

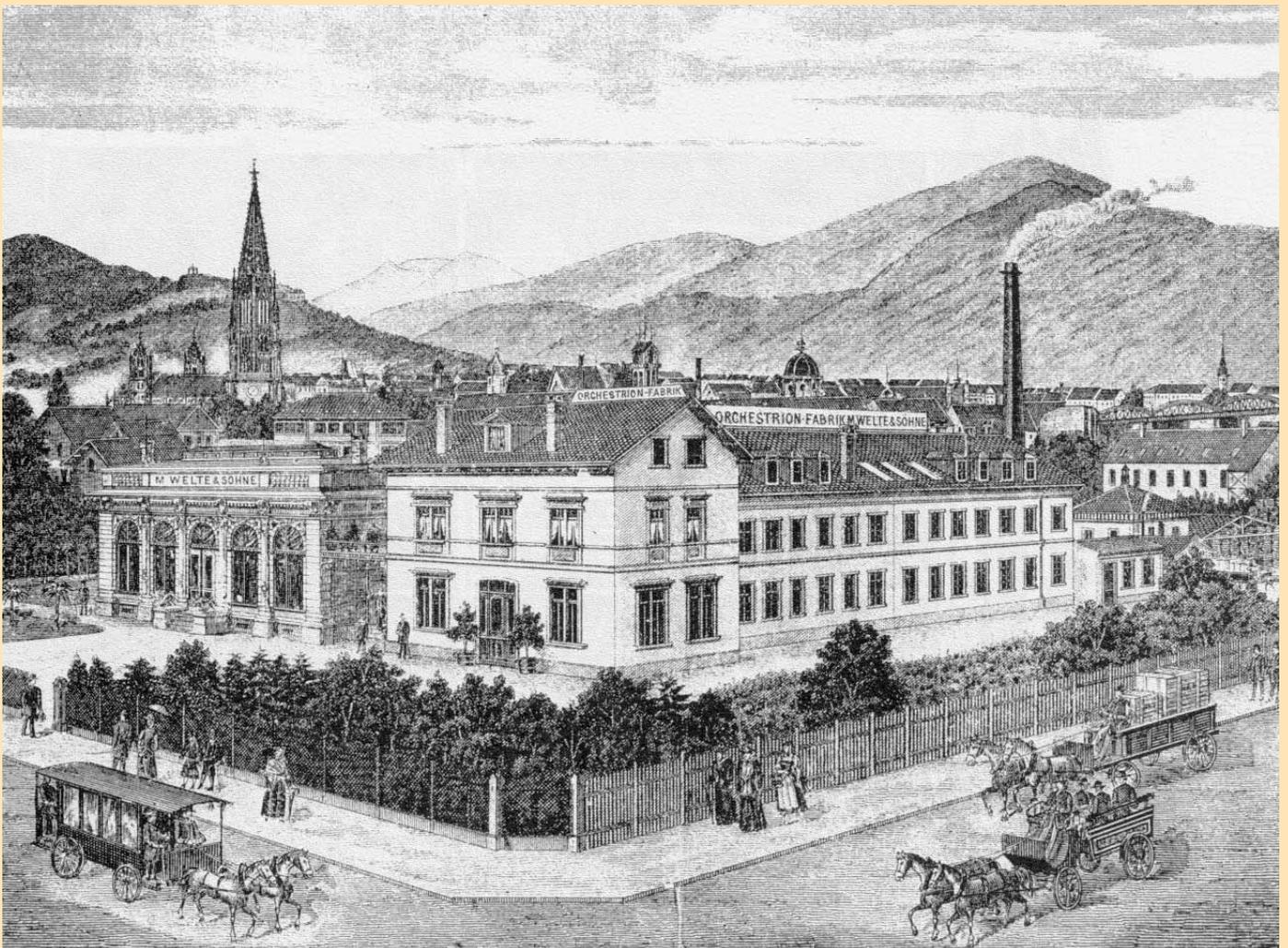
# DAS MECHANISCHE MUSIKINSTRUMENT

Nr. 89



April 2004

Journal der Gesellschaft für Selbstspielende Musikinstrumente e.V.



# DAS MECHANISCHE MUSIKINSTRUMENT

30. Jahrgang

No. 89

April 2004

Redaktionsschluss für Journal 90: (August 2004):  
15. Mai 2004

„DAS MECHANISCHE MUSIKINSTRUMENT“, Journal der „Gesellschaft für Selbstspielende Musikinstrumente e.V.“, erscheint ca. 3 x jährlich und ist für Mitglieder kostenlos. Einzelpreis € 22,50 incl. Versand. Mitgliedschaft/Jahresabo: € 60,-.

## Verlag/Publisher:

Gesellschaft für Selbstspielende Musikinstrumente e.V.

## Redaktion/Editor:

Bernhard Häberle, Walter-Möller-Straße 20  
64673 Zwingenberg, Tel. und Fax: 0 62 51 - 7 51 57  
E-Mail: redaktion@musica-mechanica.de

## Redaktionelle Mitarbeit

Dr. Walter Tenten (in Vertretung)  
Bruchweg 13, 52441 Linnich-Körrenzig

## Ständige Mitarbeiter/Publications Committee:

Jürgen Ehlers, Luuk Goldhoorn, Bernhard Häberle (red), Dr. Jürgen Hocker (J. H.), Björn Isebaert (B. Is.), Otto Kalenka, (O. K.), Dr. Hartmut Krause (H. K.), Hauke Marxsen (H. Mx.), Horst Riesebeck, Reiner H. Schulte, Hendrik Strengers, Dr. Walter Tenten (W. T.), Siegfried Wendel, Lothar Wonneberger, Norman Zergiebel

## Mitgliederbetreuung

Otto Kalenka, Fasanenring 25, 21217 Seevetal,  
Tel.: 040-76854-69, Fax: 040-76854-26,  
E-Mail: mitgliederbetreuung@musica-mechanica.de

## Annoncen/Advertisements:

Anzeigenaufträge bitte schriftlich an Norman Zergiebel, Straße des Friedens 9, D-08228 Rodewisch, Tel.: 03744 - 48509,  
Fax: 03744-437529, E-Mail: anzeigen@musica-mechanica.de

## Versand/Dispatch-Shipments, Back issues:

Siegfried Wendel, Oberstraße 29, D-65385 Rüdesheim am Rhein  
Tel.: 0 67 22 - 4 92 17 und 10 97, Fax: 0 67 22 - 45 87  
E-Mail: versand@musica-mechanica.de

## Druck/Printed by:

Lotz Offsetdruck GmbH, Industriestraße 4,  
D-65366 Geisenheim/Rheingau

## Gesellschaft für Selbstspielende Musikinstrumente e.V.

**Postanschrift:** Ralf Smolne  
Emmastraße 56, D-45130 Essen

Telefon: 02 01 - 78 49 27  
Fax: 02 01 - 7 26 62 40

E-Mail: vorsitzender@musica-mechanica.de

**Vorstand:** E-mail: vorstand@musica-mechanica.de

Vorsitzender: Ralf Smolne

1. stellvertr. Vorsitzender: Bernhard Häberle

2. stellvertr. Vorsitzender: Jens Wendel

Schatzmeister: Reiner Schulte

Schriftführer: Dr. Walter Tenten

Ehrenpräsident: Dr. Jürgen Hocker

Beiräte:  
CH-W. Dahler  
A - Mag. Peter Donhauser  
NL - Dr. Jan Jaap Haspels  
F - Françoise Dussour  
USA - Dr. Frank Metzger  
GB - Arthur W.J.G. Ord-Hume  
D - Dr. Jürgen Hocker, Rolf Jacobi,  
Dr. Wolfram Metzger,

Vereinsregister Baden-Baden: VR Nr. 265 • Gemeinnützigkeit anerkannt  
Bank für Sozialwirtschaft, Köln (BLZ 370 205 00) 8 090 400  
Postbank, Niederlassung Frankfurt/Main (BLZ 500 100 60) 837 88 - 606

Internet: <http://www.musica-mechanica.de>  
<http://www.geocities.com/Vienna/2831/>

INHALT	Seite
VORWORT .....	3
TERMINE .....	5
FACHBEITRÄGE .....	
<b>Ludwig Peetz</b> <b>Das Welte-Mignon-T100-Aufnahmeverfahren: Aktuelle Forschungsergebnisse zur Dynamikerfassung .....</b>	<b>7</b>
Hans-W. Schmitz Die Bauarten des Welte Mignon .....	25
Hans-W. Schmitz Ein Welte-Glockenspiel mit Betonung .....	40
Peter Zergiebel 100 Jahre Welte-Mignon 1904 - 2004 65 Jahre Glockenspiel Löbnitz 1939 - 2004.....	49
Sina Hildebrand Zur Renovation der Welte Philharmonie Orgel im Technik Museum in Speyer - Teil III (Schluss) .....	51
FACHGERECHTES RESTAURIEREN	
Jürgen Ehlers Was ist zu tun, wenn die Spieldose zirpst und quietscht, obwohl die Dämpfer in Ordnung sind? .....	56
DAS BESONDERE INSTRUMENT	
Horst Riesebeck Ein Polyphon mit Platten aus Pappe .....	59
DAS PORTRÄT	
JFH/B. Häberle Jens Carlson, Sammler aus Leidenschaft .....	61
LESERFORUM .....	63
FÜR SIE NOTIERT .....	69
AUSLÄNDISCHE GESELLSCHAFTEN .....	76
ANNONCEN .....	84
TITELBILD: <i>Welte Fabrikanlage im Stühlinger Viertel in Freiburg</i>	

Für den Inhalt und die Richtigkeit eines Beitrages ist der Autor verantwortlich. Die Meinung des Autors ist nicht unbedingt die Meinung der Gesellschaft für Selbstspielende Musikinstrumente e.V. oder der Journalredaktion. Die Redaktion behält sich vor, Beiträge zu berichtigen, zu ergänzen, erforderlichenfalls zu kürzen oder zurückzuweisen. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe und der Veröffentlichung im Internet, liegen bei der Gesellschaft für Selbstspielende Musikinstrumente e.V..



Anlässlich der GSM-Mitgliederversammlung am 20.09.03 in Triberg hatten wir Gelegenheit, einen sehr interessanten Vortrag unseres Mitglieds Prof. Dr. Ludwig Peetz aus Pirmasens zu hören. Prof. Dr. Peetz hat seine Arbeit mit einigen Ergänzungen als Beitrag für unser Journal vorgelegt. Dafür, dass nun seine Untersuchungsergebnisse allen unseren Mitgliedern zur Verfügung stehen, sei ihm an dieser Stelle herzlich gedankt.

red

**Ludwig Peetz**

## **Das Welte-Mignon-T100-Aufnahmeverfahren: Aktuelle Forschungsergebnisse zur Dynamikerfassung**

### **1. Die Firma Michael Welte und Söhne**

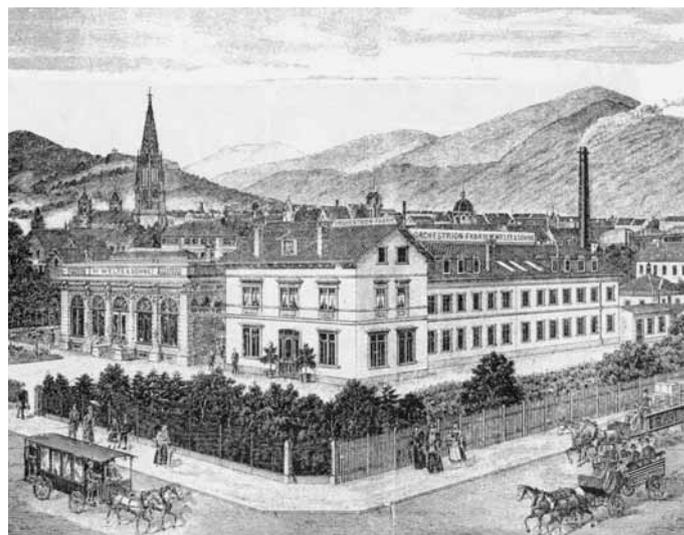
Im Schwarzwaldstädtchen Vöhrenbach gründete im Jahre 1832 Michael Welte eine Firma, deren Wirkung bald in die gesamte Welt ausstrahlte<sup>1</sup>. Michael Welte baute selbstspielende Musikinstrumente, zunächst kleine Flötenuhren, wie sie im Schwarzwald zu dieser Zeit üblich waren. Aufgrund ihrer soliden handwerklichen Ausführung und ihres guten Klangs waren diese Musikwerke so beliebt, dass Michael Welte immer größere Instrumente baute. Dank vieler Erfolge auf Landes- und Weltausstellungen standen Welte-Orchestrien alsbald in vielen fürstlichen Konzertsälen und Salons reicher Musikliebhaber in aller Welt.



**Michael Welte  
Gründer der Firma (1832)**

*Michael Welte (nach Quelle 2)*

Im Zuge der Internationalisierung gründete Michael Welte 1865 eine Zweigniederlassung in New York, deren Leitung er seinem ältesten Sohn Emil Welte übertrug. Aufgrund der wesentlich besseren Infrastruktur verlegte Michael Welte seine Produktionsstätte 1872 von Vöhrenbach nach Freiburg im Breisgau, wo direkt in Bahnhofsnähe eine repräsentative Fabrikanlage entstand.



*Welte Fabrikanlage im Stühlinger Viertel in Freiburg (nach Quelle 2)*

Nach dem Tod seines Vaters übernahm Berthold Welte im Jahre 1880 die Unternehmensleitung in Freiburg. Eine bedeutende Entwicklung aus den achtziger Jahren war der Ersatz der unhandlichen Stiftwalzen in Orchestrien durch pneumatisch abgetastete Papierrollen, eine Technologie, die durch mehrere Welte-Patente geschützt wurde und bis Ende des 19. Jahrhunderts die Grundlage des erfolgreichen Unternehmens blieb.

Um 1900 sank die Nachfrage nach größeren Orchestrien auf Orgelbasis - wie sie Welte baute. Stärker gefragt waren dagegen kleinere Musikwerke auf Basis mechanischer Klaviere sowie Kunstspielklaviere. Mit derartigen Instrumenten konnten Klavierkompositionen der Weltliteratur, die nach

den gedruckten Noten mechanisch auf Musikrollen übertragen worden waren, unter Beeinflussung des Tempos und der Dynamik abgespielt werden. Kunstspielklaviere konnten auch begabte musikalische Laien spielen, ohne die finger- und klaviertechnischen Schwierigkeiten dieser Stücke beherrschen zu müssen.

Um 1897 führte die Aeolian Company aus New York ein 65 Töne umfassendes Kunstspielklavier „Pianola“ ein, das auch auf dem europäischen Markt erfolgreich war. Der wohl bedeutendste Hersteller mechanischer Musikinstrumente im Deutschen Reich, die Leipziger Firma Ludwig Hupfeld, antwortete 1902 mit einem eigenen Produkt, der 73-tönigen „Phonola“.

In dieser schwierigen Zeit wurde 1901 die dritte Generation der Gründerfamilie, Edwin Welte und Karl Bockisch, der Sohn und der Schwiegersohn von Berthold Welte, sowie Carl Welte, der Sohn Emils, in die Leitung des Freiburger Stammhauses aufgenommen.

Damals arbeiteten Edwin Welte und Karl Bockisch bereits an einer epochemachenden Erfindung, wie aus einem Brief von Carl Welte an den amerikanischen Sammler Richard Simonton hervorgeht. Nach einer 3- bis 4-jährigen Entwicklung schlug im Jahre 1904 das weltweit erste Reproduktionsklavier wie eine Bombe in die musikalische Welt ein. Das später auf den Namen Welte-Mignon getaufte System erfreute sich eines immensen kommerziellen Erfolgs, zu dem Hugo Popper, ein enger Freund von Karl Bockisch, mit seiner Firma und seinem bekannten Musiksalon in der „Musikhauptstadt“ Leipzig des Deutschen Reiches entscheidend beitrug.

Zum ersten Mal war es möglich, sämtliche Nuancen in der Agogik (der Tempo- bzw. Rhythmus-Interpretation) und der Dynamik (der Lautstärke-Interpretation) eines künstlerischen Klavierspiels festzuhalten. Die bedeutendsten Pianisten dieser Zeit spielten „Künstlerrollen“ für die Firma Welte ein, um ihre Interpretationen der Nachwelt zu überliefern. Darunter sind auch bedeutende Eigeninterpretationen bekannter Komponisten. Die Aufnahmeplatten wurden bearbeitet und zu verkaufsfähigen Notenrollen vervielfältigt, die sich der anspruchsvolle Kunstliebhaber zuhause anhören konnte, sofern er in der Lage war, sich den Luxus eines entsprechenden Wiedergabegeräts zu leisten.



Welte-Aufnahme mit Walter Gieseking<sup>7</sup>

WELTE MIGNON WELTE VORSETZER

**„WELTE-MIGNON“**

Als wir im Frühjahr 1904 zum erstenmal mit unserer neuen Erfindung, dem Reproduktions-Klavier „WELTE-MIGNON“, vor die Öffentlichkeit traten, erregte dasselbe in der ganzen musikalischen Welt größtes Erstaunen und Bewunderung.

