

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

4.0 Kleine Saitenkunde / Basic wire information

Der Saitenklang

Der Cembalobauer und Cembalospieler sucht häufig nach dem idealen Saitenmaterial mit dem besten Klang. Man spricht von betont grundtönigem oder von obertonreichem und strahlendem Klang. Von großer Brillanz, von hervorragender Sonorität, Tonreinheit, leichter Ansprache und kräftigem, langanhaltendem Schwingen. Dazu gibt es sporadisch immer wieder neue Theorien, die den idealen Klang von einem einzigen Faktor abhängig machen. Auf der anderen Seite gibt es viele, die vor der Fülle an scheinbar komplizierten Zusammenhängen ihre Neugierde verlieren.

Wir möchten hier keine vorschnelle, einfache Antwort geben, sondern verschiedene physikalische Einflussgrößen möglichst einfach erklären, damit Musiker wie auch Cembalobauer eine fundierte Saitenwahl treffen können.

Derjenige der ein klares Klangideal hat, kann natürlich leicht einen Klang in schön und hässlich einteilen. Diese Aufgabe haben ja alle Ideale, auch ausserhalb der Musik. Wer sich jedoch die Freiheit erhalten und experimentieren möchte, braucht dazu die nötigen Informationen über das erhältliche Material.

The string sound

Harpichord makers and players are always looking for the ideal string material with the best sound. People speak about emphatic fundamental or about rich and bright sound with dominant partials. They speak about great brilliance, excellent sonority, tonal clearance, easy touch and strong continuous vibrating. For this again and again there are sporadically new theories which make the ideal sound dependent on only one factor. On the other hand there are many people who lose their curiosity because of so many complex implications.

We don't want to give fast and simple answers, but we would like to try to explain different physical parameters and their influence, so that musicians and instrument makers can make a certain choice for strings.

Of course people with a clear sound ideal can divide easily a sound in lovely and ugly. All ideals, also outside of the music, have got this duty. But those who want to keep their freedom and want to experiment, will need all information about the available material.

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

Es geht im folgenden also darum, eine Basis zu schaffen, mit dem ein Saitenmaterial ausgewählt werden kann. Erste Grundlage ist natürlich, dass die Saite nicht reisst. Cembalosaiten gibt es in einem breiten Spektrum von Reissfestigkeiten. Die Reissfestigkeit (R_m) ist abhängig von:

- der Materialart (Eisen, Messing, Kupfer, etc.)
- der Legierung innerhalb einer Materialart (CuZn28, CuZn15, etc.)
- dem Herstellungsprozess (Durchmesserreduktion, Zwischenglühen, Oberflächengüte, etc.)

Die Reissfestigkeit ist technisch relativ einfach festzustellen. Leider sagt diese aber nur etwas über den Punkt aus, wo es schon zu spät ist und die Saite reisst. Also wird in der Praxis häufig ein Sicherheitsabschlag gemacht, z.B. 20% oder ein Ganzton unter der Reissgrenze. Das sind natürlich willkürliche Annahmen und auch jahrelange Erfahrung nützt gar nichts, wenn das neu eingekaufte Material nicht absolut die gleichen physikalischen Eigenschaften hat wie das vorher verwendete.

Aus diesem Grunde haben wir sehr viel Zeit in die Saitentestung investiert. Zu den von uns gelieferten Saitenspulen erhalten Sie ohne Aufpreis einen ausführlichen Prüf-Bericht mit einem Kraft-Weg-Diagramm und praktischen Hinweisen zum Einsatz des Materials.

The following text should give a basic knowledge about string materials to make the decision easier. First of all is naturally that the string should not break. Harpsichord strings are available in a big spectrum of tear resistance. The tear resistance (R_m) is dependent on:

- the type of material (iron, brass, copper, ...)
- the alloy within a type of material (CuZn28, CuZn15, ...)
- the way of production (diametre reduction, intermediate annealing, surface quality, ...)

There is no big problem to determine the tear resistance technically. Unfortunately it tells us only something about the point where it is already too late and the string is broken. In the practice there will be made a security subtraction of eg. 20% or one tone below the tearing limit. Of course these are arbitrary assumptions and also years of experiences are of no use if the new bought material does not have the absolutely same physical properties as that material used before.

That's why we invested much time and money in the string testing. You receive a detailed test report (without surcharge) to the string roles we deliver. The test report includes eg. the load deflection curve and practical hints for using the material.

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

Der Zerreistest

Zum erstellen des Prüf-Berichts wird der Draht in einer Testmaschine eingespannt. Dabei haben wir für die dünnen und schwachen Drähte eine Kraftmessdose mit 200 N maximaler Messkraft und für die starken Drähte eine Dose mit 5000 N. So erhalten wir sowohl im unteren, wie auch im oberen Bereich exakte Messergebnisse.

Schwieriger ist die genaue Messung der Verlängerung des Drahtes. Zum Messen der Dehnung ist eine immer exakt gleich grosse Prüflänge Bedingung und die Verlängerung muss im Tausendstel mm gemessen werden können. Dazu haben wir einen sogenannten Längenextensiometer mit einer genau definierten Messlänge (L) von 50 mm. Mit diesem Zusatzgerät kann die Längenveränderung (ΔL) genau festgestellt werden, ohne dass ein Nachrutschen in der Drahtklemmung oder schwankende Versuchslängen (L_e) die Ergebnisse verfälschen.

Zum Ausgleich der normalen Drahtkrümmung wird mit einer kleinen Vorkraft gearbeitet, diese liegt aber auch an der Kraftmessdose an und fließt in die Berechnung der Zugkräfte mit ein. So wird auf dem Ausdruck des Kraft-Weg-Diagramms der Diagrammbeginn der Kräfte um die Vorkraft höhergelegt, was zu einem ruhigeren Kurvenbeginn führt, aber keinen Einfluss auf die gemessenen Daten hat.

