U_0	Labornetzteil	HERA	020000095
T1	Taster		

Nachdem die Schaltung aufgebaut und kontrolliert ist, beginnen wir mit den Messungen. Dazu stellen wir das Voltmeter auf einen Meßbereich von 2V und stellen am Labornetzteil eine Spannung nahe zwei Volt ein, weil die Meßgenauigkeit eines solchen Meßgerätes am Ende des Meßbereichs am besten ist (Fehler bei Spannungsmessung $\pm 0,3\% = 0,006V$). Nun schieben wir den Schleifer der Schleifdrahtmeßbrücke solange hin und her, bis die Spannung zwischen den Punkten A und C gleich der Spannung des galvanischen Elementes ist. Dies kontrollieren wir, indem wir nach jeder Verstellung des Schleifers die Taste T1 drücken und den Ausgleichsstrom zwischen den Spannungsquellen mit dem Galvanometer messen. Der Taster ist nötig, damit die Elemente nur kurz belastet werden und so keine Polarisationsspannung

Versuchsprotokoll zum Versuch Nr. 3
„Urspannung und innerer Widerstand
eines galvanischen Elements“
vom 19.03.1996

Gruppe: A2
Karsten Klein (Protokollant)
Sky Lemke

Künzell, den 29.03.2002

entsteht, die das Meßergebnis verfälscht. Ist der Ausschlag des Galvanometers gleich Null, besteht zwischen den Spannungsquellen keine Potentialdifferenz mehr. Die Spannung am Schleifdraht zwischen den Punkten A und C entspricht nun der Spannung, genauer gesagt der Urspannung (da unbelastet), des galvanischen Elements. Wir notieren die Stellung des Schleifers und die Spannung des Labornetzteils. Nun ersetzen wir das galvanische Element durch ein anderes und wiederholen die Messung.

Die Meßergebnisse sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

	Element 1	Element 2
U_0	1,929 V	1,929 V
l_{AB}	781 mm	807 mm

Die gesamte Schleifdrahtlänge beträgt 1000 mm.

Auswertung

Die Urspannung der Elemente ist gleich der Spannung am Widerstand zwischen den Punkten A und C im abgeglichenen Zustand. Die Spannungsverhältnisse am Schleifdrahtwiderstand entsprechen den Längenverhältnissen der Schleiferstellung. Es handelt sich also um einen unbelasteten Spannungsteiler. Die Spannungen lassen sich nach folgender Formel berechnen:

$$\frac{l_{AC}}{l_{AB}} = \frac{U_x}{U_0}$$

$$\Rightarrow U_x = \frac{l_{AC}}{l_{AB}} \cdot U_0$$

Für das 1. Element ergibt sich somit eine Urspannung von:

$$U_x = \frac{l_{AC}}{l_{AB}} \cdot U_0 = \frac{781 \pm 0,5mm}{1000mm} \cdot 1,929 \pm 0,006V = 1,507 \pm 0,006V$$

Für das 2. Element:

$$U_x = \frac{l_{AC}}{l_{AB}} \cdot U_0 = \frac{807 \pm 0,5mm}{1000mm} \cdot 1,929 \pm 0,006V = 1,557 \pm 0,006V$$

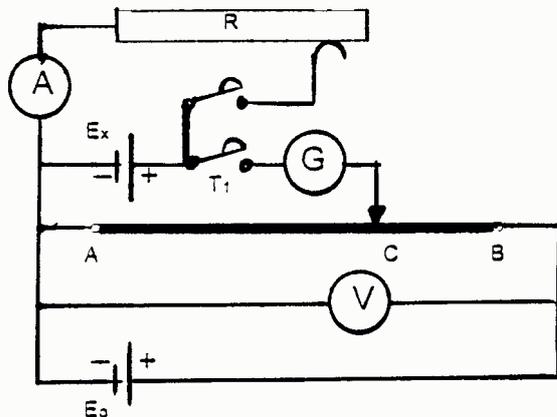
Bestimmung des inneren Widerstandes

Um den inneren Widerstand der galvanischen Elemente zu bestimmen, wird die Schaltung wie folgt modifiziert.