Was man bisher für unmöglich gehalten hatte, das individuelle Spiel, die persönliche Auffassung eines Künstlers festzuhalten und zu jeder Zeit mit allen charakteristischen Merkmalen wiederzugeben, das war mit einem Schlag gelungen; eine große Perspektive eröffnete sich für die Musikwelt.

Die bis dahin gemachten Versuche, das Klavierspiel selbsttätig wiederzugeben, litten alle an dem Grundfehler, daß die dazu verwendeten Musikrollen mechanisch Takt für Takt unter Zuhilfenahme des Metronoms gezeichnet wurden; jede Note bekam ihren richtigen, schablonenhaften Wert. Abweichungen von dieser Norm traten nur äußerst selten ein und dann war der Effekt gewöhnlich ein gezwungener, ein zu sehr beabsichtigt klingender; es fehlte der natürliche Fluß.

Außerdem waren die Apparate selbst äußerst unvollkommen; wenn überhaupt eine Vorrichtung zum Nuancieren vorhanden war, so war diese äußerst primitiv und beschränkte sich auf eine Piano- und eine Fortewirkung. Alle die unzähligen Schattierungen, die zwischen dem feinsten „pp“ und dem stärksten „ff“ liegen, konnten natürlich nicht zum Ausdruck gebracht werden. Ein weiterer großer Uebelstand war, daß sämtliche Töne gleichmäßig stark anschlagen mußten, also ein Hervorheben der Melodie durch Singelassen einzelner Töne war unmöglich. Kein Wunder, daß die auf diese Art

WELTE PIANO

### Welte Publikation 1911

Lassen wir nun Welte selbst zu Wort kommen. Ich zitiere aus einer Publikation<sup>8</sup> aus dem Jahr 1911:

*„Wir fanden, daß eine noch so sorgfältig mechanisch gezeichnete Musik immer mechanisch klingt und klingen muß, daß ihr die Freiheit in der Bewegung, der natürliche Fluß, der Schwung in der Auffassung, die oft unscheinbaren und doch so reizenden Tempowechsel fehlen, kurz, daß dem Spiel eben das fehlte, was es „künstlerisch“, was es „persönlich“ macht.*

*Wir sahen daher als einzige Lösung, die all diese Fehler gründlich beseitigt, die Aufnahme des persönlichen Spiels der Künstler selbst und dessen Wiedergabe auf einem entsprechenden Apparat. Eine phonographische Wiedergabe war von vorneherein ausgeschlossen, da der Phonograph bekannterweise den Klavierton sehr schlecht und entstellt wiedergibt. Wir waren daher gezwungen, als Wiedergabe-Instrument wieder ein Klavier zu benutzen, um den natürlichen Klavierton, der durch nichts anderes ersetzt werden kann, zu erhalten. Es handelte sich demnach darum, dieses Klavier respektive die Hämmer dieses Klaviers wieder ebenso zum Klingen zu bringen, wie es der Künstler getan hat. Eine doppelte Aufgabe harrte also unser: einen Aufnahmeapparat zu konstruieren, der das Spiel des Pianisten mit all seinen Feinheiten aufnimmt und festhält, und einen zweiten Apparat zu konstruieren, den Wiedergabeapparat, der diesen festgehaltenen Anschlag wieder auf das Klavier überträgt.*

*In welchem Maße uns dies nach langen und kostspieligen Versuchen gelungen ist, beweisen am besten die geradezu enthusiastischen Urteile der Künstler selbst, von denen wir einige weiter unten im Original wiedergeben. Der Vorgang der Aufnahme ist in großen Zügen folgender: Der Künstler spielt auf einem Flügel in ganz normaler Weise; dieser Flügel ist speziell für die Aufnahme präpariert und mit dem danebenstehenden Aufnahmeapparat verbunden. Ist der letzte Ton des Musikinstrumentes verklungen, so ist auch die Aufnahme vollendet. Um diese Aufnahme zur Wiedergabe und zur Fabrikation geeignet zu machen, wird sie einer spe-*

ziellen Präparation unterworfen. Nach Vollendung dieser kostspieligen und zeitraubenden Prozedur können dann genaue Kopien dieses Originals gemacht werden.“

Wenn Sie, liebe Leserin, lieber Leser, schon länger Mitglied der Gesellschaft für Selbstspielende Musikinstrumente sind, haben Sie sich sicher an der Weihnachtsgabe 2001 erfreut, der CD „Die Elite der Pianisten des frühen 20. Jahrhunderts auf Welte Mignon“, die auf Initiative von Peter Zergiebel zustande kam. Hier zeigt sich die hohe Qualität des weltweit ersten Klavier-Reproduktionssystems, das bereits vor hundert Jahren entwickelt wurde<sup>9</sup>.

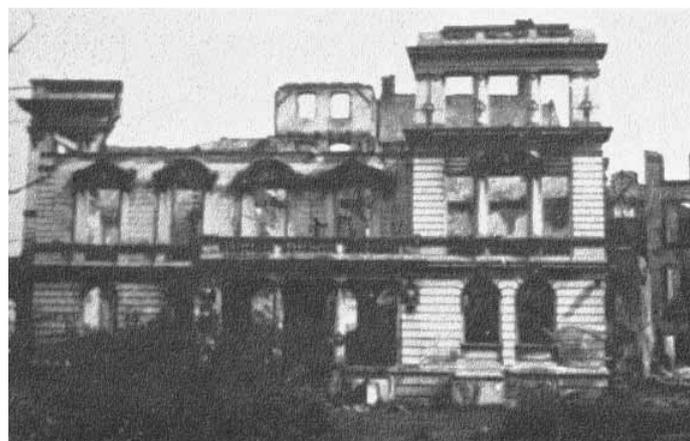
Das erfolgreiche Konzept des Klavier-Reproduktionssystems wurde auf die Orgel übertragen und ab ca. 1911 unter dem Namen „Welte Philharmonie Orgel“ vermarktet. Zur Einspielung der entsprechenden Rollen konnten namhafte Organisten verpflichtet werden.

Nachdem sich der Leiter der amerikanischen Filiale Emil Welte nicht stark genug fühlte, um gegen die Konkurrenz amerikanischer Kunstspielklaviere anzutreten, gründeten Edwin Welte und Karl Bockisch 1906 eine eigene sehr erfolgreiche Niederlassung in New York und errichteten 1914 in Poughkeepsie eine Fabrikationsanlage.

Im ersten Weltkrieg wurden allerdings die amerikanischen Firmen als Feindesgut beschlagnahmt und in zwei getrennten Firmen unter amerikanischer Leitung weitergeführt, die Reproduktionsklaviere „Original Welte-Mignon“ und „Welte-Mignon Licensee“ produzierten und verkauften.

Von diesem Rückschlag erholte sich die Freiburger Firma in den goldenen zwanziger Jahren zwar wieder, doch mit dem vermehrten Aufkommen von elektronischen Verstärkern, der ständig verbesserten Qualität von Grammophonen und Musikübertragungen durch das Radio neigte sich Ende der zwanziger Jahre die Ära der Kunstspielklaviere und Reproduktionsklaviere dem Ende entgegen. Die Situation wurde durch die Weltwirtschaftskrise verschlimmert. 1932 musste das renommierte Freiburger Unternehmen schließlich Vergleich anmelden.

Edwin Welte schied aus der Firma aus, die in verkleinerter Form von Bockisch weitergeführt wurde. Im zweiten Weltkrieg wurde schließlich die Fabrik in der Bombennacht des 27. November 1944 völlig zerstört. Nach dem Krieg ver-

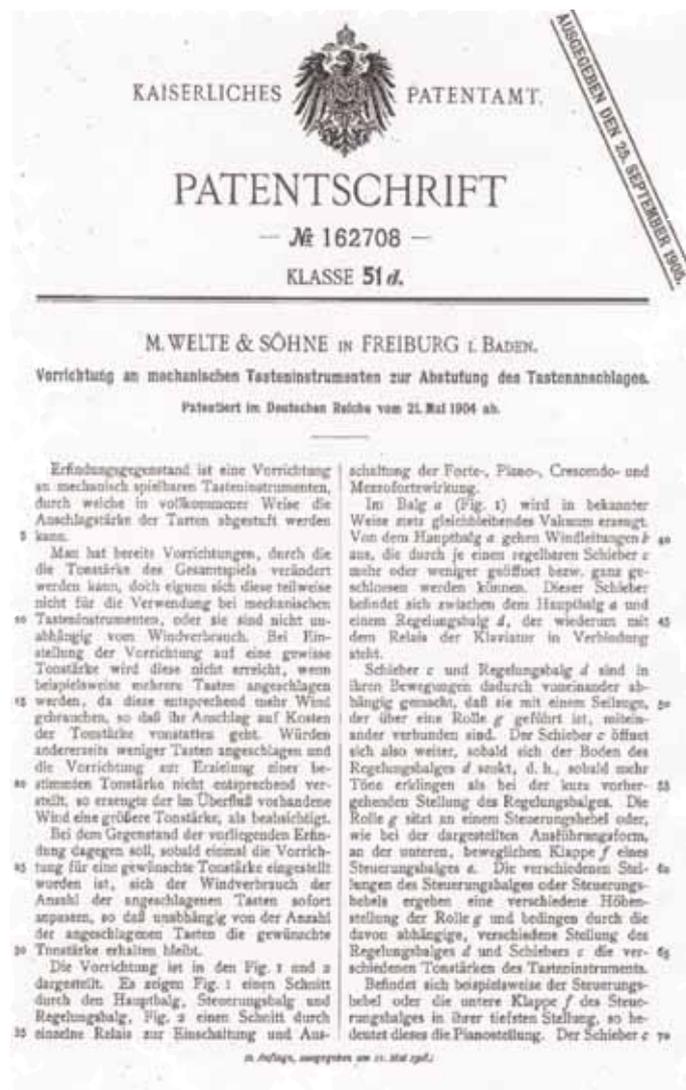


Zerstörte Welte-Fabrik (nach Quelle 5)

suchte Karl Bockisch einen Neuanfang, doch zwei Jahre nach seinem Tod erlosch die Firma Welte im Jahre 1954.

## 2. Das Welte-Mignon-T100-Wiedergabesystem

Das T100-Wiedergabesystem ist in allen technischen Einzelheiten bekannt, da dessen wesentliche Teile im Deutschen Reichspatent DRP 16 27 08 patentiert sind<sup>10</sup> und eine größere Zahl funktionsfähiger Abspielgeräte in Museen und Privatsammlungen noch existiert.



### Welte-Mignon-Patentschrift

Das 1904 entwickelte T100-System, das nach der vorherrschenden Farbe der Notenrollen auch „Welte rot“ genannt wird, benutzt 328 mm breite Papierrollen, die über einen mit 100 rechteckigen Öffnungen versehenen Gleitblock gezogen werden. Dabei sind links und rechts jeweils 10 Löcher für die Steuerung der Dynamik, der Pedale, des Mezzoforte-Hakens, des Rollen-Rücklaufs und der Motorleistung über einen regelbaren Widerstand vorgesehen. Die restlichen 80 Löcher dienen der Steuerung der Noten vom C der Kontraktave bis zum g der viergestrichenen Oktave<sup>11</sup>.

Die Steuerung erfolgt mittels einer Saugwind-Unterdruckpneumatik, durch welche die den Gleitblocklöchern zugeordneten Perforationen der Notenrollen in entsprechende Befehle bzw. Funktionen umgesetzt werden.

Es gibt zwei gleichartig aufgebaute Betonungssysteme für den Bass und den Diskant. Die jeweilige Lautstärke wird durch die Stellung des entsprechenden Nuancierungs- oder Steuerungsbalgs e bestimmt. Bei minimalem Unterdruck ist der Nuancierbalg vollständig geöffnet, was der minimal spielbaren Lautstärke pianissimo **pp** entspricht. Der maximale Unterdruck schließt den Balg praktisch vollständig und ergibt die höchste Lautstärke fortissimo **ff**.

Die Stellung des Nuancierbalgs wird durch die zeitliche Abfolge der Befehle **forzando forte**, **forzando piano**, **crescendo forte** und **crescendo piano**, gesteuert, was den folgenden Funktionsabläufen entspricht:

**Befehl**  
 forzando forte  
 forzando piano  
 crescendo forte  
 crescendo piano

**Nuancierbalg**  
 schnelles Leersaugen  
 schneller Lufteintritt  
 langsames Leersaugen  
 langsamer Lufteintritt

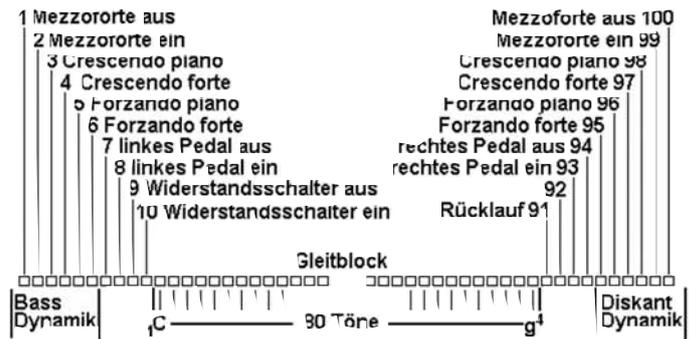
**Lautstärke**  
 schnelle Erhöhung  
 schnelle Verringerung  
 allmähliche Erhöhung  
 allmähliche Verminderung

Die Position des Steuerungsbalgs steuert mittels eines Seilzugs über die Rolle **g** den Schieber **c**, der die Windleitung **b** so weit öffnet, dass der Regelungsbalg **d** die der gewünschten Lautstärke entsprechende Saugluft für die Klaviatur-Relais zur Verfügung stellt. Der Regelungsbalg regelt über den Seilzugmechanismus Schwankungen des Unterdrucks aus, die bei mehr oder minder großen Volumenströmen auf-

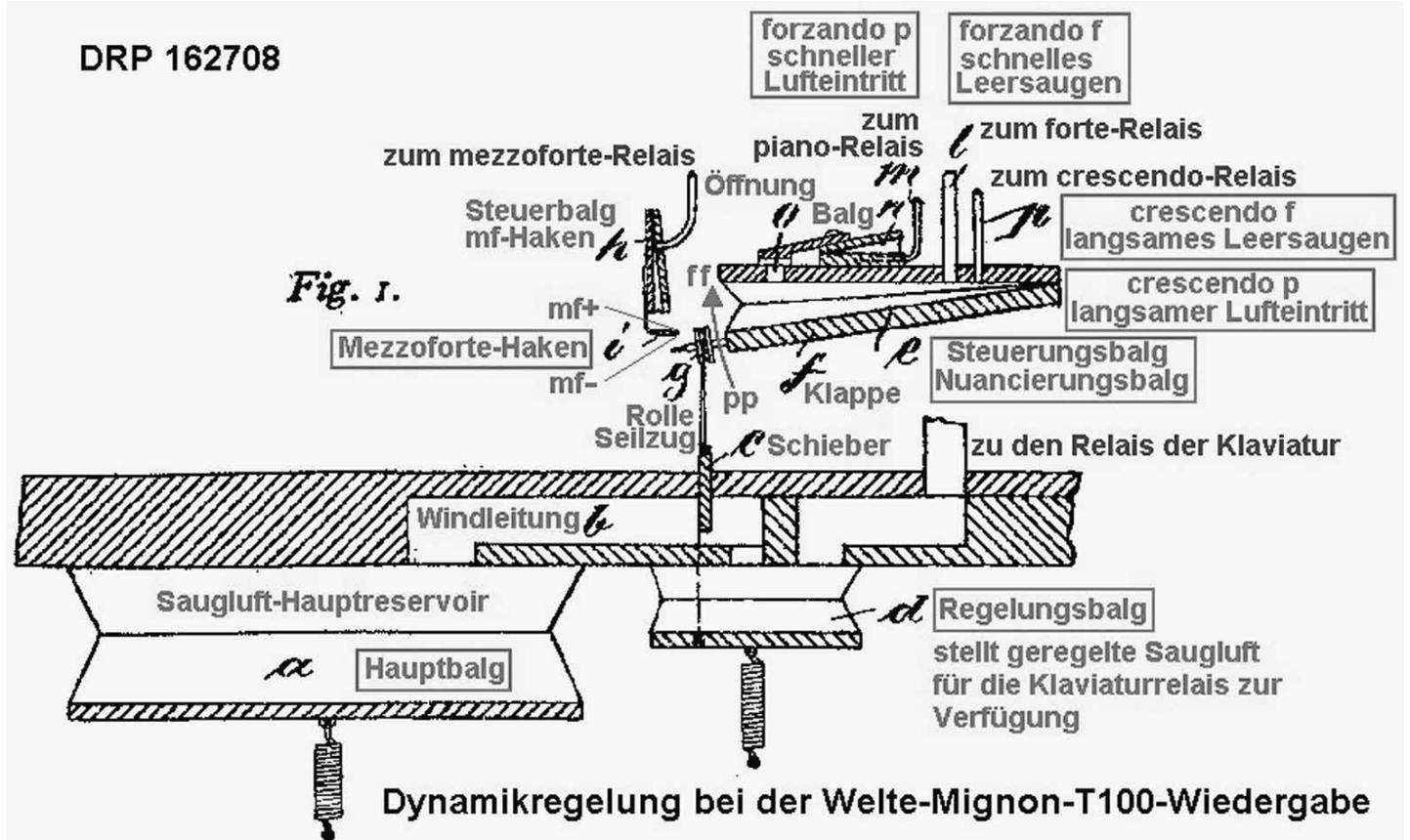
treten, wie beispielsweise bei Akkorden im Vergleich zu Einzeltönen.