Erst durch die auf die Messung von dünnen Drähten

The tearing test

For creating the test-report the wire will be fixed in the testing machine. Therefore we have got a load measuring device for the thin and weak wires with a maximum load of 200 N. For the strong wires we have got a load measuring device of 5000 N. So we receive exact measuring results both in the lower and upper part.

The measurement of the wire stretching is more difficult. For measuring the elongation we need an always equal long testlength and the lengthening has to be measured in a thousandth of a mm. For this we have got an extensometer with an exactly defined measuring length (L) of 50 mm. With this equipment we can determine the exact change of length (ΔL) without faking the test results because of sliding in the wire clamps or because of swaying of the test lengths.

For compensating the normal wire curvature we work with a small preload. The preload is included at the load measuring device and flows into the calculation of the drawing force. So the beginning of the diagram of the load deflection curve printout is placed higher to the preload. So the beginning of the curve looks smoother but this does not have an influence on the measured datas.

Only because of the optimized test arrangement of the measuring of thin wires it is possible to make

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

optimierte Testanordnung ist es möglich, Aussagen über die Höchstzugkraft (F_m), die verschiedenen Dehngrenzen ($R_{r0,01}$, $R_{r0,03}$, $R_{p0,2}$), und die damit zusammenhängenden Resultate wie Elastizitätsmodul (E) und Steifigkeit zu machen.

Der Prüf-Bericht

Zum Verständnis der technischen Begriffe möchten wir hier auf das Glossar auf dem Prüfbericht selbst verweisen. Die Resultate Bruchgrenze, Dehngrenze, Elastizitätsgrenze und Empfehlung werden auf dem Prüf-Bericht sowohl als Spannung in N/mm^2 aufgeführt, als auch in den gemessenen N und in Prozent (%) bezogen auf die Bruchgrenze. Diese dreifache Auflistung erlaubt ein sofortiges verstehen ohne dass Umrechnungen nötig sind.

Die Spannungswerte (N/mm^2) sind interessant, da damit unterschiedliche Durchmesser miteinander verglichen werden können. Die Angaben in Kräften (N) ermöglichen ein zuordnen der Grenzen auf dem Diagramm. Liest man den Wert auf der linken Diagrammseite auf der Skala ab und sucht auf dieser Höhe den Kreuzungspunkt mit der Kurve, so erhält man auch einen optischen Eindruck von der Lage auf der gesamten Kurve. Dieselbe Aussage in Prozentwerten in Bezug auf die Reissgrenze ermöglicht auch ein beurteilen des in der Praxis häufig verwendeten pauschalen Sicherheitsabschlags.

Wie aber werden die auf dem Prüf-Bericht ausgedruckten Werte gefunden? Zunächst werden

statements about the maximum drawing force (F_m), the different elastic limits ($R_{r0,01}$, $R_{r0,03}$, $R_{p0,2}$) and the coherent results like modulus of elasticity (E) and spring stiffness.

The test report

For understanding the technical terms we would like to refer to the glossary on the test report. The results breaking limit, ultimate strength, elastic limit and recommendations are shown on the test report as well as tension in N/mm^2 and in the measured N as in percent (%) referring to the breaking limit. This triple information allows an immediate understanding without converting.

The tension values (N/mm^2) are interesting because you can compare different diameters with each other. With the information of loads (N) you can arrange the limits on the diagram. If you read the values at the scale on the left side of the diagram and if you search the crosspoint which is on the same height on the curve, you get an optical impression of the position of the whole curve. For judging about the often used safety deduction one can use the percent values referring to the breaking limit. This tripple value listing allows an immediately understanding without conversion.

But how do we find the values which are printed out on the test-report? At first we measure and store

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

während des Zugversuchs die Kraft- und die Wegveränderungen gemessen und gespeichert. Das ergibt ausgedruckt die Diagrammkurve.

Bei der gemessenen Verlängerung des Drahtes bis zum Reisspunkt, treten verschiedene Arten von Dehnung auf. Man unterscheidet in reversibler und irreversibler oder wie die Normung formuliert in elastische (ΔL_e) und nicht proportionale Verlängerung (ΔL_p).

Belastet man einen Draht nur gering und baut danach die Kraft wieder ab, so hat der Draht am Ende auch wieder seine ursprüngliche Länge. In diesem Fall wurde das Material also nur innerhalb seiner elastischen Dehnung beansprucht. Das ist vergleichbar mit einem Flugzeugflügel oder einem Auto, das nach Gebrauch wieder die gleiche Form hat wie beim Start.

Steigt die Belastung über die Elastizitätsgrenze an, bleibt nach Abbau der Kräfte eine bleibende Verformung (Σr) zurück. Das ist bei unserem Vergleich mit dem Auto eine Beule. Führt man mit einem Auto, das eine kleine Beule hat, so treten elastische und plastische Verformung (ΔL_t) gleichzeitig auf. Ist die Beule jedoch sehr groß, ist ein normaler Gebrauch nicht mehr möglich.

Die Normgebung definiert die Elastizitätsgrenze da, wo die nicht proportionale Verlängerung 0,01% der Prüflänge erreicht. Bei unserer Testanordnung mit einer Prüflänge von 50 mm im

the changes of the length and load deflection during the tensile test. This amounts the printed out diagram curve.

There are different types of stretchings on the measured extension of the wire up to the breaking point. You can differ between reversible and irreversible extension or like the standardisation says between elastic (ΔL_e) and non-proportional extension (ΔL_p).

If you only load the wire a little and then reduce the load, the wire gets back its original length. So the material has only been stressed within the elastic elongation. You can compare this with an aircraft wing or with a car which has the same shape after using it without accident like in the beginning.

If the load rises over the elasticity limit, there is a permanent deformation (Σr) after the reduction of the load. According to our comparison with the car this would be a dent. If you drive a car which has a small dent there are elastic and plastic deformations (ΔL_t) at the same time. But there is no more normal use possible if the dent is really big.

