

Eine Filterweiche für 2 m - Relaisfunkstellen mit 600 KHz-Sendeempfangsabstand

von Werner Haas, DJ5KQ und Dr. Karl Meinzer, DJ4ZC

Die Einführung des 600 KHz-Sendeempfangsabstandes für die 2 m Relaisstellen hat die Relaisverantwortlichen vor das Problem gestellt, eine ausreichende Entkopplung zwischen Sender und Empfänger zu erzielen. Sieht man mal von "Wunderfiltern" ab (1 Kreis = 90 dB Entkopplung!), so hat man nach einigem Literaturstudium das Gefühl, daß es bisher kein Filter gibt, daß allen Anforderungen gerecht wird. Die Autoren haben sich daher an eine Lösung des Problems bemüht.

Die Anforderungen an das Filter

Um eine Antenne benutzen zu können, ist ein Diplexer, d. h. ein Doppelfilter mit einem Antennenanschluß wünschenswert. Die Verwendung von 2 Antennen zur Verbesserung der Entkopplung ist eine Notlösung, die für das Relais nicht wünschenswert ist. Bei einem Relais sind immer 2 Funkstrecken gleichzeitig in Betrieb. Setzt man etwa gleiche Sendeleistung und Empfängerempfindlichkeit bei Relais und Benutzer voraus, wird die schlechtere der beiden Strecken die Gesamtleistungsfähigkeit der Funkverbindung bestimmen. Bei 2 Antennen ist eine immer die schlechtere; entsprechend ist die Leistungsfähigkeit der Funkverbindung die der schlechteren Antenne. Wird nur die "bessere" Antenne verwendet, ist die Strecke entsprechend besser.

Je nach Lage der Relaisfunkstellen sind die Temperaturschwankungen oft erheblich. Eine Weiche sollte z. B. zwischen 0° und 50°C keine nennenswerten Änderungen der Betriebsdaten haben. Sind die Filter aus Kupferrohr oder Messing gebaut ($T_k = 17 \cdot 10^{-6}/\text{K}$), ergibt sich eine Frequenzänderung durch die Materialausdehnung von etwa $1 \cdot 10^{-3}$ oder 150 KHz im Temperaturbereich. Bei einem Filter von z. B. 150 KHz Bandbreite ist dies natürlich nicht tragbar.

Das Filter muß also entweder thermostatisiert oder temperaturkompensiert werden.

Die Durchlaßdämpfung des Filters sollte nicht zu groß sein. 3 dB sind gerade noch tragbar, ohne daß sich das Filter unangenehm bemerkbar macht. In der Regel wird der Gewinn aus dem Einantennenbetrieb größer sein als der Filterverlust.

Das Filter soll das Sendesignal soweit abschwächen, daß es am Empfänger keine Zustopfeffekte erzeugt. Wenn der Empfänger z. B. 3 mV noch verarbeiten kann, muß ein 10 W Signal etwa 80 dB geschwächt werden.

Mindestens genauso wichtig wie das Empfangsfilter ist ein Filter am Senderausgang. Da der Sender in 600 KHz Abstand (also auf der Empfangsfrequenz) einen erheblichen Rauschpegel erzeugt, muß dieses Rauschen weggefiltert werden. Ein grenzempfindlicher Empfänger hat eine Eingangsrauschleistung von etwa -155 dBW. Wenn im Sender z. B. das Rauschen mit -85 dB unterdrückt ist, ist die Rauschleistung des 10 W-Senders auf der Empfangsfrequenz -75 dBW. Um das Rauschen soweit zu schwächen, daß es genauso laut wie das Empfängerrauschen ist, muß man also ein Filter vorsehen, das auf der Empfangsfrequenz $155 - 75 = 80$ dB Unterdrückung erzeugt.

Schließlich sollte das Filter noch unkritisch im Aufbau sein und sich leicht abstimmen lassen.

Jedes Filter dieser Art muß Schwingkreise besitzen. Weil der Frequenzabstand nur ca. $\frac{1}{250}$ der Arbeitsfrequenz beträgt, sollte die Güte sehr groß gegenüber 250 sein. Resonante Hohlräume gestatten sehr große Güten zu erzielen, sind aber bei 2 m Wellenlänge sehr unhandlich. Wie weiter unten gezeigt wird, kann man mit geringeren Güten arbeiten, wenn man mehr Kreise verwendet.

