

Untersuchung der elastischen Nachwirkung mittels einer akustischen Methode

Von

Adele Merz

(Mit 1 Textfigur)

(Vorgelegt in der Sitzung am 3. April 1924)

Man kann an mit Metall- oder Darmsaiten bespannten Musikinstrumenten die Wahrnehmung machen, daß mit einmaliger Spannung der Saite keine Konstanz der Tonhöhe verbunden ist. Allmählich, erst rasch, dann langsamer, wird der Ton tiefer. Stimmt man dagegen die gleiche Saite nachher auf einen tieferen als den Anfangston, so kann man auch eine Änderung der Tonhöhe beobachten, aber nun in entgegengesetzter Richtung. Der Ton wird höher. Es liegt nahe, diese Erscheinung auf elastische Nachwirkung zurückzuführen und diese durch die Änderung der Tonhöhe mit der Zeit festzustellen.

Herr G. Jäger gab mir die Anregung, diese Vorgänge zu verfolgen und ihre Beziehung zu den bereits gefundenen Tatsachen aufzusuchen. Um also die Tonhöheänderung der Saite bei konstanter Länge zu bestimmen, wurde die Saite erregt und ihre Tonhöhe mit der einer anderen Tonquelle, deren Tonhöhe mit ihr zu Beginn dieselbe war und blieb, verglichen. Die Erregung geschah durch leises Zupfen. Streichen erwies sich als ungünstig, da die verschiedenen Geräusche und eine zu lange Bewegung der Saite den Messungen von Nachteil waren. Der Vergleich der beiden Tonquellen geschah mittels Zählen der auftretenden Schwebungen. Als Ausgangstöne für die Untersuchung wurden $n = 320$, $n = 256$ gewählt, deren Schwebungen gut hörbar sind. Bei tieferen Tönen wird das Zählen erschwert, da der Unterschied in der Intensität zwischen Verschwinden und Wiederanschwellen des Tones bedeutend geringer ist. Vor dem Gebrauch wurde die Saite längere Zeit ganz leicht gespannt, um eventuelle Büge und sonstige Spannungen auszugleichen. Die Messungen fanden alle bei konstanter, möglichst geringer Torsion statt. Da die Erregung durch Zupfen geschah und dieses mitunter mit geringen Stößen verbunden sein kann, so war eine Störung des Ablaufs zu befürchten. Um dies ungefähr festzustellen, wurden zwei nahezu gleiche Saiten gleich hoch unter sonst ganz gleichen äußeren Bedingungen gespannt. Die eine blieb unberührt, die andere wurde in der gewöhnlichen Weise sehr viele Male gezupft. Nach 8 Tagen betrug die Differenz $4 \cdot 21$ Schwebungen, ein Fehler von geringer Bedeutung, da die längste Beobachtungszeit 48 Stunden betrug (für die ausschlaggebenden Messungen) und auch die materielle Beschaffenheit der Saite niemals ganz die gleiche ist.

Eine Klavierseite wurde über ein Monochord gespannt. Ihre Schwingungszahl wurde der einer Stimmgabel angeglichen, $n = 256$, und ihre Differenz gegen diese nach einiger Zeit beobachtet. Dabei konnte jedoch die Änderung der Tonhöhe kaum bemerkt werden. Es wurden daher Darmsaiten verwendet.