Versuchsprotokoll zum Versuch Nr. 3
„Ursprung und innerer Widerstand
eines galvanischen Elements“
vom 19.03.1996

Gruppe: A2
 Karsten Klein (Protokollant)
 Sky Lemke

Künzell, den 29.03.2002



Es sind nun noch ein zweiter Taster T2, ein Belastungswiderstand R und ein Amperemeter A an das Element angeschlossen. Es wurden dabei die folgenden Geräte eingesetzt:

	Gerät/Funktion	Hersteller/Typ	Inventarnummer
A	Amperemeter	Voltcraft M3610D	
R	Lastwiderstand	Phywe 100Ohm 1,8A	020000153
T2	Taster		

Wir belasten die Elemente nacheinander mit unterschiedlichen Strömen, jeweils nur kurz wegen der Polarisationsspannung, und ermitteln die Spannung des Elements wie im Versuch zuvor. Dabei ergaben sich die folgenden Meßwerte. In der Tabelle sind auch gleich die Spannungen der Elemente unter Last, die wie zuvor beschrieben errechnet wurden, und der Spannungsunterschied zur Ursprungung eingetragen.

	Element 1					Element 2				
I_I/mA	13,5	15,5	25	31,5	48	14,4	17,2	20,7	27,4	46,2
l_{AC}/mm	768	766	761	757	748	781	780	779	774	766
U/V	1,481	1,478	1,468	1,46	1,443	1,507	1,505	1,503	1,497	1,478
dU/V	0,026	0,029	0,039	0,047	0,064	0,05	0,052	0,054	0,06	0,079

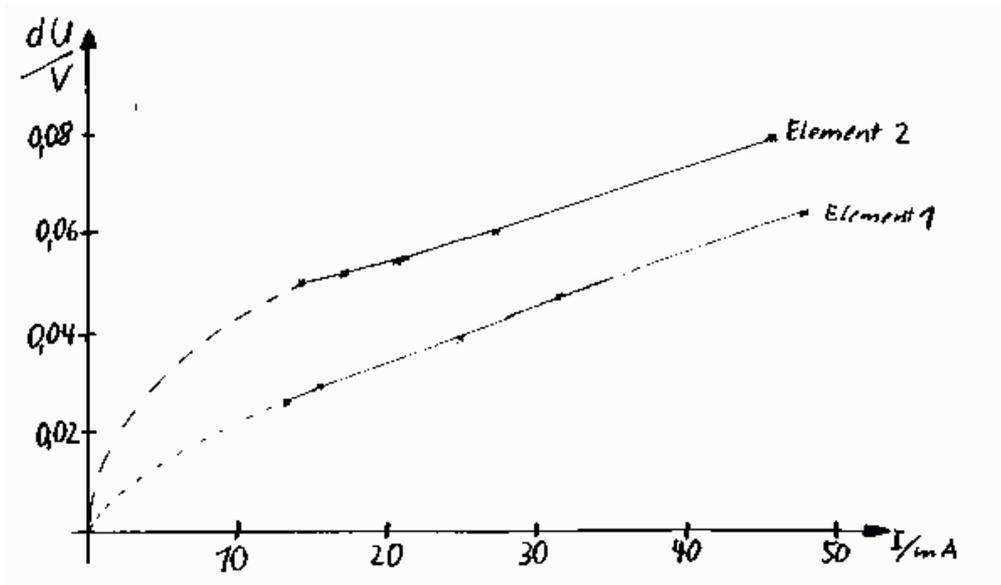
Die Spannungsdifferenz dU ist damit zu erklären, daß mit zunehmenden Strom durch die Last, und damit auch durch den Innenwiderstand des Elements, der Spannungsabfall am Innenwiderstand zunimmt.

Daraus ergibt sich folgende Strom-Spannungs-Kennlinie

Versuchsprotokoll zum Versuch Nr. 3
„Ursprung und innerer Widerstand
eines galvanischen Elements“
vom 19.03.1996

Gruppe: A2
 Karsten Klein (Protokollant)
 Sky Lemke

Künzell, den 29.03.2002



In dem Bereich, in dem wir unsere Messungen vorgenommen haben, scheint der Spannungseinbruch in Abhängigkeit der Belastung annähernd linear zu sein. Da aber die Kurven durch den Nullpunkt gehen müssen (wenn kein Strom fließt, dann auch kein Spannungsabfall am Innenwiderstand), kann die Funktion anfangs zumindest nicht linear sein. Die gestrichelten Linien sind der vermutete Verlauf der Kennlinie.