Es wurde daher versucht, mit Koaxialkreisen auszukommen. Versuche haben ergeben, daß man mit Koaxialkreisen, deren Innenleiter 42 mm ϕ haben ($Z = 80$ Ohm), eine Leerlaufgüte von mehr als 5000 erzielt. Legt man solche Kreise zugrunde, stellt sich die Frage, wieviel dieser Kreise man braucht, um die Forderungen (Durchlaßdämpfung 3 dB, Sperrdämpfung 80 dB) zu erzielen. Man kann die Sperrdämpfung mit entsprechend schmalbandigen Durchlaßfiltern erzeugen oder auf den Sperrfrequenzen Saugkreise vorsehen. Bei richtiger Dimensionierung verursachen die Saugkreise eine geringere Durchlaßdämpfung als Durchgangskreise. Pro Durchlaßkreis gegebener Arbeitsgüte geht $\frac{QA}{QL}$ der Leistung verloren. (QL = Leerlaufgüte des Kreises, QA = Arbeitsgüte des Kreises)

Legt man die Durchlaßverluste von vornherein fest, kann man die Arbeitsgüte entsprechend der Zahl der Kreise herabsetzen. Die Durchlaßverluste bleiben so konstant. Die Bandbreite wächst aber, was in Hinblick auf die Temperaturempfindlichkeit wünschenswert ist. Die Sperrdämpfung ist proportional zu $(\frac{C}{n})^n$, nimmt also mit steigender Kreiszahl stark zu.

Prinzipiell sollte man meinen, daß nur Saugkreise die geringste Durchlaßdämpfung ergeben. Da man diese Kreise jedoch entkoppeln muß und wegen der immer schwach vorhan-

denen Nebenausstrahlungen des Senders, die im Empfänger Störmischprodukte erzeugen können, muß man auch Durchlaßkreise vorsehen (für Weitabselektion).

Es wurden Rechnungen aufgestellt, mit 4 Kreisen der oben erwähnten Art ein Filter zu konstruieren. Es ergab sich jedoch, daß man die gewünschten Spezifikationen nur gerade erreichen kann.

Dieselben Rechnungen mit 5 Kreisen ergaben jedoch "Reserven", so daß 5 Kreise vorgesehen wurden. Dabei hat es sich als günstigste Lösung ergeben, ein dreikreisiges Bandfilter mit $Q_A = 700$ zu verwenden und mit 2 Saugkreisen die Sperrdämpfung zu erhöhen.

Das dreikreisige Bandfilter wurde leicht überkritisch gekoppelt. Dadurch erreicht man an allen drei Kreisen die gleiche Arbeitsgüte und gleiche HF-Spannung.

Bei Bandfiltern ungerader Kreiszahl mit überkritischer Kopplung erhält man n-Höcker, wobei der mittlere in Bandmitte liegt. Bei der gewählten Kopplung ($K_{12}Q = K_{23}Q = 1$) ergibt sich nur eine Einsattelung von 3 %; die Abstimmung ist kein Problem. Durch die leicht überkritische Kopplung ist die Anpassung auch unkritisch. Die resultierende Durchlaßbandbreite ist $\frac{145,5}{Q} \cdot \sqrt{2} \approx 250$ KHz, die drei Kreise erzeugen in 600 KHz^A Abstand ca. 43 dB Unterdrückung, so daß die Saugkreise noch je 20 dB weitere Unterdrückung erzeugen müssen.

