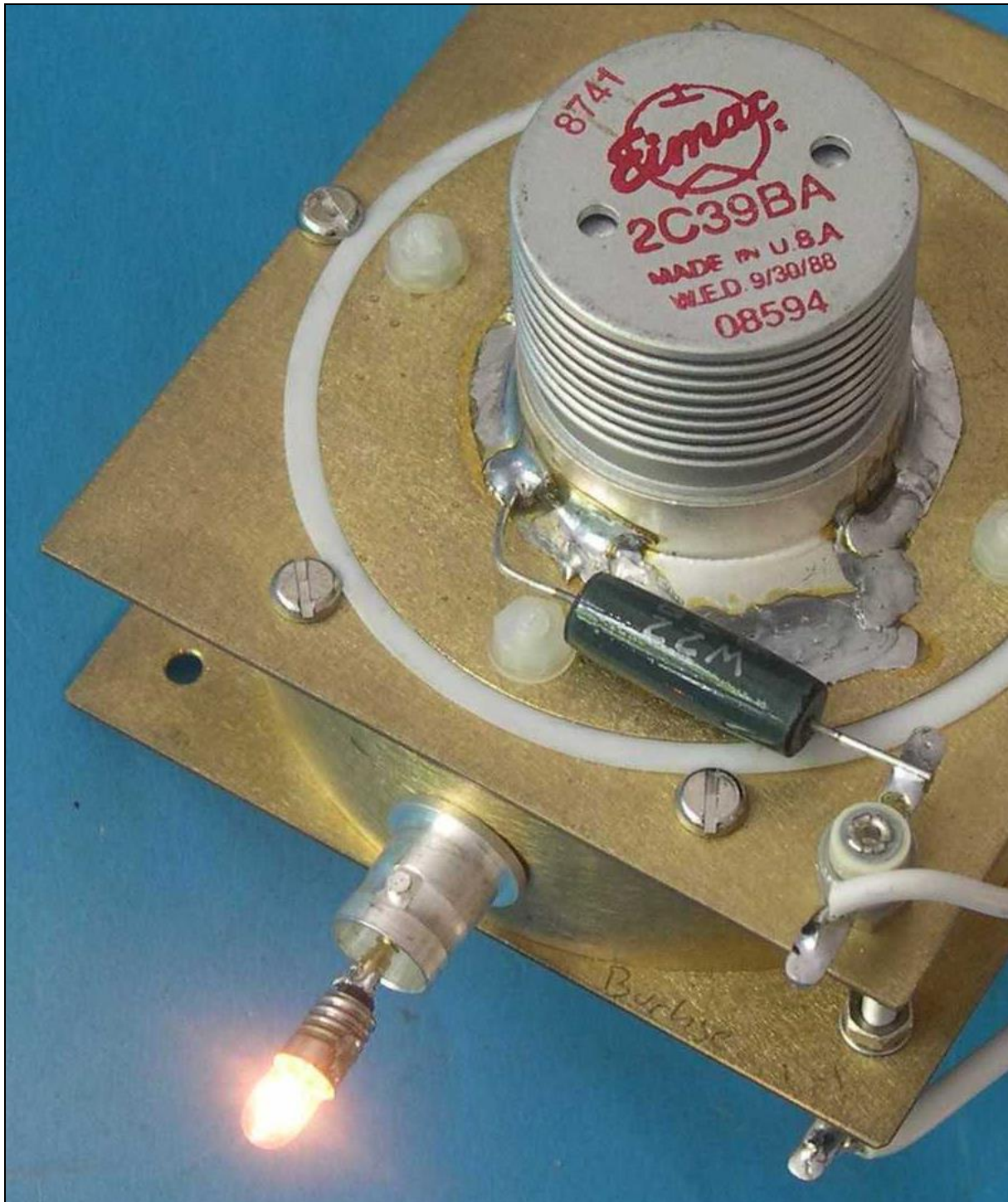


Der 1,3 GHz- Topfkreisoszillator

Von Michael Schüler und Henry Westphal



Vorbemerkung

Dieser Bericht dokumentiert den Entwurf, Aufbau und Inbetriebnahme eines selbstschwingenden Leistungoszillators im 1,3GHz-Band, wie sie im Jahr 2006 im Rahmen eines Lehrauftrags des Verfassers am Fachgebiet EMSP der TU-Berlin, in Zusammenarbeit mit der Firma TIGRIS-Elektronik GmbH, durchgeführt wurde.

Dieser Bericht ist als Erfahrungsbericht und nicht als detaillierte Bauanleitung zu verstehen. In diesem Oszillator sind viele Spezialteile verwendet, die kundenspezifisch sind oder, da heute nicht mehr gefertigt, gebraucht bezogen wurden. Wer plant, einen derartigen Oszillator zu bauen wird daher immer die konkrete Schaltung nach den tatsächlich zum Zeitpunkt der Planung zur Verfügung stehenden Bauteilen auslegen, so wie auch wir es getan haben.

In diesem Bericht ist der gesamte Arbeitsprozess, von der Konzeption, über den Detailentwurf, die Inbetriebnahme bis hin zum erfolgreichen Einsatz in Experimenten zur Visualisierung von Hochfrequenzeffekten ausführlich und nachvollziehbar beschrieben. Der Großteil des hier Beschriebenen ist auch dann hilfreich, wenn man eine andere als die hier beschriebene Schaltung aufbaut.

Bitte beachten Sie unbedingt die folgenden Hinweise:

Sendeanlagen dürfen entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen nur von lizenzierten Funkamateuren auf den dafür zugelassenen Frequenzen betrieben werden.

Diese Schaltung arbeitet mit lebensgefährlicher Spannung. Kondensatoren können tödliche Spannungen über längere Zeit halten. Stellen Sie daher unbedingt den Berührungsschutz sicher und verbinden Sie alle berührbaren Metallteile mit einer sicheren Erdung ausreichenden Querschnitts.

Diese Schaltung gibt erhebliche Hochfrequenzleistung ab. Bei Berührung des Ausgangskreises können gefährliche Verbrennungen entstehen.

Sie können den Verfasser, Henry Westphal, unter hw@tigris.de kontaktieren.

Die Idee.

Weitere Erhöhung der Oszillatorfrequenz über 1GHz hinaus.

Im Rahmen des Projekts High-Speed wurden bereits mehrere Oszillatoren auf der Basis von instabilen Multivibratorschaltungen in Kathodenbasisschaltung realisiert. Hierbei wurde angestrebt, mit diesem Schaltungsprinzip möglichst hohe Frequenzen zu erzeugen. Es zeigte sich jedoch, daß dieses auf den Frequenzbereich unter der Größenordnung 300 MHz limitiert ist.

Es bestand die Herausforderung, völlig neue Lösungsansätze zu finden und damit die „Schallmauer“ 1 GHz zu überschreiten.

Mit diesem Oszillator besteht dann auch die Möglichkeit, einige Eigenschaften von Mikrowellen kennenzulernen.

Der Lösungsansatz

Die Begrenzungen des instabilen Multivibrators in Kathodenbasisschaltung

Die Untersuchungen am 270 MHz-Oszillator, die in einem separaten Kapitel beschrieben sind, zeigen zwei grundsätzliche Beschränkungen des instabilen Multivibrators in Kathodenbasisschaltung auf:

Mit höher werdender Frequenz werden die Induktivitäten und die Kapazitäten der verwendeten Schwingkreise immer geringer. Da aber in der Praxis bestimmte Kapazitätswerte, schon aufgrund der Abmessungen der Röhrenelektroden, nicht unterschritten werden können, nimmt die resultierende Impedanz der Schwingkreise mit zunehmender Frequenz ab.

Das führt dazu, daß sich die am Schwingkreis ausbildende HF-Spannung mit steigender Frequenz immer mehr reduziert, während der im Schwingkreis fließende Strom immer mehr zunimmt.

In der Folge ergibt sich zum einen eine mit der Frequenz steigende Anodenverlustleistung und zum Anderen wird es immer schwieriger eine hinreichende Steuerspannung für die Mitkopplung der Multivibratorschaltung aus dem Schwingkreis auszukoppeln. Die Impedanz der Gitter-Kathoden-Strecke der Röhre nimmt zudem, da es sich um eine Kapazität handelt, mit steigender Frequenz ab. Daher wird ein mit der Frequenz zunehmender Strom durch diese benötigt, um noch eine hinreichende Steuerspannung über ihr aufzubauen. Damit ist es nicht möglich, die Kapazität der Koppelkondensatoren proportional zur gewünschten Frequenz zu verkleinern. Die somit vorhandene kapazitive Belastung des Schwingkreises verhindert dann, daß beliebig hohe Frequenzen mit diesem Schaltungsprinzip erreicht werden können.

Der Übergang vom Lecherkreis zum Topfkreis

Der Übergang von der offenen, zweidimensionalen Struktur des Lecherkreises zur geschlossenen, dreidimensionalen Struktur des Topfkreises ermöglicht es, trotz der für sich genommen geringen Blindwiderstände der Komponenten des Schwingkreises eine hohe Güte des Schwingkreises zu erhalten. Die Güte eines Schwingkreises ist das Verhältnis der in ihm gespeicherten Leistung (in Form von elektrischer und magnetischer Feldenergie) und den an ihm auftretenden Verlusten durch ohmsche Widerstände und durch Abstrahlung. Eine hohe Güte des Schwingkreises führt zu einem hohen Scheinwiderstand des Schwingkreises im Resonanzfall, es baut sich also eine hohe Spannung an diesem auf.

Da der Topfkreis eine geschlossene Struktur darstellt, kann keine HF-Energie aus ihm entweichen, die Verluste durch Abstrahlung sind also minimiert. Durch den großflächigen Aufbau des Topfkreises werden weiterhin die ohmschen Verluste minimiert.

Wenn eine Struktur in die Größenordnung von 10% der Wellenlänge kommt, beginnt sie in signifikantem Maße HF-Energie abzustrahlen. Bei einer Frequenz von 1 GHz beträgt die Wellenlänge nur noch 30 cm. Strukturen, die größer als 3cm sind, beginnen also bei 1 GHz HF-Energie abzustrahlen. Die Abmessungen der Röhrenelektroden kommen bereits in diese Größenordnung. Diese Betrachtung unterstreicht die Notwendigkeit, in diesem Frequenzbereich geschlossene Topfkreise einzusetzen.

Der Topfkreis besteht aus einem geschlossenen Metallzylinder (oder Rechteck), in dem sich ein Innenleiter (Steg) befindet. Über Koppelschleifen oder -schlitze wird HF-Energie ein- oder ausgekoppelt.

Eine Analogie hilft, den Topfkreis zu verstehen: Den Innenleiter kann man sich als einen der beiden Leiter eines Lecherkreises vorstellen. Der Zylinder entspricht dem anderen Leiter des Lecherkreises, er ist sozusagen mehrfach dupliziert und kreisförmig auf der Fläche des Zylinders "ausgewalzt". Der Innenleiter ist an einem Ende mit dem Boden des Zylinders verbunden, sein anderes Ende steht dem Deckel des Zylinders gegenüber. An dem mit dem Boden verbundenen Ende des Innenleiters ist das Strommaximum, während an dem gegenüberliegenden Ende des Innenleiters das Spannungsmaximum ist.

Man hat hier tatsächlich die vom $\lambda/4$ -Lecherkreis her bekannten Strom- und Spannungsverläufe entlang des Innenleiters. Es findet eine erhebliche "elektrische Verlängerung" statt, der Innenleiter unseres Topfkreises ist wesentlich kürzer, als es ein Viertel der Wellenlänge im freien Raum wäre.

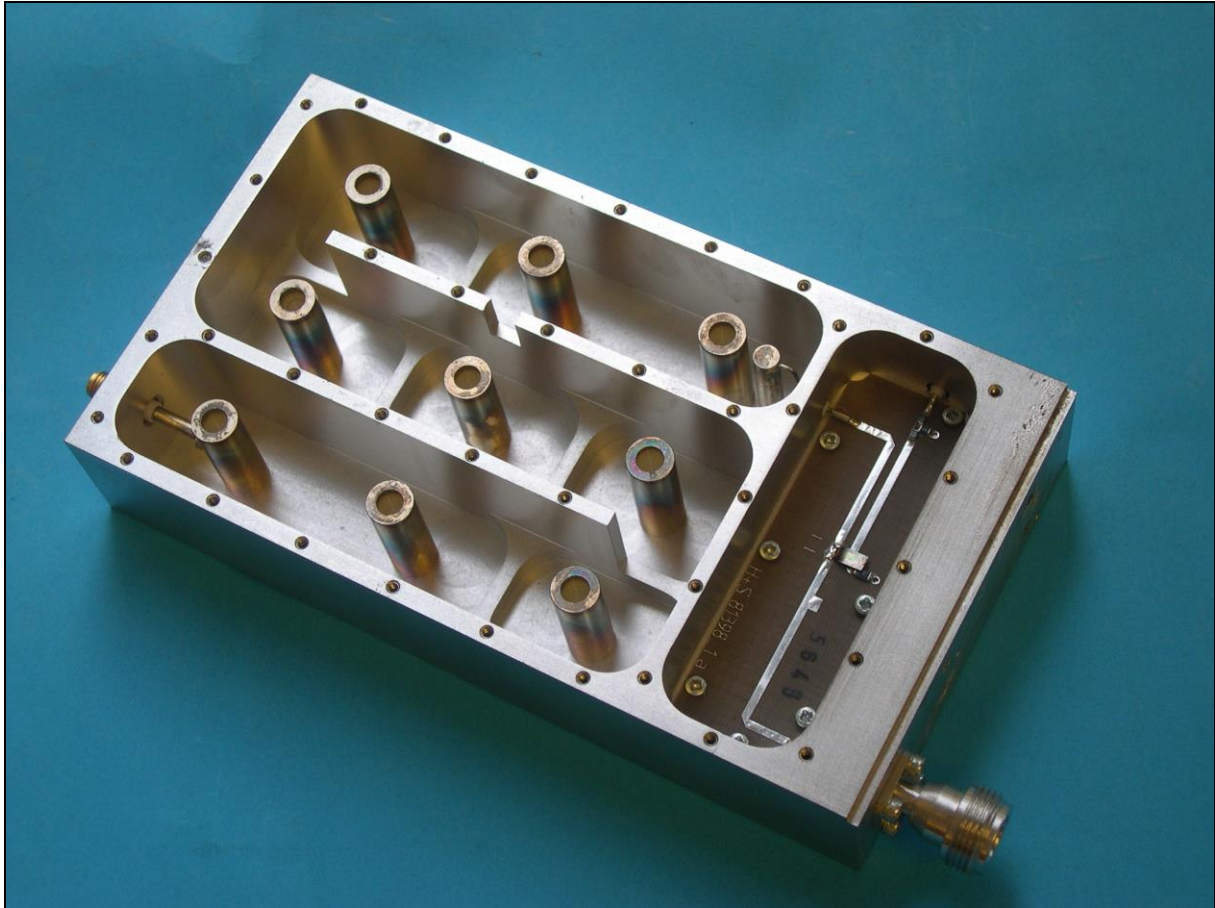
A schematic cross-section of a top-coupled resonator. It shows a rectangular metal cavity with a central vertical rod labeled 'Innenleiter'. The top of the rod is labeled 'Spannungsmaximum' (voltage maximum) and the bottom is labeled 'Strommaximum' (current maximum). On the left side, there is an 'HF-Eingang' (RF input) and on the right side, an 'HF-Ausgang' (RF output), both connected to the bottom of the cavity. The top of the cavity is closed.

Schnitt durch einen Topfkreis

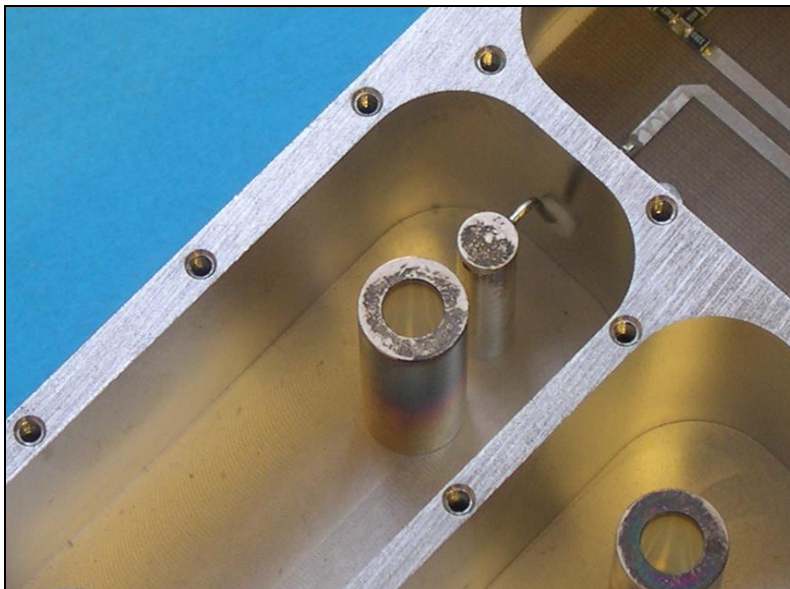
In der Praxis werden Topfkreise meist aus massivem Vollmaterial gefräst, da zur konstanten Einhaltung einer gegebenen Resonanzfrequenz eine absolute Formstabilität vonnöten ist. Da der Stromfluß aufgrund des Skin效ekts nur auf der Oberfläche der Metallteile erfolgt muß diese, zur Erzielung einer hohen Güte glatt und niederohmig sein. Insbesondere ist die Benetzung der Oberfläche mit Lötzinn schädlich und muß daher minimiert werden.