Diese Dynamikregelung ist mit geringfügigen Modifikationen zusammen mit weiteren Steuerungs- und Regelungselementen in allen T100-Wiedergabegeräten eingebaut. Dieses System basiert auf ständig wirksamen Druckänderungsra-

### Welte-Mignon-T100-Wiedergabesteuerung



### DRP 162708



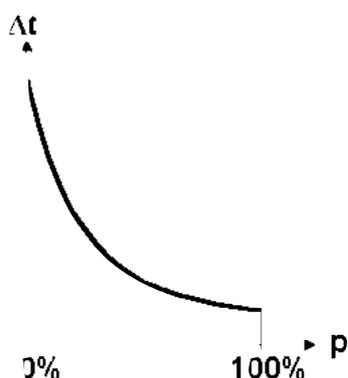
ten, mit deren Hilfe für jede Einzel-Note zum entsprechenden Zeitpunkt im Rahmen der maximal möglichen Änderungsrate beliebige Zwischenwerte des Unterdrucks bzw. der Steuerungsbalg-Position eingestellt werden können. Somit handelt es sich um eine analoge Dynamikregelung, bei der prinzipiell jede Nuance der Lautstärke zwischen **pp** und **ff** einstellbar ist.

Zum selben Zeitpunkt kann jeweils im Bass und im Diskant nur eine einzige Lautstärke eingestellt werden, die für sämtliche zu diesem Zeitpunkt am Gleitblock als Perforation anliegenden Töne gleich ist. Ein geringer Zeitversatz im Millisekundenbereich reicht jedoch aus, um die Lautstärke zu ändern. Dazu können unterschiedliche Dynamik-Perforierungen in einem nahezu beliebigen Zeitraster kombiniert werden, so dass sich komplizierteste Dynamik-Verläufe darstellen lassen.

Eine interessante Frage stellt sich nun: Wie verhält sich diese Dynamikregelung bei Akkorden?

Es erscheint nahe liegend, dass alle im Bass oder Diskant exakt gleichzeitig gespielten Töne eines Akkords auch gleich laut erklingen müssten. Dies ist jedoch falsch und zwar aus folgendem Grund:

Der Hammer-Anschlag an die Klaviersaite ist gegenüber dem Moment, an dem die entsprechende Perforation am Gleitblock ankommt, um eine bestimmte Zeitspanne  $Dt$  verzögert. Bei hohen Lautstärken bewirkt der hohe Unterdruck ein schnelles Leersaugen der Verbindungsrohre. Es entstehen hohe Kräfte, die schnelle Beschleunigungen der entsprechenden Bälge sowie der beteiligten Klaviermechanik bewirken, so dass die Verzögerung kurz ist. Bei geringen Lautstärken dauert das Leersaugen der Röhren länger. Die Beschleunigungen sind geringer, so dass sich eine wesentlich längere Verzögerung ergibt. Dieser variable Verzögerungseffekt ist zwar seit längerem in der Fachliteratur bekannt, bleibt aber in vielen Untersuchungen unberücksichtigt. Er erlaubt, unterschiedlich laute Töne eines Akkords exakt gleichzeitig erklingen zu lassen. Dazu müssen die Perforierungen der leiseren Töne in der Reihenfolge ihrer Lautstärke gegenüber dem lautesten Ton mit einer entsprechenden Zeitdifferenz vorversetzt werden, so dass der Anschlag aller betroffenen Klaviersaiten gleichzeitig erfolgt.



*Schematischer Verlauf der Verzögerungszeit  $Dt$  des Hammeranschlags gegenüber der Ansteuerung in Abhängigkeit der Lautstärke bzw. des Druckes  $p$  [0%: pianissimo ( $pp$ ), geringster Druck; 100%: fortissimo ( $ff$ ), höchster Druck]*

Dies hat natürlich Konsequenzen für Dynamik erfassende Aufnahmesysteme, bei denen die Wiedergabe mittels eines pneumatischen Systems erfolgt. Eine exakte Übereinstimmung der zeitlichen Abfolge der Töne bei der Wiedergabe mit der zeitlichen Abfolge bei der Aufnahme ist nur dadurch zu erreichen, dass **jeder** aufgezeichnete Ton um einen dynamik-abhängigen Zeitversatz  $D$  gegenüber seiner Position auf der Aufnahmerolle vorversetzt wird.

Dazu ist eine Einzelerfassung der Dynamik für jeden Ton erforderlich. Andernfalls könnten die unterschiedlichen Lautstärken der Töne eines Akkords nicht unterschieden und somit die Zeitversatz-Werte für die einzelnen Töne nicht genau ermittelt werden.

Eine hohe Authentizität erfordert also eine aufwändige Bearbeitung der Aufnahmerollen. Ein direktes Perforieren der Aufnahmerollen entsprechend der aufgezeichneten Agogik-Information ohne Zeitversatz – wie es bei Orgel-Rollen möglich ist und auch praktiziert wurde – ergibt prinzipiell eine schlechtere Wiedergabequalität. Dies ist einer der Gründe, weshalb es zwar direkt gestanzte Welte-Philharmonie-Aufnahmerollen mit Tintenspuren gibt, nicht jedoch entsprechende Welte-Mignon-Rollen.

Hans-Wilhelm Schmitz habe ich die Information über den weiteren Grund zu verdanken<sup>12</sup>: Autorisiert durch die Witwe Edwin Weltes teilte ihm die ehemalige Welte-Mitarbeiterin Lydia Reinholz<sup>13</sup> mit, dass die Aufnahmerollen mit der doppelten Geschwindigkeit verglichen mit der Wiedergabe, also mit ca. 100 mm/s, aufgenommen wurden, um die Genauigkeit zu erhöhen. Dieser hohe Aufwand ist nur dann gerechtfertigt, wenn der Zeitversatz bei der Bearbeitung der Rollen berücksichtigt wird.

Die authentische Wiedergabe einer einmaligen künstlerischen Interpretation mit allen kleinen Ungenauigkeiten und Fehlern, die Live-Konzerte so interessant machen, war das erklärte Ziel der Firma Welte. Dass Welte diesem Ziel sehr nahe gekommen ist, zeigen Untersuchungen über die seltene nachträgliche Bearbeitung von Mutterrollen für den Kopierprozess seitens Hermann Gottschewski, die er in seinem Buch „Die Interpretation als Kunstwerk“ veröffentlicht hat<sup>15</sup>.

Ähnliche Ambitionen und vergleichbare Qualitäten wie das Welte-System zeigen auch die 1907 bzw. 1908 eingeführten Konkurrenzsysteme DEA von Hupfeld und DUCA von Philipps. Alle drei Firmen verfügten über Einzeldynamik-erfassende Aufnahmesysteme.

Dagegen kam die bedeutende amerikanische Firma Aeolian Company völlig ohne Dynamikerfassung bei der Aufnahme aus. Aus Marketinggründen wurde zwar behauptet, die Rollen für das seit 1913 verkaufte Duo-Art-Reproduktionsklavier seien mit einem automatischen Aufnahmegerät aufgezeichnet worden. Statt dessen wurde die Tonstärke jedoch von einem Assistenten manuell aufgezeichnet, wie 1967 von einem langjährig mit dieser Aufgabe betrauten Mitarbeiter offen gelegt wurde<sup>16</sup>.

Dass auch Aufnahmen ohne Dynamik-Erfassung nach intensiver Bearbeitung in Zusammenarbeit mit dem einspielenden Künstler zu hervorragenden Wiedergabeergebnissen

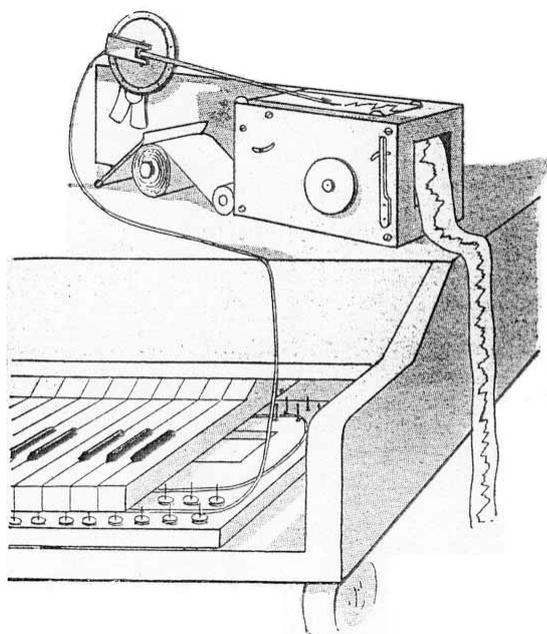
führen können, sei hier nicht bestritten. Allerdings handelt es sich hierbei nicht um eine **authentische Wiedergabe** eines Live-Konzerts sondern vielmehr um eine **idealtypische Interpretation** vergleichbar mit einer Studioaufnahme, in der alle dem Anspruch des Künstlers nicht genügenden Passagen solange wiederholt und eingepasst werden, bis sie zufrieden stellend klingen.

### 3. Dynamik-erfassende Aufnahmesysteme

Seit dem 18. Jahrhundert sind Notenschreiber bekannt, der erste von Johann Friedrich Unger, dessen „Entwurf einer Maschine, wodurch alles was auf dem Clavier gespielt wird, sich von selbst in Noten setzt“ von Jürgen Hocker in den DMM-Journalen 26 und 27 umfassend dargestellt wurde<sup>17</sup>. Durch viele Weiterentwicklungen im 19. Jahrhundert wurden die Notenschreiber verbessert wie z.B. von Hermann Jüttemann in seinem Buch „Mechanische Musikinstrumente“ beschrieben wird<sup>18</sup>. Ein weiteres Beispiel „Melograph und Melotrop von Carpentier“ wurde von Jürgen Ehlers im DMM-Journal 60 veröffentlicht<sup>19</sup>. Eine Erfassung der Agogik, d.h. der genauen zeitlichen Abfolge der gespielten Klaviernoten, ist daher Ende des 19. Jahrhunderts als Stand der Technik zu betrachten. Wie sieht es dagegen mit der Dynamik-Erfassung aus?

#### Aufnahmesystem von Binet und Courtier

1896 erschien der zweite Jahresband der zusammenfassenden Publikation „L'Année psychologique“ von wissenschaftlichen Arbeiten des „Laboratoire de psychologie physiologique de la Sorbonne“ in Paris<sup>20</sup>. Dort wird im Artikel „Recherches graphiques sur la musique“ von Binet und Courtier das älteste bekannte Dynamik-erfassende Aufnahmergerät ausführlich beschrieben, bei dem ein Gummischlauch unter die Tastatur geklemmt und so justiert wird, dass jeder Tastendruck den Schlauch gleichmäßig, aber sehr gering deformiert. Dadurch entsteht ein schwacher Druckstoß, dessen Amplitude der Stärke des Tastendrucks proportional ist und somit die Lautstärkeinformation enthält.



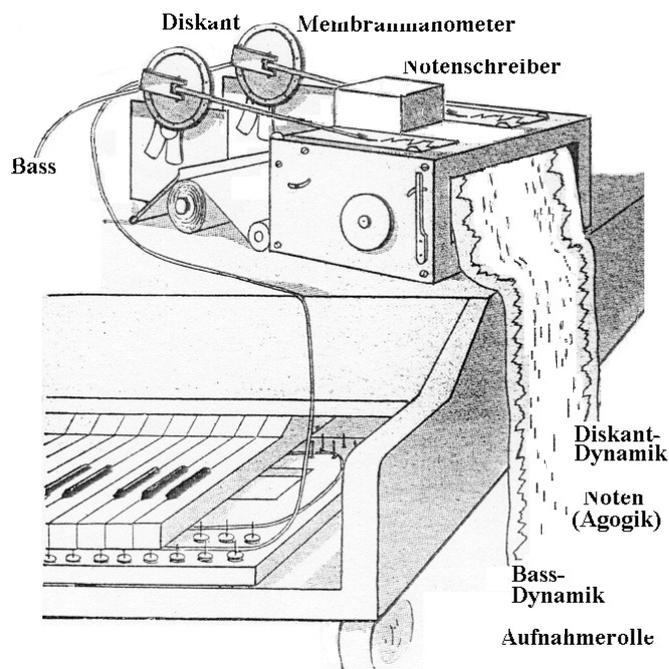
*Pneumatisches Aufnahmesystem nach Binet und Courtier 1895/96*

Dieser Druckstoß wird mittels eines empfindlichen Membranmanometers in eine transversale Bewegung eines Schreibers umgesetzt, der auf eine sich gleichmäßig abspulende Papierrolle den zeitlichen Verlauf des Tastendrucks festhält. Durch diese Anordnung wird der Gesamtdruck aller Tasten festgehalten.

In der Freiburger Universitätsbibliothek steht der Sammelband mit diesem Artikel, der wahrscheinlich auch bei Welte bekannt war<sup>21</sup>. Er ist mit weitergehenden Informationen in deutscher Übersetzung von Hans-Wilhelm Schmitz im Journal DMM Nr. 61 veröffentlicht. Hans-Wilhelm Schmitz hat bereits darauf hingewiesen, dass wir nach Lektüre dieses Artikels nicht mehr fragen sollten, ob es überhaupt möglich war, das individuelle Klavierspiel aufzunehmen<sup>24</sup>.

In der Tat ermöglicht dieser französische Artikel den **Beweis**, dass bereits im Jahre 1896 die Konstruktion eines T100-kompatiblen Dynamik-erfassenden Aufnahmesystems zum Stand der Technik gehörte und zwar durch die Aufteilung in zwei Schlauch- und Schreibersysteme für Bass und Diskant sowie die Hinzufügung eines Notenschreibers.

#### Dynamisches Aufnahmesystem

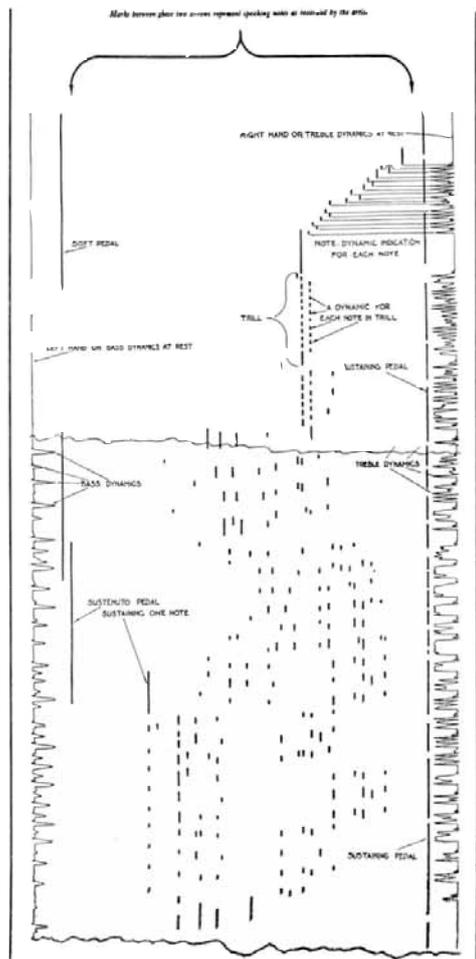


*Modifiziertes Welte-Mignon-T100 kompatibles dynamisches Aufnahmesystem basierend auf dem pneumatischen System nach Binet und Courtier*

Hier sehen Sie die Skizze für ein derartiges System mit den beiden Membranmanometern und den dazugehörigen Transversalschreibern. Die Gesamtdynamik für Bass und Diskant wird in den Kurven auf der rechten und der linken Seite der Aufnahmerolle aufgezeichnet. Der Notenschreiber hält alle agogischen Informationen durch Notenlinien in der Mitte der Aufnahmerolle fest.

Eine entsprechende Aufnahmerolle sehen Sie im folgenden Bild. Es stammt natürlich nicht von dem gleichwertigen

hypothetischen Aufnahmesystem aus dem Jahre 1896, sondern von einem real existierenden etwa 25 Jahre später, und zwar dem Welte-Mignon-Licensee-Aufnahmeverfahren<sup>25</sup>.