Technische Gestaltung

Im Vordergrund stand ein möglichst einfacher Aufbau und die gewünschte Temperaturkompensation. Es wurde ein interdigitaler Filtertyp schon früher für ein 70 cm Relais verwendet, und so lag es nahe, dasselbe Prinzip auch für

2 m anzuwenden (Zeichnung Nr. 3020-6). Die Innenleiter und die Seitenteile wurden aus Kupfer angefertigt, die Stirnflächen, der Boden und die Deckel aus Aluminium. Da Aluminium einen höheren Ausdehnungskoeffizienten hat als Kupfer, entfernen sich mit steigender Temperatur die Seitenteile stärker voneinander, als sich der Innenleiter ausdehnt. Der Abstimmkondensator ist ein Stift, der in das Rohr des Innenleiters hineinragt. Bei steigender Temperatur wird dieser Stift durch die stärkere Ausdehnung des Aluminiums etwas herausgezogen. Diese Frequenzerhöhung kompensiert bei richtiger Dimensionierung des Abstimmmechanismus gerade die Frequenzverringering durch die Ausdehnung des Innenleiters.

Zur einwandfreien Temperaturkompensation war es erforderlich, sowohl Stirn- als auch Seitenteile erheblich zu versteifen. Ohne diese Versteifungen traten zusätzlich zu den linearen Temperaturendehnungen noch Verwindungseffekte auf. Die Folge davon war, daß der Temperaturgang scheinbar überkompensiert war. Bei der inneren Schutzlackierung ist darauf zu achten, daß Kontaktflächen (Boden, Deckel etc.) vorher abgedeckt werden.

Betriebserfahrung

Das beschriebene Filter ist seit einiger Zeit mit einer Antenne bei der Relaisstelle Knüll, DB Ø XU, in Betrieb. In der Beobachtungszeit traten Temperaturschwankungen von 30° auf. Es konnten keine Auswirkungen auf den Betrieb festgestellt werden.

Die Benutzer des Relais sind der Meinung, daß das Knüllrelais zu den empfindlichsten Relaisstellen Deutschlands gehört.

Messwerte des Filters

Durchlaßdämpfung	Senden + Empfang	= 2,9 dB
Sperrdämpfung		ca. 85 dB
Temperaturgang der Frequenzen		-10° bis +50°C kleiner 10 KHz

Konstruktionsunterlagen, sowie Anfragen bitte nur
bei dem UKW - Referat

OM - H.J. Schilling DJ 1 XK
anfordern.

Mechanische Bearbeitungshinweise.

zu Teil 7, 9 u. 16f : mit mind. 5 μ versilbern.

zu Teil 13: vor dem Anlöten mit Blechschrauben fixieren.

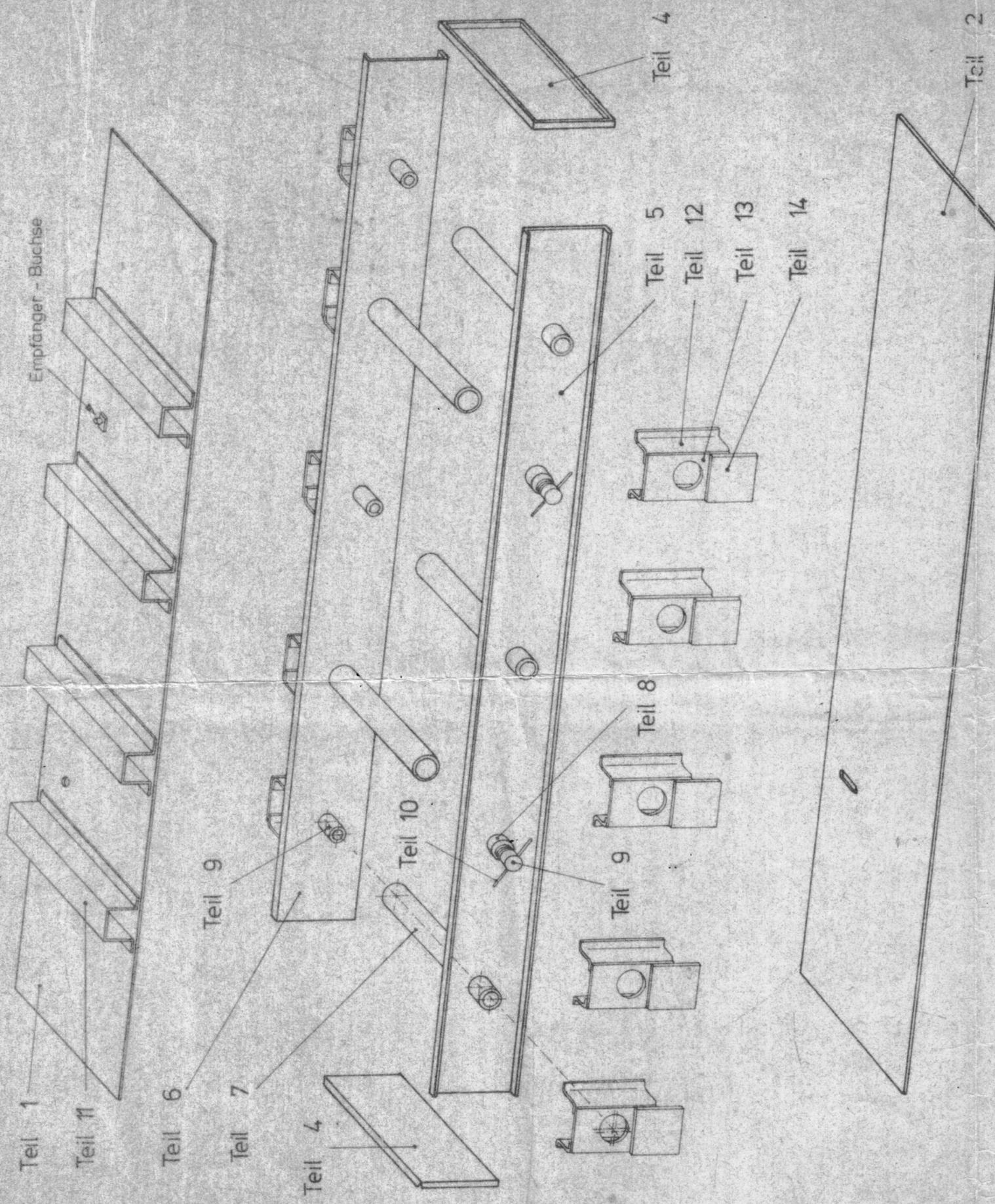
Sonstiges:

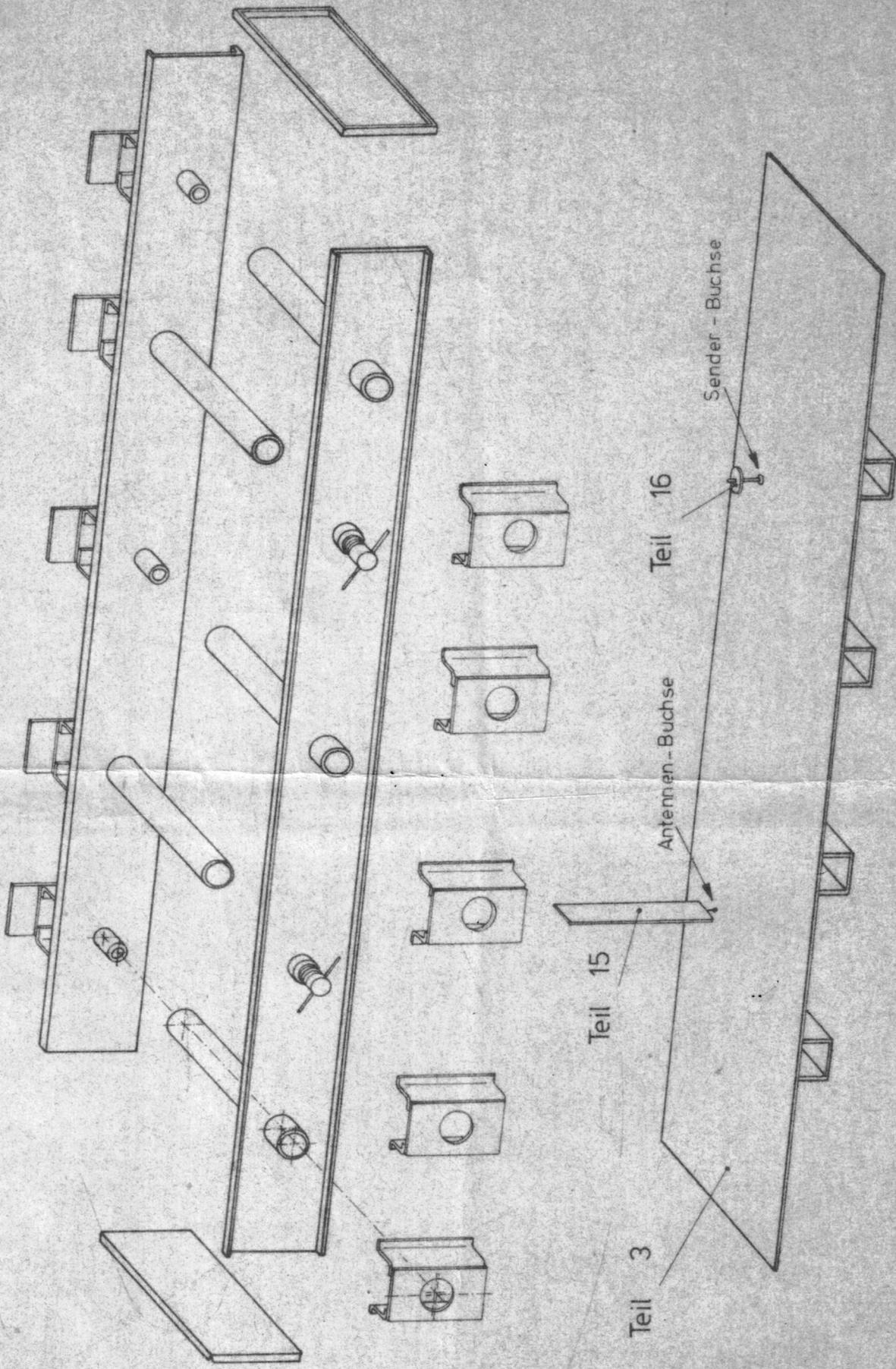
- a) Alle Filterinnenflächen polieren und anschließend mit farblosen Schutzlack Molafit lackieren. Vor Schutzlackierung M 22 Gewinde von Teil 8 abdecken.
(Schutzlack Herst.: Fa. Freudendorfer KG 8 München 25)
- b) Die Walzrichtung sämtlicher Aluminiumteile soll parallel zu den Kreisen sein.
- c) Die Art der Material-Verarbeitung und der Verbindungen unbedingt Zeichnungsgetreu ausführen !
(z.B.: Klebeverbindungen nicht verschrauben.)
Bei Abweichungen, Gefahr der Veränderung der Temperaturkompensation oder der elektrischen Eigenschaften.