The standardisation defines the elasticity limit where the non-proportional lengthening reaches 0,01% of the test length. In our test arrangement with a test length of 50 mm in

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

Längenextensiometer, entspricht das also einer plastischen Verformung von 0,005 mm.

Zur Ermittlung der verschiedenen Dehngrenzen auf der Kraft-Weg-Kurve, muss zuerst eine Parallele zum Diagrammbeginn gelegt werden. Wir definieren den Beginn dieser Parallelen bei 20% und das Ende bei 40% der maximalen Kraft. Man könnte die Grenzen auch tiefer und enger setzen. Bei tiefliegenden Werten können aber schon kleinste Ungenauigkeiten zu starken Schwankungen führen. Ebenso können eng liegende Grenzen bei weichen Materialien zu starken Schwankungen führen. Mit dem von uns bewusst etwas gross und hoch gesetzten Intervall ist es dafür möglich, all die verschiedenen Materialien die beim Cembalobau vorkommen mit den gleichen Einstellungen zu testen und so eine optimale Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu erzielen.

Diese so definierte Parallele zeigt also eine bestimmte Steigung im Kraft-Weg-Diagramm, die zur Berechnung der Steifigkeit, auch Federkonstante genannt, gebraucht wird. Führt man diese Parallele weiter bis sich die Probe um 1 mm verlängert hat, erhält man die Federkonstante in N/mm. Da die Kraft jedoch sehr vom Durchmesser der Probe abhängig ist, kann man verschiedene Materialien nur bei gleichem Durchmesser vergleichen. Die Federkonstante fließt in die Berechnung der Inharmonizität ein.

Das Elastizitätsmodul ist eine Materialkennzahl, die die Spannung bei einer Verlängerung der Messlänge

the extensiometer this corresponds to a plastic deformation of 0,005 mm.

For the determination of the different stretch limits on the load deflection curve first we have to place a parallel to the beginning of the diagram. We define the beginning of these parallel at 20% and the end at 40% of the maximum load. We could put the limits also lower and more narrow. At lower placed values the smallest inaccuracies can lead to extrem variations. We intentional choosed an interval, so that we can test all materials which are used in the harpsichord manufacturing with the same adjustment. Because of this we have got the possibility to reach an optimized comparison of the test results.

The so defined parallel shows a certain gradient in the load and length deflection curve which is used for calculating the stiffness or the spring stiffness constant. If you transfer the parallel on until the sample is elongated by 1mm, you receive the spring stiffenss constant in N/mm. As the load is very dependent to the diametre of the sample, you can compare different materials only with the same diametre. The spring stiffness constant flows into the calculating of the inharmonicity.

The modulus of elasticity is a material index which describes the tension of an elongation of the measuring length

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

um 100% bezeichnet (Federkonstante x Messlänge / Probenquerschnitt). Das E-Modul wird in der Mensurberechnung gebraucht. Da es sich um eine Kraft pro Querschnitt (Spannung) handelt, kann man die verschiedenen Durchmesser miteinander vergleichen. Dabei stellt man fest, dass das E-Modul sowohl von der Legierung als auch von der Kaltverformung des Materials abhängig ist.

Zur Definition der 0,01%-Elastizitätsgrenze wird nun diese Parallele Linie um 0,005 mm nach rechts verschoben. Der Schnittpunkt ergibt die Elastizitätsgrenze. Genauso definiert man die 0,2%-Dehngrenze ($R_{p0,2}$), nur muss die Parallele um 0,1 mm nach rechts im Diagramm verschoben werden. Da sich die Prozentwerte der nicht proportionalen Dehnung (Σ_p) bei uns auf die Messlänge von 50 mm beziehen, sind dies auf unserem Diagramm die gemessenen Verlängerungen von 0,005 und 0,1 mm.

Eine Streckgrenze mit anschliessendem Fließbereich haben kaltverformte Saitendrähte nicht. Deshalb kann diese nicht definiert werden. Bei Materialien ohne Streckgrenze wird als Ersatz für diese die 0,2%-Dehngrenze berechnet. Diese halten wir für den praktischen Einsatz im Cembalobau für etwas zu grob. Auf der anderen Seite finden wir die Elastizitätsgrenze zu genau. So haben wir eine zusätzliche Grenze ($R_{r0,03}$) ermittelt, die wir bei 0,03% plastischer Dehnung definieren. Diese bezeichnen wir auf dem Diagramm als empfohlene maximale Spannung.

by 100% (spring stiffness constant x measuring length / sample cross section). The elasticity modulus is needed in the calculation of the scaling. As it concerns a load per cross section (tension) it is possible to compare the different diameters with each other. At the same time you find out that the elasticity modulus is dependent on the alloy and also on the cold forming while drawing the wire of the material.

For defining the 0,01%-elastic limit the parallel line is moved by 0,005mm to the right. The point of intersection is the elastic limit. Exactly that way you define the 0,2%-ultimate strength ($R_{p0,2}$), but the parallel has to be moved by 0,1mm to the right in the diagram. As the percent values of the non proportional elongation (Σ_p) refers to a measuring length of 50mm, these are the measured elongations of 0,005 and 0,1mm on our diagram.

Cold formed string wires do not have a yield point with afterwards yielding area. That's why this cannot be defined. On materials without yield point we calculate the 0,2%-ultimate strength alternatively. We think that this is too rough for the practical use in the harpsichord manufacturing. On the other hand we think that the elastic limit is too exact. So we have determined an additional limit ($R_{r0,03}$) which we defined at 0,03% plastic deformation. We call this the recommended maximum load on the diagram.

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

Das kann natürlich nur ein Richtwert sein, der in der Praxis über- oder unterschritten werden kann. Um die verschiedenen Tests von unterschiedlichen Materialien besser vergleichen zu können, haben wir die Grenze für diese Empfehlung bei allen Materialien immer gleich gewählt.