Auf den Folgeseiten sind einige kommerziell gefertigte Topfkreise abgebildet.

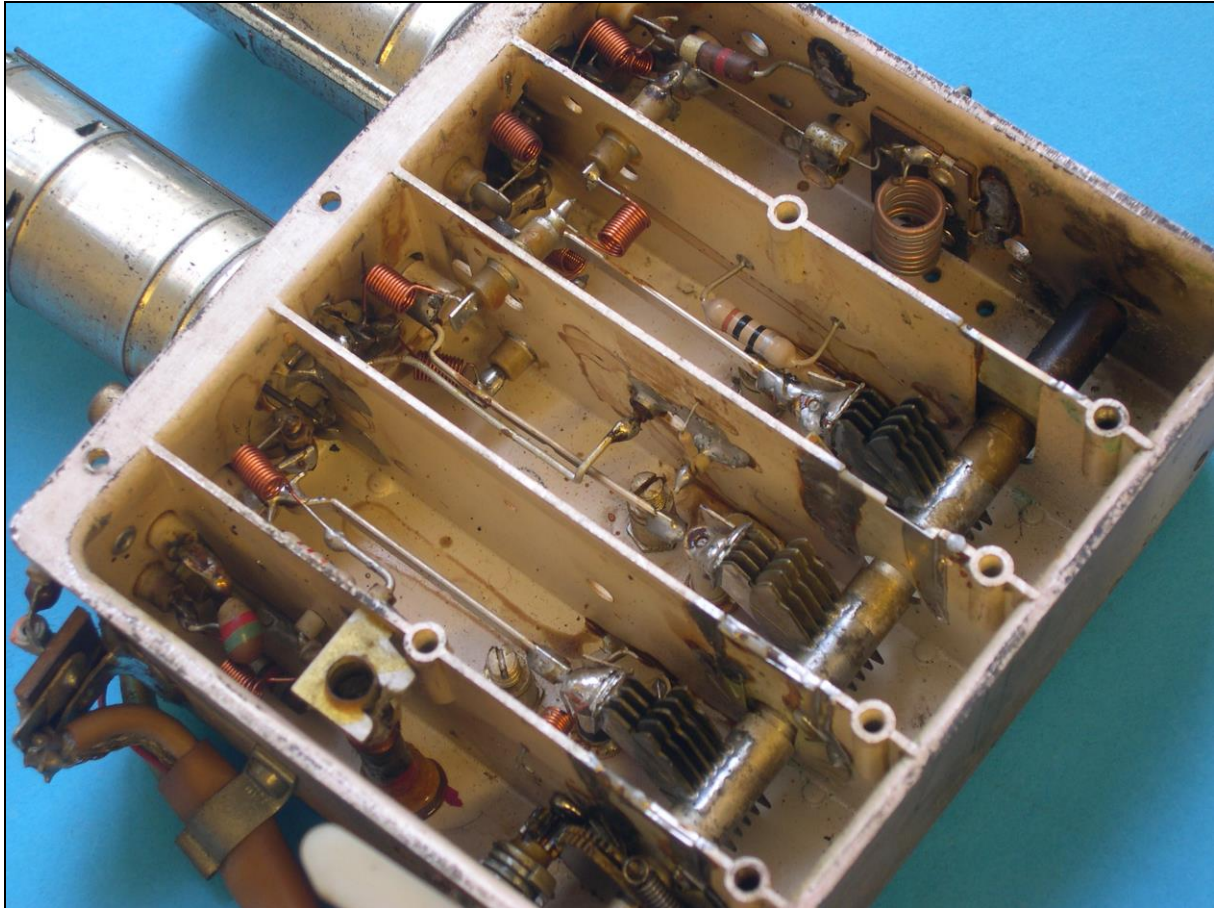
Seite 7-4



Bandpass aus einer Mobilfunk-Basisstation von E-Plus (1,8 GHz) mit 9 miteinander gekoppelten Topfkreisen.

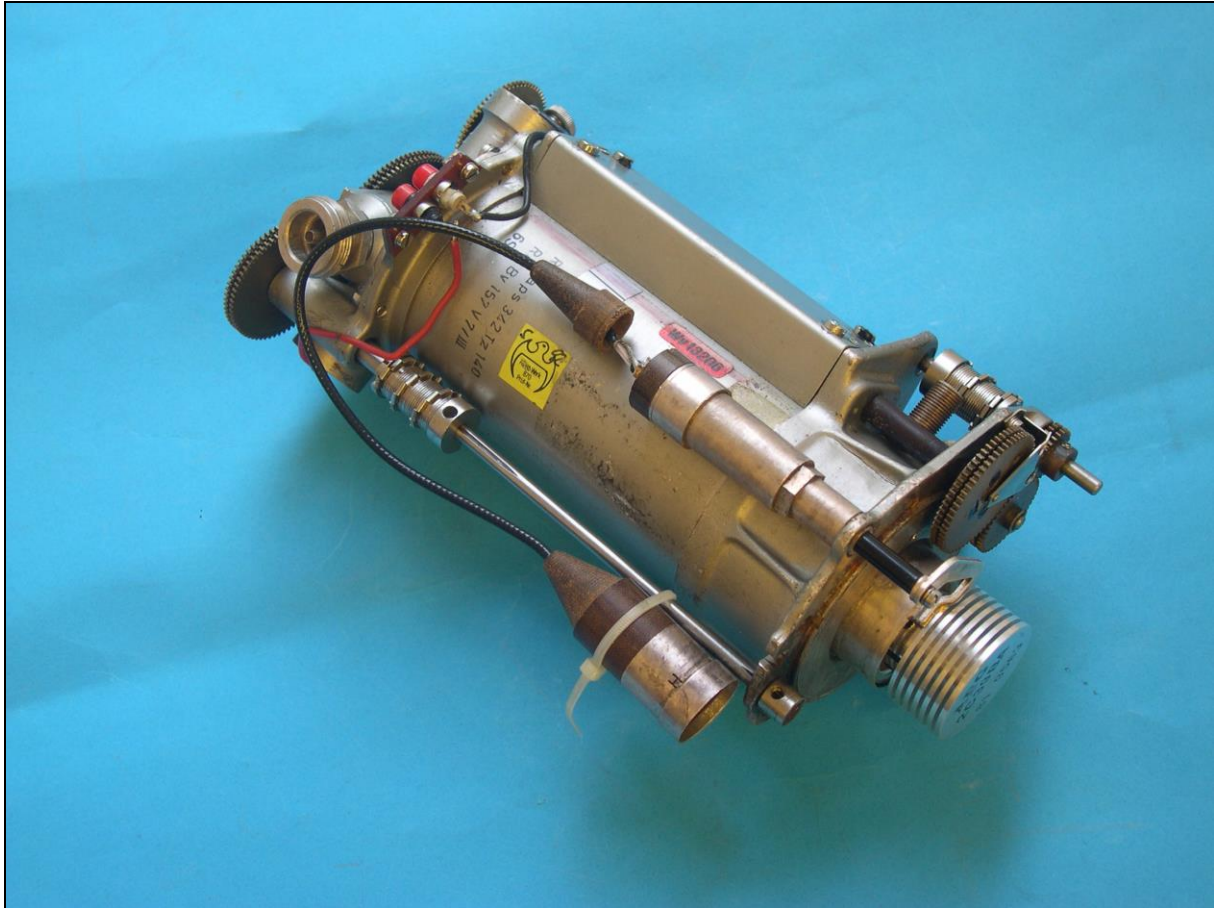


Detailansicht der HF-Auskopplung mit einer Koppelschleife



Abstimmbare Topfkreise in einem UHF-Tuner von Loewe-Opta aus dem Jahr 1961

Die Abstimmung erfolgt durch Variation der Kapazität an den „offenen Enden“ der stegförmigen Innenleiter mittels Drehkondensatoren. In dem mittleren Topfkreis ist gut die parallel zum Innenleiter platzierte Koppelschleife zu erkennen. Im obersten der drei Topfkreise fällt ein an der Trennwand befestigter 10 Ohm-Widerstand auf. Er erscheint beim ersten Hinsehen als sinnlos, da seine beiden Anschlußdrähte mit der geerdeten Trennwand verbunden sind. Der Sinn dieses Widerstands ist es, die Güte und damit die Durchlaßbandbreite des Topfkreises einstellen zu können, in dem dieser mehr oder weniger in die Nähe des Innenleiters gebracht wird. Der Widerstand wirkt wie eine Serienschaltung aus einer idealen Koppelschleife und einem Widerstand. Die in diesem Widerstand entstehende Verlustleistung mindert die Güte des Kreises. Bei Annäherung des Widerstands an den Innenleiter steigt der Ankopplungsgrad und damit die Verlustleistung.



Abstimmbare Leistungsbaugruppe mit zwei gekoppelten, koaxial angeordneten, Topfkreisen für das 13cm-Band (2,3 GHz) aus einer militärischen Sendeanlage.

Die Zahnradgetriebe dienen der gleichlaufenden Abstimmung der beiden Topfkreise. Der rechts unten sichtbare Kühlblock ist Bestandteil der zu dieser Baugruppe gehörenden UHF-Leistungstriode 2C39BA.

Der Übergang von der Kathodenbasisschaltung zur Gitterbasisschaltung

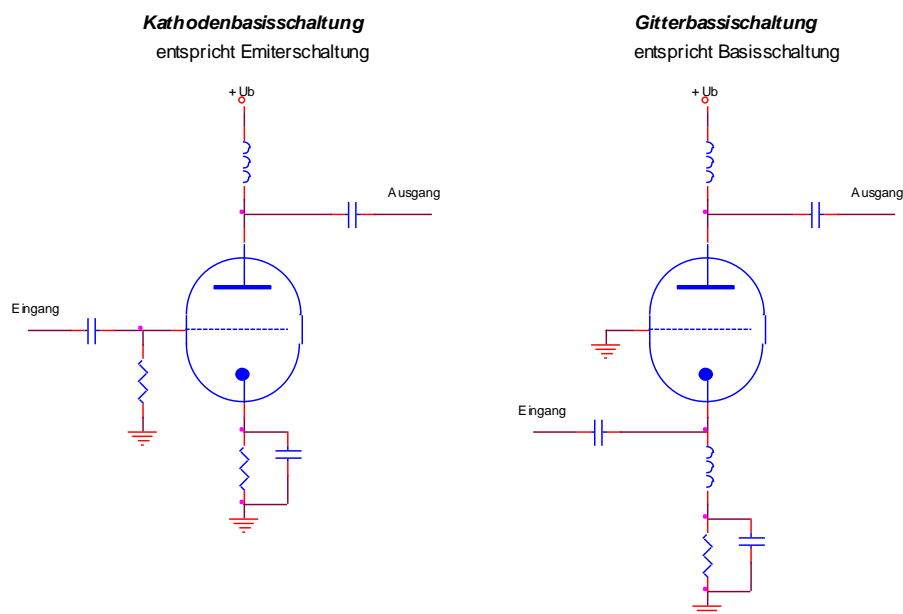
Wie bereits diskutiert, ist es zur Erzielung höherer Oszillatorfrequenzen von Nachteil, daß die zur Mitkopplung benötigte Steuerspannung aus dem elektrischen Feld des Schwingkreises, in dem bei zunehmender Frequenz ein immer größerer Anteil der Energie in Form eines magnetischen Feldes vorhanden ist, ausgekoppelt werden muß.

Daher ist es von Vorteil, die Ansteuerenergie aus dem magnetischen Feld des Schwingkreises auszukoppeln und zur Ansteuerung der Röhre nicht mehr eine zwischen Gitter und Kathode angelegte Spannung, sondern einen in den Kathodenkreis eingespeisten Strom zu verwenden. Diese Schaltung ist unter dem Namen Gitterbasisschaltung bekannt.

Die nach wie vor notwendige Steuerspannung zwischen Gitter und Kathode erzeugt man damit, daß man in den Kathodenkreis einen Schwingkreis einfügt, an dem sich dann bei Einspeisung des Steuerstroms eine hinreichend hohe Steuerspannung für die Röhre aufbaut.

Für den Spannungsaufbau ist der, hohe, Resonanzwiderstand des Schwingkreises maßgeblich, der bei hinreichender Güte erheblich über den Blindwiderständen der ihn bildenden Elemente liegt.

Die folgende Skizze stellt die Kathodenbasis- und die Gitterbasisschaltung vergleichend nebeneinander dar. Bei der Gitterbasisschaltung wird in der Praxis, wie bereits beschrieben, anstelle der hier eingezeichneten Induktivität im Kathodenkreis ein Schwingkreis eingesetzt.



Vergleich von Kathodenbasisschaltung und Gitterbasisschaltung

Das bei der Gitterbasisschaltung geerdete Steuergitter verhindert eine unerwünschte, die Verstärkung mindernde, Rückwirkung von der Anode zur Kathode und damit vom Ausgangs- zum Eingangssignal der Stufe. Seine Wirkungsweise entspricht dabei in gewissem Maße der des Schirmgitters bei Tetroden und Pentoden.

Der Übergang von der herkömmlichen Röhre zur Scheibentriode

Herkömmliche, coaxial aufgebaute, Röhren können im Bereich höherer Leistungen nur bis zur Größenordnung von 500 MHz eingesetzt werden. Für den hier interessierenden Frequenzbereich verwendet man im allgemeinen planar aufgebaute Röhren, sogenannte Scheibentrioden.

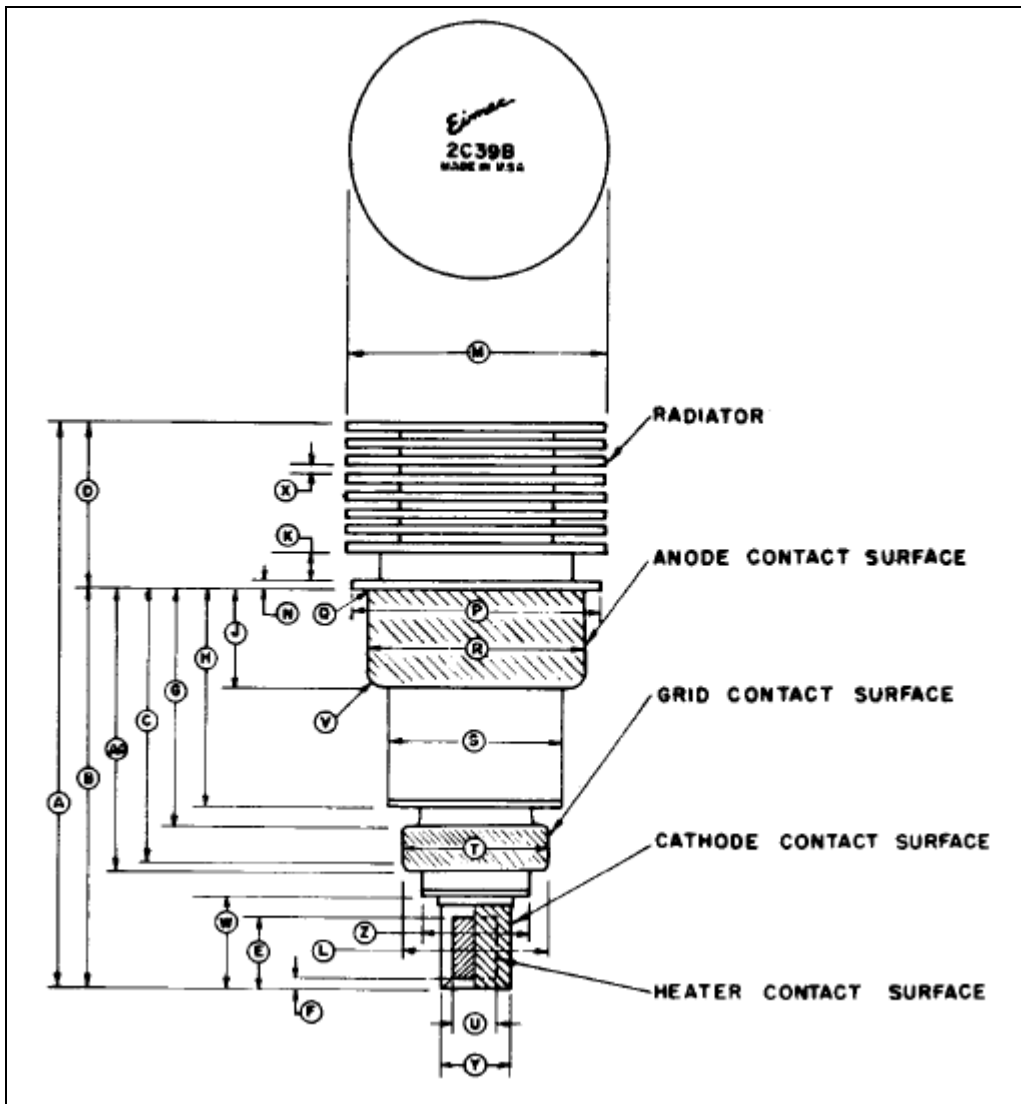
Diese haben wesentlich geringere Kapazitäten zwischen ihren Elektroden als herkömmliche Röhren.