AMSAT - DL

UKW - Diplexer

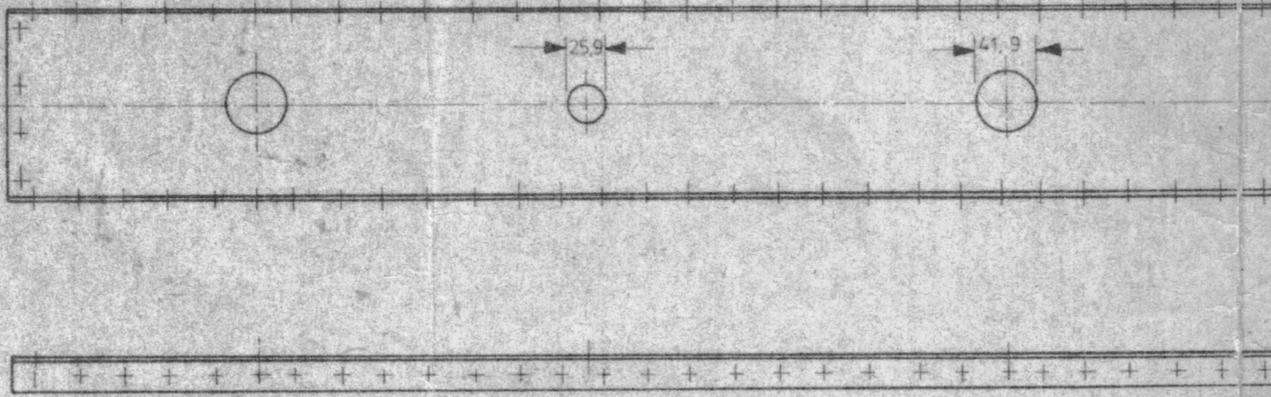
für Relaisfunkstellen im 2m Band
Rx - Tx 600 KHz - Abstand