This photograph of a section from an original recording of Chopin's Etude in F Major shows how every detail of the artist's playing is graphically recorded while he plays. ¶With this absolutely authentic "tone picture" as a guide, the making of records for Welte Mignon (Licensee) Reproducing Pianos is free from every vestige of guesswork. Nothing is added or subtracted that the artist does not himself put into his music, so that the record is not a mere approximation, but an exact reproduction of his playing. ¶What may be called the "film of the music camera" receives impressions of every detail of both his fingering and pedaling. ¶The exact position of every note played is fixed by faint vertical lines corresponding in number to the keys on the piano. The staggered lines on the extreme right and left are the means by which the mechanism, like the delicate needle of the seismograph that records the slightest tremor of the earth, graphically indicates exactly the degree of pressure with which the artist struck the keys, thus faithfully recording the finest shading of his interpretation.

Original-Aufnahmerolle (Welte-Mignon-Licensee)

Das Freiburger T100-Aufnahmeverfahren mit Einzel-Dynamik-Erfassung und das „seismographische Licensee-Verfahren“ sind nach verschiedenen Prinzipien konstruiert. Leider werden sie gelegentlich in der Literatur miteinander gleichgesetzt oder verwechselt.

### Einzeldynamikerfassung bei Welte-Mignon T100, Hupfeld DEA und Philipps DUCA

Die drei frühen Reproduktions-Klaviersysteme Welte-Mignon, DEA und DUCA verfügten über eine Einzelton-Dynamikerfassung. Wie bei vergleichbaren Erfindungen auf anderen Gebieten üblich, wurden die Aufnahmeverfahren nicht patentiert. Eine Patent-Veröffentlichung hätte Konkurrenten den illegalen, für den Patentinhaber in der Regel nicht nachweisbaren Nachbau ermöglicht und wäre bei hohem Risiko nutzlos gewesen, denn der einzige Nutzen aus einem solchen Patent, eine mögliche Lizenzierung an einen Konkurrenten, kommt ja wohl ernsthaft nicht in Frage. Als Geheimerfindungen, Fabrikgeheimnisse bzw. „In-house-know-how“ waren diese Systeme wesentlich besser geschützt. Daher sind technische Informationen zu den frühen Aufnahmesystemen eher spärlich.

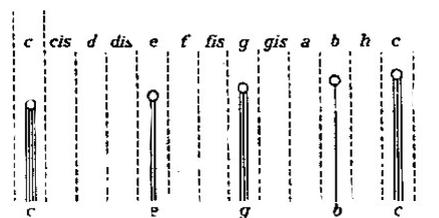
Das T100-Aufnahmesystem wurde erstmals um 1950 vom amerikanischen Sammler Richard Simonton beschrieben<sup>26</sup>. Das Aufnahmesystem funktionierte elektrisch: Ein unter den Tasten montierter Graphitstift taucht je nach Anschlagstärke unterschiedlich tief in ein Quecksilberbad ein. Der variable Widerstand führt zu unterschiedlichen Strömen, mit deren Hilfe ein Gummirollenschreiber elektromagnetisch auf eine laufende Papierrolle gedrückt wird. Dadurch ergeben sich Linien unterschiedlicher Form und Breite, in denen die Agogik- und Dynamikinformation enthalten ist.

Im Jahre 1911 veröffentlichte Ludwig Riemann in seinem Buch „Das Wesen des Klavierklanges und seine Beziehungen zum Anschlag“<sup>27</sup> das pneumatische Grundprinzip der DEA-Einzelton-Dynamikerfassung: Jede Taste war über 5 Schläuche, die den Stärkegraden pp, p, mf, f und ff entsprechen, mit einem Aufnahmegerät verbunden. Stiftschreiber markierten 1-5 Linien beim Tastenanschlag auf eine laufende Papierrolle, wodurch die Agogik- und Dynamik-Informationen festgehalten wurden. Erste Informationen über das Hupfeld-Aufnahmesystem gab Riemann bereits 1906<sup>28</sup>.

91 —

sodaß die Anfangspunkte in einer geraden Linie liegen. Dieses gelang mir niemals, obgleich ich meinen Willen mit ganzer Kraft darauf richtete. Die Anfangspunkte lagen in einer absteigenden Linienrichtung vom kleinen Finger zum Daumen. Der kleine Finger schlug bei vollgriffigen Akkorden stets zuerst an, der Daumen zuletzt (siehe Figur 23). Nicht das allein. Jede Taste war mit fünf Schläuchen des Apparats verbunden, die den hauptsächlichsten Stärkegraden entsprachen: pp, p, mf, f, ff. Je nach Stärke des Fingerdrucks trieb die dadurch entstehende pneumatische Kraft einen oder mehrere Stifte auf das Papier, sodaß z. B. ein Strich = pp, fünf Striche = ff anzeigten. Beim kräftigen Anschlag eines C-Dur-Akkordes mit einer Hand, gab der Daumen vier Striche, Zeigefinger zwei Striche, Mittelfinger drei oder vier Striche, vierte Finger ein oder zwei Striche, und der kleine Finger zwei bis drei Striche. Was half mir Wille und Bewußtsein der Gleichzeitigkeit: die Maschine sprach unerbittlich die Wahrheit<sup>1)</sup>. Bildlich ausgedrückt:

Gleichzeitiger Akkorgriff:  
Figur 23.



Man denke sich die punktierten Linien mit einer Papierfläche fortlaufend. Der verschiedenzeitige Tastenniederdruck ist durch die kleinen Kreispunkte ersichtlich. Daß sich ein zweihändiger Griff in der Gleichzeitigkeit erstreckt nicht bewerkstelligen läßt, liegt auf der Hand. Wir stehen hiermit vor einer menschlichen Schwäche, die von den wenigsten gekannt und gar nicht als solche empfunden wird. Wie bei sovielen Ungenauigkeiten in der Musik entscheidet auch hier Auffassung und Wirkung. Es genügt, wenn wir den ästhetischen Genuß der Gleichzeitigkeit als Totaleindruck empfinden, ja wir sind in der vermeintlich richtigen Zeitauffassung soweit vorgeschritten, daß wir ein korrektes Zusammenklingen, wie es nur maschinell durch die Klavierspielapparate

1) Eine solche Maschine wird zur Aufzeichnung der „Künstlerrollen“ im Phonolaspiel benutzt. Die Untersuchungen konnte ich in der Phonolafabrik Hupfeld, Leipzig, vornehmen.

### Hupfeld-DEA-Aufnahmesystem (nach Quelle 27)

In seiner Dissertation „Das Welte-Mignon-Klavier, die Welte-Philharmonie-Orgel und die Anfänge der Reproduktion

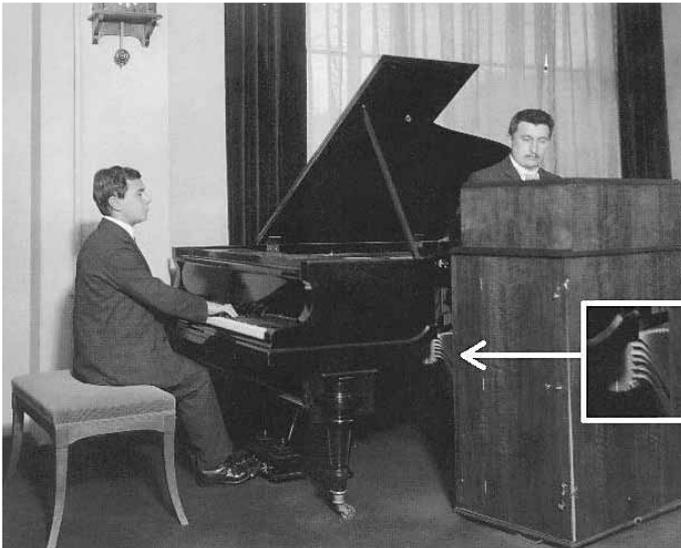
von Musik“ bezeichnete Peter Hagmann dieses Aufnahmeverfahren als grob, was es tatsächlich wäre, wenn nur die 5 Stärkegrade ausgewertet worden wären<sup>29</sup>.

Ludwig Riemann kaschierte in der entsprechenden Zeichnung - wahrscheinlich auf Geheiß von Hupfeld - den Beginn der Linien durch Kreise. Dieser Bereich ist aber für die genaue Dynamik-Auswertung der interessanteste, denn die kurzen Zeitabstände zwischen dem Einsatz der einzelnen Linien eines Tones enthalten eine genaue Information über die Tastengeschwindigkeit, die für die Lautstärke entscheidend ist. Bereits zwei Linien reichen aus, um aus der Zeitdifferenz ihres Einsatzes nach der Zweipunktmethode eine entsprechende Tastengeschwindigkeit zu berechnen.

Es folgt nun ein Zitat aus einer Hupfeld-Broschüre über die Aufnahmen für Phonola, Phonoliszt und DEA, entnommen aus dem Buch „Im Aufnahmesalon Hupfeld“<sup>30</sup>:

*Der Künstler spielt, wie in einem Konzert, an einem Flügel, der jedoch mit einem Aufnahmeapparat verbunden ist. Jeder Ton, jede Nuance, jede noch so feine Temposchwankung wird von diesem fein empfindlichen Apparat getreu notiert und so das Original geschaffen, wonach Reproduktionen in mathematischer Genauigkeit mittels moderner maschineller Einrichtungen hergestellt werden.*

Hier spielt Joseph Hofmann im Aufnahmesalon Hupfeld. Deutlich zu erkennen ist im kleinen Foto die Batterie von 5 Schläuchen je Taste, die den Flügel mit dem Aufnahmeapparat verbinden.



Joseph Hofmann im Aufnahmesalon Hupfeld (nach Quelle 30)

Die Dynamik-Erfassung bei dem Philipps-System DUCA geschah - wie ehemalige Mitarbeiter berichteten - durch eine Wachsschleife, die oberhalb der Saiten über die ganze Breite des Aufnahmeflügels befestigt war. An jedem Hammer war eine federnde Schneide befestigt, die beim Saitenanschlag mit der Anschlageschwindigkeit weiterschwang und eine mehr oder minder tiefe Kerbe in die Wachsschicht einschchnitt. Die Wachsschleife rotierte spiralförmig, so dass jeder Ton auf einer Spirale mit bis zu 11 Minuten Spieldauer aufgezeichnet

wurde. Diese Information nach Dan Wilson ist im amerikanischen Internet-Archiv „Mechanical Music Digest“ gespeichert und dadurch allen Interessierten zugänglich<sup>31</sup>.

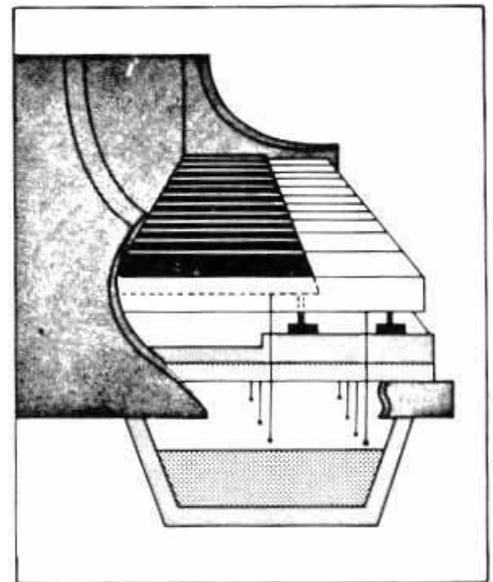
Nach Informationen von Hans-Wilhelm Schmitz, der den Aufnahmezügel untersucht hat, gab es eine mit den Klaviertasten verbundene elektrische Aufnahmeeinrichtung für die Agogik. Leider waren zur Untersuchungszeit die historisch bedeutsamen Aufnahmeeinrichtungen bereits entfernt und verschollen, bzw. als Schrott entsorgt<sup>32</sup>.

#### 4. Beschreibung des Welte-Mignon-T100-Aufnahmesystems durch Simonton und Crank

Zum Betreiben einer Welte-Philharmonie-Orgel, die er sich in Erfüllung eines Jugendtraumes gekauft hatte, benötigte Richard Simonton Musikrollen. Nach Ende des zweiten Weltkrieges schrieb er an Edwin Welte, woraufhin ein Tauschgeschäft Notenrollen gegen Nahrung zustande kam. Daraus entwickelte sich zwischen Richard Simonton, der mehrfach Freiburg besuchte, und Karl Bockisch sowie Edwin Welte, eine persönliche Freundschaft, die bis zum Tod der beiden Erfinder des T100-Systems andauerte. Da dieses System seit den dreißiger Jahren keine wirtschaftliche Bedeutung mehr hatte, erhielt er aus erster Hand Informationen über eines der bestgehüteten Geheimnisse aus der Welt der mechanischen Musikinstrumente, das Dynamik-erfassende T100-Aufnahmeverfahren.

Nach Simonton bestand das Aufnahmesystem aus dünnen Graphitstiften, die mittels einer Feder unter den Tasten fixiert waren und in ein Quecksilberbad eintauchten, sobald der entsprechende Ton angeschlagen wurde. Zur Vermeidung von Oxidationseffekten wurde auf dem Quecksilber eine Ölschicht aufgebracht. Je nach Anschlagskraft tauchten die Stifte mehr oder weniger tief in das Quecksilberbad ein, so dass sich bei lauten Tönen ein geringer elektrischer Wider-

WELTE



Keyboard and mercury trough.

Schematische Darstellung des Quecksilberbad-Graphitstift-Systems (nach Quelle 5)

stand also ein starker Strom, bei leisen Tönen ein hoher Widerstand also ein kleiner Strom, ergab. Die beiden Pedale wurden ebenfalls mit Quecksilber-Graphit-Kontakten versehen<sup>33</sup>.

Für jeden Kontakt bestand eine leitende Verbindung zu einer separaten Schreibeinheit, die aus einer parallelen Anordnung von einer Vielzahl schmaler, drehbar gelagerter Gummischeiben bestand. Diese außen spitz zulaufenden tintegetränkten Scheiben wurden durch Elektromagnete je nach Stromstärke auf ein sich bewegendes Papierband gedrückt, so dass sich schmale Striche für leise Töne und breite Striche für laute Töne ergaben, solange der Ton gehalten wurde. Dadurch war es möglich, sowohl die zeitliche Folge der Töne, die Agogik, als auch die Dynamik in allen Feinheiten auf der Aufnahmerolle festzuhalten.

Die Tinte war elektrisch leitend. Nach Fertigstellung der Aufnahme wurde die Aufnahmerolle durch ein chemisches Bad modifiziert und konnte alsbald an einem speziell für diesen Zweck konstruierten Play-back-Vorsetzer mit elektrischer Funktionsweise, von denen es weltweit nur zwei Stück gab, dem Künstler zur Kontrolle vorgespielt werden<sup>34</sup>.

Anschließend wurde die Originalrolle für das Wiedergabeformat bearbeitet und die Dynamik-Information jedes einzelnen Tons in eine entsprechende Lochung der Steuerrollen übersetzt und auf die Produktions-Mutterrolle übertragen. Von dieser Matrix wurden dann die verkaufsfähigen Rollen kopiert.

In einem Beitrag zu der im MMD-Archiv<sup>38</sup> veröffentlichten Internet-Diskussion zu diesem Thema aus dem Jahre 2000 bestätigt James Crank die Beschreibung seines inzwischen verstorbenen Freundes Simonton, mit dem er sehr intensiv die Funktionsweise des Aufnahmeverfahrens diskutiert hatte<sup>39</sup>. Er fügt hinzu, dass nicht nur die Linienbreite für die Auswertung der Dynamik maßgebend war, sondern auch der zeitliche Anstieg der Breite. Bei einem starken Anschlag ergibt sich ein schneller Anstieg der Breite auf einen hohen Wert, bei einem schwachen Anschlag ein langsamerer Anstieg auf eine niedrige Endbreite. Außerdem meint Jim Crank sich zu erinnern, dass die mit Tinte benetzten Gummischeiben angetrieben waren, also ständig rotierten. Richard Simonton war sowohl stolzer Besitzer einiger Graphitstifte als auch einiger Meter einer Originalaufnahmerolle mit Tintenspuren verschiedener Breite. Außerdem besaß er ein altersschwaches Foto vom Inneren des Aufnahmegerätes<sup>39</sup>.

Wo diese historisch wertvollen Objekte verblieben sind, ist unklar. Einen Teil seiner Notenrollen und einige Schriftstücke zu Welte-Mignon stiftete Simonton der University of Southern California. Unter dieser „Simonton Collection“ sind die betreffenden Objekte nicht vermerkt<sup>40</sup>. Auch dessen Söhne Richard jr. und Robert können über den Verbleib keine Auskunft geben<sup>41</sup>. Interessant ist die Entdeckung von etwa 120 bzw. 40 privaten Briefen von Edwin Welte bzw. Karl Bockisch an Richard Simonton, die zeigen, wie innig dessen Freundschaft zu den Welte-Mignon-Erfindern war<sup>42</sup>.

Die Aussagen von Simonton und Crank sind mit der Welte-Publikation aus dem Jahre 1911, anderen Welte-Veröffentlichungen und weiteren Aussagen von Edwin Welte und Karl

Bockisch zu diesem Thema kompatibel und für einen Kenner der technologischen Möglichkeiten um 1900 realistisch.

## 5. Welte-Mignon-T100-Aufnahmesystem: „high tech“ oder „low tech“?

Eine Hypothese ist definiert als eine wissenschaftlich begründete Annahme, die so formuliert ist, dass sie durch Erfahrung bzw. Experiment bestätigt (verifiziert) oder widerlegt (falsifiziert) werden kann.