Eine in sehr großen Stückzahlen produzierte Scheibentriode ist die 2C39BA, die auch heute noch problemlos erhältlich ist. Sie wurde daher auch für dieses Projekt ausgewählt. Diese Röhre kann bis zu Frequenzen von 2,5 GHz eingesetzt werden. Sie wurde Anfang der 1950-er Jahre auf dem Markt eingeführt und bis in die 1990-er Jahre in, vor allem militärischen, Sendern eingesetzt.

Der praktische Aufbau der Elektroden entspricht ziemlich genau der Darstellung einer Triode im Schaltsymbol. Über der flächigen Kathode liegt das ebenfalls flächige Gitter über dem wiederum mit einigem Abstand die ebenfalls flächige, aus einem massiven Kupferblock bestehende, Anode angebracht ist.

Die Anschlüsse sind nicht als Stifte, sondern als den ganzen Röhrenumfang umfassende Ringe ausgelegt. Damit wird eine besonders geringe Induktivität der Elektrodenanschlüsse gewährleistet.

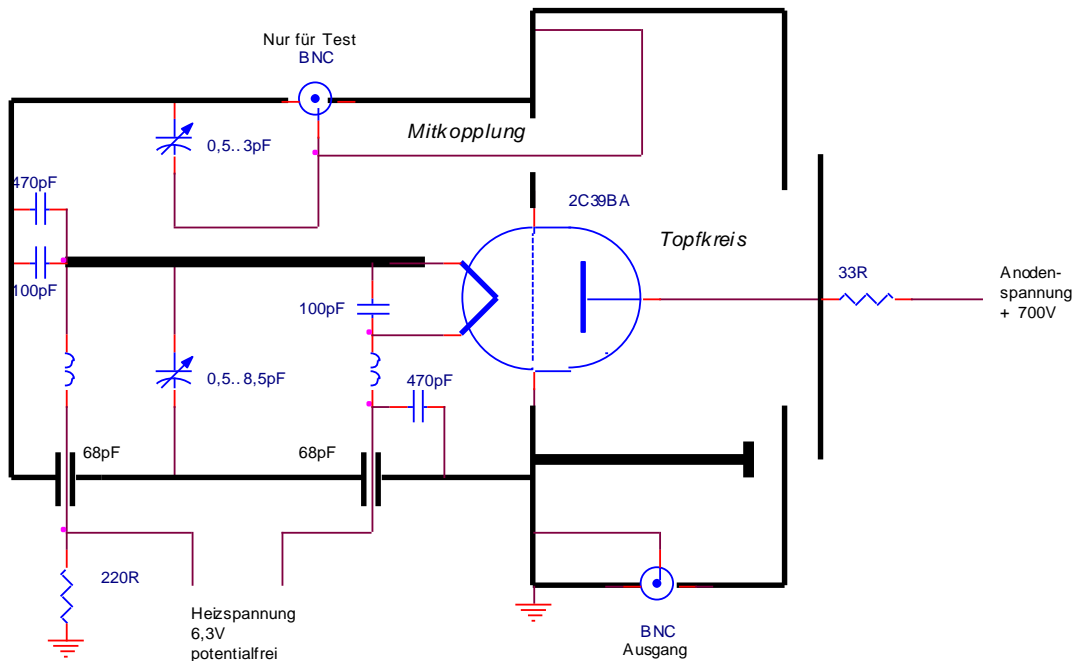
Das folgende Bild zeigt die Anschlussbelegung der 2C39 im Detail. Die Anode ist mit einem gerippten Kühlblock aus Aluminium verbunden. Das Röhrengehäuse besteht nicht wie bei herkömmlichen Röhren aus Glas sondern aus Keramik.



Anschlußbelegung der 2C39BA

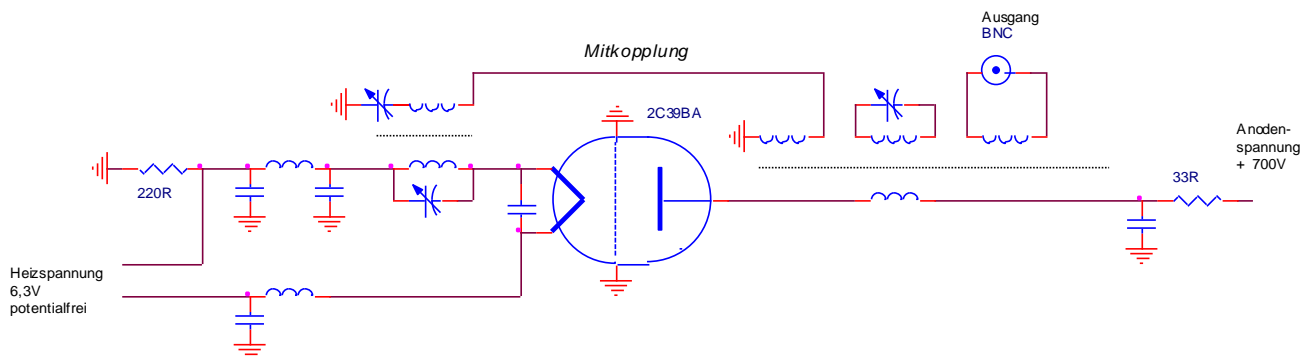
Die Realisierung.

Im Folgenden ist das Schaltbild des im Rahmen unseres Projekts realisierten Oszillators dargestellt.



Das Schaltbild des 1,3 GHz-Oszillators

Die dreidimensionalen Topfkreisstrukturen lassen sich mit herkömmlichen Schaltzeichen nicht mehr eindeutig darstellen. Das untenstehende Ersatzschaltbild modelliert die Eigenschaften der Topfkreise mit herkömmlichen, konzentrierten Bauelementen.



Das Ersatzschaltbild des 1,3 GHz-Oszillators

Der anodenseitige und der kathodenseitige Schwingkreis sind mittels einer Koppelschleife verbunden. Damit ergibt sich eine Mikopplung, die zum Schwingen des Oszillators führt. Damit der Oszillator anschwingt müssen der Anoden- und der Kathodenkreis exakt auf die selbe Frequenz abgestimmt sein.

Mittels einer Koppelschleife wird die HF-Energie aus dem Anodenkreis entnommen. Die Zuleitungen für die Heizung und den Gleichanteil des Kathodenstroms werden mittels Drosseln und Durchführungskondensatoren vom kathodenseitigen Schwingkreis entkoppelt. Die beiden Anschlüsse der direkt geheizten Kathode werden mit einem Kondensator HF-mäßig miteinander verbunden, um die wirksame Induktivität der

Bereitgestellt von jogis-roehrenbude.de

Kathodenzuleitung zu minimieren. Der Mittelabgriff der Koppelschleife ist zu Testzwecken an eine BNC-Buchse geführt, über die man den Oszillator gegebenenfalls zu Diagnosezwecken fremderregen kann.

Die HF-Energie wird nicht, wie man zunächst erwarten könnte, aus dem, kapazitiv geerdeten, Anodenanschluß in den anodenseitigen Topfkreis hinein ausgekoppelt, sondern das den Elektronenstrahl innerhalb der Röhre (und den Stromfluß von der aktiven Fläche der Anode zum Anschluß) umgebende Magnetfeld tritt aus dem keramischen Teil des Röhrengehäuses aus und regt den Topfkreis zum Schwingen an. Der Elektronenstrahl und der stromdurchflossene Anodenzyylinder wirken genauso wie eine übliche, aus einem metallischen Leiter hergestellte Koppelschleife.

Diese Zusammenhänge können weder im Schaltbild noch im Ersatzschaltbild zeichnerisch dargestellt werden.

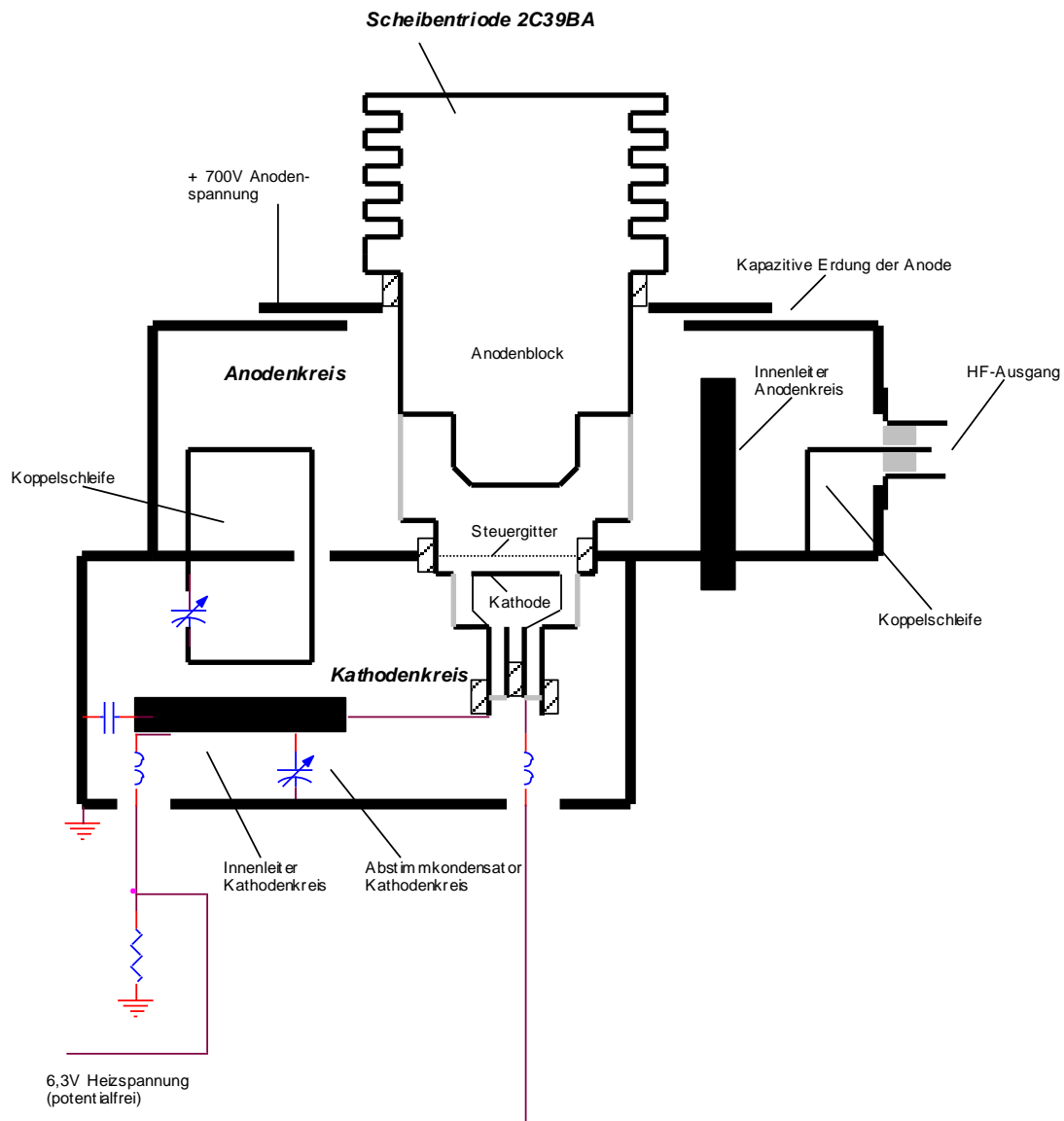
Man muß sich zum Verständnis der Schaltung von der herkömmlichen Betrachtungsweise lösen, daß die Energie- und Signalübertragung zwingend über einen metallischen Anschlußpin eines Bauelementes zu erfolgen hat.

Das zur Erzeugung von Mikrowellen in Herden und Radaranlagen in großen Stückzahlen verwendete Magnetron stellt noch eine weitere Fortsetzung dieses Gedankengangs dar. In einem Magnetron ist der Topfkreis integraler Bestandteil der Röhre, er befindet sich im Röhrenvakuum. Das Magnetron wird als Diode betrieben, die HF-Auskopplung erfolgt „drahtlos“ durch das Isoliermaterial des Röhrengehäuses in einen angekoppelten Hohlleiter oder Strahler hinein.

Die beiden im Schaltbild sichtbaren 100pF-Kondensatoren sind spezielle, anschlusslose, „Keramik-Klatschkondensatoren“ mit besonders geringer parasitärer Induktivität.

Die zwei im Schaltbild sichtbaren 470pF-Kondensatoren, wurden im Verlauf der Inbetriebnahme nachträglich hinzugefügt, da die Oszillatorschaltung zunächst nicht korrekt arbeitete, es stellten sich nur sporadische Schwingungen im einstelligen MHz-Bereich ein. Das Hinzufügen der Kondensatoren reduzierte die Verstärkung der Schaltung für diesen Frequenzbereich, womit sich dann eine korrekte Arbeitsweise bei 1,3 GHz einstellte.

Das folgende, vereinfachte, Schnittbild soll den Aufbau des Oszillators verdeutlichen:



Vereinfachtes Schnittbild des Oszillators

Die Bilder auf den folgenden Seiten zeigen den praktischen Aufbau des Oszillators:

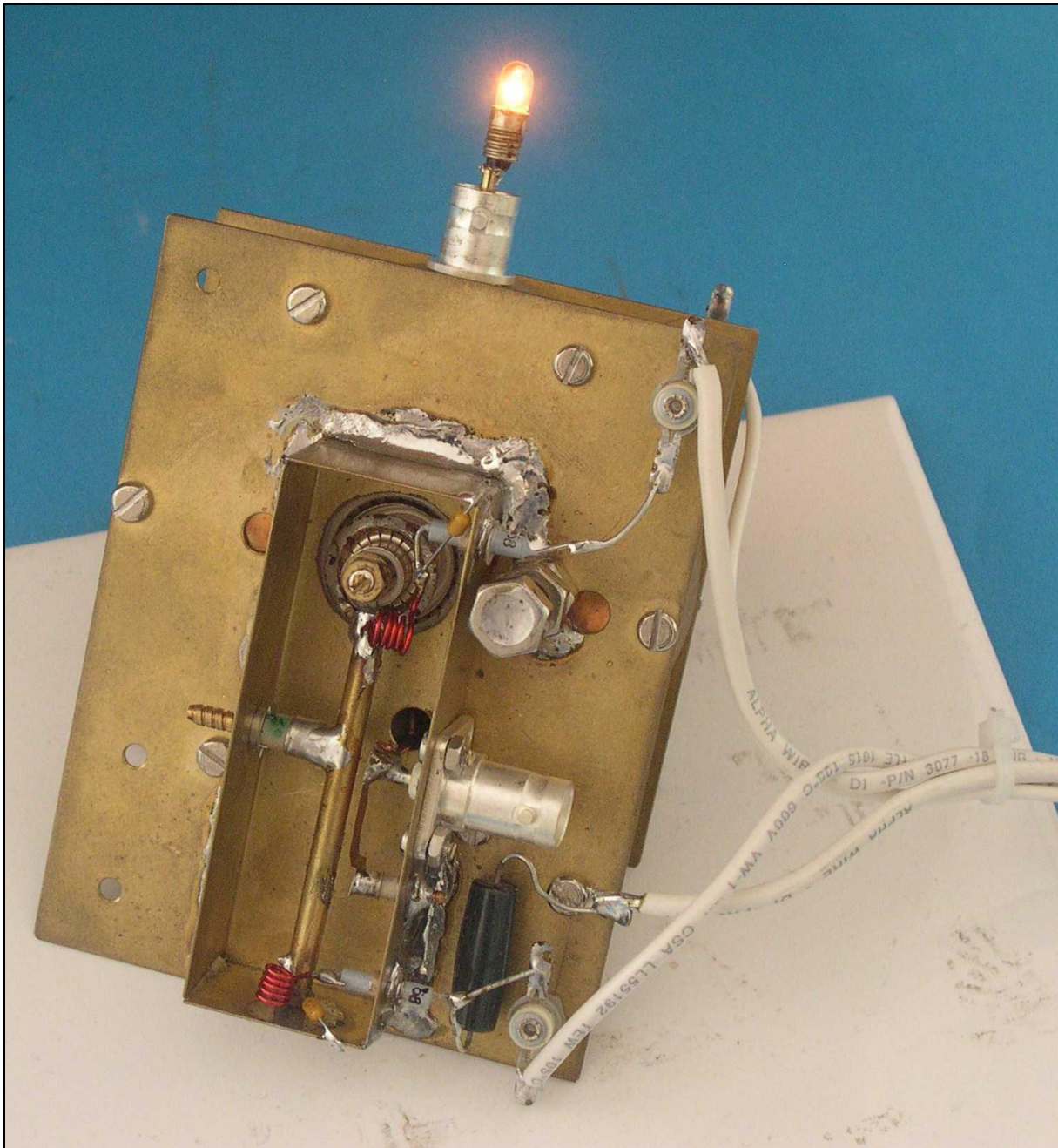


Ansicht des Oszillators von oben

Deutlich ist der gerippte Kühlblock zu erkennen, der Bestandteil der Röhre 2C39 ist und mit deren Anode verbunden ist. Das den Kühlblock umgebende Messingblech ist mit einer Teflonscheibe von dem geerdeten Gehäuse des Topfkreises isoliert. Es ergibt sich somit ein Kondensator, der den Anoden-anschluß kapazitiv erdet.