Die Saite wurde wieder auf dem Monochord zwischen zwei Wirbeln gespannt, $n = 256$. Die Länge des Monochords betrug 1 m (Entfernung der beiden Stege) und die Saitenstärke entsprach der für diesen Ton und diese Länge bei Musikinstrumenten üblichen. Es wurde wieder die Tonhöheänderung gegen die Stimmgabel beobachtet und diese zeigte sich nach kurzer Zeit so groß, daß die Schwebungen nicht mehr gezählt werden konnten. Es wurde daher das Scheibler'sche Tonometer verwendet. Das Bild des Ablaufs stellte eine Kurve dar, deren Abszissen die Zeit und deren Ordinaten die entsprechenden Schwebungen, bezogen auf die Tonhöhe zu Beginn, bedeuteten. Doch zeigten sich dabei Unregelmäßigkeiten, die erst auf Temperaturschwankungen zurückgeführt wurden. Um diese zu beseitigen, wurde die Saite in ein doppelwandiges Metallrohr eingeschlossen, das, durch zwei Konsolen gehalten, vertikal an der Wand hing. Um Resonanz der Wand zu vermeiden, waren die Berührungsstellen zwischen Wand und Konsole, Konsole und Röhre mit Filz verkleidet. An den beiden Enden des Rohres befanden sich elfenbeinerne Stege, deren Entfernung 1 m betrug. Der Durchmesser des Rohres betrug 10 cm . Außerhalb des oberen Steges war in einem Achsenlager eine Walze mit mehreren Durchbohrungen angebracht, die sich mit Hilfe von Nägeln beliebig feststellen ließ. Über diese gewickelt, lief die Saite unter einem kleinen Neigungswinkel über die Stege. Am unteren Ende war sie durch eine Klemmbacke festgehalten, die an einem mittels einer feinen Schraube verstellbaren Schlitten verschiebbar war. Diese Vorrichtung war die Feineinstellung gegenüber der oberen rohen. Vom unteren Ende, $\frac{1}{7}$ des Stegabstandes entfernt, war die Röhre diametral durchbohrt und trug dort zwei in horizontaler Richtung angelötete, kleine Röhren von 5 , beziehungsweise 10 cm Länge. Durch die längere wurde die Zupfvorrichtung eingeführt, durch die andere mittels eines langen Gummischlauches, dessen Ende ein kurzes Glasröhrchen bildete, der Ton in das Ohr geführt. Die Zupfvorrichtung bestand aus zwei halbzylinderförmig aneinandergelegten Holzstäben, die an einem Ende doppelt ausgehöhlt und innen und außen mit Rebleder verkleidet waren, am anderen Ende durch ein Messingröhrchen zusammengehalten wurden. Dadurch wurde ein lautloses Schieben und Zupfen ermöglicht. Da nur Saiten von nahezu gleicher Stärke verwendet wurden, so brauchte die Öffnung nicht weiter regulierbar sein. Um konstante Temperatur zu erzielen, strömte gleichmäßig Wasser durch den Doppelmantel des Rohres. Für den Luftabschluß befand sich am oberen Ende eine mit Öl gefüllte Rinne, in die eine Blechbüchse tauchte. Eine ähnliche Vorrichtung war auch am unteren Ende angebracht. Vor dem Versuche wurde die Saite

mehrere Stunden lose gespannt in der Röhre belassen, so daß Konstanz der Temperatur und Feuchtigkeit angenommen werden konnte. Der Temperaturstand des strömenden Wassers konnte durch ein Zehntelgradthermometer, das in einem Glasrohr in den Zuleitungsweg eingeschaltet war, genau verfolgt werden. Eine Änderung ließ sich durch Regulieren des strömenden Wassers aufheben. Auch wurden für die Messungen Länge und Querschnitt der Saite als unverändert angesehen.

Die ersten Versuche geschahen bei einer Temperatur von 10°, bei der auch die früheren Versuche in Zimmerluft stattgefunden hatten. Die ersten Versuche in der Röhre ergaben das vier-, fünf-, ja sechsfache der früheren Werte, trotzdem die Temperatur, die Spannung, die Dimensionen der Saiten nahezu die gleichen waren. Die geänderten Feuchtigkeitsverhältnisse wurden als Ursache erkannt, da die ersten Versuche im Winter, die nächsten im Frühling stattfanden. Die Röhre war vor der Kühlung mit Luft von 15 bis 20° gefüllt, bei einem mittleren Prozentsatz von Feuchtigkeit. Durch die Wasserkühlung aber wurde die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt und die Saite nahm so lange Wasser auf, bis ein Ausgleich eintrat. Die Verhältnisse waren wohl konstant, doch nicht mehr gewöhnlich.