Nach der „high-tech-Hypothese“ besaß Welte ein Dynamik-erfassendes Aufnahmegerät entsprechend den Beschreibungen von Richard Simonton und Jim Crank. Die bis jetzt ungeklärte Frage ist nur: Wie funktionierte es? Zugegebenermaßen ist es schwierig, aufgrund der vorhandenen Beschreibungen eine „high-tech-Hypothese“ über die genaue Konstruktion und Arbeitsweise des T100-Aufnahmesystems aufzustellen.

Vertreter der „low-tech-Hypothese“ behaupten dagegen, Welte habe gar kein Dynamik-erfassendes Aufnahmesystem besessen<sup>43</sup> - eine Behauptung, die implizit eine Verleumdung von Richard Simonton und dessen beiden Söhnen, von Jim Crank und aller Mitglieder der damaligen Welte-Firmenleitung enthält. Insofern halte ich die „low-tech-Hypothese“ für unzulässig. Sie umfasst meiner Meinung nach eine Sammlung von wissenschaftlich unbegründeten Spekulationen und falsifizierbaren Hypothesen.

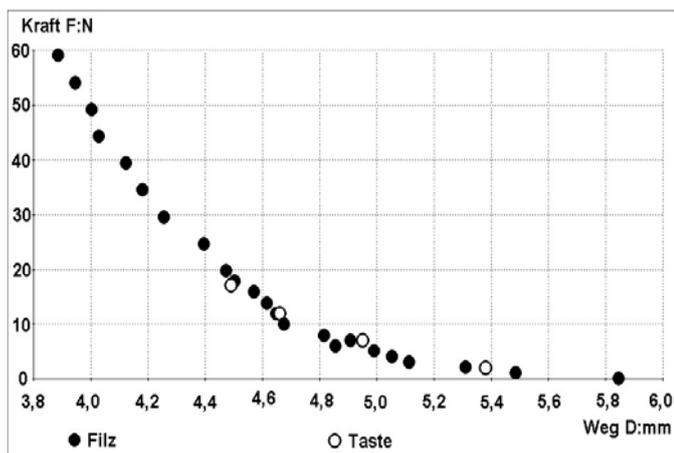
Den Vertretern der „low-tech-Hypothese“ mache ich den Vorwurf, dass sie sich nicht ausreichend mit den technischen Möglichkeiten um 1900 vertraut gemacht haben. Sie scheinen nicht willens oder nicht fähig zu sein, elementare Überlegungen zur Funktionsweise dieses Systems anzustellen, geschweige denn, einfache Experimente und Versuche dazu durchzuführen.

Eine „low-tech-Hypothese“ lautet beispielsweise, dass ein Dynamik-erfassendes System 1904 ohne Verstärker gar nicht funktioniert haben könnte, obwohl doch klar ist, dass Metalle, also auch Quecksilber, den elektrischen Strom sehr gut leiten und dass Kohleschleifkontakte in Generatoren und Motoren hohe Leistungen und Ströme übertragen, also Graphit ebenfalls ein recht guter elektrischer Leiter ist. Daher sind Kohlestift-Quecksilberkontakte niederohmig und in der Lage, sehr hohe Ströme und Leistungen zu liefern; die Forderung nach einem Verstärker ist folglich absurd.

Übrigens sind zur korrekten Funktionsweise des T100-Aufnahmesystems relativ hohe Leistungen notwendig. Um eine zeitgenaue Information über die Tastengeschwindigkeit zu erhalten, muss die Gummirolle praktisch ohne Verzögerung den Tastenbewegungen folgen, was nur möglich ist, wenn die beschleunigte Masse der Gummirolle klein und die Beschleunigungskraft durch den Elektromagneten groß ist.

Eine weitere „low-tech“-Hypothese“ besagt, dass ein unterschiedlich tiefes Eintauchen der Graphitstifte in das Quecksilberbad gar nicht möglich gewesen wäre, denn der Tastenweg beim Klavierspiel wäre immer derselbe, nämlich 10 mm, egal ob man laut oder leise spielte. Dieses Argument vernachlässigt einerseits die doppelte Auslösung einer Repe-

titionsmechanik, die eine schnelle Tonwiederholung ermöglicht, noch bevor die Taste in ihre Ruhelage zurückgekehrt ist. Andererseits ist die Hypothese auch im unteren Bereich der Tastenbewegung falsch. Machen Sie selbst an einem Klavier oder Flügel den Versuch: Drücken Sie eine beliebige Taste mit geringer Kraft nach unten, so dass ein sehr leiser Ton entsteht. Wenn Sie die Taste anschließend mit voller Kraft weiter nach unten drücken, werden Sie feststellen, dass sie diese um einige Millimeter weiter nach unten bewegen können. Somit ist die Hypothese eines konstanten Tastenwegs falsch.



Kraft-Weg-Beziehung für eine Flügeltaste und den dazugehörigen Filz

Ich habe mir die Mühe gemacht, diesen Effekt mittels Gewichtskräften quantitativ zu untersuchen. Er kommt zustande durch die progressiv-elastische Nachgiebigkeit des sich unter den Tasten befindlichen Filzes, dessen Kraft-Weg-Beziehung ich anhand eines Musters aus meinem Flügel ebenfalls untersucht habe. Die Höhe des unbelasteten Filzes ist 6 mm. Drückt man ihn mit einer Kraft  $F$  zusammen, verringert sich die Dicke. Bei 60N ist er nur noch etwa 3,9 mm dick, was einer Tastenbewegung von 2,1 mm entspricht. Die vier durch offene Kreise charakterisierten Punkte stammen von Kraft-Weg-Messungen an der Taste. Sie passen sich gut in die reine Filz-Kennlinie ein.

Das Versuchsergebnis ist eindeutig: Ein unter einer Taste befestigter Graphitstift kann je nach Stärke des Tastendrucks tatsächlich unterschiedlich tief in ein Quecksilberbad hineintauchen. Allerdings ist - wie später gezeigt wird - nicht die Eintauchtiefe (bzw. die Tastenposition), sondern die Eintauchgeschwindigkeit (bzw. die Tastengeschwindigkeit) für die Dynamik maßgebend.

## 6. Rekonstruktion der Hg-C-Sensoren

Unter Rekonstruktion versteht man die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustands untergegangener oder nur in wenigen Teilen erhaltener Kulturdenkmäler. Im Gegensatz zur Restaurierung werden Kunstwerke, technische Apparate oder Instrumente, deren originaler Zustand nicht mehr erkennbar, sondern nur noch erschließbar ist, rekonstruiert (siehe auch den Beitrag von Bernhard Häberle über Reparatur - Renovierung - Restaurierung<sup>44</sup>)

Die wissenschaftliche Vorgehensweise ist hier die folgende:

Die selbe Aufgabe, die sich seinerzeit Edwin Welte und Karl Bockisch gestellt hatten, also die Entwicklung eines alle Feinheiten der Agogik und der Dynamik erfassenden Aufnahmesystems, wird mit Hilfe theoretischer Überlegungen und praktischer Versuche unter alleiniger Berücksichtigung der zur damaligen Zeit vorhandenen Kenntnisse und technischen Möglichkeiten untersucht.

Diese Aufgabe wird unter den folgenden Randbedingungen gelöst, dass

- (1) alle Teillösungen technisch möglichst einfach, aber optimal bezüglich der Aufgabenstellung und
- (2) kompatibel zu allen technischen Beschreibungen aus dem Hause Welte von Richard Simonton und Jim Crank sind.

Zunächst ist es sinnvoll, den Messbereich der Hg-C-Sensoren zu bestimmen, der sich aus klaviertechnischen Grundlagen ergibt.

An meinem Flügel habe ich die Höhe der wichtigsten Tastenpositionen mittels einer Schieblehre gemessen, wobei der Normalposition eine Höhe von 10 mm zugeordnet wird. Es ergaben sich folgende Werte:

Minimalhöhe für Repetitionsauslösung:	3 mm
Anschlag eines pp-Tons mit geringster Kraft:	0,85 mm
Anschlag eine ff-Tons mit maximaler Kraft:	- 2 mm

Somit zeigt sich eine Kraftabhängigkeit des Tastenwegs von knapp 3 mm zwischen pp- und ff-Anschlag bei einer konstanten Kraft.

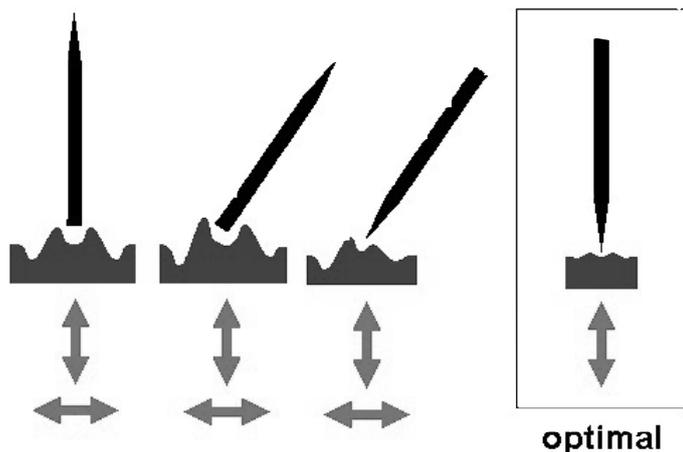
Um zu entscheiden, ob ein Ton repetiert wird, muss überprüft werden, ob die Taste die Minimalhöhe für die Repetitionshöhe überschritten hat (dies ergäbe einen neuen Ton) oder nicht (in diesem Fall würde der alte Ton weiter gehalten). Insgesamt ergibt sich also ein Messbereich von etwa 5 mm.

## Problem: Oberflächenwellen

Kommen wir nun zu einem ersten Teilproblem: Jeder harte Gegenstand, der in eine Flüssigkeit eingetaucht wird, erzeugt Oberflächenwellen. Die variable Oberflächenhöhe bei solchen Wellen führt zu Störungen der Genauigkeit bei den Hg-C-Sensoren. Durch Wahl von Stiftform und Bewegungsrichtung müssen derartige Störungen minimiert werden. Mittels einfachster Versuche, die Sie zuhause ohne Schwierigkeiten nachvollziehen können, erhält man folgende Ergebnisse:

Taucht man das stumpfe Ende einer Graphitmine (oder eines Holzstäbchens) senkrecht in die Wasseroberfläche ein, ergeben sich starke Wellen mit hohen Amplituden. Noch etwas stärker werden die Wellen, wenn die Bewegung des Stiftes schief zur Oberfläche erfolgt oder Querkomponenten bzw. Drehbewegungen enthält. Taucht man in analoger Weise das spitze Ende ins Wasser ein, werden die Wellen etwas schwächer. Eindeutig am geringsten ist die Wellenstärke, wenn man das spitze Ende genau senkrecht zur Oberfläche in die Flüssigkeit eintaucht.

## Anregung von Oberflächenwellen

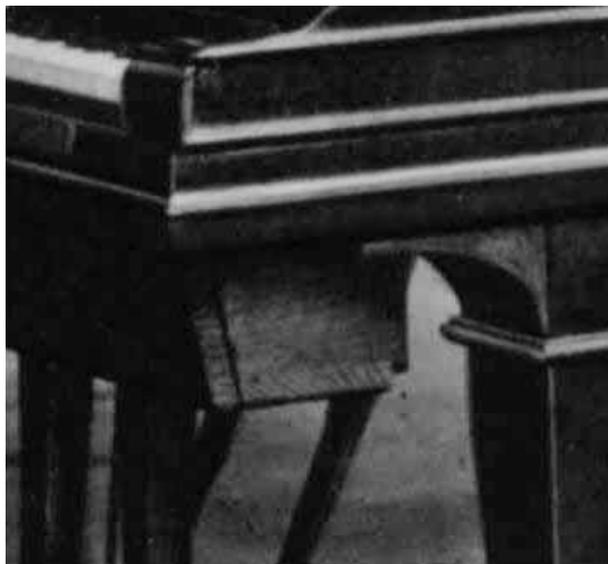


Anregung von Oberflächenwellen

Da die Klaviertasten beim Spielen Drehbewegungen ausführen, würden Graphitstifte bei einer starren Befestigung unterhalb der Tasten schief zur Oberfläche mit einer Querkomponente der Bewegung ins Quecksilber eintauchen. Da dies jedoch aufgrund der stärkeren Erzeugung störender Oberflächenwellen ungünstig ist, müssen folglich die Graphitstifte beweglich zur Taste genau senkrecht geführt und durch Federn von unten an die Tasten angeedrückt werden.

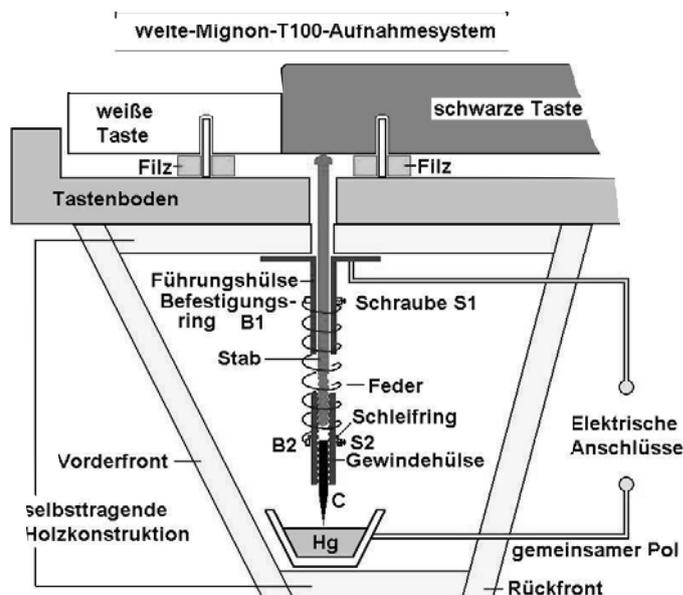
Mit diesen Erkenntnissen kann man eine sinnvolle Ausführung der Hg-C-Sensoren rekonstruieren und die Frage beantworten:

### Was war in dem Holzkasten unter der Tastatur?



Holzkasten unter der Tastatur des Welte-Mignon-Aufnahmeflügels

In einer selbsttragenden Holzkonstruktion, die von unten an den Tastenboden des Flügels angeschraubt wird, kann man zu Justierzwecken die Vorder- und die Hinterfront öffnen - wie dies durch Originalfotos nahe gelegt wird.

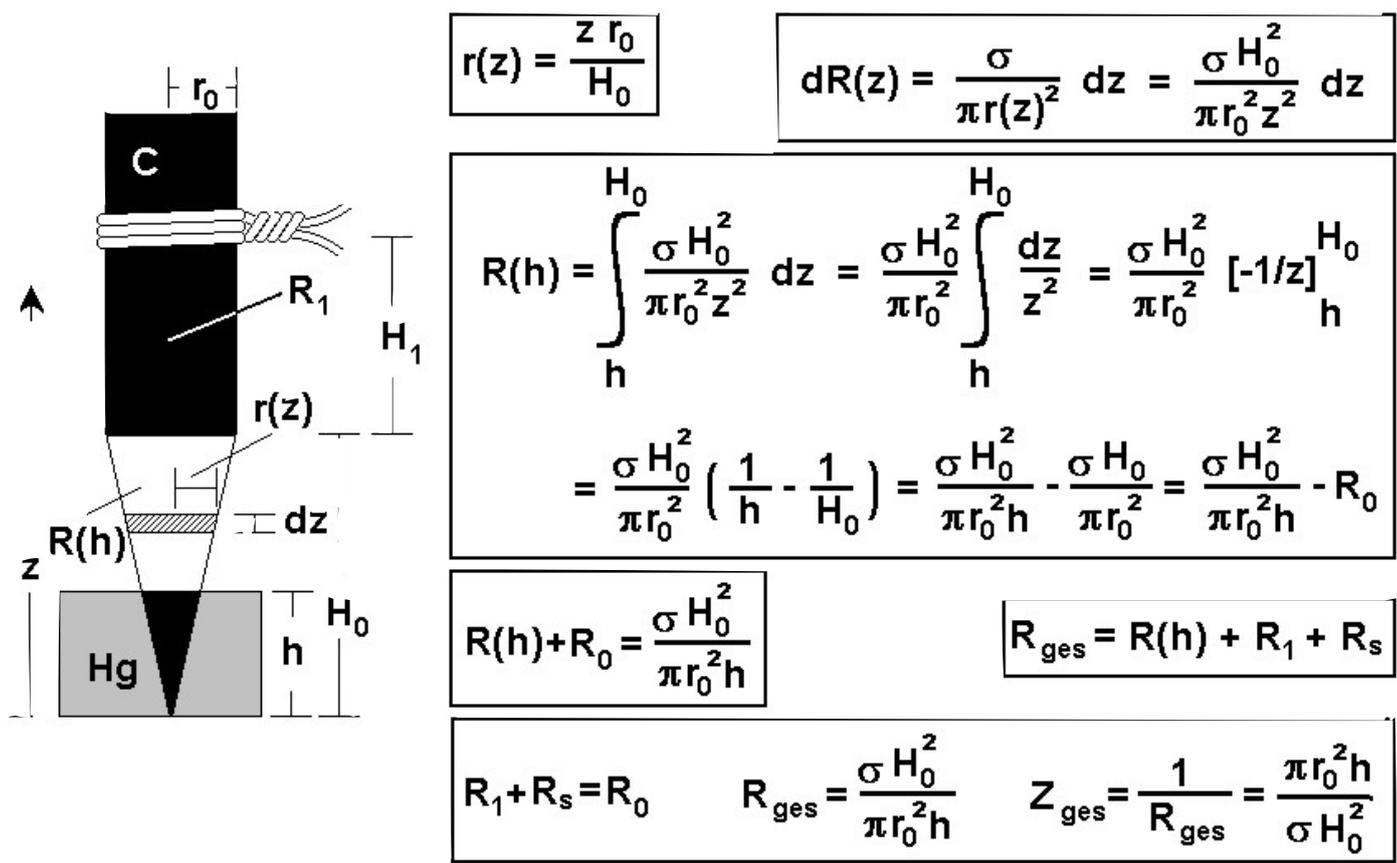


Möglicher Aufbau des Quecksilber(Hg)-Graphitstift(C)-Sensors

Unterhalb jeder Taste sind Bohrungen durch den Tastenboden und die Holzkonstruktion durchgeführt, durch die ein Stab, der passgenau in einer an der Oberseite der Holzkonstruktion befestigten Führungshülse läuft, die vertikale Bewegungskomponente der Tastenbewegung nach unten verlängert. Am Stab ist ein Außengewinde angebracht, an dem eine Gewindehülse befestigt ist. An der unteren Seite der Gewindehülse ist der Graphitstab C eingeschraubt, der dadurch in seiner Länge variabel einstellbar ist, wodurch der Widerstand des Graphitstabs variiert werden kann.