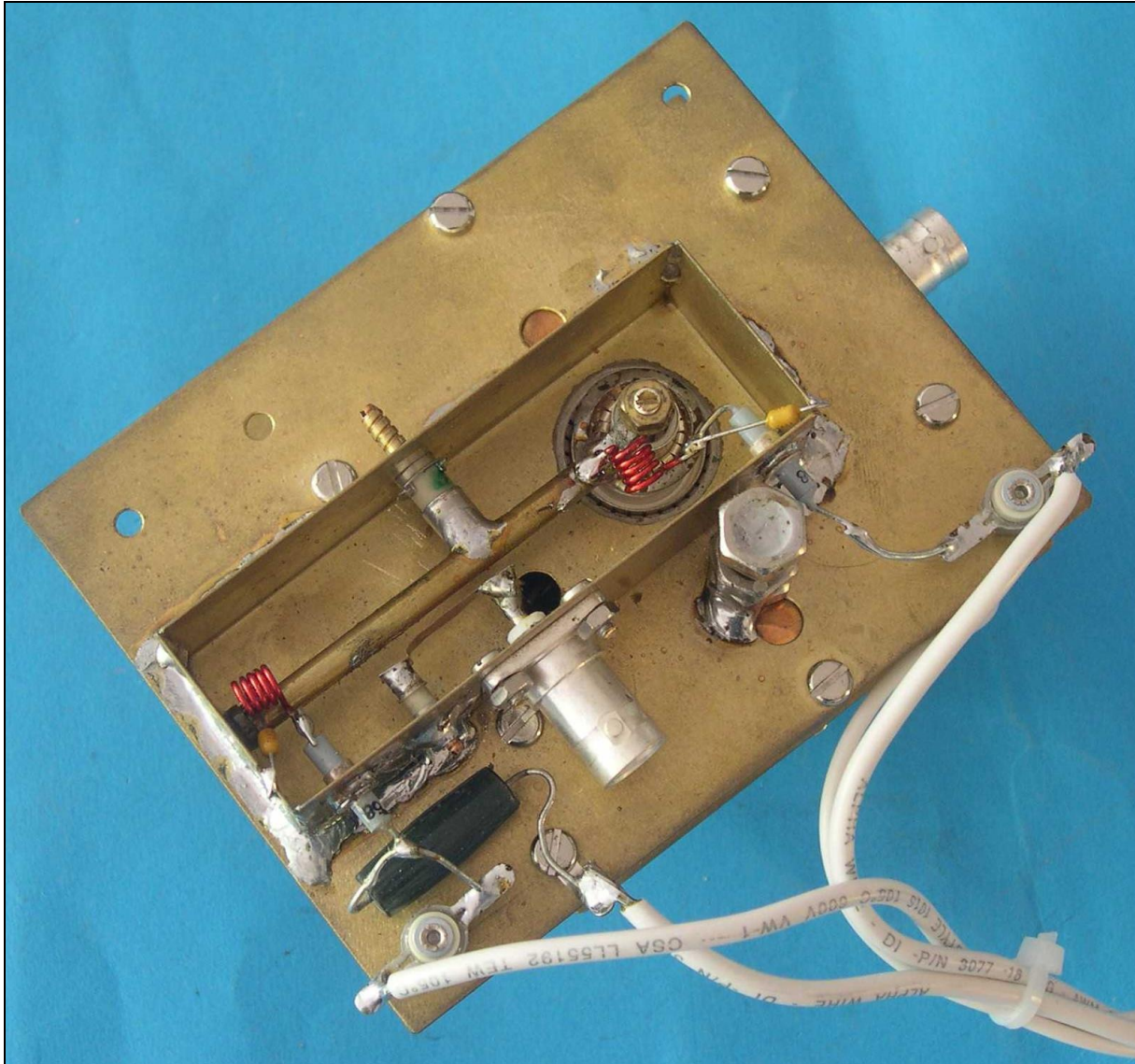
An der, von einer Koppelschleife gespeisten, Ausgangsbuchse ist einseitig eine Glühlampe angeschlossen. Der kapazitive Rückstrom von der Außenseite des Lampensockels zur Masse reicht aus, um die Lampe hell leuchten zu lassen.

Da sich dieser Effekt nur bei einer bestimmten Größenordnung des Widerstands der Lampe so deutlich einstellt, seien hier die Daten der Lampe genannt: Nennspannung 14V / 37mA = 380 Ohm, VCH # 690 Farnell-Nummer 328-170



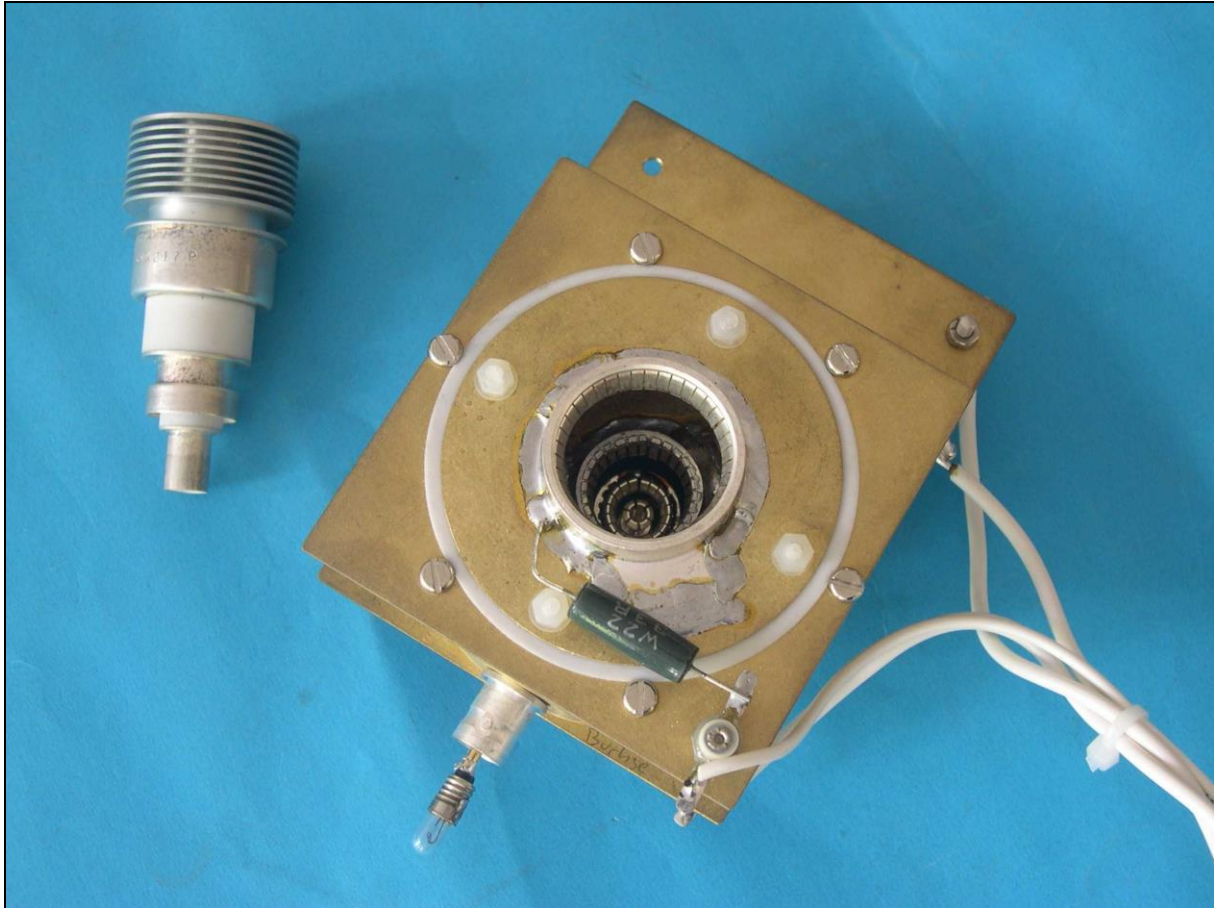
Ansicht des Oszillators von unten

Man blickt auf den Kathodenkreis. Die aus rotem Lackdraht hergestellten Drosseln dienen zur Abblockung der Zuleitungen für die Heizung und den Gleichanteil des Kathodenstroms. Der Spindeltrimmkondensator an der linksseitigen Wand des Kathodenkreises dient zur Frequenzabstimmung des Kathodenkreises. Rechtsseitig vom Innenleiter des Kathodenkreises ist die Koppelschleife zu erkennen, die über die oberhalb der BNC-Testbuchse sichtbaren Bohrung in den Anodenkreis weitergeführt wird. Der unterhalb der BNC-Buchse sichtbare Spindeltrimmer dient zur Feinabstimmung der Koppelschleife. Rechts vom Röhrensockel ist die Einstellschraube zum Frequenzabgleich des Anodenkreises zu erkennen.



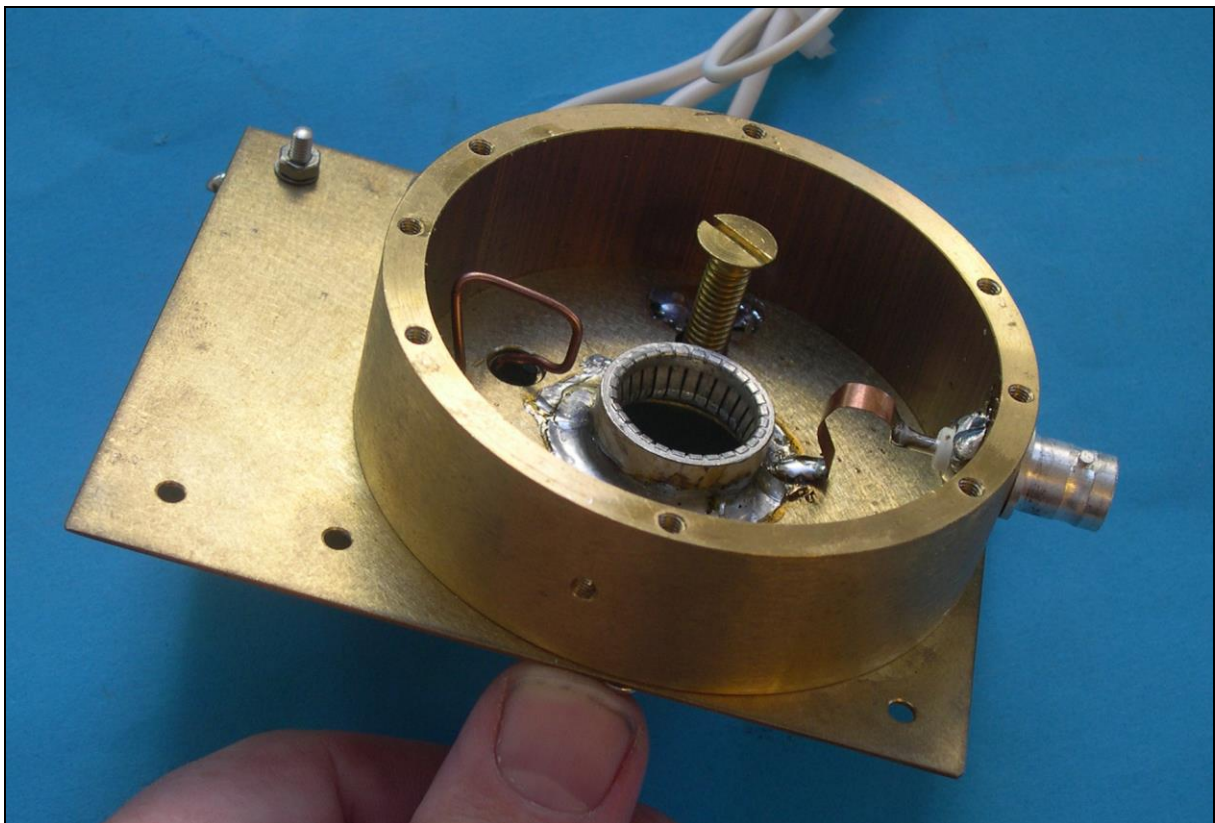
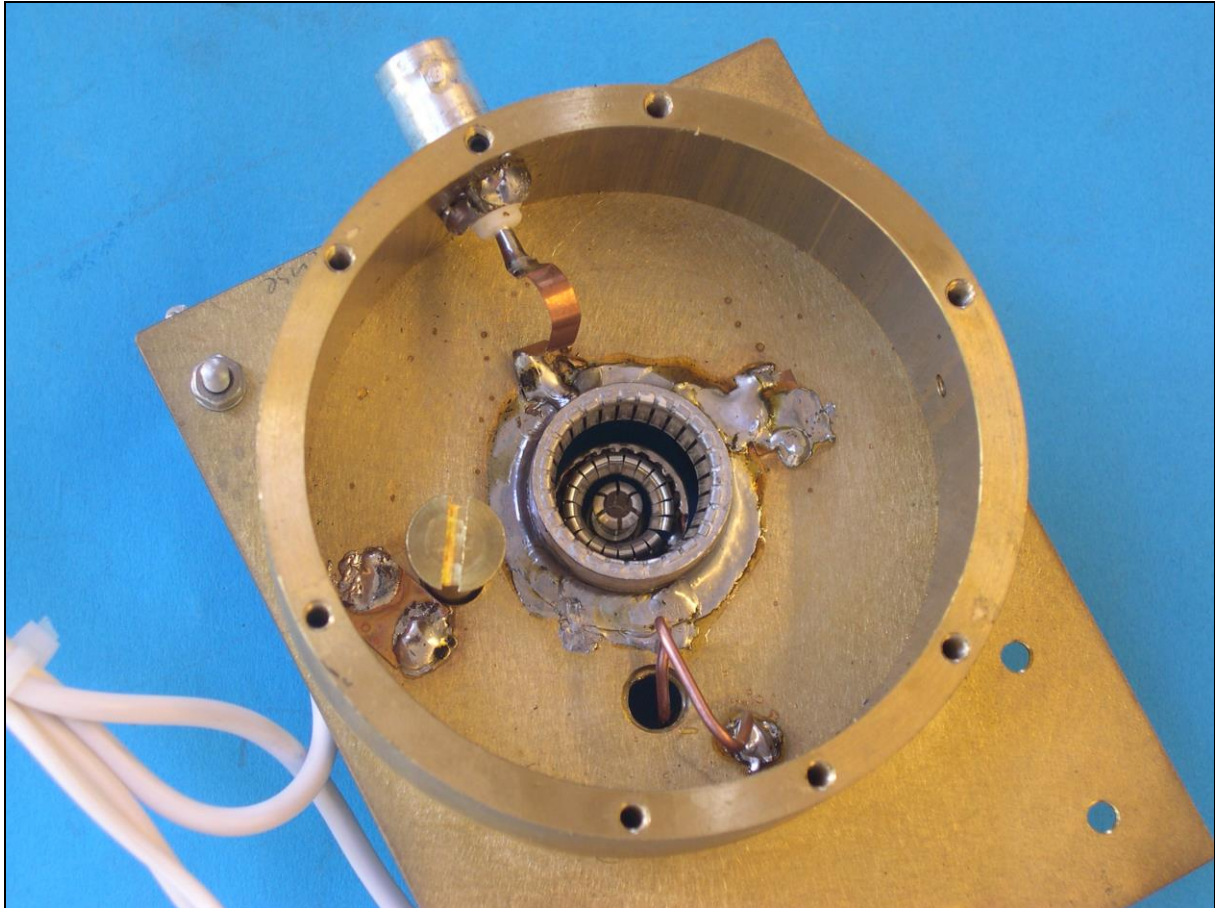
Aufsicht auf den Kathodenkreis

Aus dieser Perspektive lassen sich gut die Details der Ausführung des Kathodenkreises erkennen. Man erkennt am linken Ende des Innenleiters dessen hochfrequenzmäßige Erdung mittels eines anschlußlosen, schwarzen Keramikcondensators.



Der Oszillator mit entnommener Röhre

Bei entnommener Röhre sind deutlich die Federkontaktringe für Anode, Gitter und die beiden Kathodenanschlüsse zu erkennen



Blick in den anodenseitigen Topfkreis, deutlich sind die Koppelschleifen und der Innenleiter zu erkennen.