Ein mit Chlorcalcium gefüllter, in die Röhre eingelassener Drahtstrumpf führte einen niedrigen Feuchtigkeitsgehalt herbei. Ein anderer Teil der Untersuchung fand bei einer Temperatur von 19 bis 22° statt, sowie einem Feuchtigkeitsgehalt von 55 bis 68%. Die Werte näherten sich stark den bei 10° gefundenen. Erhöhung der Temperatur und Erniedrigung des Feuchtigkeitsgehaltes waren wohl die Ursachen. Wie stark der Einfluß der Temperatur, besonders aber der der Feuchtigkeit auf die Nachwirkung ist, konnte folgendem Versuch entnommen werden. Die Saite wurde bei stark schwankendem Feuchtigkeitsgrade der Zimmerluft ausgesetzt und erwies sich als so empfindlich, daß die Nachwirkungskurve unausgesetzt von Zacken und Sprüngen durchsetzt war. Es folgen einige Werte zum Vergleiche des früher erwähnten Verhaltens im Winter und Frühling. t bedeutet die Zeit nach Einführung der Spannung, s die entsprechenden Schwebungen, T die Temperatur. Für alle 3 Versuche ist der Anfangston $n = 320$.

I		II		III	
$T = 9 \cdot 3$	Dezember frei im Zimmer	$T = 10$	Mai in der Röhre	$T = 22$	Mai frei im Zimmer
t	s	t	s	t	s
15'	1·96	10'	8·44	30'	9·56
45	2·5	25	10·22	1 ^h	10·75
1 ^h 45	5·6	55	12·26	1 15	11·33
4 15	8·74	1 ^h 10	13·34	1 45	12·36
15	10·2	1	15·—	15	15·49
9	11·—	2	16·28	50	17·92

In I und III änderte sich die Temperatur noch in den ersten Stunden. Um den Einfluß der Temperatur und Feuchtigkeit zu zeigen, sind einige Werte eines Kurvenabschnittes im folgenden angeführt. Sie erstrecken sich für $n = 320$ bei einem Temperaturintervall von $20\cdot7$ bis $21\cdot8^\circ$ mit einer Feuchtigkeitsänderung von $\cdot63$ bis 67% über ungefähr 9 Stunden. Das Stück ist einer Kurve entnommen, die eine Zusammensetzung zweier Nachwirkungen darstellt. Daß die Unregelmäßigkeiten nicht auf irgendeine Superposition zurückzuführen sind, folgt aus Kurvenbildern gleicher Zusammensetzung, die einen normalen Verlauf zeigen, wenn sie keinen solchen Schwankungen ausgesetzt sind. Das Bild des Kurvenstückes findet sich in der Kurventabelle unter C.

	t		t		t	
C	70 ^h	25·—	72 ^h	25·82	73 ^h 30'	26·5
	70 15'	26·15	72 15'	26·—	75	29·33
	70 30	25·05	72 30	26·—	77 15	27·63
	70 45	26·—	72 45	26·—	78 30	28·—
	71	26·—		26·5	78 45	28·—
	71 45	26·—	73 15	26·22	79 15	27·63

Kennte man genau den Einfluß der Temperatur und die Größe der Nachwirkung in jedem Punkte, so wäre auf diese Weise ein Maß für den Feuchtigkeitsgehalt der Luft gegeben. Vielleicht mag dieser starke Einfluß der Feuchtigkeit und Temperatur bei organischen Substanzen auch mit ein Grund sein, warum Wilhelm Weber's Beobachtungen an Kokonfäden sich den Formeln Kohlrausch's nicht fügten. Bei konstanten Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen ist der Verlauf bei ersten Kurven stetig, bei zusammengesetzten abteilungsweise stetig. Um experimentell die Richtigkeit der erhaltenen Nachwirkungskurven festzustellen, wurde zum Vergleiche die Nachwirkung bei konstanter Belastung gleichzeitig durch Längsmessung bestimmt. Zu dem Zwecke wurde die Saite auch durch ein 1 m langes, doppelwandiges Rohr hindurchgeführt. Oben war sie wieder um eine drehbare Walze gewickelt und unten stak sie in einer frei hängenden Klemmbacke. Am unteren Ende dieser Klemmbacke befand sich ein schmaler Ring, über den und das Röhrenende ein dünnes Kautschukrohr gezogen wurde, so daß die Saite unten ganz gegen Zimmerluft abgeschlossen war. Das obere Ende der Röhre war auf gleiche Weise wie bei der anderen verschlossen; nur trug der Verschuß eine Durchbohrung, in die ein Thermometer eingelassen wurde, um auch die Innentemperatur festzustellen. Die verlängerte Klemmbacke trug die Marke, unterhalb der das Gewicht eine mit Wasser gefüllte, in einem Drahtkorb befindliche Flasche befestigt war.