Alle vier verschiedenen Grenzen haben wir zur praktischen Anschauung auf dem Prüf-Bericht auch umgerechnet in Mensurlängen von c2 bei einem Kammerton von a1 gleich 415 Hz und bei 440 Hz.

Historische Praxis

Brauchen wir im historischen Cembalobau überhaupt solche Prüfergebnisse über das Saitenmaterial? Früher hatten die Cembalobauer doch auch keine Saitentests zur Verfügung?

Wie groß die Auswahl an Saitendrähten für die alten Cembalobauer war, wissen wir nicht. Sicherlich war der Handel in Europa mit solchen Spezialitäten wie Feindraht viel ausgeprägter als wir uns das vorstellen, ob der einzelne der Instrumentenbauer jedoch immer Zugang zu diesen Drähten hatte, oder durch die königlichen Privilegien eingeschränkt war, ist eine andere Sache. Grundsätzlich wurde damals die Mensur des Instruments nach dem gewünschten Kammerton und nach dem vorhandenen Saitenmaterial gelegt.

Das ist genau das Gegenteil von dem, was wir heute machen, wenn wir nach einer historischen Vorlage arbeiten. Wir übernehmen eine Mensur, obwohl wir über das verwendete Saitenmaterial keine Angaben haben. Of course this can be only a reference value which can be passed or fallen short in practice. For to make comparing different tests of different materials more easy, we have choosen the same limit for these recommendations for all materials.

For the practical view on the test report, we have converted the four different limits also into scaling lengths for c2 at a pitch of a1 = 415 Hz and 440 Hz.

Historical Practice

Do we need such test results about the string material in the historical harpichord making? In former times the harpsichord makers did also not have string tests at their disposal.

We do not know how big the selection of string wires for the former harpsichord makers have been. Certainly the business in Europe with such specialities like fine wire was bigger than we can imagine. It is another question whether the individual of the instrument maker had access to the wire and whether he could afford the wire everytime. Principally the scaling was made to the requested pitch and to the available string material.

This is exactly the opposite we are doing today if we work on a historical model. We adopt a scaling although we do not have much information about the used string material.

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

haben. So entsteht für den heutigen Cembalobauer die Frage, welche Saiten kann er für die originale Mensur verwenden. Die gleiche Fragestellung entsteht bei allen Reparaturen, selbst wenn ein Musiker nur eine Saite auswechseln möchte.

Die Mensurberechnung

Da wir heute durch unseren Prüf-Bericht die Zugfestigkeit (R_m) wissen, können wir schon im vornherein berechnen, ob der Draht auf einer bestimmten Mensur hält.

Die schwingende Saitenlänge zwischen den Stegen (Länge) ist abhängig von:
Frequenz, Durchmesser, Erdanziehung, Zugkraft, spezifisches Gewicht

$$l = 1 / (n \times d) \times \sqrt{(g \times p / \pi \times s)}$$

Länge = $1 / \text{Frequenz} \times \text{Durchmesser} \times \text{Wurzel aus}$
 $\text{Gravitation} \times \text{Kraft} / \pi \times \text{spez. Gewicht}$

Wenn man aus dieser Formel die Gravitation und π als Konstante mit der man Durchmesser berechnet herausnimmt und dafür die Zahl 17841 einsetzt, sieht die Formel folgendermaßen aus:

$$\text{Länge} = (17841 / \text{Frequenz} \times \text{Durchmesser}) \times \text{Wurzel aus (Kraft / spez. Gewicht)}$$

Wenn von den drei Dingen Frequenz, Spannung und Länge bei zwei Saiten ein Faktor gleich ist und ein Faktor ungleich ist, muss der dritte Faktor auch

So the harpsichord maker of today asks himself which material he can use for the original scaling. The same question arises at all restorings even if a musician wants to change only one string.

The calculation of scaling

Today we know the tensile strength (R_m) because of our test-report. So we can calculate in advance whether the wire will be stable on a certain scaling.

The vibrating string length between the bridges (length) is dependent to:
frequency, diameter, gravity, drawing force, specific weight

$$l = 1 / (n \times d) \times \sqrt{(g \times p / \pi \times s)}$$

length = $1 / (\text{frequency} \times \text{diameter}) \times \text{root of}$
 $(\text{gravity} \times \text{load} / \pi \times \text{specific weight})$

If you take out the gravity and π as constant with which you calculate the diameter and put in 17841 for it, the formula looks like this:

$$\text{length} = 17841 / (\text{frequency} \times \text{diameter}) \times \text{root of} \\ (\text{load} / \text{specific weight})$$

So if three items: frequency, tension and length on two strings one factor is equal and one is unequal, the third factor has to be unequal as well, for example:

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

ungleich sein, z. B.
Bei gleicher Frequenz und unterschiedlicher Länge zweier Saiten ist die Spannung auch unterschiedlich.

Belastet man eine Saite bis nahe an die Bruchgrenze, entsteht durch die ständige Überlastung eine kontinuierliche Verlängerung die durch nachstimmen kompensiert werden muss. Im Laufe der Zeit wird die Saite immer dünner und schwächer bis diese reißt, das kann zum Teil auch erst nach einem Jahr oder später sein. Zu beachten ist auch, dass der Zug in der Saite durch die Reibung an den Stegstiften nicht gleich hoch verteilt ist. Je grösser die Abwinklung am Steg, also je grösser die Reibung ist, desto grösser muss die Reserve im Draht sein.

Die Materialwahl

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Materialien die im Cembalobau Verwendung finden ist enorm. So kann eine weiche Kupfersaite im Bass eine Zugfestigkeit von 500 N/mm² haben und eine dünne lange Diskantsaite jedoch durchaus 2000 N/mm² haben.

Welches Material brauche ich für meine Mensur?

Ist die Mensur schon vorgegeben, wie dies heute meist der Fall ist, muss ich zwingend eine Saitenberechnung durchführen. Dann kann ich sagen, welche Spannung das Material aushalten muss. Nun kann ich ein Material auswählen, bei dem die berechnete Spannung unter der Dehngrenze liegt. Als Orientierungshilfe kann ich auch die auf

At equal frequency and unequal lengths of two strings the tension is unequal, too.