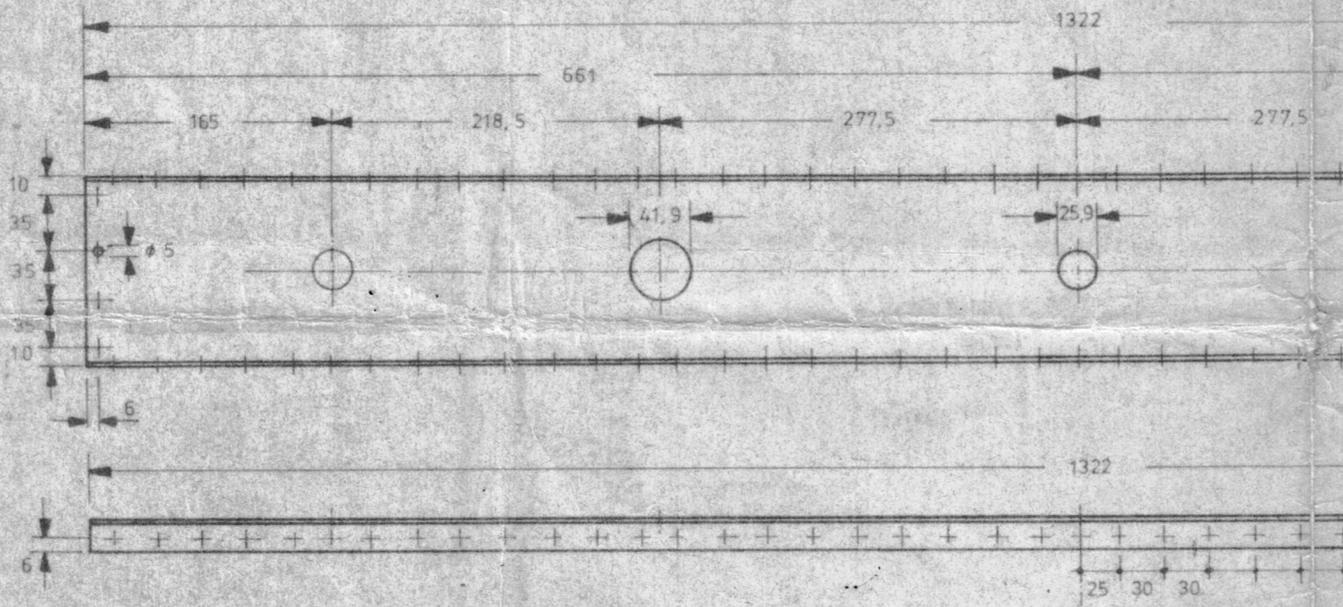


AMSAT - DL		DJ 5 KQ	DJ 4 ZC
UKW - Diplexer			
für Relaisfunkstellen im 2m Band			
Rx - Tx 600 KHz - Abstand			
Zeichn. Nr.	3020		
gez.	Gladisch		
Datum:	24.10.1974		
Maßstab:	1:75		