Die Messungen geschahen mit dem Kathetometer. Auf diese Weise wurde ein zuverlässiges Bild des Verlaufs bei Darmsaiten gewonnen. Da für akustische und Längsmessung zu gleicher Zeit auch nahezu gleich starke Saiten (zirka 0.5 mm Dicke) verwendet wurden, so ließ sich auch an den Verhältnissen zweier aufeinanderfolgender Werte der akustischen Messung, verglichen mit den entsprechenden der Längsmessung, annähernd die Richtigkeit oder Unrichtigkeit der durch die akustische Methode erhaltenen Werte feststellen. Wie aus der folgenden Tabelle ersichtlich ist, stimmen die Verhältniszahlen nicht genau überein, da ja in ihnen die Meßfehler inbegriffen sind und auch die Saiten nicht als gleich betrachtet werden können. Aber ungefähr läßt sich, mit Ausnahme der drei ersten Punkte, eine Richtlinie an ihnen finden. Dort, wo sie bedeutend voneinander abweichen, kann man auch tatsächlich an einer oder an beiden Kurven Unregelmäßigkeiten sehen. Die in der nachstehenden Tabelle angeführten Verhältniszahlen entsprechen den für die folgende Mitteilung ausgewählten Beobachtungen (Kurve A und B in der Kurventabelle). Ein Beispiel für das Erkennen der Unregelmäßigkeiten ist die Kurve B mit den Punkten für $t = 12$ bis $t = 20$, die nicht genau in sie hineinfallen. Es weichen auch die Verhältniszahlen zweier Werte der Längsmessung deutlich von der entsprechenden der akustischen Messung ab. Es muß sich das Verhältnis immer wachsend, der 1 nähern. Auch daran lassen sich Unstimmigkeiten erkennen.

akustische Methode	Längsmessung	
0.7906	$\frac{x_1}{x_2}$	0.8345
8916	$\frac{x_2}{x_4}$	8788
9414	$\frac{x_3}{x_4}$	9841
96	$\frac{x_4}{x_5}$	961
969	$\frac{x_5}{x_6}$	963
9513	$\frac{x_6}{x_8}$	9427
9845	$\frac{x_8}{x_9}$	9815
9728	$\frac{x_9}{x_{10}}$	9799

akustische Methode	Längsmessung	
0.9765	$\frac{x_{10}}{x_{12}}$	0.9756
9769	$\frac{x_{12}}{x_{14}}$	9746
9852	$\frac{x_{14}}{x_{16}}$	9737
9832	$\frac{x_{16}}{x_{18}}$	9863
9839	$\frac{x_{18}}{x_{20}}$	9865
9896	$\frac{x_{20}}{x_{22}}$	98
9764	$\frac{x_{22}}{x_{25}}$	9803
9868	$\frac{x_{25}}{x_{28}}$	9875

Mit diesen Tatsachen ist gewissermaßen eine Bestätigung für die Feststellung Kohlrausch gegeben, daß 2 Kurven derselben Saite, die verschiedenen Spannungen entsprechen, einander ähnlich sind.

Unter der Menge der akustischen und Längsbeobachtungen wurden jene einander entsprechenden ausgewählt, wo die akustische Messung möglichst vollständig und gut schien. Daß beide Messungen gleich vollständig und gut waren, ließ sich wegen der oft recht mühevollen akustischen Beobachtungsweise nicht erreichen.