Die Vorgehensweise.

Dieser Oszillator basiert auf einem mehrfach im Internet publizierten Bauvorschlag für eine Endstufe für das 23cm-Amateurfunkband (1296 MHz). Dieser Schaltung wurde dann die Koppelschleife zur Mitkopplung hinzugefügt, um sie selbstschwingend zu machen.

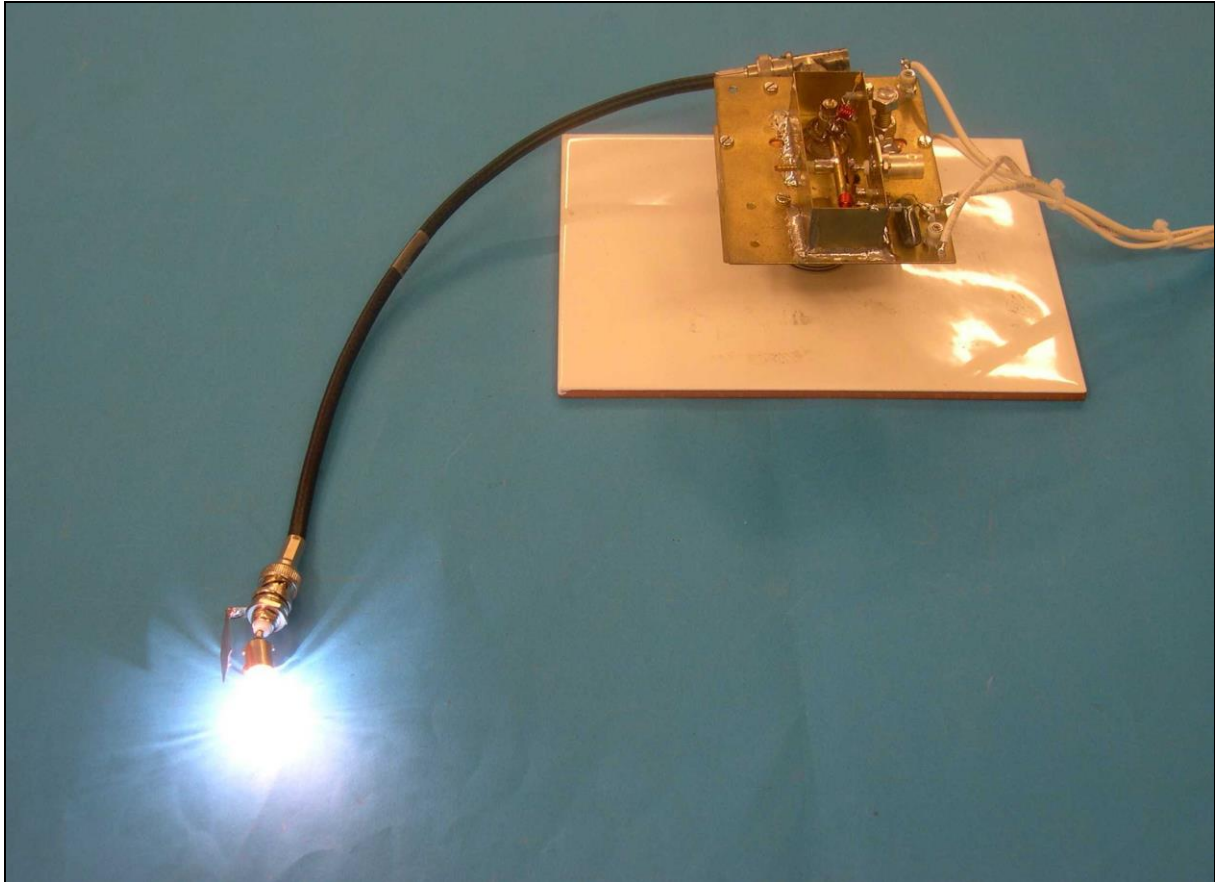
Bei Ebay wurde eine von einem Amateurfunker selbstgebaute derartige Endstufe ersteigert. Diese wurde zunächst als Verstärker in Betrieb genommen. Anschließend wurde versuchsweise die Koppelschleife eingebaut und damit die Oszillatorfunktion verifiziert.

Es wurde ein Zeichnungssatz, basierend auf den Abmessungen der vorhandenen Endstufe erstellt. Die Mechanikkomponenten wurden dann bei der Berliner Firma "Feinmechanik Willi Müller" gefertigt.

Da viele Spezialteile, die im Originalgerät vorhanden waren nicht mehr erhältlich sind, mußten diese durch andere Teile oder gar selbst hergestellte Teile ersetzt werden. Dies war ein langwieriger und mühsamer Prozeß, da der Einfluß jeder Änderung auf das Verhalten im Mikrowellenbereich vorher abgeschätzt werden mußte. Letztendlich ist dann fast "kein Stein auf dem anderen geblieben". So wurde beispielsweise die in unserem Aufbau verwendete Röhrenfassung aus den, z.T. mechanisch nachbearbeiteten, Einzelteilen mehrerer verschiedener Röhrenfassungstypen aus alter Produktion, die bei Ebay ersteigert wurden, zusammengesetzt

Die Ergebnisse.

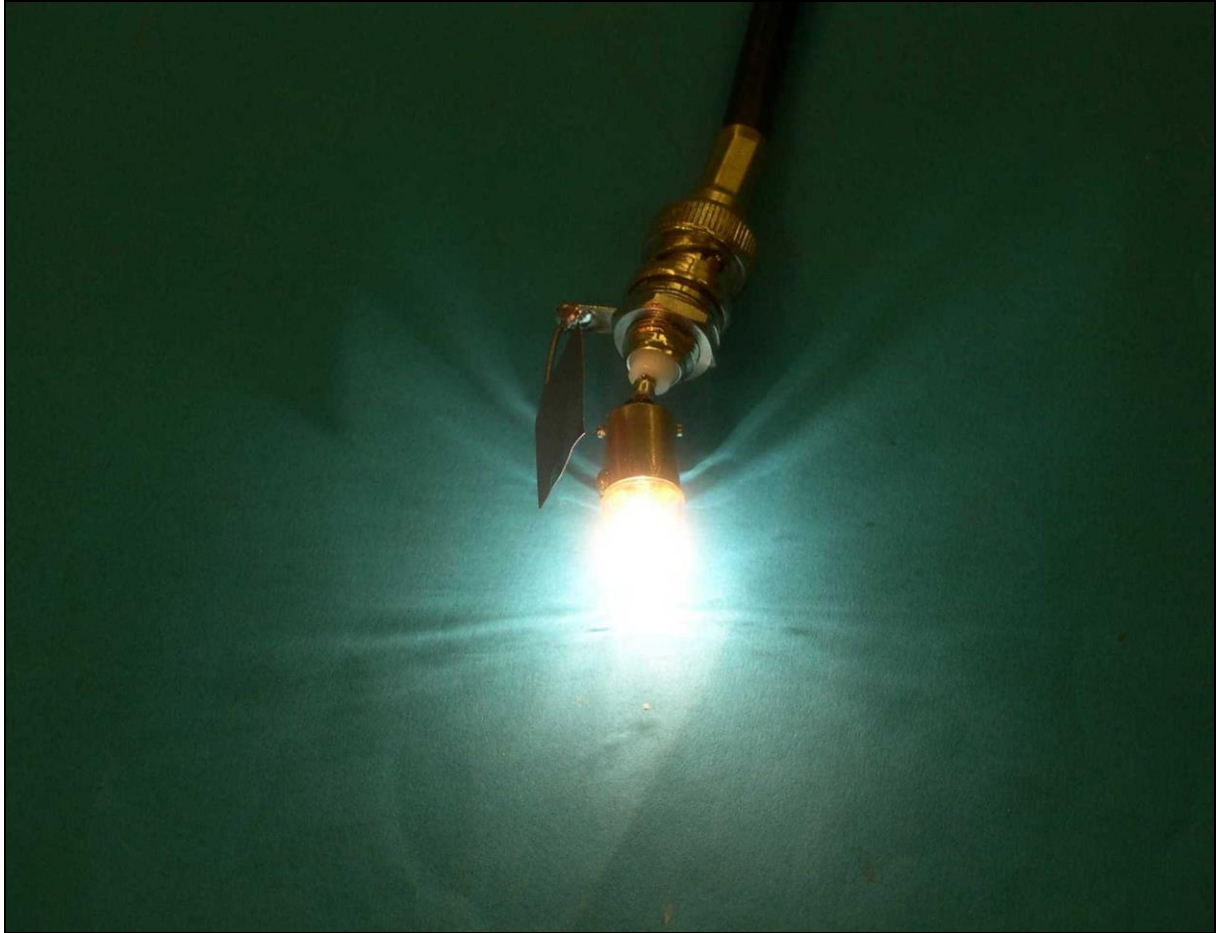
Der Oszillator schwingt auf einer Frequenz von 1,3 GHz, entsprechend einer Wellenlänge von 23cm, und gibt eine HF-Leistung im einstelligen Watt-Bereich ab.



Nachweis der HF-Leistung mit einer (kapazitiv gekoppelten) Glühlampe

Die Glühlampe leuchtet nicht dann am hellsten, wenn sie direkt mit dem Ausgang verbunden wird, sondern dann, wenn sie über eine bestimmte Kapazität an diesen angekoppelt wird. Der Grund dafür liegt in den komplexen Impedanzverhältnissen des Oszillatorausgangs und des verwendeten Kabels, das, wie sich später herausstellte für diesen Frequenzbereich eigentlich ungeeignet ist. Die Koppelkapazität führt zu einer Serienresonanz, die dann zu optimaler Energieauskopplung führt.

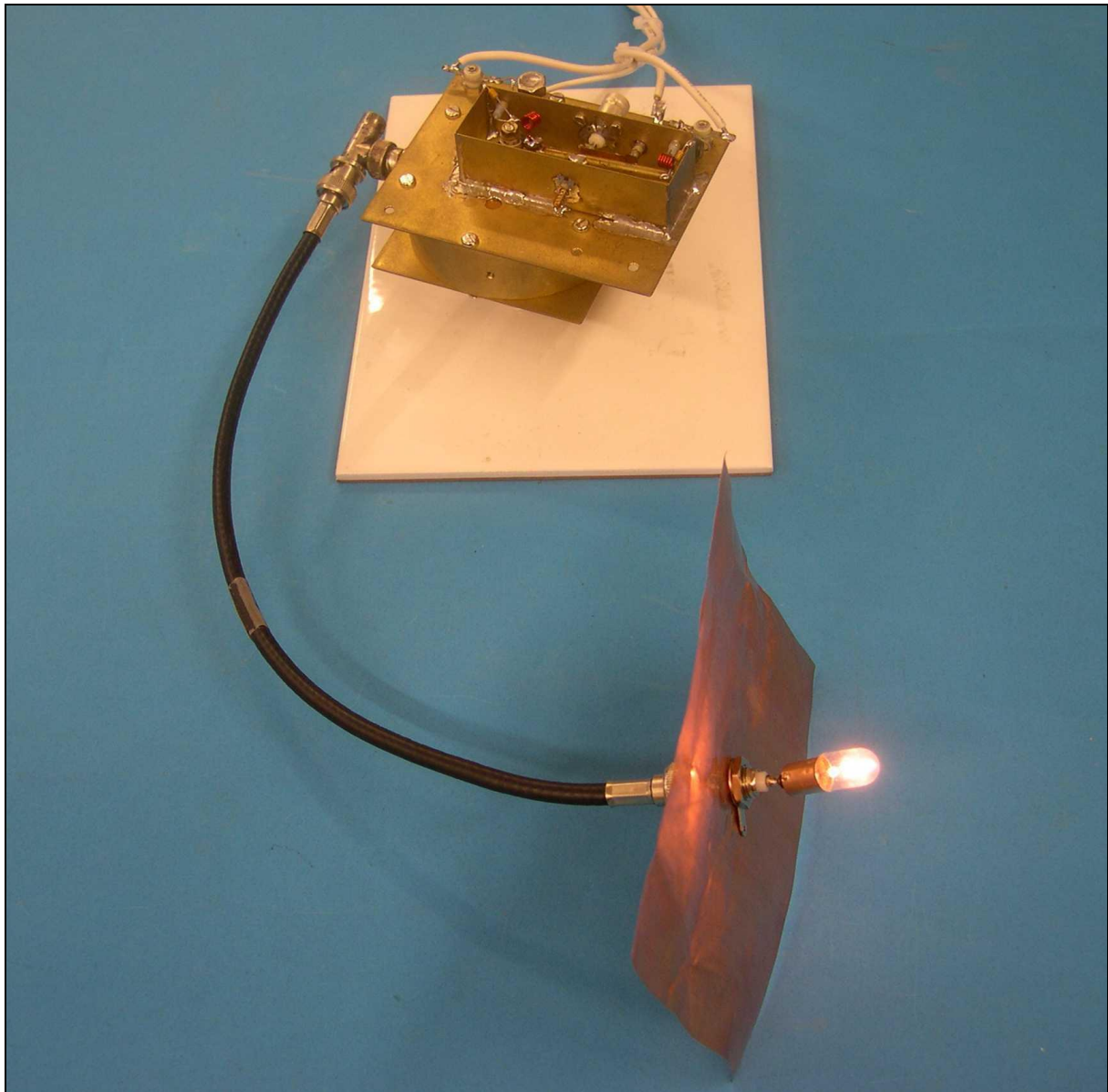
Es handelt sich hier um eine Glühlampe 5V / 90mA, ihr Nennwiderstand beträgt somit 56 Ohm.



Die kapazitive Ankopplung der Lampe im Detail

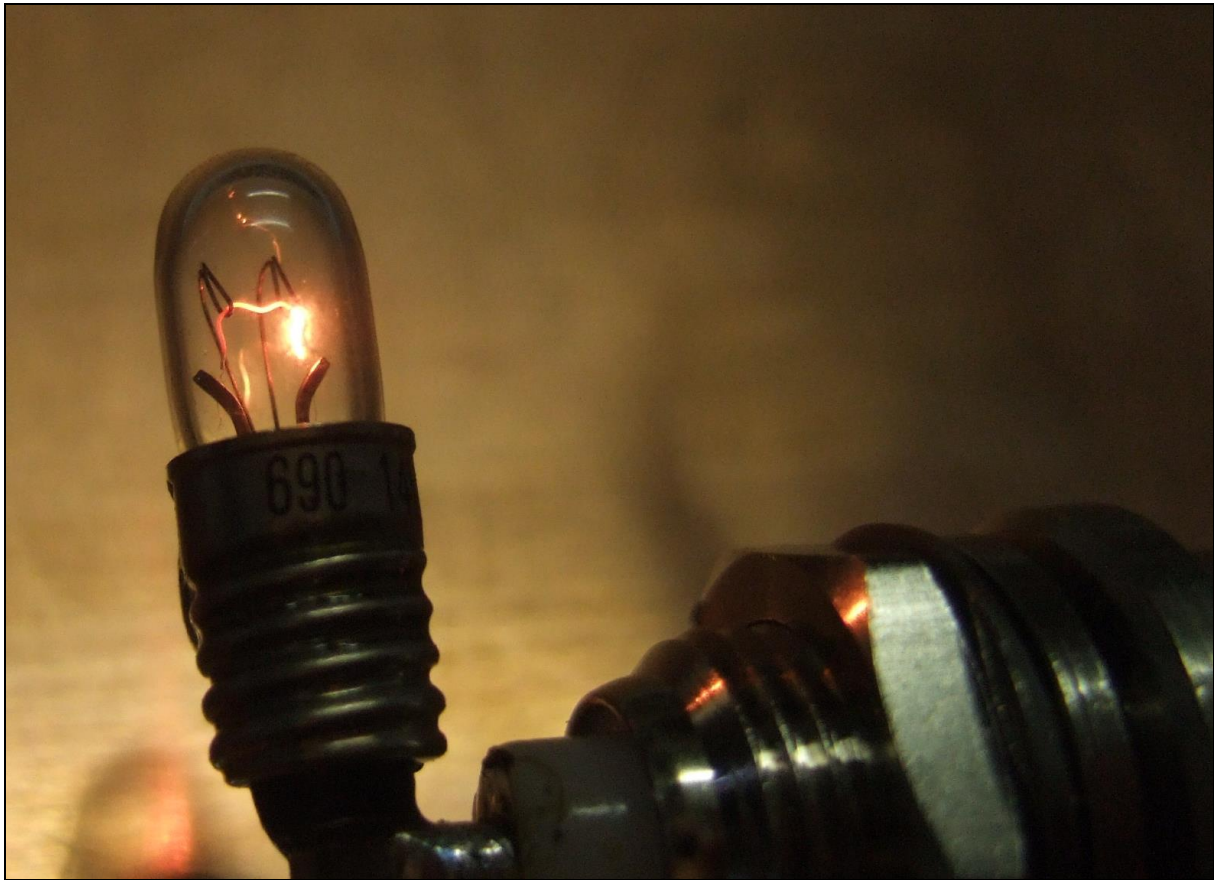
Bereitgestellt von jogis-roehrenbude.de

Mit dem Hinzufügen einer Groundplane läßt sich die Helligkeit einer einseitig angeschlossenen Lampe deutlich steigern. Es handelt sich hier um eine Glühlampe 28V / 70mA, ihr Nennwiderstand beträgt somit 400 Ohm.