If the load of a string is near up to breaking limit, the string will be continous elongatied by the constant overload so it has to be compensated by tuning again. During the time the string gets more and more thinner and weaker until it breaks. This can also happen after one year or later. One shouldn't forget that the stress on the string is not spreaded equal because of the friction at the bridge pins. The bigger the bend is on the bridge pin the bigger is the friction, and the bigger must be the reserver on the wire.

The wire choice

The differences between the several materials which are used in the harpsichord making are enormous. So a weak copper string in the bass can have a tensile strength of 500 N/mm², and a thin and long string in the discant can have 2000 N/mm².

Which material should I choose for my scaling?

If the scaling is already given, as it is usually today, you have to carry out a calculation of scaling cogently. So one can say which tension the material has to stand and one can choose a material on which the calculated tension is below the ultimate strength. As help to find a direction one

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

dem Prüf-Bericht angegebene empfohlene maximale Spannung nehmen.

Durch diese Berechnung habe ich die Gewissheit, dass die Saite auch unter ungünstigen Einsatzbedingungen noch nicht reisst. Gleichzeitig kann ich die verschiedensten Materialien miteinander vergleichen und bekomme so ein Gefühl für materialtypische Eigenschaften.

Daraus wird ersichtlich, dass ich das richtige Material nur auswählen kann, wenn mir verschiedene Materialien zur Verfügung stehen und ich deren Eigenschaften auch wirklich genau kenne. Dabei sind natürlich Richtwerte unbrauchbar, da die tatsächlichen physikalischen Grössen im einzelnen Drahtdurchmesser sehr stark von den Richtwerten abweichen können.

Kurze geschichtliche Aspekte des Drahtziehens

In Europa sind metallene Musiksaiten aus Eisen-, Kupfer- oder Silberdraht schon ab dem 14. Jahrhundert in Gebrauch. Bis zum 18. Jahrhundert kamen noch Messing und Golddrähte dazu. Erst nach 1834 gab es dann noch die hochfesten Stahlsaiten.

can also use the recommended maximum tension on the test report.

Because of this calculation one can have the certainty that the string does not tear under unfavourable conditions. At the same time one can compare the different materials with each other and get a feeling for typical material typical profiles.

It becomes evident that one can only choose the correct material if there are different materials on your disposal and if one knows their properties really exactly. The reference values given by producers have big tolerances and are of no use for this, as the actual physical values in the several wire diametres can deviate extremly from the reference values.

Short historical aspects of the wire drawing

Metallic music strings from iron, copper or silver wire were already in use since the 14th century in Europe. Brass and golden wires were added until the 18th century. Only after 1834 there were also the high sounded steel strings.

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

Die frühen Saiten hatten noch nicht eine so hohe Zugfestigkeit wie dies mit heutigen Materialien möglich ist. Dies ist bedingt durch Schwankungen in den Legierungen durch unterschiedliche Erze und Verunreinigungen durch Schlacke, als auch durch die nachfolgende Bearbeitung durch Schmieden.

Der Draht wurde auf „*Handleiern*“ gezogen und zwar immer in die gleiche Richtung, damit das Gefüge des Drahtes trotz Verunreinigungen nicht aufgerissen wurde.

In der modernen Drahtproduktion wird das Material zuerst gewalzt. Im „*Grobzug*“ wird der Durchmesser von ca. 12 auf 3 mm verringert, im „*Mittelzug*“ erfolgt eine weitere Reduktion auf ca. 1mm um schliesslich im „*Feinzug*“ auf die ganz dünnen Durchmesser gebracht zu werden. Beim Durchziehen von Drähten durch ein konisches Ziehwerkzeug werden die einzelnen Metall-Kristalle gestreckt und gegeneinander verschoben. Gleichzeitig drehen diese sich mit ihren Gleitrichtungen in Umformrichtung ein. Dehnung, Scherung und Ausrichtung der kristallinen Struktur stehen in enger Beziehung zum Werkstofffluss. Durch Rationalisieren der Produktionsprozesse, etwa durch grosse Querschnittsabnahme des Drahtes mit grossen Zieh winkeln im Ziehstein, wird der Werkstofffluss jedoch wieder inhomogener.

Es ist also höchst interessant zu sehen, wie früher durch Beachtung einiger Regeln ein gutes Produkt erzeugt wurde und auf der anderen Seite heute, trotz umfangreichem technischem Wissen. durch den
The early strings did not have such a high tensile strength as it is possible with today's materials. This is conditional on variations in the alloy through different ores and in the soiling through dross, and even through the later adaption through forging.

The wire was drawn on handlyres in the always same direction, so that the structure of the wire could not tear open despite soiling.

In the modern wire production the material first will be rolled. In the rough draw the diameter will be reduced from 12 to 3 mm, in the medium draw there is a further reduction to 1 mm to come to the fine draw for bringing the wire to very thin diameters. On drawing the wires through a conical drawtool, the several crystals will be stretched and moved mutually. At the same time they are turning with their sliding directions in to the deformation direction. Turn, rigidity and adjustment of the crystallic structure are in close connection with the material direction. Through rationalizing the production process like through big cross section decreasing of the wire and draw stones with big draw angles, the material direction will be more inhomogen again.

So it is very interesting to see how people manufactured a good product under the observing of some rules in former times. On the other hand we know that there cannot be produced the best quality though enormous technical knowledge because of

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

Kostendruck nicht die beste Qualität entstehen muß.

Osemund Eisen

Der Begriff Osemund rührt wohl vom skandinavischen Osemundofen her. Im Laufe der Geschichte wurde der Begriff aber auf ganz unterschiedliche Eisenqualitäten und die damit verbundenen Herstellungsverfahren angewendet.