Es wurde auch versucht, die erhaltenen Messungen in eine der vorhandenen Formeln einzupassen. Die empirische Darstellung von Kohlrausch $x = Ae^{-\alpha t^m}$, wo x die Änderung mit der Zeit bedeutet, α der Koeffizient der elastischen Nachwirkung ist, ergibt für die akustische Messung ein negatives m , erhält also die Form

$x = Ae^{-\frac{\alpha}{m}t}$, wo x die Änderung der Tonhöhe mit der Zeit t bedeutet. In dieser Form ist der Ausdruck auch für ∞ große Zeiten gültig, da er eine Konstante ergibt, was für sehr große Zeiten mit der Erfahrung übereinstimmt. Die gerechneten Werte genügen den gemessenen über einen Zeitraum von 5 Stunden. Für die späteren Werte bleibt die Rechnung hinter der Messung zurück. Bei der Längsmessung stimmen die Werte über 7 Stunden überein. Nach dieser Zeit werden die gerechneten Werte größer als die gemessenen. Hier ist das m auch positiv.

Auch wurde an den gleichen Beobachtungen die von Kohlrausch umgeformte Darstellung Boltzmann's für die Nachwirkung x , wenn die Änderung der Länge oder Tonhöhe beobachtet wird, geprüft. Für Längsnachwirkung hat sie die Gestalt $x = c - pL \ln t$, für die Änderung der Tonhöhe $n = n_1 - qn_0 \ln t$, allgemein $x = a - b \ln t$, wenn im ersten Falle c die Änderung nach einer Zeiteinheit, L die durch die Spannung P bewirkte Verlängerung und p eine Materialkonstante bedeutet. Im zweiten Falle, wenn n_1 die Änderung der Tonhöhe wieder nach einer Zeiteinheit, n_0 die Tonhöhe zu Beginn und q wieder eine Konstante ist. Die Rechnung ergibt für die akustische Messung eine Übereinstimmung über 11 Stunden. Die Resultate der Längsmessung genügen 5 Stunden. In beiden wird eine größere Genauigkeit als mit der Kohlrausch'schen Formel erzielt.

Auch K. Bennewitz gibt eine empirische Darstellung $y = \beta P \ln\left(\frac{t}{\tau} + 1\right)$. y bedeutet die Längenänderung, P die wirkende, konstante Spannung, β einen konstanten Faktor, τ einen Parameter. Ein Versuch mit ihr ergab durchschnittlich Fehler mehrerer Prozente, so daß von einer tabellarischen Angabe abgesehen wird. Ebenso ungünstig verlief auch der Versuch, die Nachwirkung durch eine Potenzreihe nach der Zeit darzustellen.

Es folgt nun ein Vergleich der gemessenen mit den nach Kohlrausch und Boltzmann gerechneten Werten. Die zu den

Untersuchungen verwendeten Darmsaiten hatten ungefähr einen Durchmesser von 0.5 mm. Die Tonhöhe zu Beginn betrug $n = 319.626$. t war die nach Eintreten der Spannung verflossene Zeit. Das Beobachtungsintervall betrug 1 Viertelstunde und wurde in der Rechnung als Einheit aufgefaßt. Δ bezeichnet die Abweichung des gemessenen vom gerechneten Wert und ist in Promille, bezogen auf den gemessenen Wert, angegeben. Das negative Vorzeichen bei s deutet die Erniedrigung von 319.626 um s an.