Mafie wie Teil 5



420
24
444

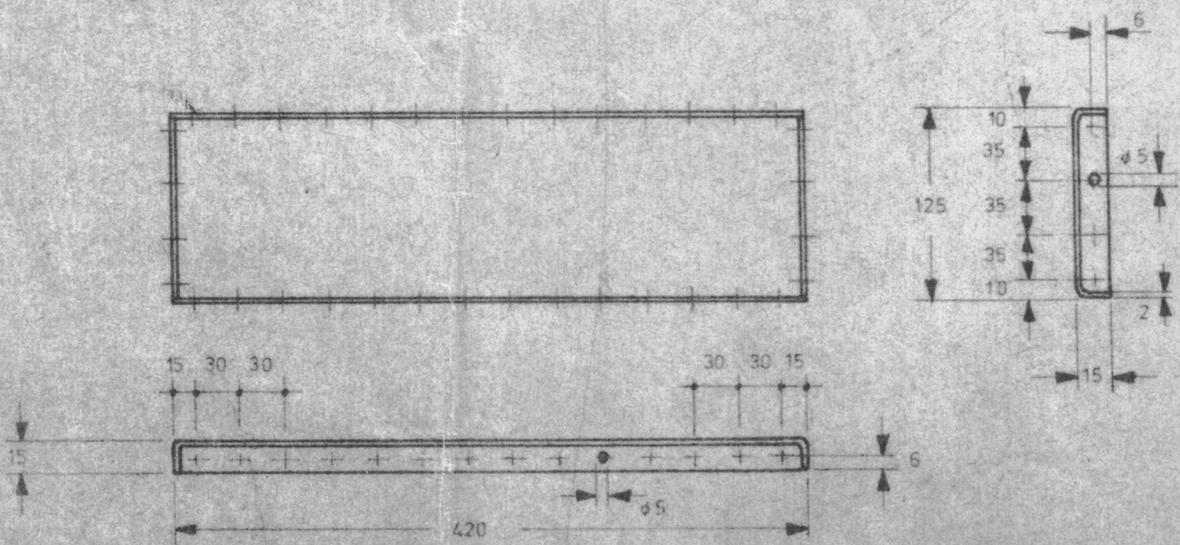


21
28
49
25
26

Teil 4 M 1:5

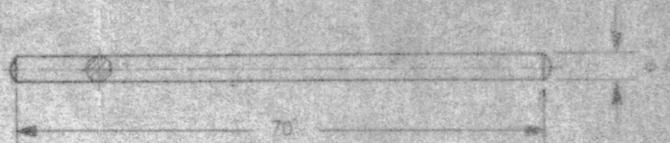
0.4
1.1

5t

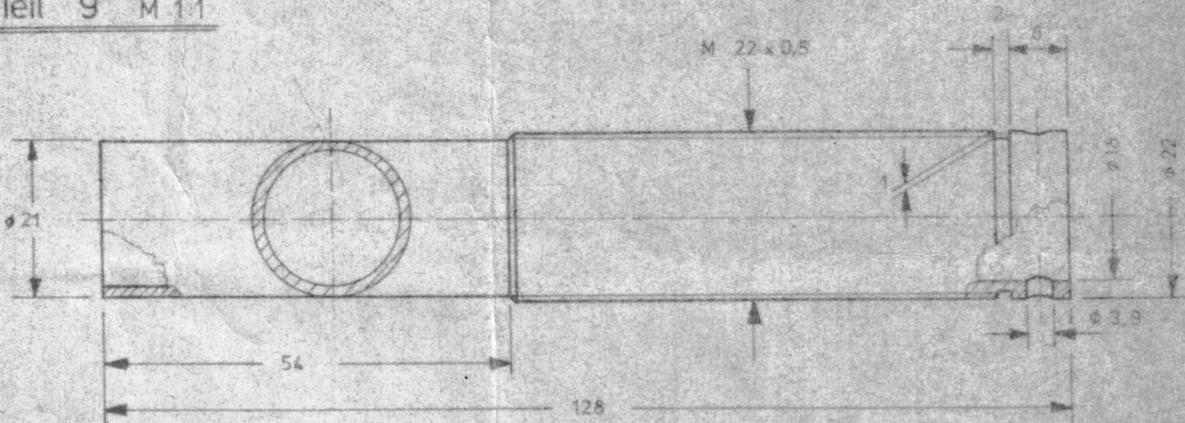


254

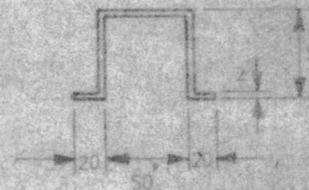
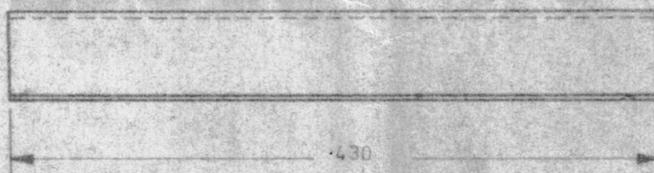
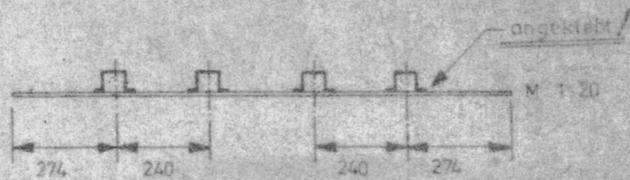
Teil 10 M 1:1