Das im Osemundofen gewonnen Eisen war direkt schmiedbar und dürfte damit dem kohlenstoffarmen Eisen aus dem Brennofen vergleichbar gewesen sein. Historiker im 19 Jahrhundert wiesen darauf hin, dass dieses Eisen trotz seines relativen hohen Phosphorgehalts nicht brüchig war. Es wurden auch Verfahren beschrieben, wie das Osemundeisen zu Stahl aufgekohlt werden konnte.

Mit dem sich im 13 Jahrhundert immer stärker verbreitenden Flussofen (Hochofentechnik), hatte man Kohlenstoff reiches Roheisen und es bestand das Problem, dieses zu entkohlen und schmiedbar zu machen. Dies war notwendig, wollte man dies genauso gebrauchen können, wie man es sich vom Osemundeisen aus dem bisherigen Brennofen gewohnt war. Das als Osemundfrischen bezeichnete Verfahren soll dazu gedient haben. Unter Osemund wurde deshalb immer mehr eine besonders qualitätsvolle Form von kohlenstoffarmen Eisen verstanden, weil dies durch die neuen Flussofen nicht mehr automatisch anfiel.

the cost-pressure today.

Osemund iron

The term Osemund comes probable from the Scandinavien Osemund-furnace. In the course of history the term was used for different iron qualities and to the belonged production procedures.

The iron which was won of the Osemund-furnace was directly forgeable and could be compared with the poorly carbon iron of the furnace. Historians in the 19th century pointed out that this iron was not brittle in spite of the high phosphorus concentration. There were also described procedures how the Osemund iron could be carburised to steel.

In the 13th century the continous furnace = "flow"-furnace become more and more common. People had rough high carbon iron and the problem was to decarborize it and to make it forgeable. This was necessary when people wanted to use it the same way how they were used to use the Osemund iron from the previous furnace. The procedure called „Osemundfrischen“ should have served to it. Osemund became more and more to an especially qualitative mould of carbon poor iron because this did not came up automatically through the new "flow"-furnace.

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

Letztlich wurde der Begriff Osemundeisen, bzw. Osemundstahl auch auf in Sandwichtechnik zusammengefügte Materialien verwendet. Dabei wurden kohlenstoffreiche mit kohlenstoffarmen Schichten zusammengeschiedet und gefaltet. Die Silikateinschlüsse dürften sich im kohlenstoffarmen Eisen mechanisch stark bemerkbar gemacht haben.

Phosphor

Wie schon erwähnt, gibt es Hinweise aus dem 19. Jahrhundert, dass das Osemundeisen einen relativ hohen Phosphorgehalt haben soll. Auch in neuen Untersuchungen aus USA wird darauf hingewiesen.

Bei eigenen Materialanalysen in der Bundesanstalt für Materialforschung haben wir festgestellt, dass auch moderner Klaviersaitendraht extrem hohen Phosphorgehalt hatte. Das konnte natürlich nicht sein, den Phosphor und Schwefel gelten als Stahlschädlinge, die brüchig machen. Eine Nachfrage ergab, dass durch die modernen Fluoreszenz Messmethode nicht zwischen Oberfläche und Kern unterschieden werden kann.

Der Klaviersaitendraht hatte also nur eine phosphatierte Oberfläche zum Schutz vor Oxidation. Wie die Untersuchungen in den USA durchgeführt wurden, wissen wir nicht.

Wissenswert ist in diesem Zusammenhang die historische Herstellung von Draht. Nach jedem

At least the terms Osemund iron respectively Osemund steel were used for materials that were assembled with sandwich technique. Here the carbon rich and carbon poor deposits were forged and folded together. The silicate inclusions in the poor carbon iron made special effects in the mechanic.

Phosphorus

As already mentioned there are indications from the 19th century of the relatively high phosphorus concentration in the Osemund iron. Also new analysis in the USA point to this.

On own material analysis at the „*Bundesanstalt für Materialforschung*“ we locked that also modern piano strings have got an extremely high phosphorus concentration. Of course this could not be as phosphorus and sulphur are regarded as steel damager which make it brittle. A demand showed that it is not possible to distinguish between surface and core because of the modern fluorescence measuring method.

So the piano string wire only had a phosphated surface for the protection against oxidation. We do not know how the analysis in the USA were made out.

To this point it would be good to know something about historical wire production. After several

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

Ziehdurchgang muss der Draht wieder weichgeglüht werden. Dies war notwendig, da man noch kein Hartmetall oder Diamant als Ziehsteine kannte. Das sogenannte „Hol“ war also nur gering härter als das zu ziehende Material.

Nach dem Glühen musste der Draht entzundert werden. Dazu brachten alle Drahtzieher einer „Drahtrolle“ jeden morgen in einem Kübel den gesammelten Urin der ganzen Familie mit. Der Draht wurde zum entzunden im Urin gebeizt, das Material hat sich mit dem Phosphor aus dem Urin angereichert. Vorallem der Urin von Kindern enthält viel Phosphor und wurde ja in den kinderreichen Familien gesammelt. Man sagt, die Arbeiter hätten dafür am Abend im selben Kübel Rapsöl das zum ziehen verwendet wurde mit nachhause genommen, um die Kartoffeln zu braten.

Es fragt sich also, ob die beschriebene leichte Anreicherung mit Phosphor etwas mit dem Herstellungsprozess zu tun hat und weshalb der Phosphor seine schädigende Wirkung im Osemundeisen nicht entfaltet. War dies deshalb, weil der Phosphorgehalt nur aussen erhöht war? Beim falten und erneuten schmieden kommt diese äussere Schicht wohl nach innen, aber nicht auf dieselbe Weise, als wenn der Phosphor im Gefüge verteilt ist.

Saitendurchmesser und Verlängerungskoeffizient

Remy Gug zeigt in seiner Untersuchung zur Nürnberger Drahtnumerierung, dass früher die Drahtdurchmesser

drawings the wire had to be softened again by annealing. This was necessary because people hadn't had hard metal or diamonds as drawing stone. The so called „Hol“ was only a little harder as the material which had to be drawn.