Δ	s gerechnet nach $x = A e^{-\frac{\alpha}{tm}}$	t		t	s gerechnet nach $x = a - b \ln t$	Δ
—	8.911	15'	—8.911	15'	9.958	+117
+ 0.08	11.275	30	11.274	30	11.696	+ 36
— 6	12.569	45	12.647	45	12.713	+ 5
—	13.434	1 ^h	13.434	1 ^h	13.434	—
+ 5.7	14.07	1 15	13.990	1 15	13.994	+ 0.2
+ 8	14.564	1 30	14.434	1 30	14.451	+ 1
+ 10	14.97	1 45	14.787	1 45	14.727	— 4
+ 9	15.308	2	15.172	2	15.172	—
+ 9	15.59	2 15	15.404	2 15	15.468	+ 4
+ 6	15.84	2 30	15.734	2 30	15.732	— 0.1
+ 5	16.06	2 45	15.979	2 45	15.971	— 0.5
+ 3	16.261	3	16.212	3	16.189	— 1.4
+ 2.2	16.437	3 15	16.4	3 15	16.39	0.6
— 5	16.503	3 30	16.595	3 30	16.575	1
+ 2	16.74	3 45	16.706	3 45	16.749	+ 2.5
+ 1.6	16.873	4	16.845	4	16.910	+ 4
— 1.5	16.996	4 15	17.023	4 15	17.062	+ 2
— 0.9	17.116	4 30	17.133	4 30	17.206	+ 4
2	17.214	4 45	17.261	4 45	17.341	+ 4
— 6	17.313	5	17.413	5	17.469	+ 3
— 5	17.405	5 15	17.5	5 15	17.592	+ 5
— 5.8	17.492	5 30	17.595	5 30	17.709	+ 6.6
— 10	17.573	5 45	17.757	5 45	17.820	+ 3.8
— 12.8	17.65	6	17.88	6	17.927	+ 2.8
— 16	17.723	6 15	18.019	6 15	18.029	+ 0.6
— 17	17.792	6 30	18.095	6 30	18.129	+ 1.9
— 13	17.919	7	18.261	7	18.313	+ 2.8
— 22	18.037	7 30	18.452	7 30	18.486	+ 1.8
— 22	18.143	8	18.558	8	18.648	+ 5
— 49	18.669	11 15	19.595	11 15	19.503	— 4.5
— 83	19.733	26	21.309	26	21.628	+ 14
—100	20.313	48	22.353	48	23.138	+ 34

$$A = 22.2765 \quad a = 9.9576$$

$$\alpha = -0.923167 \quad b = -2.5077$$

$$m = -0.424298$$

Bei der Längsmessung wurde die Änderung in Millimetern gemessen. Die Belastung betrug 2440 g, t bedeutet auch hier die Zeit nach Aufhängung des Gewichtes, Δ hat ebenfalls dieselbe Bedeutung wie früher, λ ist die Verlängerung.

Δ	λ gerechnet nach $x =$ $= A e^{-\alpha t^m}$	t	λ gemessen	t	λ gerechnet nach $x =$ $= a - b \ln t$	Δ
B						
+ 30	3·824	15'	3·71	15'	3·616	-26
+ 5	4·373	30	4·35	30	4·33	- 4
- 35	4·734	45	4·95	45	4·75	-40
- 4	5·010	1 ^h	5·03	1 ^h	5·04	+ 3
- 2	5·22	1 15	5·23	1 15	5·275	+ 9
- 10	5·373	1 30	5·43	1 30	5·462	+ 6
- 4	5·643	1 45	5·66	1 45	5·576	-15
- 4	5·734	2	5·76	2	5·76	—
- 0·2	5·869	2 15	5·87	2 15	5·88	+ 1·7
- 0·8	5·985	2 30	5·99	2 30	5·99	—
+ 10	6·208	3	6·14	3	6·177	+ 5
+ 14	6·392	3 30	6·3	3 30	6·33	+ 0
+ 15	6·569	4	6·47	4	6·47	—
+ 24	6·72	4 30	6·56	4 30	6·595	+ 5
+ 2	6·864	5	6·85	5	6·703	-20
+ 0·4	6·993	5 30	6·99	5 30	6·80	-26
+ 6	7·172	6 15	7·13	6 15	6·93	-30
+ 2	7·336	7	7·22	7	7·09	-20
+ 55	8·017	11	7·57	11	7·52	- 7
+127	9·37	26	8·22	26	8·40	+20
+196	10·74	48	8·64	48	9·03	+43