Einseitig angeschlossene Lampe mit Groundplane

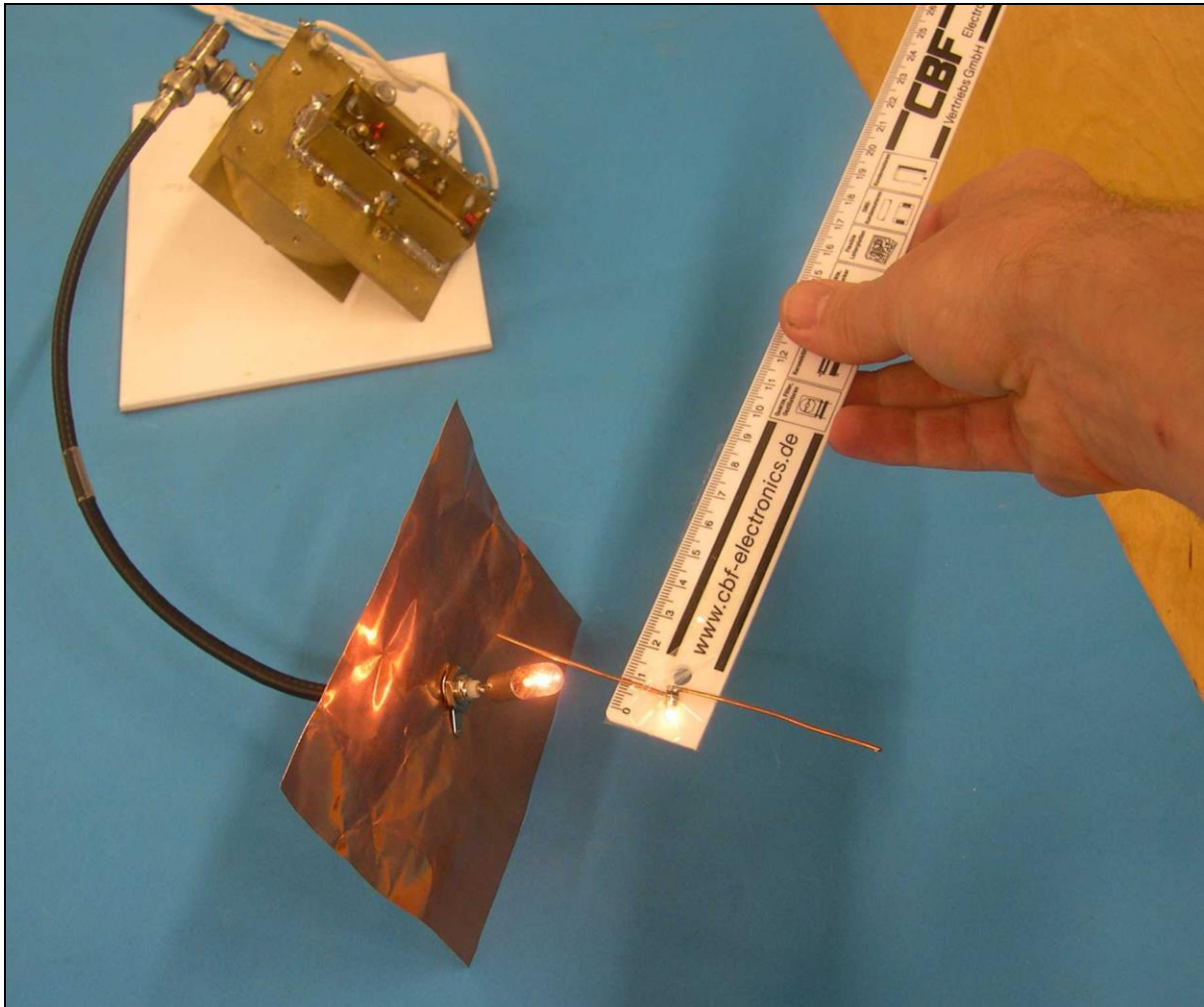
Bei genauerer Betrachtung einer einseitig an den Oszillator angeschlossenen Glühlampe zeigt sich, daß die Helligkeit, und damit die Stromstärke über die Länge des Glühfadens deutlich sichtbar abnimmt. Man beobachtet hier die kapazitive Auskopplung von Teilströmen durch die den Glühfaden stützenden Metallbügel.



Ungleichmäßige Stromverteilung in einer einseitig angeschlossenen Glühlampe.

Bereitgestellt von jogis-roehrenbude.de

Wenn man einen Lambda/2-Dipol (Länge = 11,5 cm) mit mittig angebrachtem Glühlämpchen in die Nähe der einseitig angeschlossenen Lampe bringt, dann nimmt deren Helligkeit deutlich ab, während die am Dipol befindliche Lampe hell aufleuchtet.



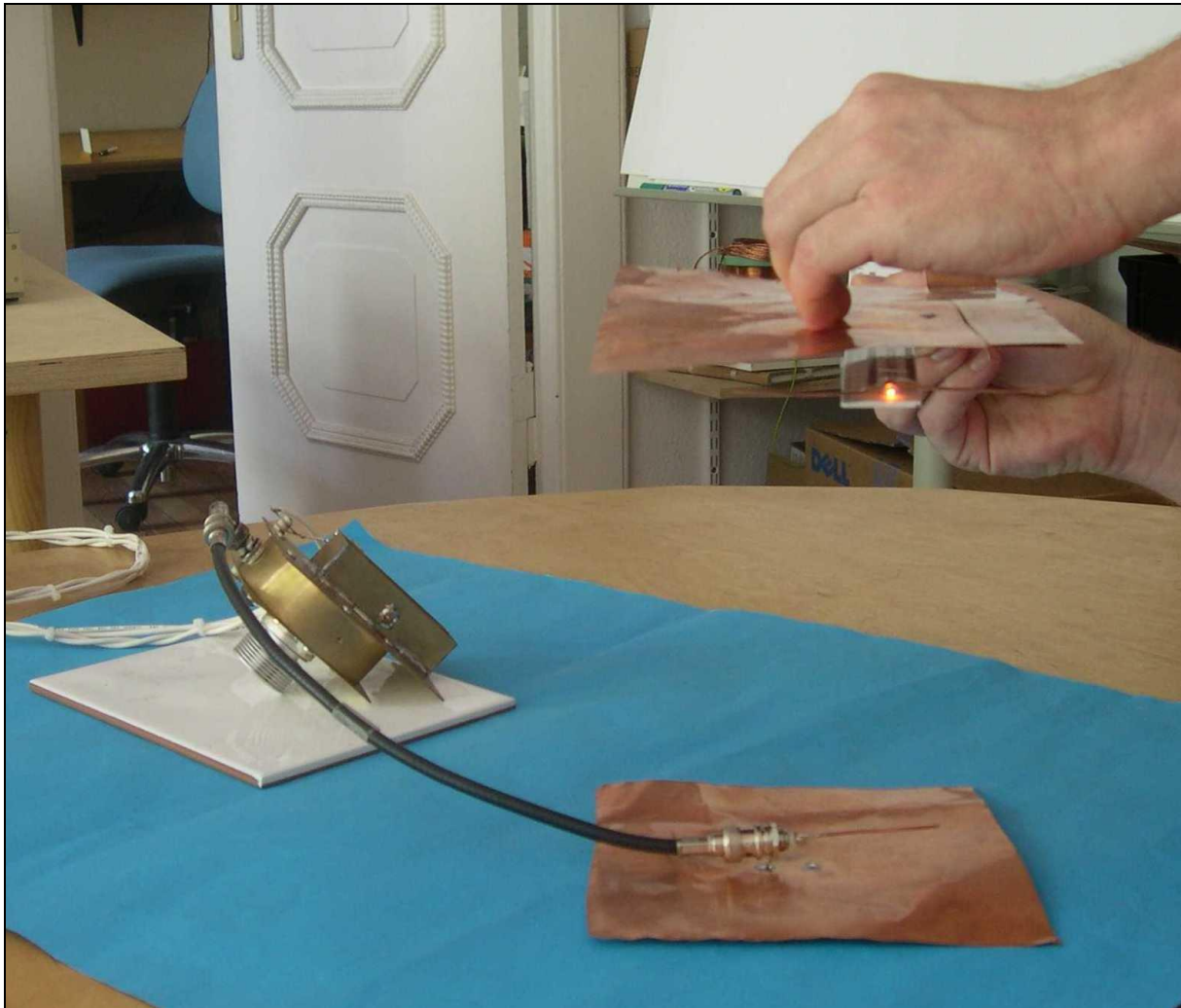
Energieübertragung in einen Lambda/2-Empfangsdipol

Eine $\lambda/4$ -Antenne mit einer Groundplane als Reflektor wird an den Oszillator angeschlossen. Die Glühlampe (Nennspannung 6V) in der Mitte des Empfangsdipols leuchtet auch noch in einigen cm Entfernung von der Sendeantenne hell auf. Die Richtwirkung der Abstrahlung und die Polarisation des Feldes sind deutlich erkennbar. Wenn man den Dipol senkrecht zur Sendeantenne hält findet keine Energieübertragung mehr statt, die Glühlampe bleibt dunkel.



Lambda/4-Antenne mit Reflektor und Lambda/2-Empfangsdipol

Das Hinzufügen eines zweiten Reflektors am der Empfangsdipol führt zu deutlich "besserer" Energieübertragung. Über eine Distanz von ca. 40 cm läßt sich die Lampe im Empfangsdipol zum Leuchten bringen. Die Intensität variiert periodisch mit dem Abstand zwischen Empfangsdipol/Reflektor und Sendeantenne, zwischen beiden Reflektoren bildet sich bei geeignetem Abstand eine stehende Welle. Die Versuchsanordnung entspricht der klassischen Versuchsanordnung von Heinrich Hertz, der allerdings anstelle des Oszillators eine Funkenstrecke verwendet hatte.



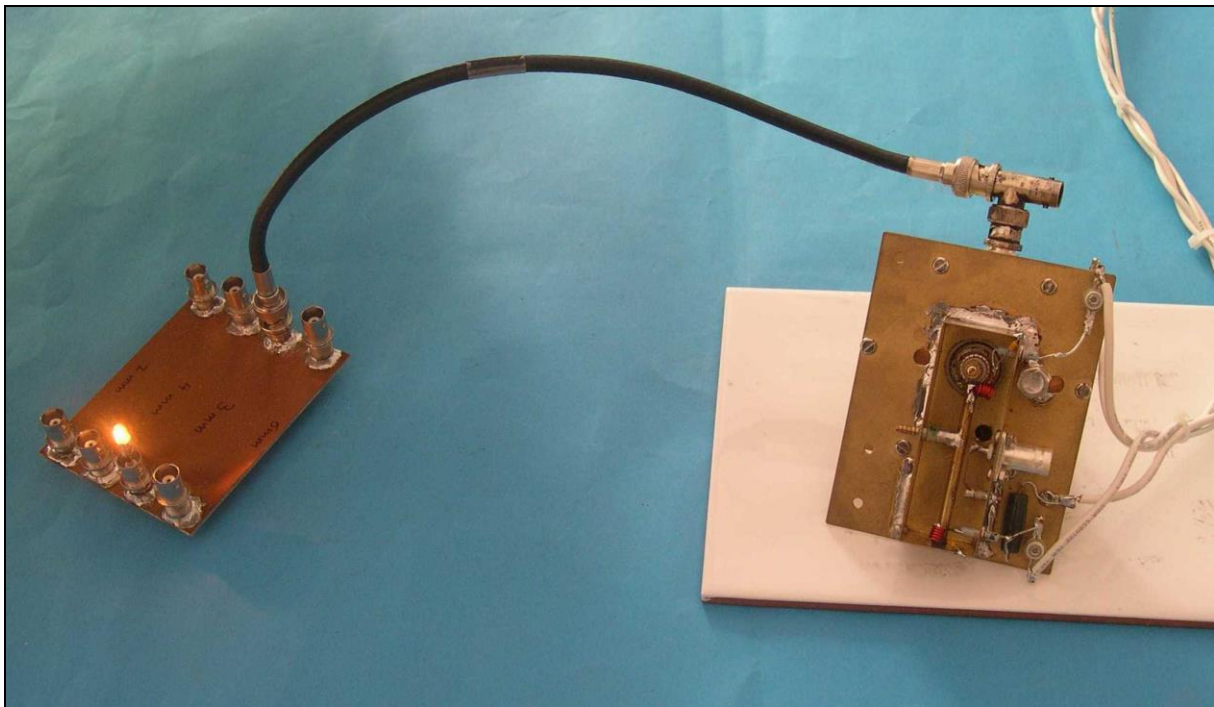
Lambda/4-Antenne und Lambda/2 Empfangsdipol mit zwei Reflektoren

Bereitgestellt von jogis-roehrenbude.de

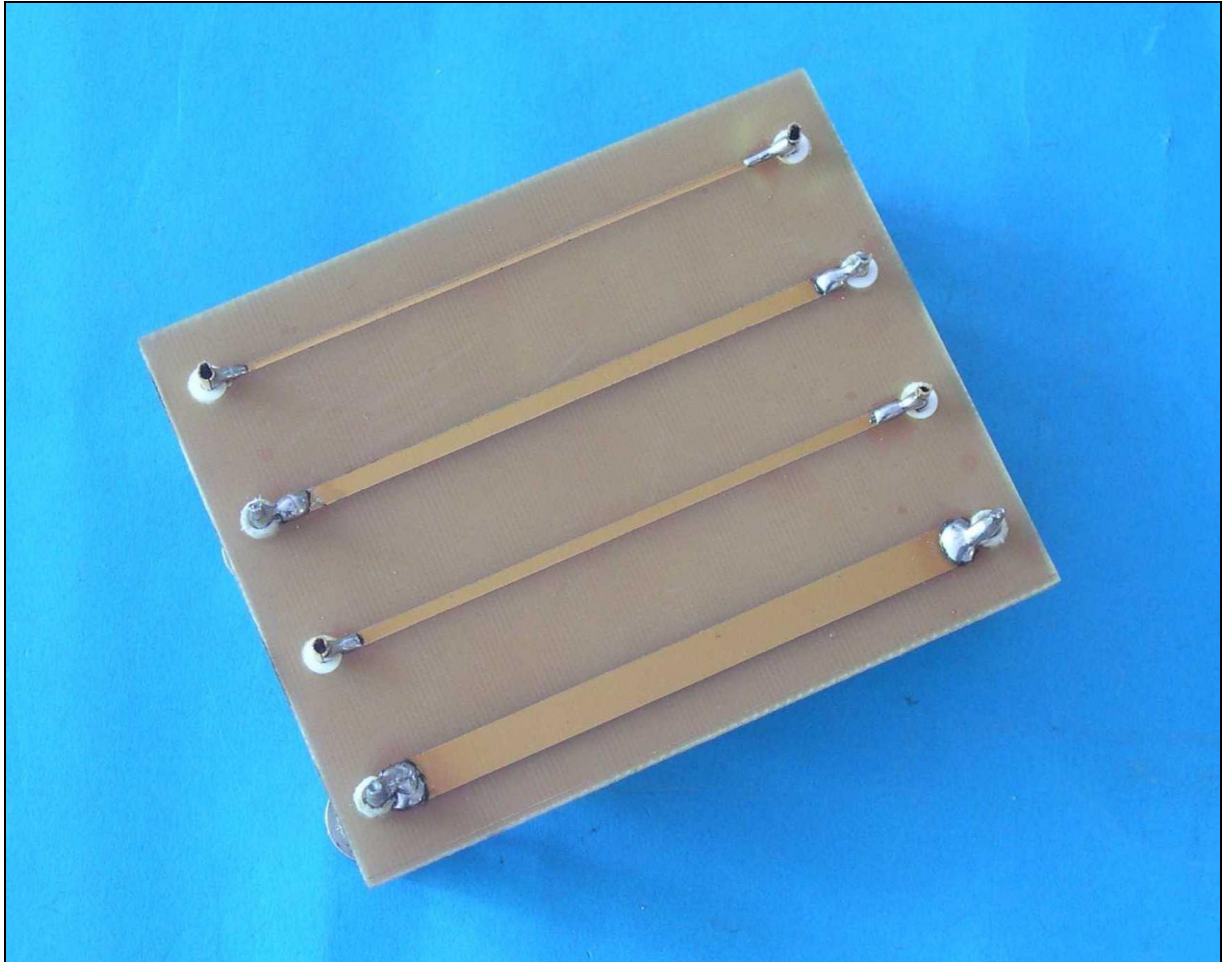
Mit dem folgenden Experiment wurde der Einfluß des Wellenwiderstandes von Leiterbahnen auf die Anpassung und damit Energieübertragung untersucht. Auf einer doppelseitig kaschierten Testleiterplatte mit Groundplane befinden sich Leiterbahnen mit verschiedenen Breiten, die beidseitig über BNC-Buchsen kontaktierbar sind. Über diese Leiterplatte wird eine, einseitig angeschlossene, Glühlampe vom Oszillator gespeist.