After annealing the wire had to be descaled. For this each of the wire drawers of a „Drahtrolle“ (= means workshop for producing the wire)brought the collected urine from the whole family in a bucket every morning. The wire was pickled in the urine for descaling. As urine contains much phosphorus it is conceivable that the material adds itself with this. Especially the urine of children contains much phosphorus and was collected in the children rich families. It is told that the workers took home rape oil, which was used for drawing in the evening, in the same bucket for roasting potatoes.

So it could be asked wether the described slight enrichment with phosphorus is in touch with the production procedure and also why the phosphorus does not do its harmful effect in the Osemund iron. Perhaps the phosphorus concentration was only increased on the outside? On folding and once more forging the surface of the outside layer gets to the inside. But this is probably not in the same way as it phosphorus is distributed in the structure.

Stringdiametre and elongation coefficient

Remy Gug shows in his analysis to the Nuremberg wire numbering that the wire diametres

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

durch Gewicht und Länge definiert wurden, da der für uns selbstverständliche Mikrometer damals noch nicht zur Verfügung stand. Bekannt war früher wohl die Drahtklinke, diese ist aber ein Prüf- und kein Messinstrument. Andererseits sind uns die damals gebräuchlichen Gewichts- und Längeneinheiten nicht mehr vertraut.

Bei dieser von Gug beschriebenen Vorgehensweise musste der Drahtzieher pro Gewichtseinheit eine bestimmte vorgegebene Drahtlänge erreichen. Wird ein Draht im Durchmesser halbiert, so wird er vier mal länger. Die Drahtlänge ist natürlich einfacher zu messen als der Drahtdurchmesser. Bekannt sind Drahtspindel mit definiertem Umfang, über den der zu messende Draht gezogen wurde. Beschrieben sind auch „Zängelmaße“, dabei handelt es sich um ein Stück Blech, das an der oberen Kante schräg abgeschnitten war und vier Markierungen hatte. Wenn der Draht sich von der ersten zur vierten verlängert hatte, so war eine Durchmesserstufe erreicht.

Wollte ein Drahtzieher eine bestimmte Gewichtseinheit auf z. B. 100m Länge ziehen und verfehlte diese um 2,5%, also 102,5 m statt 100 m, so entspricht das einem Durchmesserfehler von 0,005 mm beim Durchmesser 0,2 mm. Mit dem „Zängelmaß“ konnte die Verlängerung schon an einer kleinen Probe vorab bestimmt werden. Das „Zängelmaß“ hatte 48,8 mm (2 Zoll). Hatte der Drahtzieher aber den beschriebenen Fehler von 2,5%, so wäre das eine Länge von 1,22 mm. Dies ist eine Fehlergröße, die der Drahtzieher problemlos

were defined through weight and length in former times as people hadn't had the micrometer as we. People knew the „Drahtklinke“ which was for testing but not a measuring instrument. On the other one shouldn't forget the weight and length units at that times haven't been standardised. .

Gug described this procedure how the wire drawer had to reach a certain given wire length per weight unit. If a wire will be reduced halven in the diameter it will become four times longer. Of course the wire length is easier to measure than the diameter of the wire. The wire spindles with defined extent were well known. The wire which should be measured was drawn over it. Also „Zängelmaße“ are described. This is a piece of sheet metal which was cutted slanting at the upper border and which had four marks. If the wire lengthened from the first to the fourth mark one diameter reduction step was reached, for example:

If a wire drawer would draw a certain weight unit to eg. 100m length and he missed it by 2,5%, that means 102,5m instead of 100m, this corresponds to a diameter flaw of 0,005 mm at the diameter 0,2 mm. The elongation could be defined in advance with only a small sample with the „Zängelmaß“. The „Zängelmaß“ had 48,8 mm (2 inch). If the wire drawer made the described flaw of 2,5% the length was 1,22 mm. This is a flawsize which could be seen

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

mit dem „Zängelmaß“ feststellen konnte.

Es war früher durchaus möglich, exakte Durchmesserabstufungen zu erreichen. Durch das Verfahren mit dem „Zängelmaß“ sind auch gleichmässige Durchmesserreduktionen mit konstanten Reduktionskoeffizienten gegeben.

Für unsere Zeit stellt sich die Frage, sollen die Drahtdurchmesser in einem metrischen System mit z. B. 0,20 mm; 0,225 mm; etc. hergestellt werden oder ist es für den Instrumentenbau und die Mensurauslegung nicht wichtiger eine gleichmässige Durchmesserreduktion zu haben?

Wir haben uns für das Nürnberger System entschieden, wie dies von Remy Gug beschrieben wurde. Dabei ist es nicht entscheidend, ob die von ihm gemachte Nummerierung historisch korrekt ist, sondern dass die Durchmesserreduktion über den ganzen Bereich 5,313 % beträgt. Damit sind feine und gleichmässige Durchmesserübergänge möglich, wie dies mit einer metrischen Abstufung nicht machbar wäre.

Saitenbestellung

Am besten bestellen Sie die gewünschten Saiten durch die Angabe der Bestellnummer aus dem Katalog. Wenn Sie diese nicht sicher ermitteln können, bieten wir Ihnen dazu einige Dienstleistungen an (siehe weiter unten).

with the „Zängelmaß“ without any problem.

In former times it was quite possible to reach exact diameter steps. Through the procedure with the „Zängelmaß“ there are also constant diameter reductions with constant reduction coefficients.

In our time the question is if the wire diametres should be produced in a metric system eg. 0,20 mm, 0,225 mm, etc. or if it is more important to have a regular diameter reduction for the instrument building or the scaling interpretation.

We have decided for the Nuremberg system how it was demanded from Remy Gug. It is not decisive if the numbering made of him is historical correct, but that the diameter reduction runs over the whole range in 5,313 % steps. With this a fine and regular diameter transition is possible, what would not be able with a metric gradiation.