$$A = 453 \cdot 7 \cdot 10^{-16}$$

$$m = 0 \cdot 005283$$

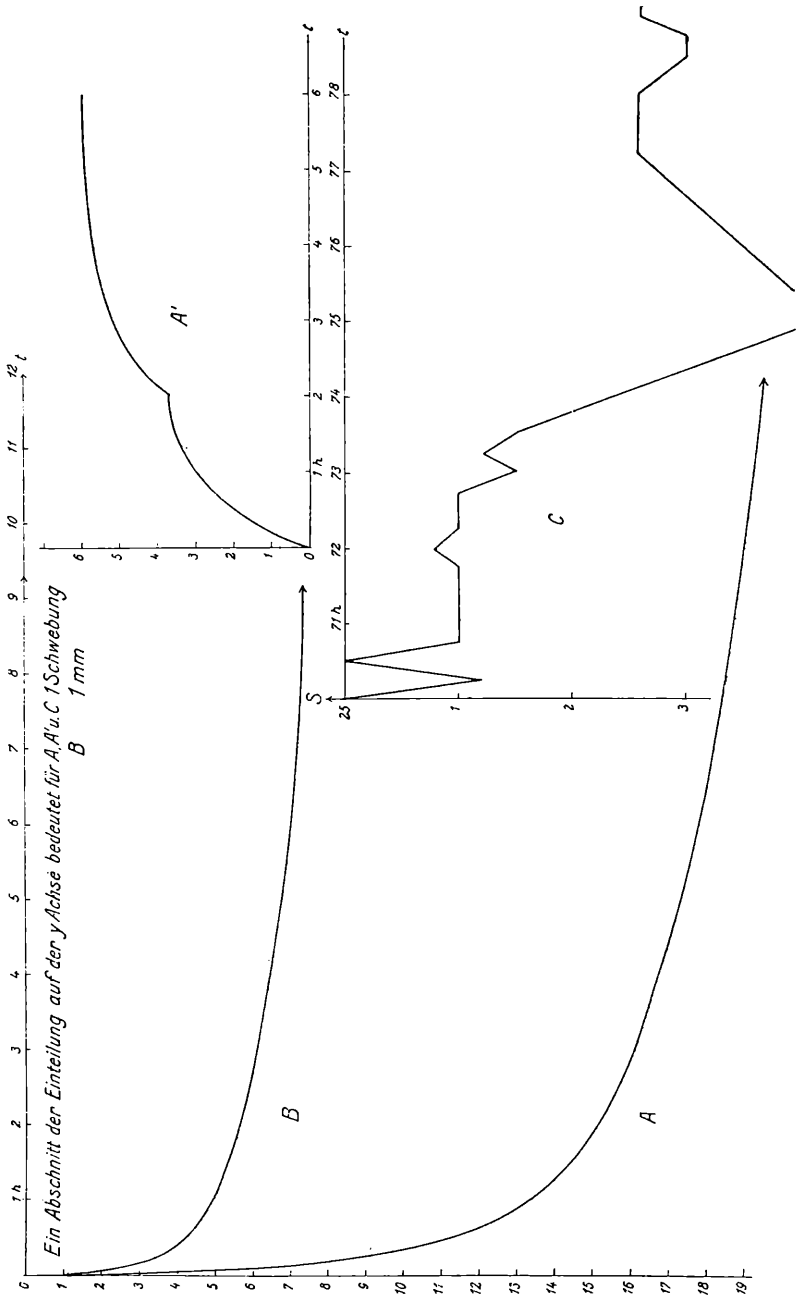
$$a = -36 \cdot 6705$$

$$a = 3 \cdot 616$$

$$b = -1 \cdot 0307$$

Die graphische Darstellung von A und B findet sich in der Kurventabelle. Nach 48 Stunden wurde die Nachwirkung A unterbrochen, indem die Tonhöhe auf $n = 256 \cdot 956$ erniedrigt wurde. Es konnte nun eine der früheren entgegengesetzte Nachwirkung A' beobachtet werden. Ihre Werte waren bedeutend niedriger und strebten schon nach einigen Stunden einem konstanten Werte zu. Es wurde nun versucht, auch diese rechnerisch darzustellen. Zur Zeit t_1 also wurde die erste Nachwirkung eingeleitet, zur Zeit t_2 die Spannung erniedrigt und zur Zeit $t > t_2$ die Nachwirkung beobachtet. Nach dem Prinzip der Superposition läßt sich denken, die erste Nachwirkung dauert bis zur Zeit t und es werde zur Zeit t_2 eine ihr entgegengesetzt gerichtete über die Zeit $t - t_2$ eingeführt. Nach der Kohlrausch'schen Formel würde sich also die zusammengesetzte Nachwirkung darstellen durch $v = A e^{-\alpha (t-t_1)^m} - B e^{-\alpha (t-t_2)^m}$.