Da die Kennlinie, zumindest in dem Bereich in dem wir gemessen haben, linear zu sein scheint, können wir den inneren Widerstand leicht bestimmen, wenn wir diesen ebenfalls als linear ansehen. Wir betrachten nur den linearen Teil, der Anfang der Kurve bleibt also unberücksichtigt. Dann ist der Innenwiderstand gleich der Steigung der Geraden und läßt sich wie folgt bestimmen:

$$R_i = \frac{dU}{dI}$$

Für Element 1 bedeutet dies:

$$R_i = \frac{0,038 \pm 0,006V}{0,0345 \pm 0,0024A} = 1,101 \pm 0,097\Omega$$

Für das 2. Element:

$$R_i = \frac{0,029 \pm 0,006V}{0,0318 \pm 0,0024A} = 0,912 \pm 0,12\Omega$$

Die berechneten Werte gelten allerdings nur in unserem annähernd linearen Bereich, denn der Innenwiderstand der Elemente ist, wie aus der Kennlinie ersichtlich, nicht konstant. Der errechnete Innenwiderstand kann somit nur als Näherungswert betrachtet werden.

Da der Innenwiderstand nicht konstant zu sein scheint, ist es hier sinnvoll den Innenwiderstand für jede einzelne Belastung zu bestimmen, und zwar mit:

$$R_i = \frac{dU}{dI}$$

dU ist dabei die Spannungsunterschied und dI der Stromunterschied zwischen den beiden Belastungen damit ergeben sich folgende Werte:

I [A]	dI [A]	lac [mm]	U [V]	Fehler U [V]	dU [V]	Ri [Ohm]	Fehler Ri
Element 1							

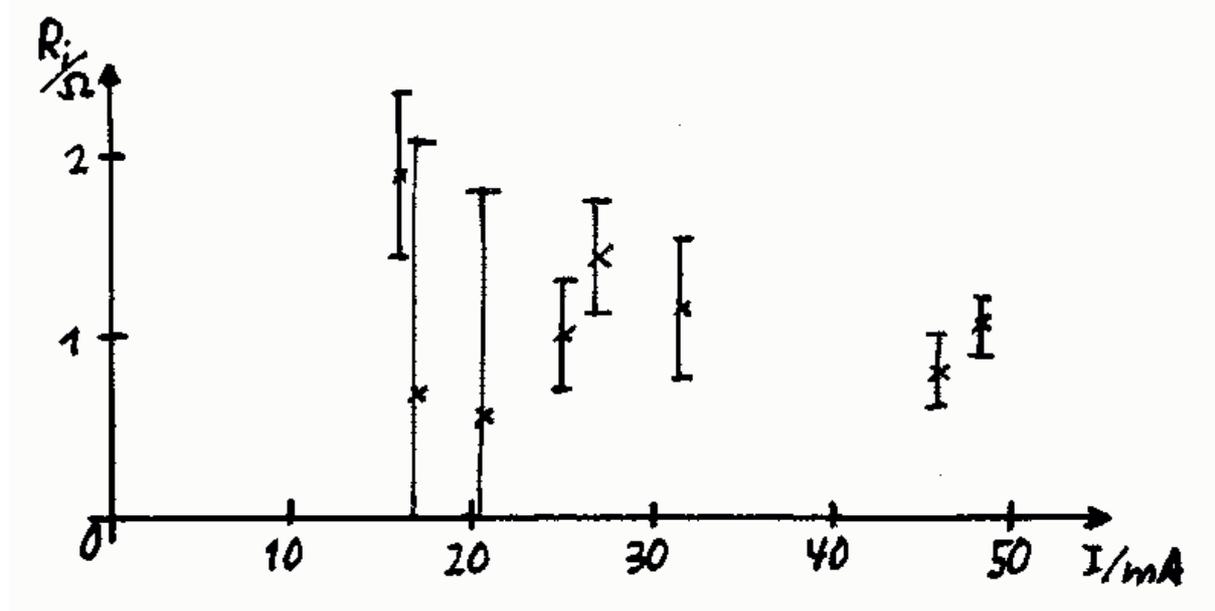
Versuchsprotokoll zum Versuch Nr. 3
„Urspannung und innerer Widerstand
eines galvanischen Elements“
vom 19.03.1996