Es zeigen sich deutlich sichtbare Unterschiede in der Helligkeit der Lampe, wenn man zwischen verschiedenen Leiterbahnbreiten wechselt. Die Leuchtintensität ist bei Verwendung der schmalsten zur Verfügung stehenden Leiterbahnbreite von 2mm am geringsten. Bei der nächstgrößeren Breite von 3mm nimmt die Intensität zu. Bei einer Breite von 4mm erreicht die Intensität ihr Maximum. Bei einer weiteren Erhöhung der Breite auf 6mm nimmt die Intensität wieder ab.

Es ist also eindeutig zu erkennen, daß man bei einer ganz bestimmten Leiterbahnbreite und damit bei einem ganz bestimmten Wellenwiderstand der Übertragungsleitung das Maximum der Energieübertragung vom Oszillator zur Last erhält.



Gesamtansicht des Versuchsaufbaus zum Vergleich von Übertragungsleitungen mit verschiedenen Wellenwiderständen



Ansicht des Testboards von der Unterseite, die Oberseite ist als Groundplane ausgeführt



Detailansicht der einseitig kontaktierten Glühlampe (Nennspannung 14V,37mA, Farnell-Nummer 328-170)



Leiterbahnbreite 2mm



Leiterbahnbreite 3mm



Leiterbahnbreite 4mm



Leiterbahnbreite 6mm

Unterschiedliche Helligkeit der Glühlampen, wenn diese über verschieden breite Leiterbahnen gespeist werden

Details der Realisierung

Spezielle Bauelemente

Um diesen Oszillator aufbauen zu können, wurden zahlreiche spezielle Bauelemente benötigt, die nur schwer beschaffbar sind. Die folgende Auflistung der Bauelemente ist jedoch unvollständig, da ein Teil der Bauelemente aus einem vorhandenen Lagerbestand aus z.T. gebrauchten Teilen entnommen wurde.

Die nur schwer erhältlichen Spezialkondensatoren können bei der Firma Oppermann-Elektronik GBR in D-31595 Steyerberg (<http://www.oppermann-electronic.de>) bezogen werden:

Keramik-Klatschkondensator 100 pF:	Bestellnummer CKSK 148
Keramik-Rohrtrimmer 0,5..3pF Messing:	Bestellnummer KRT 9
Keramik-Rohrtrimmer 0,5..8,5pF	Bestellnummer KRT 13
Durchführungskondensator 68pF 500V NPO:	Bestellnummer DF 28

Das Montagematerial kann von den bekannten Distributoren Bürklin und Farnell bezogen werden, im Folgenden sind einige ansonsten unübliche Teile, die für die Realisierung dieses Oszillators beschafft wurden aufgelistet:

Es sollen nur Schrauben aus nichtmagnetischem Material, wie Messing, verwendet werden, da sich sonst die Güte der Topfkreise verschlechtert.

Teile von Bürklin:

Madenschraube M3 (Befestigung BNC HF-Ausgang)	Bestellnummer 14 H 434
Lötstützpunkt FG1-0.030	Bestellnummer 12 H 392

Teile von Farnell:

Messingschraube M3 x 6	Bestellnummer 885-4394
Messingschraube M 6 X 40 (Innenleiter Anodenkreis)	Bestellnummer 764-310
Messingschraube M2,5 x10 (Befestigung Testbuchse)	Bestellnummer 885-4351
Sechskantmutter Messing M3	Bestellnummer 885-9841
Sechskantmutter Messing M6	Bestellnummer 885-9884
Sechskantmutter Messing M2,5	Bestellnummer 885-9833

Auch die sonstigen elektronischen Bauelemente können von Farnell bezogen werden:

BNC-Buchse 50 Ohm Zentralbefestigung	Bestellnummer 105-6261
BNC-Buchse 50 Ohm Flanschbefestigung	Bestellnummer 105-6263
Widerstand 220 Ohm / 5W	Bestellnummer 950-4729
Widerstand 33 Ohm / 5W	Bestellnummer 950-4885

Die Röhre 2C39 wurde bei Ebay ersteigert. Diese Röhren sind dort stets in großer Zahl im Angebot. Die Fassung wurde aus Einzelteilen von mehreren, ebenfalls bei Ebay ersteigerten, Fassungen zusammengesetzt.

Mechanische Zeichnungsteile

Die PTFE-Folie zur Isolierung des Anodenanschlusses wurde freundlicherweise von der Firma W.Max Wirth Kunststoff-Erzeugnisse 38112 Braunschweig (www.wirth-bs.de) als Spende zur Verfügung gestellt.

Das Messingrohr für den Innenleiter des Kathodenkreises wurde bei Conrad-Electronic im Ladengeschäft gekauft.

Die Mechanikteile wurden bei der Firma Willi Müller Feinmechanik in Berlin gefertigt, die auch die Beschaffung des Metallhalbzeugs übernahm.

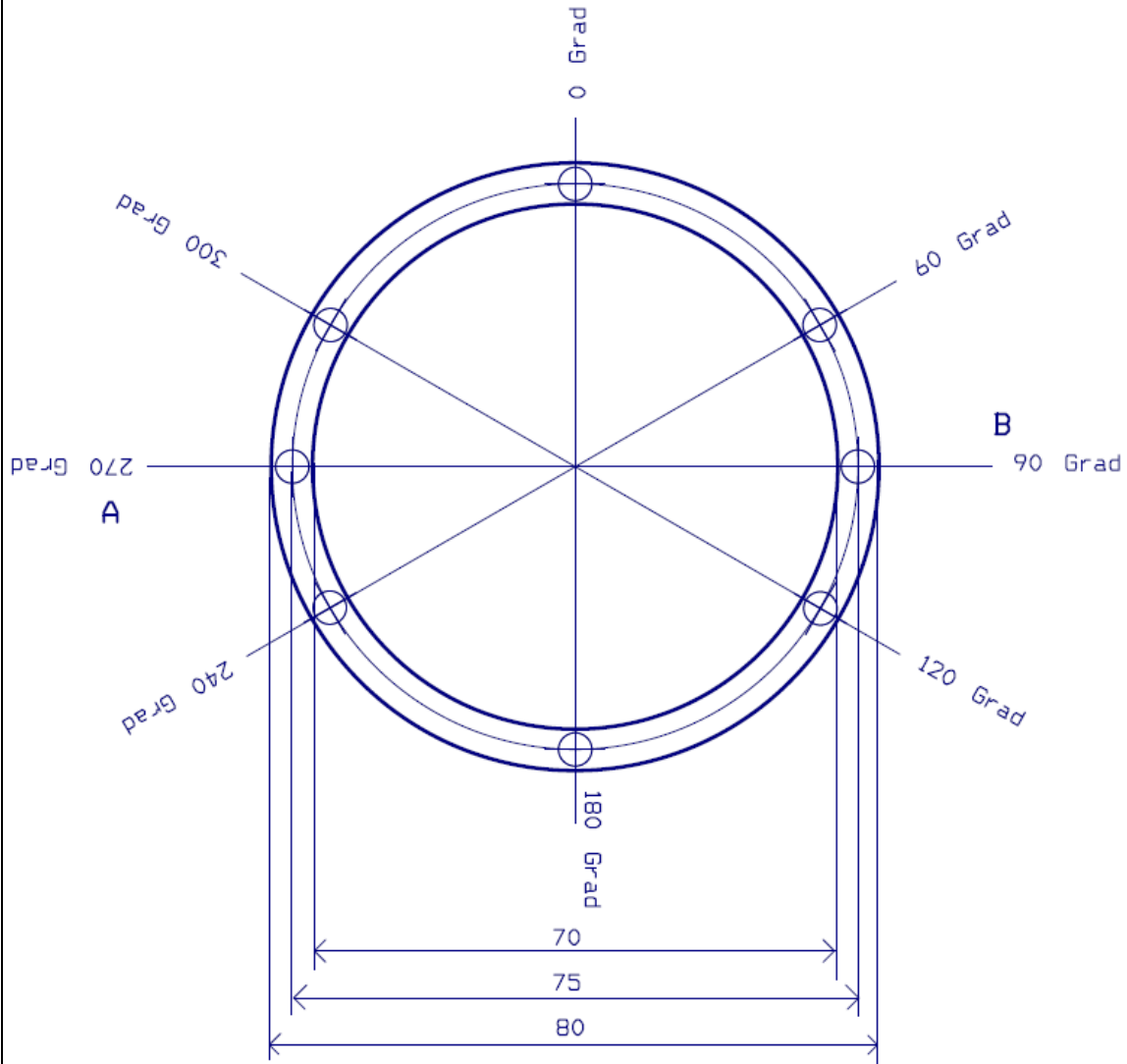
Name	Rohmaterial	Arbeitsgänge
Zylinder Anodenkammer	Ms-Rohr Ad = 80mm, Id = 70mm	Ablängen (absolut Plan) bohren, Gewindeschneiden
Abdeckplatte Anodenkammer	Ms-Blech 1mm	Ausschneiden, bohren
Kontaktplatte Anode	Ms-Blech 0,5mm	Ausschneiden, bohren
Isolierplatte Anode	PTFE-Folie 0,5mm	Ausschneiden, bohren
Bodenplatte Anodenkammer	Ms-Blech 1mm	Ausschneiden, bohren
Seitenwand Kathodenkreis	Ms-Blech 0,5mm	Ausschneiden, bohren, biegen

Auf den Folgeseiten sind die Mechanikzeichnungen für diese Teile zu finden.