Nun muß man bei solcher Auffassung die erste Nachwirkung bis zur Zeit t kennen, was praktisch nur bis zur Zeit t_2 möglich



ist. Die fehlenden Werte müssen errechnet werden. Nun sind aber in dem praktischen Falle die gemessenen und gerechneten Werte schon nach dem fünften Teile der Zeit $t_2 - t_1$ erheblich verschieden,

so daß man die fehlenden Werte nur mit Hilfe einer Fehlerrechnung bestimmen kann. Doch ergaben sich nach den ersten Stunden für die Nachwirkung Fehler von mehreren Prozenten, die nach 4 Stunden 21 % erreichten. Darum werden die gerechneten Werte nicht angeführt. Um das Prinzip der Superposition daran zu prüfen, müßte die Spannungsänderung schon in den ersten Stunden geschehen. Die durch Messung erhaltenen Werte werden angegeben.

		t		t	
A'	15 [°]	+1·290	2 ^h 30 [']	4·79	
	30	2·004	2 45	5·037	
	45	2·688	3	5·172	
	1 ^h	2·966	3 15	5·314	
	1 15	3·323	3 30	5·466	
	1 30	3·529	3 45	5·562	
	1 45	3·741	4 15	5·753	
	2	3·741	5	5·868	
	2 15	4·275	6	5·9	

Das + -Vorzeichen bei den Werten von s bedeutet die Erhöhung des Anfangstones durch die Nachwirkung. Die graphische Darstellung findet sich in der Kurventabelle. Wie aus den gewonnenen Resultaten hervorgeht, trat nach 2 Stunden eine plötzliche Hebung der Kurve ein.

Ein Vergleich der akustischen Messung mit der Längsmessung läßt für den ersten Augenblick die akustische Methode als die genauere erscheinen. Eine einfache Rechnung beweist das Gegenteil. Ändert sich bei einer Saitenlänge von 100 *cm* und einer Tonhöhe von $n = 320$ die Schwingungszahl um $\frac{1}{100}$, so würde die gleiche Schwingungszahl durch eine Längenänderung von 0·03125 *mm* erzielt werden. Nun sind aber 0·03 *mm* leichter genau zu bestimmen als eine $\frac{1}{100}$ -Schwebung, wenn die Bestimmung durch eine subjektive Methode geschieht. Daraus und aus dem Vorhergehenden ergibt sich, daß die akustische Methode wohl genügend die Nachwirkung darstellt, doch keinen Anspruch auf große Präzision erheben kann.

Wie aus den Rechenresultaten hervorgeht, zeigte sich der Boltzmann'sche Ausdruck als am besten geeignet für die Darstellung der elastischen Nachwirkung. Nun sagt aber diese Theorie nichts aus über den molekularen Vorgang, durch den die Nachwirkung bedingt ist. Annahmen, wie die von Kohlrausch, lassen wieder keine so gute Darstellung zu. Doch bilden die meisten Arbeiten nach Kohlrausch und Boltzmann eher eine Bestätigung der Kohlrausch'schen Ansicht und es werden eine Menge Gegen-

argumente gegen Boltzmann's Auffassung gegeben. Dies kann aber ihre praktische Gültigkeit nicht beeinträchtigen. Der weiteren Forschung bleibt es überlassen, den Weg zwischen beiden zur richtigen Erkenntnis des Vorgangs zu finden.

Es obliegt mir nun am Ende dieses Auszugs aus meiner Arbeit die angenehme Pflicht, Herrn Hofrat Jäger meinen herzlichsten Dank für die Anregung und die gütige Hilfe, die er mir bei der Ausführung zuteil werden ließ, auszusprechen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1924

Band/Volume: [133_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Merz Adele

Artikel/Article: [Untersuchung der elastischen Nachwirkung mittels einer akustischen Methode. 409-419](#)