Zur Einjustierung der Gesamthöhe der Anordnung, die zur genauen Kontakteinstellung bezüglich der Quecksilberoberfläche erforderlich ist, kann die Gewindehülse gegenüber dem Stab gedreht werden, wobei zunächst die untere Schraube S2 am Befestigungsring B2 der Feder gelöst wird, die dann durch den Schleifring der Gewindehülse drehbar wird, aber in der Höhe fixiert bleibt. Nach der Einstellung der Höhe wird der Befestigungsring wieder durch die Schraube S2 fixiert, die durch die Feder, den höhenverstellbaren Befestigungsring B1 und die Schraube S1 eine sichere leitende Verbindung zwischen dem Graphitstift und der Führungshülse gewährleistet. Durch diese Anordnung kann der elektrische Anschluss für das Aufnahmegerät vorteilhaft an einem Fixpunkt angebracht werden. Zugleich hat die Feder die Aufgabe, den Stab mit dem Graphitstift von unten an die Taste anzudrücken, so dass dieser den Tastenbewegungen folgt. Die Federkonstante und die Vorspannung sind unkritisch, da einzig und allein der sichere Andruck des Stabs an die Taste gewährleistet werden muss. Die Vorspannung der Feder kann über den höhenverschiebbaren Befestigungsring B1 eingestellt werden.

Die aufgrund der Wellenminimierung notwendige Spitze des Graphitstabs hat zusätzlich den Vorteil, dass der zum Widerstand reziproke Leitwert bei einer Bewegung der Taste nach unten sich von Null ausgehend kontinuierlich ändert und so eine Funkenbildung aufgrund der Induktivität des Elektromagneten im Aufnahmesystem bestmöglich reduziert wird.



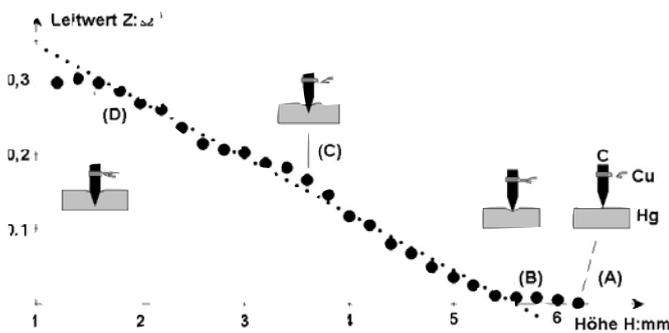
*Berechnung des Widerstands eines Hg-C-Kontakts*

Zur Vermeidung von oberflächlichen Oxidationen des Quecksilbers, die hauptsächlich von Verunreinigungen durch unedle Metalle hervorgerufen wird und durch eine isolierende Hautbildung Kontaktprobleme verursachen kann, muss Quecksilber höchster Reinheit verwendet werden. Zusätzlich wird die Oberfläche mit einer geeigneten Ölschicht geschützt.

Zur theoretischen Berechnung des Hg-C-Kontaktwiderstandes zwischen dem Quecksilber und dem Anschluss betrachtet man die Serienschaltung von infinitesimalen Graphit-Widerstandsscheiben, deren Integration den Widerstand  $R(h)$  des weiß eingezeichneten Kegelstumpfs ergibt. Der Gesamtwiderstand  $R_{ges}$  enthält zusätzlich den Widerstand  $R_1$  des zylindrischen oberen Teils des Graphitstifts sowie sämt-

liche weiteren Widerstände  $R_s$  der Anschlussleitungen und der Wicklung des Elektromagneten. Wählt man speziell  $R_1 + R_s = R_0$ , ergibt sich der sehr interessante Fall, dass der Gesamtwiderstand  $R_{ges}$  umgekehrt proportional zur Eintauchtiefe  $h$  und der Leitwert  $Z_{ges}$  direkt proportional zu  $h$  ist.

Der Leitwert  $Z$  wurde in Abhängigkeit der Höhe  $H$  eines willkürlichen Punktes des Graphitstifts gemessen, der sich beim Eintauchen in Quecksilber reduziert. In Position (A) findet der Erstkontakt mit der Quecksilberoberfläche statt, an dem der Leitwert praktisch null ist. Aufgrund der hohen Oberflächenspannung von Hg bildet sich zwischen (A) und (B) eine immer tiefere Delle aus, ohne dass die benetzte Graphitoberfläche wesentlich zunimmt. Daher erhöht sich in diesem Bereich der Leitwert nur schwach. Zwischen (B) und (D) nimmt der Leitwert mit abnehmender Höhe  $H$  (entsprechend einer zunehmenden Eintauchtiefe) in linearer Weise zu; in Position (C) ist etwa die halbe Höhe der Kegelspitze eingetaucht. Ab der Position (D), bei der die gesamte Kegelspitze eingetaucht ist, bleibt der Leitwert mit zunehmender Tauchtiefe praktisch konstant. Dieses Schaubild verdeutlicht den durch die theoretischen Überlegungen geforderten Verlauf einer Geraden zwischen (B) und (D). Der lineare Bereich ist bei Verwendung einer normalen Bleistiftmine etwa 5 mm lang. Bei einer Spannung von 12 Volt ergäbe sich auf einem Weg von ca. 5 mm ein linear von 0 auf etwa 4 A ansteigender Strom. Bei dem hier vorgestellten Hg-C-Sensor handelt es sich also um ein Strom-proportionales analoges Weg-Messsystem mit einer hohen Empfindlichkeit von etwa 0,8 A/mm bei einer Spannung von 12 V. Dieses System ist somit für die gestellte Aufgabe bestens geeignet.

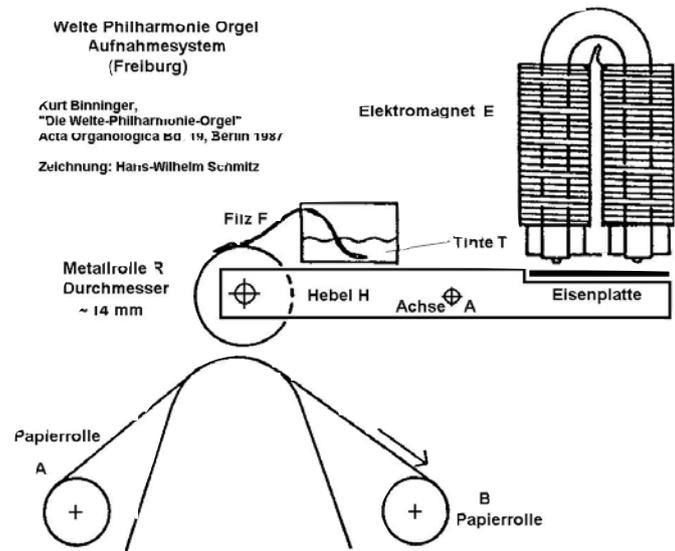


*Experimentelle Bestimmung des Leitwerts  $Z$  eines Hg-C-Sensors*

## 7. Weitere Forschungsergebnisse

### Rollenschreiber-Technologie

Der Beweis, dass Welte mit der Rollenschreiber-Technologie arbeitete, steht in Form des fast vollständig erhaltenen amerikanischen Welte-Philharmonie-Aufnahmegeräts im schweizerischen Museum für Musikautomaten (Weiss-Stauffacher-Sammlung) in Seewen. Das in Freiburg benutzte unterschiedlich funktionierende Orgelaufnahmegerät benutzte ebenfalls Rollenschreiber, wie die Skizze des Aufnahmesystems in einem Artikel von Kurt Binninger zeigt<sup>45</sup>:



Skizze des Welte-Philharmonie-Organ-Aufnahmesystems (Freiburg)

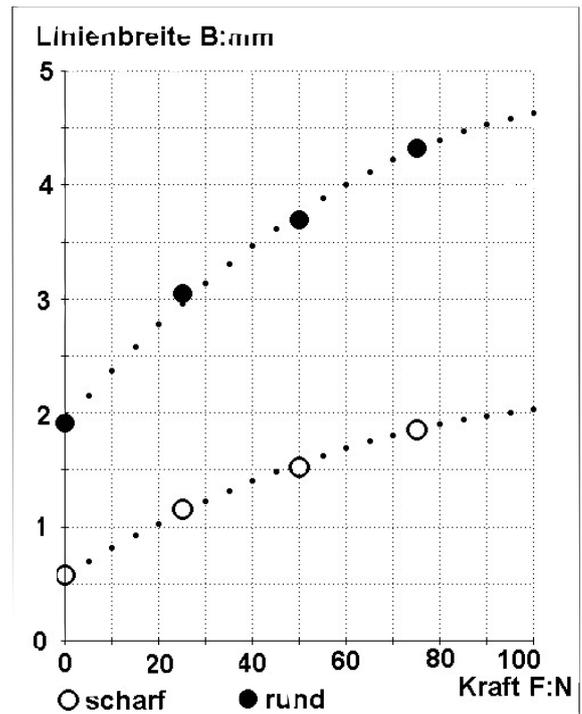
Form und Wirkungsweise dieses Rollenschreibers ähnelt sehr den in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts weit verbreiteten Farbschreibern bei Morse-Telegraphen<sup>46</sup>. Im Unter-



Linien mit unterschiedlicher Andruckkraft

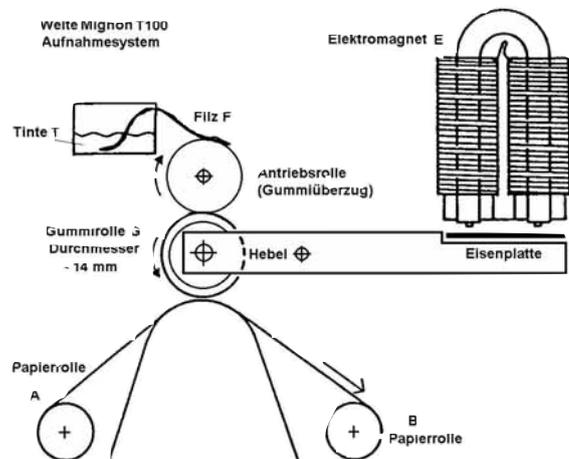
schied zum Welte-Mignon-Aufnahmesystem sind in beiden Orgel-Aufnahmesystemen die dünnen Schreibrollen ganz aus Metall, also ohne Gummiumrandung, da bei Orgeln keine Anschlagdynamik aufgenommen werden muss.

Der prinzipielle Nachweis, dass elastische Rollen bei verschiedenen Andruckkräften unterschiedliche Linienbreiten ergeben, gelang sowohl bei runden als auch durch Schleifen geschärften Querschnitten. Dabei zeigte sich, dass ein zu spitzer Winkel des äußeren elastischen Materials zu einer Knick-Ausweichbewegung bei Belastung führt. Bei runden und scharfen Rollen ergab sich ein degressiv nichtlinearer Zusammenhang zwischen Linienbreite und Andruckkraft:



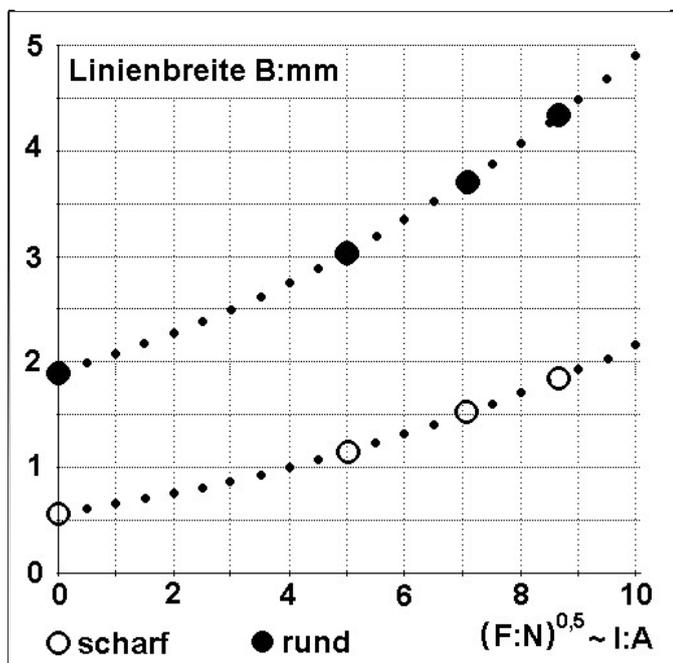
Linienbreite B in Abhängigkeit von der Andruckkraft F

Das Rollenschreibersystem könnte gegenüber dem Orgelaufnahmesystem<sup>45</sup> geringfügig modifiziert werden: Eine zusätzliche gummiummantelte Antriebsrolle für die Gummirollen würde ein Eintrocknen der Tinte verhindern und einen gleichmäßigen Tintenfluss sicherstellen.

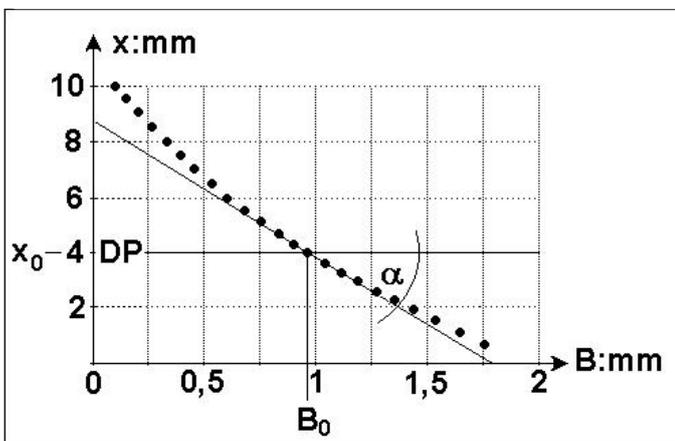


Gegenüber dem durch Kurt Binninger beschriebenen Orgelaufnahmesystem<sup>45</sup> geringfügig modifiziertes Aufnahmesystem für Welte-Mignon-T100

Bei einem Coulombschen Kraftgesetz für ein System Elektromagnet / Eisenplatte ergibt sich ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen der Linienbreite  $B$  und dem Strom  $I$ . Da der Hg-C-Sensor eine kontinuierliche Wegmessung mit linearer Stromcharakteristik erlaubt, ergibt sich im Allgemeinen ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen Linienbreite  $B$  und Tastenposition.



Nichtlinearer Zusammenhang zwischen Linienbreite  $B$  und Strom  $I$  (schematisch)



Nichtlinearer Zusammenhang zwischen Linienbreite  $B$  und Tastenposition  $x$  (schematisch)

### Funkenbildung beim Hg-C-Sensor

Ein Elektromagnet hat eine hohe Selbstinduktivität, so dass es selbst bei geringen Spannungen und Strömen beim Ein- und Ausschalten des Hg-C-Sensors zu einer Funkenbildung kommt, was die Oxidation der im Quecksilber gelösten unedlen Metalle beschleunigt und zu einer gefährlichen Hg-Dampfbildung führt. Daher scheint es sinnvoll, die Spitze der Graphitminen so zu justieren, dass sie das Hg-Bad nicht verlässt. In dieser Konfiguration fließt auch in der Normalposition der Tasten ein kleiner Strom, wodurch die Funkenbildung praktisch vermieden wird.