String order

The best way is to order the wished strings through giving the article numbers which you can find in the catalogue. If you cannot dertermine them certainly, we offer some services (see further below).

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

Umtausch von falsch bestellten Saiten

Bitte haben Sie Verständnis dafür, dass wir falsch bestellte Saiten nicht umtauschen können. Dabei geht es um Kunden., der dann den Draht bekommen würde, dessen Korrosionsschutz nicht gewährleistet ist. Niemand möchte angebrochene Saitenspulen bekommen oder Saitenmaterial, das oxidiert, weil es zu feucht gelagert oder mit den Fingern berührt wurde.

Saitenpreise

Die Preise für alle Saitenspulen aus unserem Katalog sind inklusive dem mitgelieferten Prüfbericht. Dies gilt nicht für Röslau-Klaviersaitendraht. Alle einzelnen Ersatzsaiten werden ebenfalls ohne Prüfbericht geliefert.

Da es sich bei Saiten- und Mensurbestimmung um eine komplexe Problematik handelt, ist im Materialpreis kein Aufschlag für Beratung enthalten. Dienstleistungen zur richtigen Saitenauswahl bieten wir separat an.

Betellung von Ersatzsaiten

Sollten Sie keine genauen Angaben über das benötigte Material machen können, bieten wir folgende Möglichkeiten an:

A. Berechnung einer Ersatzsaite

Art.Nr. 73- 1850 Euro 10.50

B. Berechnung von weiteren Ersatzsaiten

Art Nr 73-2015 Euro 3.50 / Stück

Exchange of wrong ordered strings

Please see that we cannot exchange wrong ordered strings. This is because of the rust protection of the next customer. Nobody wants to get started on string roles or string material which oxidizes because it was stocked too moisty and it was touched with inprotected fingers.

String prices

The string prices in our catalogue are including the enclosed test report except for Röslau-piano string wire. Also all replacement string will be delivered without a test report.

As string and scaling determinations are complex, no surcharge for consultation is included to the material price. Services for choosing the correct strings are offered separatly.

Order for replacement strings

If you cannot make sufficient information about the required material, we offer the following possibilities:

A. Calculation of one replacement strings

Art.No. 73- 1850 Euro 10.50

B. Calculation of further replacement strings

Art.No. 73-2015 Euro 3.50 / piece

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

Dazu benötigen wir folgende Angaben:

- Ton
- Länge der Saite zwischen den Stegnägeln
- Kammerton
- Ø der Saite oder der benachbarten Saite
- Drahtmuster, falls Sie den Ø nicht angeben können
- gewünschte Anzahl der Ersatzsaiten
- Typ und Hersteller: Clavichord
Cembalo
Hammerflügel

C. Reisstest im Kundenauftrag,

Art.Nr. 73- 3826

- 1 Stück Euro 50.00 / Stück
- 2 - 5 Stück Euro 40.00 / Stück
- 6 - 9 Stück Euro 35.00 / Stück
- ab 10 Stück Euro 30.00 / Stück

Alternativ können wir einen Reisstest mit einem genügend langen Stück der gerissenen Saite durchführen, bei dem u. a. die Bruch-, Elastizitäts- und Dehngrenze gemessen wird. Mit diesen Angaben lässt sich abschätzen, welches Material Sie benötigen.

Bestellung von Mensurberechnungen

Sollte ein ganzes Instrument neu bezogen werden, bieten wir auch die Berechnung ganzer Mensuren an. Wenn dabei mehrere Materialien technisch möglich sind, erhalten Sie verschiedene Besaitungsvorschläge. Diese Mensurberechnungen liefern wir auf Wunsch auch mit einem Kommentar zu Besaitungsvorschlägen. Sofern Sie über die

Therefore we need the following information:

- tone
- vibrating length of the string (between the bridge pins)
- pitch
- Ø of the string or of the both neighboured strings
- string sample if you cannot give the diameter
- type and manufacturer of the: clavichord
harpsichord
piano forte

C. Tearing test on request of the customer

Art.No. 73- 3826

- 1 piece Euro 50.00 / piece
- 2 - 5 pieces Euro 40.00 / piece
- 6 - 9 pieces Euro 35.00 / piece
- from 10 pieces Euro 30.00 / piece

Alternatively we can carry out a tearing test with a long enough piece of the teared string. Among other things the break- and elasticity-limit and the ultimate strength will be measured. With these information it is possible to estimate which material you should require.

Order of scaling calculations

If an instrument should be completely restrung we also offer the calculation of scalings. If several materials are technically possible you receive different scaling suggestions. If wished we also deliver the scaling calculations with commentary to the suggestions. In case you have got the necessary

4. Saiten / Strings / Cordes / Corde

nötigen Sachkenntnisse verfügen und die technischen Voraussetzungen haben, können Sie sich auch im Internet das als Shareware angebotene Mensurberechnungsprogramm "Mensurix" herunterladen (<http://home.t-online.de/home/bstopper/>).

- D. Berechnung einer ganzen Mensur
Art.Nr. 73-1851 Euro 130.00
- E. Berechnung einer ganzen Mensur mit ausführlichem Kommentar
Art.Nr. 73-3465 Euro 160.00
- F. Berechnung eines Bassbezugs
Art.Nr. 73-3470 Euro 70.00
- G. Berechnung eines Bassbezugs mit ausführlichem Kommentar
Art.Nr. 73-3469 Euro 85.00

expert knowledge and the technical requirements, you can also download the scaling-calculator-programm called „Mensurix“ from the internet as shareware (<http://home.t-online.de/home/bstopper/>).

- D. Calculation of scaling
Art.No. 73-1851 Euro 130.00
 - E. Calculation of scaling with detailed commentary
Art.No. 73-3465 Euro 160.00
 - F. Calculation of scaling with bass
Art.No. 73-3470 Euro 70.00
 - G. Calculation of scaling with bass and detailed commentary
Art.No. 73-3469 Euro 85.00
-