Gruppe: A2
 Karsten Klein (Protokollant)
 Sky Lemke

Künzell, den 29.03.2002

0		781	1,506549	0,0056505			
0,0135	0,0135	768	1,481472	0,0055725	0,025077	1,85755556	0,08254568
0,0155	0,002	766	1,477614	0,0055605	0,003858	1,929	0,46545
0,025	0,0095	761	1,467969	0,0055305	0,009645	1,01526316	0,32567036
0,0315	0,0065	757	1,460253	0,0055065	0,007716	1,18707692	0,40884852
0,048	0,0165	748	1,442892	0,0054525	0,017361	1,05218182	0,17740992
Element 2							
0		807	1,556703	0,0058065			
0,0144	0,0144	781	1,506549	0,0056505	0,050154	3,48291667	0,18809028
0,0172	0,0028	780	1,50462	0,0056445	0,001929	0,68892857	1,42538265
0,0207	0,0035	779	1,502691	0,0056385	0,001929	0,55114286	1,23307347
0,0274	0,0067	774	1,493046	0,0056085	0,009645	1,43955224	0,32142905
0,0462	0,0188	766	1,477614	0,0055605	0,015432	0,82085106	0,19098178

Trägt man nun den Innenwiderstand in Abhängigkeit der Belastung auf, so ergibt sich folgender Verlauf:



(schwarz = Element 1, grau = Element 2)

Wie man sehen kann unterliegen die Innenwiderstände teilweise beträchtlichen Fehlern, so dass ein genauer Verlauf des Innenwiderstand nicht bestimmt werden kann. Die Ausreißer in der Kurve sind auf Ungenauigkeiten der Meßwerte zurückzuführen. Man würde wahrscheinlich brauchbare Werte bekommen, wenn man mehr Messungen durchführen würde und gleichmäßigere Abstände (dI annähernd konstant) nehmen würde. Man kann aber aus der Strom-Spannungs-Kennlinie erkennen, daß der Innenwiderstand bei geringer Belastung vergleichsweise hoch ist, und dann mit steigender Belastung abnimmt.

Die Polarisationsspannung

Wie Anfangs schon erwähnt, bildet sich bei Belastung eines galvanischen Elements eine Gegenspannung, die Polarisationsspannung, aus. Diese macht sich dadurch bemerkbar, daß die

Versuchsprotokoll zum Versuch Nr. 3
„Ursprung und innerer Widerstand
eines galvanischen Elements“
vom 19.03.1996

Gruppe: A2
 Karsten Klein (Protokollant)
 Sky Lemke

Künzell, den 29.03.2002

Klemmenspannung bei längerer gleichbleibender Belastung langsam absinkt. Die Polarisationsspannung bildet sich langsam aus, es ist also ein zeitlich ausgedehnter Ablauf. Ebenfalls dauert es eine gewisse Zeit, bis sie sich wieder zurückbildet.

Um die Polarisationsspannung zu messen, verwenden wir die vorherige Versuchsanordnung, allerdings wurde der Taster T2 gegen einen Schalter ausgetauscht.

Wir glichen die Schaltung im unbelasteten Zustand so ab, daß die Spannung zwischen den Punkten A und C gleich der Spannung des Elements war (Galvanometerausgang gleich Null). Anschließend belasteten wir die Elemente mit dem Widerstand R mit einem Strom I für 3 min. Danach glichen wir sofort wieder die Schaltung ab, der Widerstandsschleifer des Schleifdrahtes steht nun in einer anderen Position. Anschließend machen wir das gleiche noch mit dem 2. Galvanischen Element.

Dabei ergaben sich folgende Werte:

	Element 1	Element 2
I_L	46,7 mA	48,4 mA
$I_{AC \text{ vorher}}$	779 mm	800 mm
$I_{AC \text{ nachher}}$	773 mm	794 mm
U_0	1,93 V	1,93 V

Mit der Formel aus dem ersten Versuch kann man nun die Spannung des Elements vor und nach der Belastung ermitteln. Die Differenz der beiden Spannungen ist die Polarisationsspannung.

$$U_{Polar} = \frac{I_{AC \text{ vorher}} - I_{AC \text{ nachher}}}{I_{AB}} \cdot U_0$$

Für Element 1 folgt daraus:

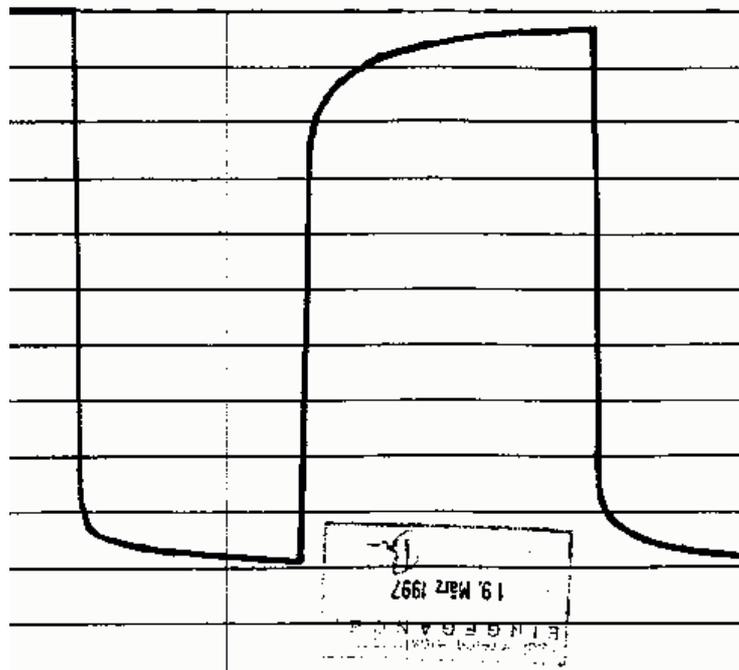
$$U_{Polar} = \frac{779 \pm 0,5 \text{ mm} - 773 \pm 0,5 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}} \cdot 1,93 \pm 0,006 \text{ V} = 11,58 \pm 1,001 \text{ mV}$$

Für das 2. Element:

$$U_{Polar} = \frac{800 \pm 0,5 \text{ mm} - 794 \pm 0,5 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}} \cdot 1,93 \pm 0,006 \text{ V} = 11,58 \pm 1,001 \text{ mV}$$

Die Polarisationsspannung beträgt also in beiden Fällen 11,58mV, wobei man eigentlich sagen müßte -11,58mV, da sie der Ursprungung entgegenwirkt.

Um zu zeigen wie sich die Polarisationsspannung langsam aufbaut, haben wir zwischen den Pluspol des galvanischen Elements und dem Punkt C des Schleifdrahtes einen x/t-Schreiber geschaltet, der während der Belastung die Spannungsdifferenz zur Ursprungung aufnimmt. Diesen Versuch mußten wir zweimal durchführen, da wir im ersten Durchgang einen Taster zum Schalten der Last verwendet hatten, der leider prellte. Dadurch kam eine sehr unregelmäßige Kurve mit Ausreisern zustande. Nachdem wir den Taster gegen einen Schalter ausgetauscht hatten war das Problem behoben. Leider hatten wir nicht die Zeit die Kurve für beide Elemente aufzunehmen. Folgende Kurve ist dabei entstanden.



Die Kurve wurde mit einer Empfindlichkeit von 100mV in x-Richtung (im Bild ausnahmsweise die senkrechte Achse) und mit einem Vorschub von 600mm/min aufgenommen.

Wie man erkennen kann bricht die Klemmenspannung mit dem Einschalten der Last plötzlich ein, was auf den inneren Widerstand zurückzuführen. Anschließend beginnt die Spannung aber langsam noch weiter zu sinken, dies wird nun durch die Polarisationsspannung verursacht. Schaltet man die Last nun wieder ab, so springt die Spannung zunächst schnell wieder nach oben. Sie springt aber nicht direkt auf die Ursprungsspannung zurück, sondern beginnt danach langsam in die Nähe der Ursprungsspannung zu steigen. Auch hier ist wieder die Polarisationsspannung die Ursache, sie baut sich nur langsam wieder ab. Nach einiger Zeit erreicht die Klemmenspannung so wieder die Ursprungsspannung, vorausgesetzt man schaltet die Last nicht wieder ein, so wie wir. Daran kann man sehen das sich der Prozeß wiederholt. Hätte man hier die gesamte Kennlinie abgebildet (was scan-technisch jedoch nicht möglich war) könnte man sehen, daß wenn man die Last immer wieder ein und ausschaltet, sich die Spannung bei abgeschalteter Last immer mehr von der Ursprungsspannung entfernt, es dauert also länger bis sich das galvanische Element sich von der Last erholt hat.