### Andruck der Gummirollen an die Papierrolle

In der Normalposition der Tasten könnten alle Gummirollen mit geringer Kraft an die Papierrolle angedrückt werden. Diese Technik hätte den Vorteil einer sehr einfachen Justiermöglichkeit: Die Eintauchtiefe von jedem Graphitstift müsste lediglich so justiert werden, dass die entsprechende Gummirolle einen schmalen Strich auf dem Papier zieht. Außerdem wären alle Gummirollen angetrieben, so dass die zusätzliche Antriebsrolle in dem modifizierten System entfallen kann. Ein weiterer Vorteil wäre, dass beim Tastendrücker keine Beschleunigung der Gummirolle mit einem stoßartigen Anschlag auf die Papierrolle erfolgt, sondern lediglich eine ruckfreie stetige Erhöhung der Andruckkraft.

### Äquivalenz von Hammer-Endgeschwindigkeit und Tastengeschwindigkeit

Von einigen Vertretern der Welte-low-tech-Hypothese wird die Meinung vertreten, dass einzig und allein eine Messung der Hammer-Endgeschwindigkeit beim Auftreffen auf die Saite ein exaktes Maß der Lautstärke eines Klaviertons ergibt. Ein 1911 von Nyström entwickeltes derartiges Messverfahren Melograph war wohl zu stör anfällig für einen kommerziellen Einsatz für Aufnahmen bei Reproduktionsklavieren<sup>47</sup>, so dass diese Methode erstmals Ende der zwanziger Jahre beim Funken-Chronograph-Verfahren von AMPI-CO B zum Einsatz kam<sup>48</sup>.

Zwar gibt es einige experimentelle Pianisten, die durch direkte Bearbeitung der Saiten oder durch das manuelle Anschlagen der Hämmer an die Saiten einem Klavier oder Flügel Töne zu entlocken versuchen, doch die große Mehrheit aller Hobby- und Profi-Pianisten bedient sich der klassischen Spielweise über die Tastatur. Zumindest die weltbesten Pianisten sind in der Lage, die Lautstärke der Töne sehr genau über die Tastatur zu steuern. Daher ist der Ansatz von Karl Bockisch und Edwin Welte, die Tastengeschwindigkeit zu messen und möglichst genau zu reproduzieren, der Messung der Hammerendgeschwindigkeit völlig äquivalent. Wenn ein Vorsetzer am Aufnahme Flügel (oder einem exakt gleich eingestellten anderen Flügel) die Momentangeschwindigkeit aller Tastenbewegungen zeitlich exakt wie bei der Aufnahme reproduziert, entspricht der zeitliche Verlauf der Lautstärke bei der Wiedergabe exakt dem der Aufnahme. Ein genaueres Ergebnis kann auch durch eine Messung und Reproduktion der Hammerendgeschwindigkeit nicht erzielt werden.

### Tonbildung am Auslösepunkt

Schon um die Wende zum zwanzigsten Jahrhundert war bekannt, dass sich die Tonbildung an einem Klavier oder Flügel an dem Punkt entscheidet, an dem sich die Hammerbewegung von der Tastenbewegung auskoppelt. Dieser Auskoppel- oder Auslösepunkt wird normalerweise mit Druckpunkt (DP) der Tastatur identifiziert und auch als Hammerwiderstands-Punkt (HW) bezeichnet. Er ist insbesondere bei schwergängigen Tastaturen deutlich spürbar<sup>49</sup>:

„Das Schicksal des Tones entscheidet sich am HW.-Punkt, das heißt: all das, was geschehen soll, um dem Tone die gewünschte Kraft und Farbe zu geben hat im Moment einzutreten, wo der Tastenhebel diesen Punkt passiert - Pedalwirkungen ausgenommen \*). - Alles Hin- und Herbewegen vor und nachher, das Drücken und Kneten der Tastensohle gibt

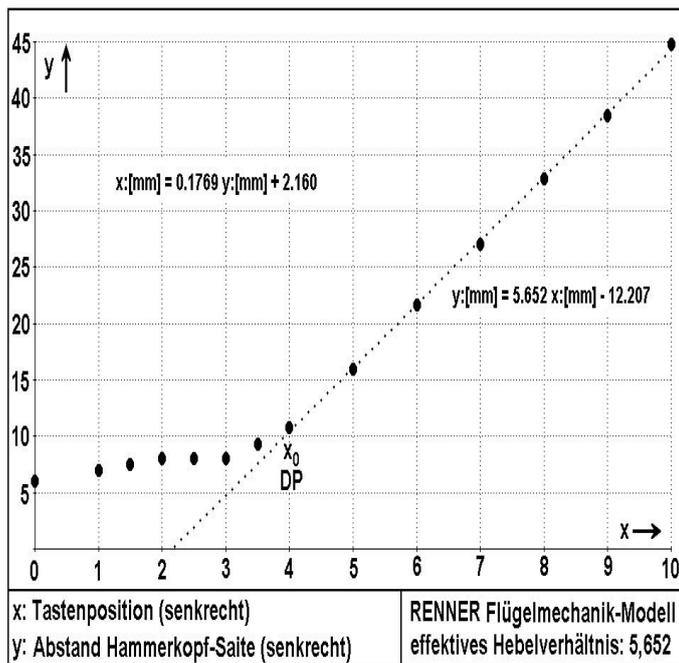
dem Spieler nur die Illusion, als geschähe etwas; eigentlich ändert sich nichts mehr am Klange.

\*) Dies hat Tobias Matthay schon 1905 in seinem „Act of touch“ (Longman's, London) hervorgehoben, doch wird seine hochwichtige Feststellung noch immer nicht in dem Maße allgemein gewürdigt, als sie es verdiente.“ (Zitat aus Margit Varro<sup>49</sup>).

Bei einer Flügelmechanik entspricht der Druckpunkt DP (HW-Punkt) dem Punkt der Tastenabwärtsbewegung, an dem der Stoßzungenwinkel die Auslösepuppe trifft.

Dadurch verschiebt sich die Stoßzunge, die bis dahin die Tastenbewegung auf den Hammer übertragen hat, so dass Sie den Kontakt zur Hammerrolle verliert. Nach Passieren dieses Punktes kann die Hammerbewegung durch die Tastenbewegung nicht mehr beeinflusst werden; der Hammer bewegt sich durch seinen bis dahin von der Taste übertragenen Schwung (Impuls bzw. Drehimpuls) unter dem Einfluss der Schwerkraft (und geringfügiger Reibungskräfte) auf die Saite zu.

Die Übertragungsverhältnisse an einer Flügelmechanik habe ich an einem Modell von Renner vermessen<sup>50</sup>. Die folgende Abbildung zeigt den senkrechten Abstand des Hammerkopfs von der Saite in Abhängigkeit der Tastenposition  $x$ :



senkrechter Abstand  $y$  Hammerkopf-Saite in Abhängigkeit der senkrechten Tastenposition  $x$

An der Abweichung von der eingezeichneten Geraden erkennt man, dass sich bei einer Tastenposition von etwa  $x = 4$  mm die Hammerbewegung von der Tastenbewegung auskoppelt. Oberhalb dieses Druckpunktes ist die Hammergeschwindigkeit durch die Gerade, die hier einem effektiven Hebelverhältnis von 5,65 entspricht, mit der Tastengeschwindigkeit verknüpft. Unterhalb von DP ist das Hebelverhältnis sehr gering. Eine Bewegungsübertragung der Taste auf den Hammer ist praktisch nicht mehr möglich.

Die Hammerendgeschwindigkeit wird durch die Tastenposition des Auslösepunkts und die dazugehörige Momentangeschwindigkeit der Taste eindeutig festgelegt. Obwohl es als möglich erscheint, dass der Auslösepunkt je nach Anschlagsmethode des Pianisten im Bereich des Druckpunktes geringfügig variiert, kann der Auslösepunkt in guter Näherung mit dem Druckpunkt identifiziert werden. In diesem Fall wird die Hammerendgeschwindigkeit und damit die Lautstärke durch einen einzigen Parameter eindeutig festgelegt: die Momentangeschwindigkeit  $v_0$  der Taste im Druckpunkt.

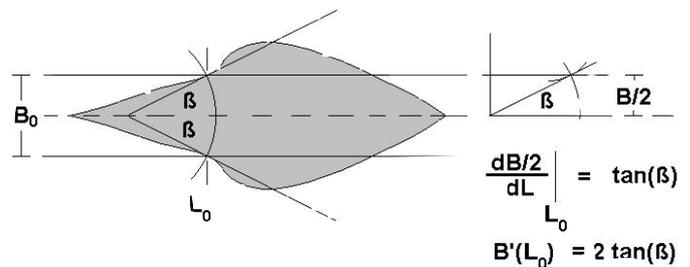
### Bestimmung der momentanen Tastengeschwindigkeit beim Druckpunkt

Nach der Bestimmung des Steigungswinkels  $\alpha$  der Funktion  $h(B)$  bei der Linienbreite  $B_0$  durch eine einmalig aufgenommene Eichkurve kann die für die Dynamik entscheidende Momentangeschwindigkeit  $v_P$  der Taste im Druckpunkt mit Hilfe des Gradienten der Linienbreite bzw. des entsprechenden Steigungswinkels  $\beta$  und der Papiergeschwindigkeit  $v_P$  in einfacher Weise berechnet werden:

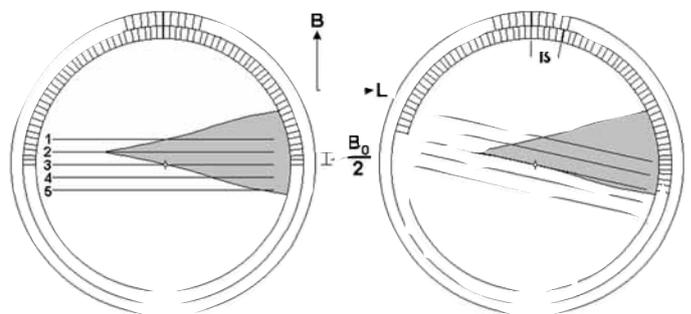
$$v_0 = -2 v_P \tan(\alpha) \tan(\beta)$$

Das negative Vorzeichen ergibt sich aus der entgegengesetzten Richtung der Tastenbewegung (nach unten) zur  $x$ -Achse (nach oben). Interessiert nur der Betrag der Momentangeschwindigkeit, kann das Vorzeichen weggelassen werden.

Zur genauen graphischen Messung des Steigungswinkels  $\beta$  kann ein Goniometer mit Noniusskala dienen, das vorteilhaft mit einem Lupensystem ausgestattet werden kann.

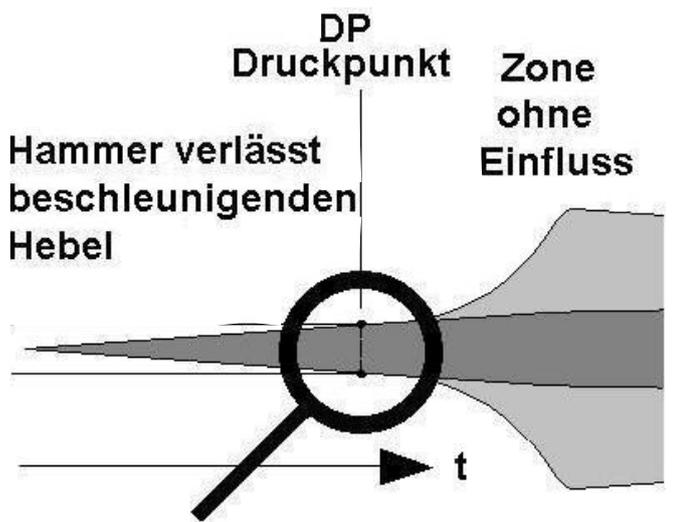


Graphische Bestimmung des Steigungswinkels  $\beta$



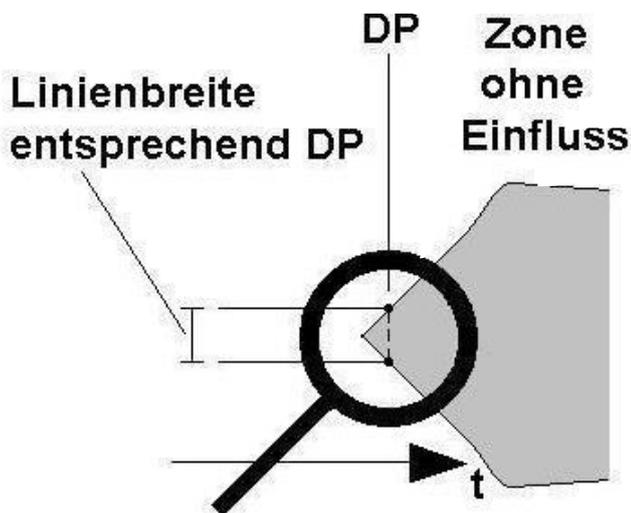
Goniometer

In den folgenden Abbildungen sind mögliche Linienformen bei einem schwachen und bei einem lauten Ton, sowie bei einem gehaltenen Ton im Vergleich zu einem zweimal angeschlagenen Ton angegeben.



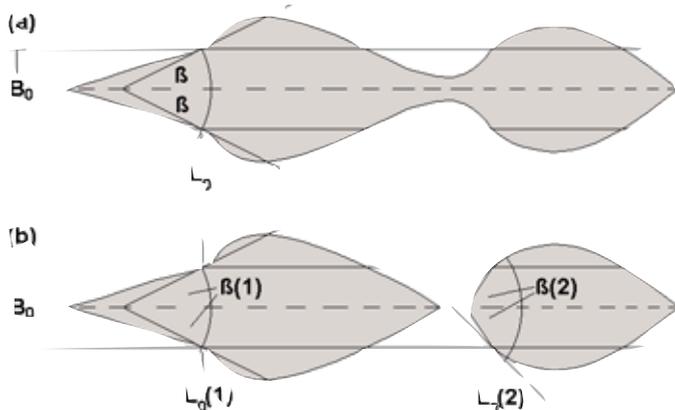
**DP: Lautstärke definierender Punkt  
geringe Steigung - schwacher Ton**

*geringe Steigung - schwacher Ton*



**hohe Steigung - lauter Ton**

*hohe Steigung - lauter Ton*



(a) Gehaltener Ton

(b) zweimal angeschlagener Ton (Repetition)

## 8. Zusammenfassung

(1) Ein Dynamik-Aufnahmesystem mit gemeinsamer Erfassung aller Töne jeweils im Bass- und Diskant-Bereich analog zum etwa 25 Jahre späteren realisierten Welte-Licencee-Verfahren war schon 1895/96 möglich durch einfache Modifikation des pneumatischen Systems von Binet und Courtier.

(2) Aufgrund eines Dynamik-abhängigen Zeitversatzes zwischen Ansteuerung des Wiedergabesystems (der Moment, in dem die entsprechende Perforation am Gleitblock ankommt) und Hammer-Anschlag an die Klaviersaite (bzw. Tastenbewegung bis zum Druckpunkt bei einem Vorsetzer) müssen alle Informationen auf der Wiedergaberolle gegenüber der Position auf der Aufnahmerolle verschieden weit vorversetzt werden. Dies ist bei gemeinsamer Erfassung der Dynamik aller Töne jeweils im Bass- und Diskantbereich nur mit beschränkter Genauigkeit möglich. Daher ist für eine hohe Authentizität eine Einzel-Dynamikerfassung notwendig.

(3) Ein pneumatisches Dynamik-Aufnahmesystem mit Einzelerfassung war bereits 1906 bei Hupfeld im Gebrauch. Es ist von Ludwig Riemann 1906 bzw. 1911 beschrieben worden. Ein Foto aus dem Aufnahmesalon Hupfeld kann als weiteres unabhängiges Indiz für die Beschreibung dienen.

(4) Auch für das Philipps DUCA-System soll ein Einzeltöne erfassendes Aufnahmesystem bestanden haben.

(5) Das Welte-Mignon-Einzelerfassungssystem wurde 1950 erstmals von Richard Simonton beschrieben nach Informationen, die er anlässlich eines ersten Besuchs von Edwin Welte und Karl Bockisch in Freiburg 1948 erhalten hatte. Mehrere weitere Besuche und eine Vielzahl von Briefen belegen die enge Freundschaft von Richard Simonton zu den beiden Erfindern des Welte-Mignon-Systems.

(6) Ein Graphitstift-Quecksilber-Sensor, wie von Simonton beschrieben, ist in der Lage, ein lineares wegabhängiges Messsignal zu liefern. Dies zeigen theoretische Untersuchungen und experimentelle Messungen. Somit kann die genaue zeitliche Position jeder Taste einzeln erfasst werden, worin die gesamte Information zur Spielweise der Pianisten enthalten ist.

(7) Anhand der vorliegenden Informationen konnte hier ein Graphitstift-Quecksilber-Sensor rekonstruiert werden, der für ein Aufnahmegerät in Frage kommt. Selbstverständlich sind auch andere Sensorkonstruktionen möglich. Wie der bei Welte verwendete Sensor im Detail aufgebaut war, ist nach dem heutigen Stand der Forschung nicht mehr zu ermitteln.