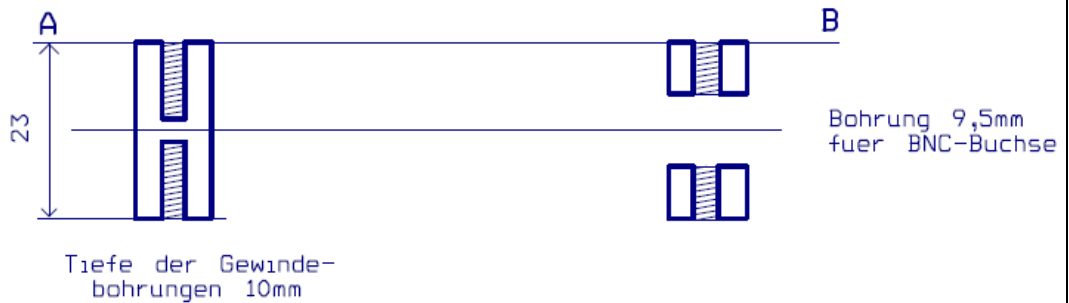
Zylinder Anodenkammer Draufsicht

Material: Messing-Rohr

8 Gewindebohrungen fuer M3



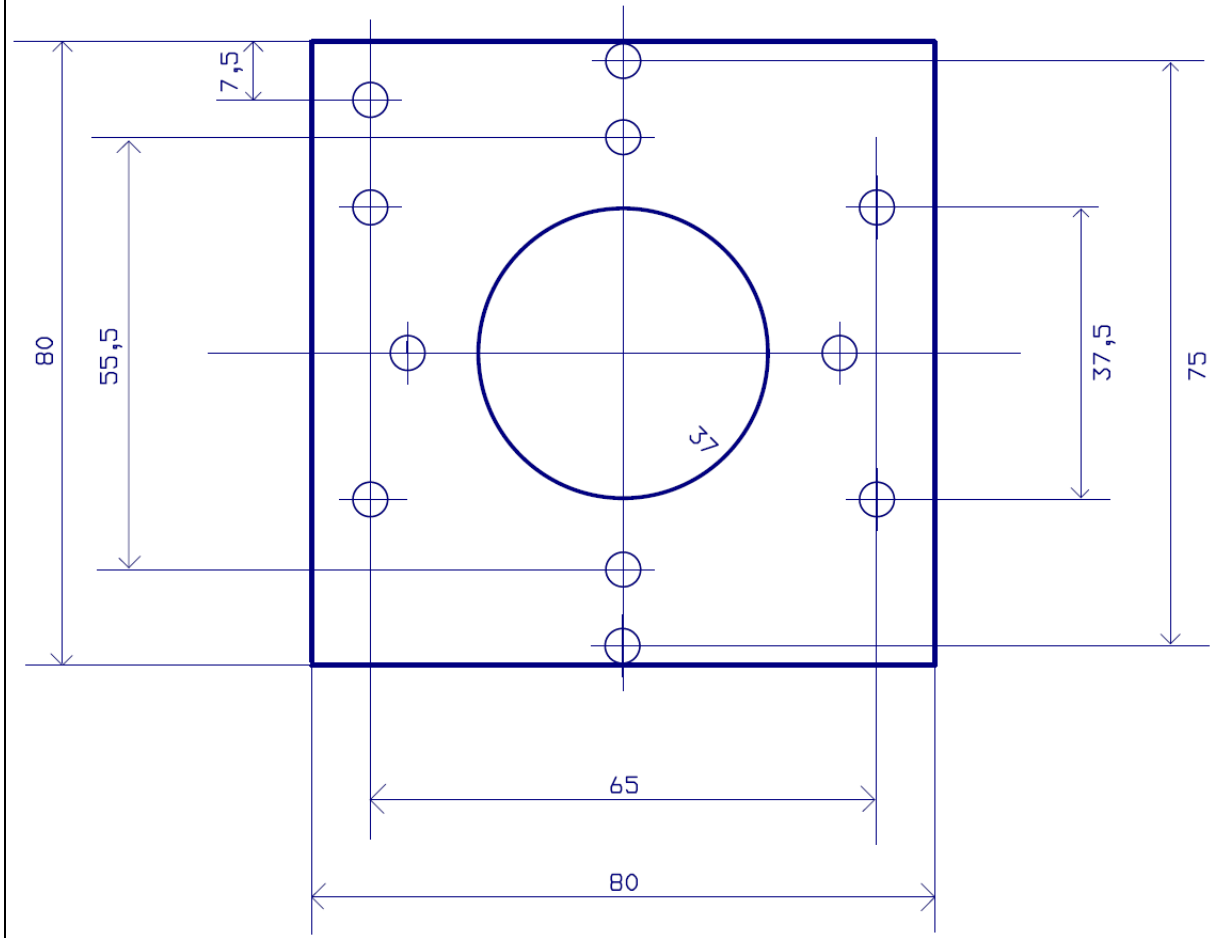
Zylinder Anodenkammer Schnitt A-B



Abdeckplatte Anodenkammer

Material: Messingblech 1mm

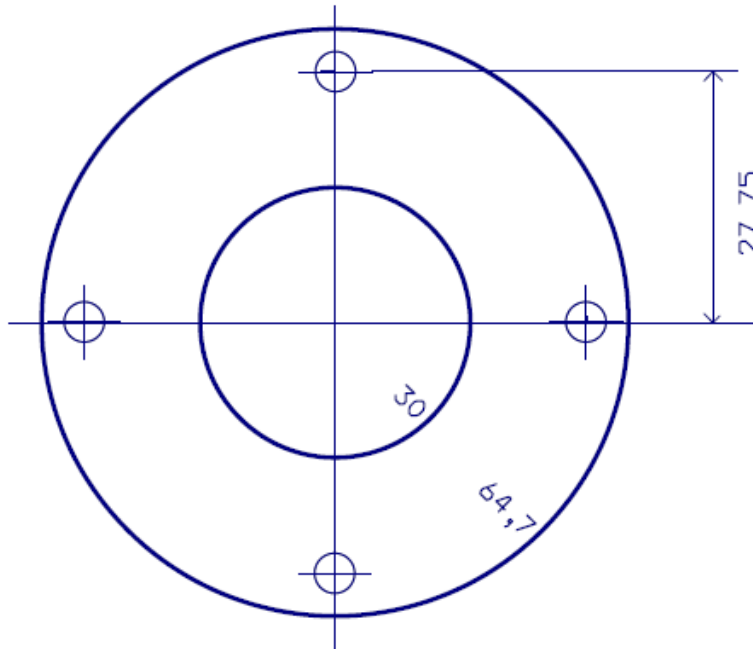
11 Bohrungen 3,3mm



Kontaktplatte Anode

Material: Messingblech 0,5mm

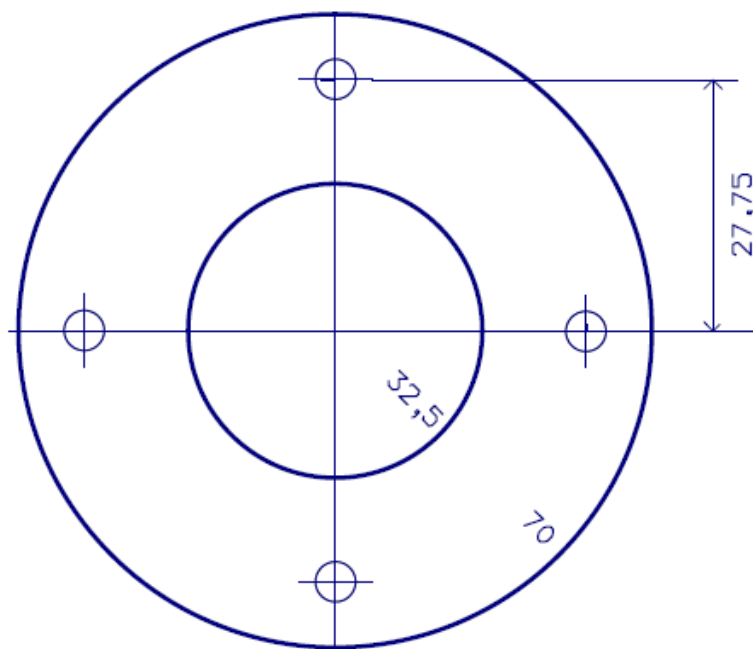
4 Bohrungen 3,3mm

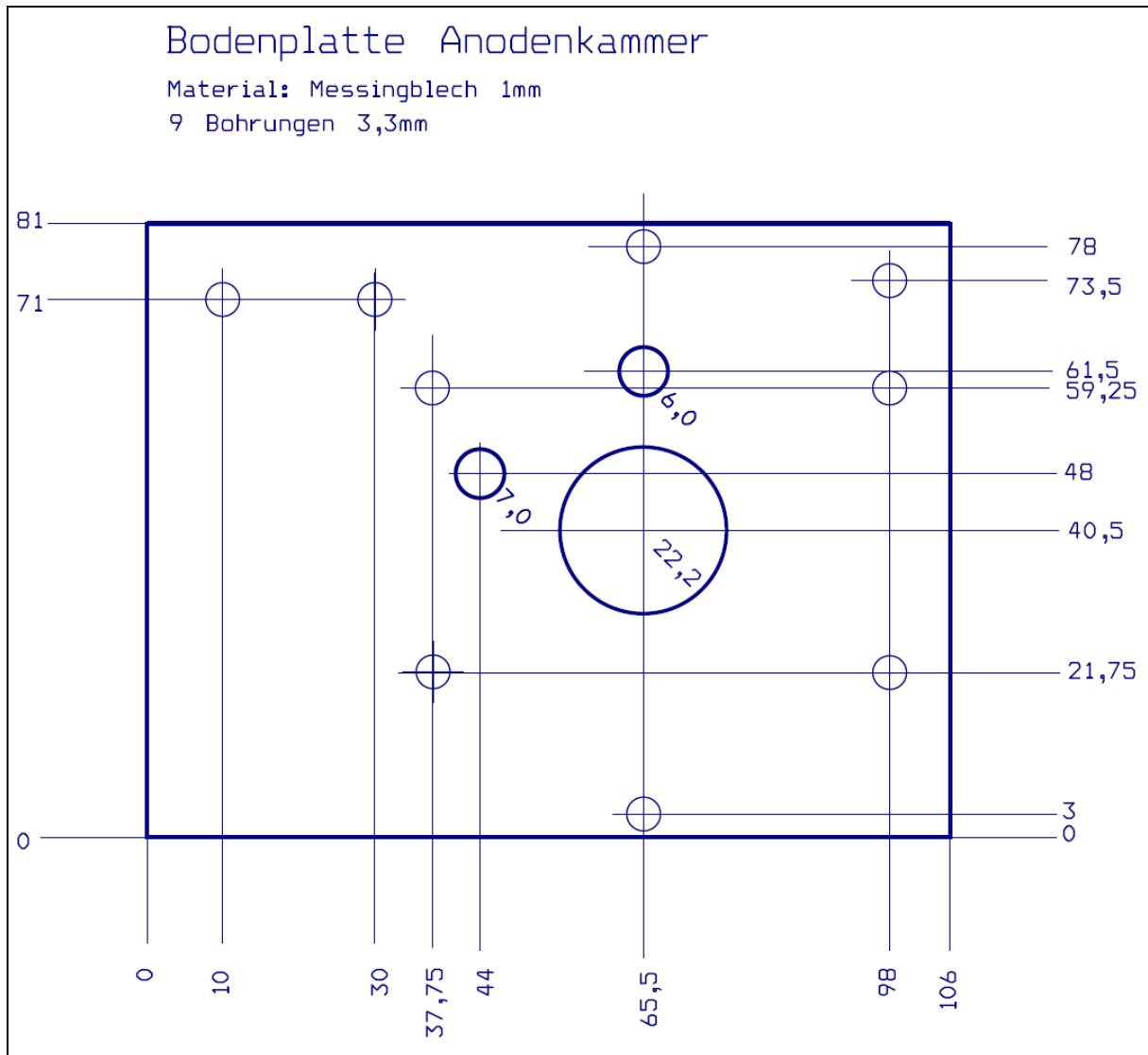


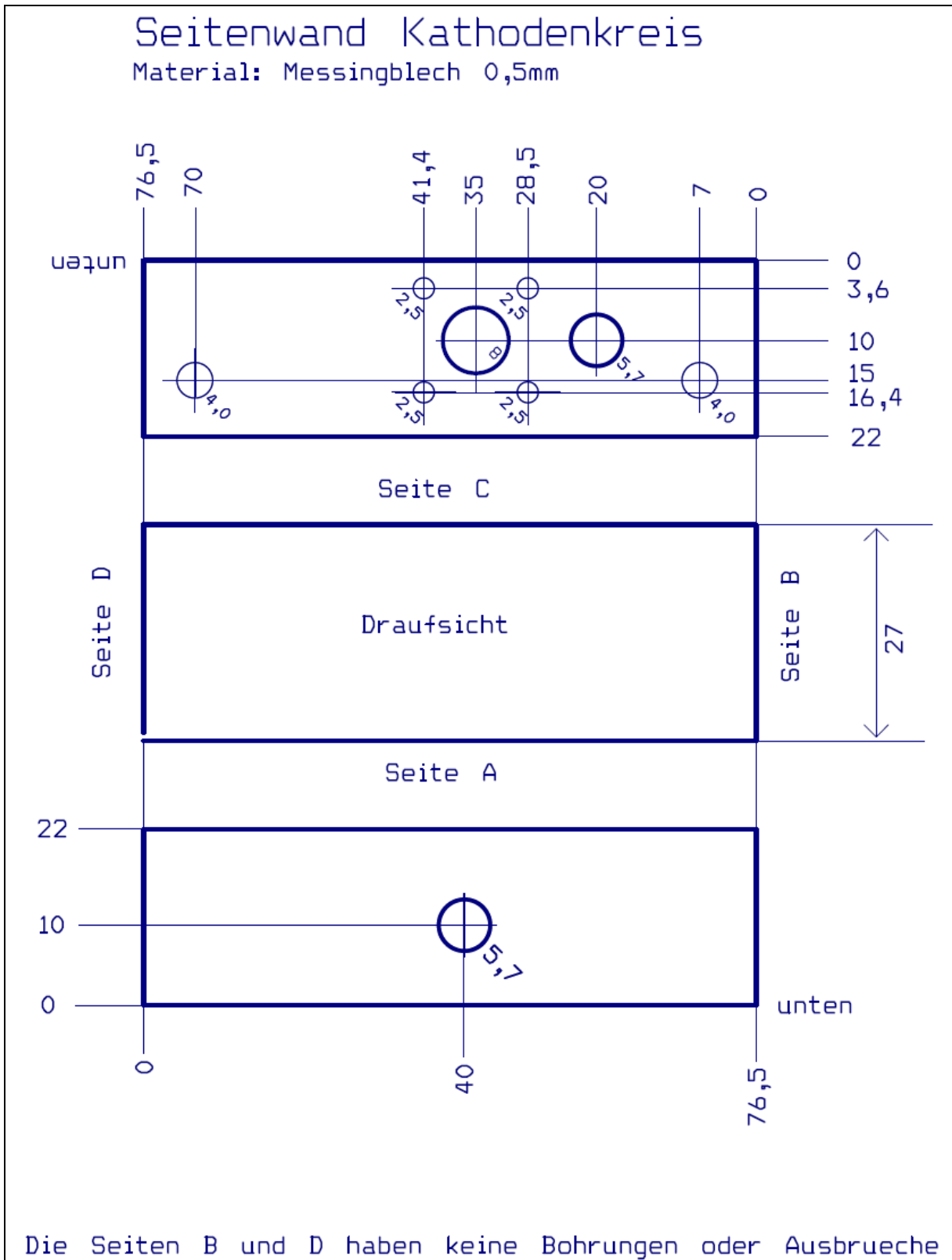
Isolierplatte Anode

Material: PTFE-Folie 0,5mm

4 Bohrungen 3,3mm

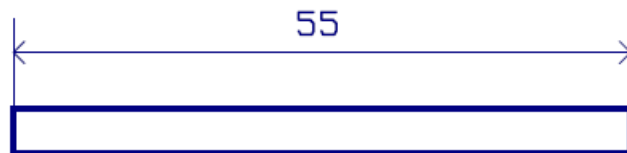






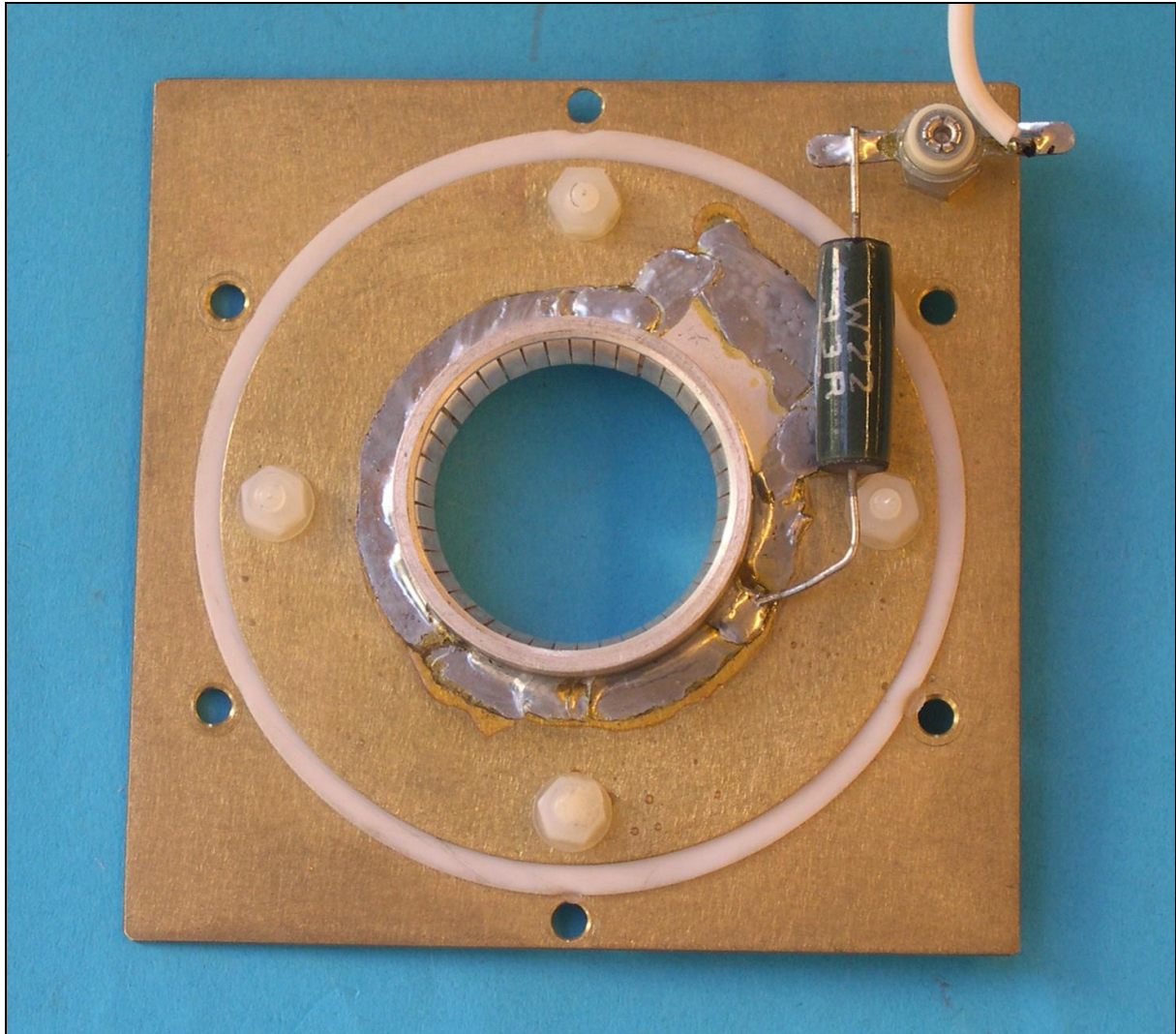
Innenleiter Kathodenkreis

Material: Messingrohr 4mm Durchmesser

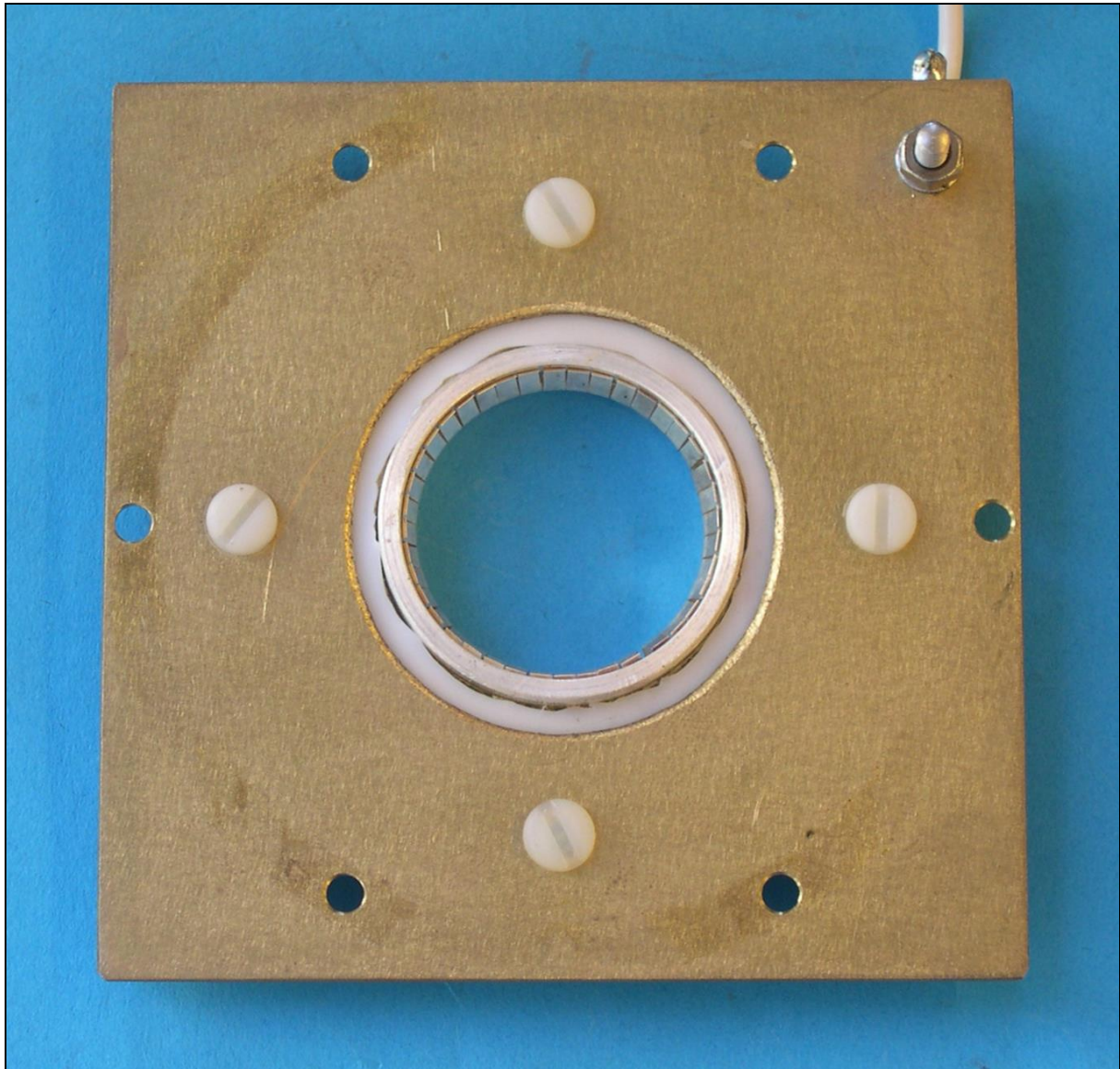


Details der Ausführung

Im Folgenden werden noch einige Details des Aufbaus des Oszillators gezeigt.



Blick auf die Oberseite der Abdeckplatte mit dem Anodenanschluß



Blick auf die Unterseite der Abdeckplatte mit dem Anodenanschluß