(8) Welte hat - wie das amerikanische Orgel-Aufnahmegerät in Seewen beweist - mit der Rollenschreibertechnologie gearbeitet. Ein weiteres Indiz dafür ist die Beschreibung des unterschiedlich funktionierenden Freiburger Orgel-Aufnahmesystems des ehemaligen Welte-Mitarbeiters Kurt Binninger. Die Rollenschreibertechnologie war zur damaligen Zeit durch die Farbschreiber in Morsetelegraphen auf hohem Niveau entwickelt und industriell verfügbar.

(9) Elastische Rollen sind in der Lage je nach Andruckkraft unterschiedlich breite Linien zu liefern. Eigene Versuche deuten darauf hin, dass die entsprechende Kennlinie nichtli-

near ist. Eine Ansteuerung über Elektromagnete ergibt im Allgemeinen ebenfalls eine nichtlineare Kennlinie. Es sind Methoden bekannt, um diese Kennlinie im Bedarfsfall zu linearisieren. Eine Linearisierung ist nicht erforderlich, wenn angenommen wird, dass die Tonerzeugung im Druckpunkt der Klaviermechanik erfolgt, was zumindest in guter Näherung erfüllt ist.

(10) Eine leichte Modifizierung des Rollenschreibsystems gegenüber dem Freiburger Orgel-Aufnahmesystem, wie es von Binninger beschrieben wurde, ist für die Herstellung von Welte-Mignon-Aufnahmerollen geeignet.

(11) Aus der Zeit-Funktion der Tastenposition kann durch die erste Ableitung nach der Zeit die Tastengeschwindigkeit bestimmt werden. Im Rahmen der Theorie der Tonerzeugung im Druckpunkt ist dies graphisch sehr einfach mit Hilfe von Steigungswinkeln möglich. Dadurch kann die Dynamik jedes einzelnen Tones durch einen einzigen Parameter, nämlich der Momentangeschwindigkeit der Taste im Druckpunkt, charakterisiert werden, was für die Umsetzung in perforierte Rollen für das Welte-Mignon-Wiedergabesystem gut geeignet ist.

## 9. Ausblick

Gemäß der Selbstdarstellung benutzte Welte seit der Einführung des Systems ein Dynamik-Aufnahmesystem. Nach den Informationen von Richard Simonton sind genügend technische Details bekannt, um das T100-Aufnahmesystem zu rekonstruieren. Diese Informationen sind in sich konsistent und mit vielen unabhängigen Informationen kompatibel. Für Zweifel an der Richtigkeit der „high-tech“-Hypothese gibt es keine Gründe.

Nach den hier vorgestellten Erkenntnissen kann und soll ein Ein-Tasten-Modell des Welte-Mignon-T100-Aufnahmeverfahrens aufgebaut werden. Das größte Hindernis besteht in der Beschaffung geeigneter elastischer Rollen, für die wohl eine Sonderanfertigung in industrieller Qualität erforderlich ist.

Für Versuche kommen auch andere Speichermöglichkeiten (Oszilloskop, Data-Recorder) der durch den Strom durch den Sensor festgelegten Tastenposition in Frage. Insbesondere wären vergleichende Messungen zwischen Tastengeschwindigkeit im Druckpunkt und Hammer-Endgeschwindigkeit interessant.

Ein weiteres Untersuchungsthema betrifft die Umsetzung der Informationen auf die perforierte Mutterrolle (Master). Dazu sind Messungen des Zeitversatzes zwischen Ansteuerung und Tastenposition im Druckpunkt in Abhängigkeit der Stellung des Nuancierbalgs an einem hervorragend eingestellten Vorsetzer erforderlich. Dies müsste mit einer um 1900 durchführbaren Messeinrichtung erfolgen unter gleichzeitiger Benutzung des Modells der historischen Aufnahmeeinrichtung. Hierdurch gelangt man zur Funktion des Zeitversatzes und der Tastengeschwindigkeit in Abhängigkeit der Nuancierbalgstellung. Durch graphische Umkehrung dieser Funktion gewinnt man die zu einer gegebenen Tastengeschwindigkeit im Druckpunkt notwendige Nuancierbalgstellung sowie den entsprechenden Zeitversatz, um

den die Information auf der perforierten Rolle gegenüber der Aufnahmerolle vorversetzt werden muss.

Für die Fragestellung, zu welchen Zeitpunkten welche Steuerbefehle zu setzen sind, um die entsprechender Nuancierbalgpositionen zu den richtigen Zeitpunkten zu erhalten, müssen Messungen durchgeführt werden, welchen Einfluss die Befehle *forzando forte*, *forzando piano*, *crescendo forte* und *crescendo piano* und mögliche Kombinationen in Abhängigkeit der Stellung des Nuancierbalgs haben. Sind die entsprechenden Kennlinien bekannt, ist die Umsetzung der in einer Aufnahmerolle gespeicherten Lautstärke-Information auf eine perforierte Mutterrolle möglich.

Übrigens kann das Ergebnis einer Umsetzung anhand des Einspielens der perforierten Mutterrolle am Aufnahme Flügel überprüft werden. Der Vergleich der sekundären Aufnahmerolle mit der primären Original-Künstlereinspielung zeigt die Güte der Umsetzung. Fehlerhafte Abweichungen vom Original können so erkannt werden; Welte war also nicht ausschließlich auf den Höreindruck angewiesen.

Der Prozess der Umsetzung der Informationen aus einer Originalaufnahmerolle in die Mutterrolle als Kopiervorlage für verkaufsfähige perforierte Rollen ist sehr aufwändig. Es ist als wahrscheinlich anzunehmen, dass nicht alle Rollen mit der gleichen Sorgfalt umgesetzt wurden. Ein solch hoher Aufwand lohnt sich bei einer hochwertigen Künstlerrolle, wohl aber nicht bei einer volkstümlichen Schlagermelodie. Gerade bei den frühesten Rollen, deren Umsetzung Edwin Welte und Karl Bockisch noch selbst durchgeführt haben sollen, ist die Umsetzung hervorragend gelungen.

Abschließend soll ein weiteres, sehr schwieriges Thema angegangen werden, die beiden komplett elektrisch funktionierenden Play-back-Vorsetzer, die nach einer kurzfristigen chemischen Bearbeitung die mit elektrisch leitfähiger Tinte beschriebenen Aufnahmerollen direkt abspielten.

## 10. Danksagung:

Für wichtige Informationen und interessante Diskussionen danke ich:

Werner Baus, Craig Brougher, James Crank, Gerhard Dangel, Jürgen Hocker, Mark Reinhart, Eduard Saluz, Hans-Wilhelm Schmitz, Peter Zergiebel.

## Quellen und Hinweise:

- 1 Informationen zur Geschichte der Firma Welte und Söhne habe ich vor allem den Quellen 2, 3, 5 und 6 entnommen.
- 2 Die Geschichte des Hauses Welte, DMM 5, Nov. 1976, S. 7-17
- 3 Peter Hagmann, Das Welte-Mignon-Klavier, die Welte-Philharmonie-Orgel und die Anfänge der Reproduktion von Musik, Verlag Peter Lang, Bern, Frankfurt, New York 1984; diese sehr wertvolle Informationen enthaltende Buch ist seit Jahren vergriffen. Es ist jedoch auf dem Dokumenten-Server der Freiburger Universitätsbibliothek als Volltext erhältlich: <http://freidok.uni-freiburg.de/volltexte/608/> (File: hagmann.pdf 2082 KB); siehe auch: Gerhard Dangel, „Das Welte-Mignon-Klavier“ by Peter Hagmann, (siehe Hinweis 4:) MMD → Archives → January 2003 → 2003.01.09 → 03 und Robby Rhodes, Contents of „Das Welte-Mignon-Klavier“ by Peter Hagmann, (siehe Hinweis 4:) MMD → Archives → January

- 2003 → 2003.01.09 → 04
- 4 Das MMD-Archiv ist zu finden unter der Internetadresse <http://www.foxtail/Archives/Digests>.
  - 5 Q. David Bowers; Encyclopedia of Automatic Musical Instruments, Vestal Press, New York 1972
  - 6 Welte-Publikation, veröffentlicht in DMM 1, Okt. 1975, S. 9-19
  - 7 Dieses Foto wurde mir freundlicherweise von Gerhard Dangel, Augustiner-Museum Freiburg, zur Verfügung gestellt.
  - 8 Diese Welte-Publikation ist auf einer Welte-CD von Werner Baus erschienen (eMail: info@pianola.de).
  - 9 Die CD ist bei Peter Zergiebel (eMail: pz@klavier-zergiebel.de) und bei der GSM erhältlich (siehe S. 87).
  - 10 Das Welte-Patent DRP 162708 (1904) mit dem Titel „Vorrichtung an mechanischen Tasteninstrumenten zur Abstufung des Tastenanschlages“ ist in „Das Mechanische Musikinstrument“ Nr. 16 (DMM 16), Oktober 1980 veröffentlicht.
  - 11 siehe: Hans-W. Schmitz, Die Merkmale der Welte-Mignon Reproduktionssysteme, DMM 15, Okt. 1985, S. 38-39
  - 12 private Mitteilung von Hans-Wilhelm Schmitz
  - 13 Lydia Reinbolz ist z.B. auch in Quelle 14 erwähnt (allerdings fehlerhaft geschrieben); sie war Ende der Zwanziger Jahre / Anfang der Dreißiger Jahre Mitarbeiterin in der Welte-Rollenkopierabteilung
  - 14 Charles David Smith and Richard James Howe; The Welte-Mignon, Its Music and Musicians, Vestal Press (1994)
  - 15 Hermann Gottschewski, Die Interpretation als Kunstwerk, Laaber-Verlag, Laaber 1996, ISBN 3-890007-309-3
  - 16 siehe Quelle 3, S. 66-67
  - 17 Johann Friedrich Unger: Entwurf einer Maschine, wodurch alles was auf dem Clavier gespielt wird, sich von selbst in Noten setzt (1745, 1752, 1774), dargestellt von Jürgen Hocker in DMM 26, Sept. 82, S. 14-16 und DMM 27, März 1983, S. 21(Häberle, Schindele)
  - 18 Herbert Jüttemann, Mechanische Musikinstrumente, Verlag Erwin Bochinski, Frankfurt am Main (1987), ISBN 3-923639-71-6
  - 19 Jürgen Ehlers, Melograph und Melotrop von Carpentier, DMM 60, Mai 1994, S 12-17
  - 20 A. Binet, J. Courtier, Recherches Graphiques sur la Musique, erschienen in L'Année psychologique, 2e année - 1895, p. 201-222, Alcan, Paris (1896). Dieser Artikel ist in deutscher Übersetzung (von Hans-W. Schmitz) in DMM 61, Okt. 1994, S. 16-24 mit weitergehenden Informationen veröffentlicht.
  - 21 Berthold Welte gehörte als Fabrikbesitzer und Stadtrat zu den Freiburger Honoratioren, zu denen auch die Professoren der sich um die Jahrhundertwende stark entwickelnden Freiburger Albert-Ludwigs-Universität im Großherzogtum Baden gehörten (1872: 212 Studenten, 1902: 1861 Studenten, ca. 100 akademische Dozenten). Die Universitätsbibliothek war 1903 gerade in einen großzügigen Neubau umgezogen und galt zur damaligen Zeit als sehr umfangreich! (s. Quellen 22 und 23)
  - 22 Stichwort „Freiburg“, Brockhaus' Konversations-Lexikon, 14. Auflage, 7. Band, S. 252-254 (1894).
  - 23 Ludwig Neumann, Franz Völker, Der Schwarzwald in Wort und Bild, Julius Weise's kgl. Hofbuchhandlung Stuttgart (1903)
  - 24 Hans-W. Schmitz, Bemerkungen zum Bericht von Binet und Courtier und zum Aufnahmeapparat von Welte, DMM 61, Okt. 1994, S. 24-25
  - 25 Diese Abbildung einer Aufnahmerolle entstammt einer Publikation der amerikanischen Firma Welte Licensee und ist z.B. in den Quellen 4, 5 und 18 veröffentlicht
  - 26 Die frühesten mir bekannten technischen Informationen über das Welte-T100-Aufnahmesystem, die Richard Simonton während eines Besuchs von Richard Simonton bei Edwin Welte und Karl Bockisch in Freiburg im Jahre 1948 erhielt, sind in einem Artikel von Albert Goldberg in der „Los Angeles Times“ vom 9. April 1950 erschienen (in Quelle 4 abrufbar).
  - 27 Ludwig Riemann, Das Wesen des Klavierklanges und seine Beziehungen zum Anschlag, Breitkopf & Härtel, Leipzig 1911;
  - 28 Ludwig Riemann, Die musikalische Bedeutung der Kunstspielapparate, Kunstwart XIX, 23, 1. Septemberheft 1906, S. 553
  - 29 siehe Quelle 3, S. 68-69
  - 30 Eszter Fontana (Hrsg.), Im Aufnahmesalon Hupfeld, Verlag Janos Stekovics, Halle an der Saale, 2000, ISBN 3-932863-34-8 (oder 3-9804574-4-3)
  - 31 Dan Wilson; Philipps DUCA Dynamic Recording Piano, Quelle 4: MMD → Archives → January 2000 → 2000.01.27 → 20)
  - 32 Der Philipps-Aufnahmeflügel wurde von Hans-Wilhelm Schmitz wiederentdeckt, allerdings ohne die Aufnahmeeinrichtung (siehe Hans-W. Schmitz, Der Philipps-Aufnahme-Flügel und die Duca-Aufnahmen, DMM 40, Dez. 1986, S. 16-22).
  - 33 Eine von Richard Simonton autorisierte Darstellung findet sich im Beitrag „How is it possible? The Welte Technique explained“ von Ben M. Hall in Quelle 5, S. 327; sehr interessante Informationen über Richard Simonton und das Welte-Mignon-System sind auf S. 319-338 in diesem Buch enthalten; weitere Informationen sind im MMD-Archiv (Quelle 49) zugänglich, wie z.B. Quellen 34, 35, 36 sowie in 37 zu hören.
  - 34 Richard Simonton jr., „The master roll adventure of 1948“ MMD → Archives → January 2000 → 2000.01.28 → 13
  - 35 Richard Simonton jr.; Jim Crank; MMD → Archives → January 2000 → 2000.01.29 → 14
  - 36 Richard Simonton jr.; MMD → Archives → January 2000 → 2000.01.29 → 13
  - 37 Vortrag über Welte-Mignon von Prof. Dr. John Crown und Richard Simonton an der University of Southern California, 5. Januar 1964 (siehe Quelle 31); einen CD-Mitschnitt habe ich freundlicherweise von Gerhard Dangel, Augustiner-Museum Freiburg, erhalten.
  - 38 Im MMD-Archiv sind unter der Internetadresse (Quelle 4) die Beiträge einer Internet-Diskussion aus dem Jahre 2000 zur „Welte-Mignon T100 Recording System Technology“ zu finden.
  - 39 Richard Simonton jr.; Jim Crank; MMD → Archives → January 2000 → 2000.01.29 → 14
  - 40 Downloads zum Inhalt der Simonton Collection sind unter der Adresse <http://www.foxtail.com/Pictures/Welte> in der Rubrik „Other Welte documents“ möglich.
  - 41 Private Mitteilungen von Jim Crank und Craig Broughers
  - 42 Richard Simonton jr., MMD → Archives → April 2000 → 2000.04.03 → 05
  - 43 Als Protagonist gilt der Amerikaner Jeffrey Morgan, der behauptet, dass ein automatisches Aufnahmeverfahren bei Welte nie existiert habe und die gegenteilige Behauptung von Welte eine gezielte Täuschung der Kunden war (siehe auch: Craig Brougher, Welte-Mignon T100 Recording System, MMD → Archives → July 2002 → 2002.07.02 → 03)
  - 44 Bernhard Häberle, Reparatur - Renovierung - Restaurierung, DMM-Journal 40, Dezember 1986
  - 45 Kurt Binninger, Die Welte-Philharmonie-Orgel, Acta Organologica, Band 19, Berlin 1987
  - 46 s. z.B. Bernhard Siemens, Handbuch der Elektrotechnik, Bd. 1, S. 399-401, J.J. Arndt. Leipzig, 1912 (durch Anlage erweiterte Neuaufgabe der 7. Auflage 1906). Der erste brauchbare Telegraphenapparat mit Farbschrift wurde 1854 von dem österreichischen Ingenieur John konstruiert.
  - 47 siehe Quelle 3, Seite 69-70
  - 48 Das AMPICO B-Funken-Chronograph-Verfahren wurde von C. N. Hickman in The Journal of the Acoustical Society of America, Oktober 1929, S. 138 ff. ausführlich beschrieben, dieser Artikel ist unter <http://mmd.foxtail.com/Tech/Ampico/jasa.html> im Internet allen Interessenten zugänglich.
  - 49 Margit Varro, Der lebendige Klavierunterricht, N. Simrock, 4. Auflage, Hamburg 1958, S. 81.
  - 50 Bei der Beschaffung des Flügelmechanikmodells war mir dankenswerterweise Peter Zergiebel behilflich.