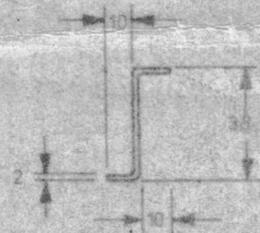
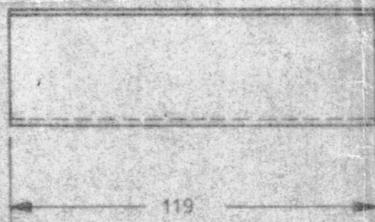
Teil 9 M 1:1



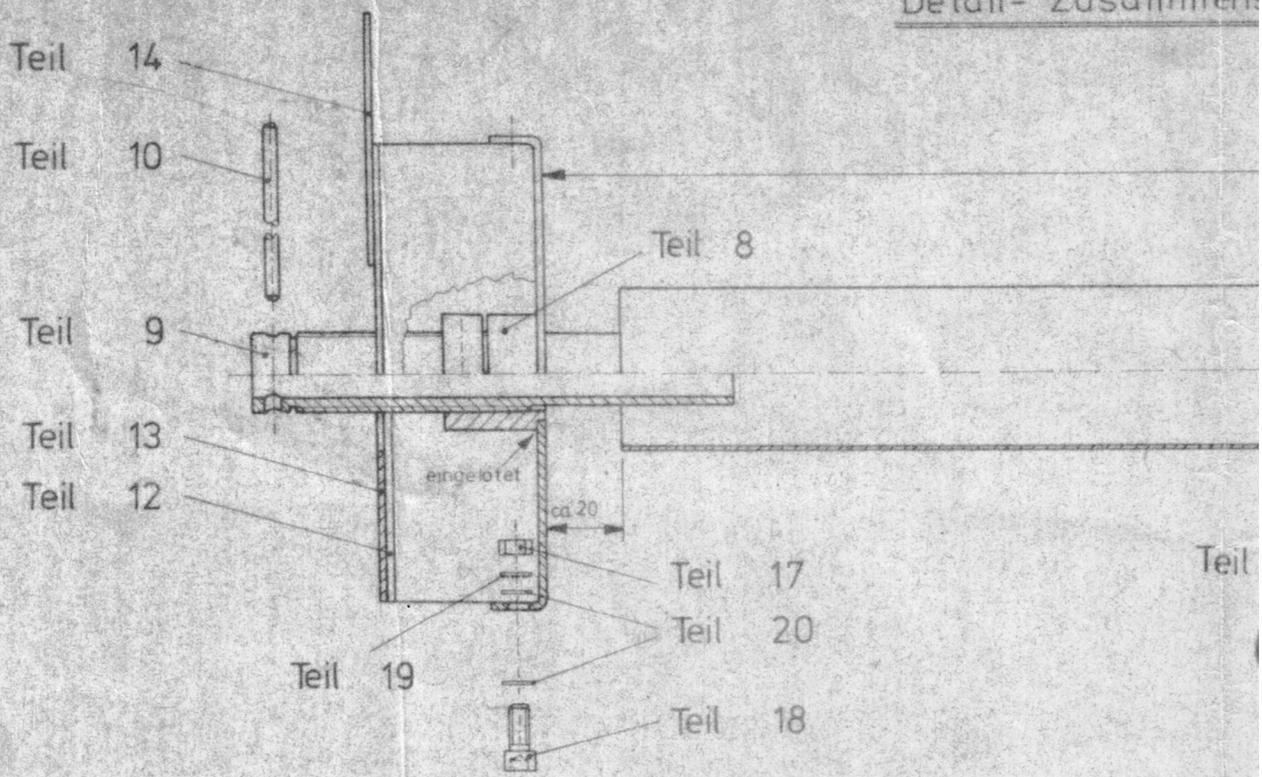
Teil 11 M 1:5



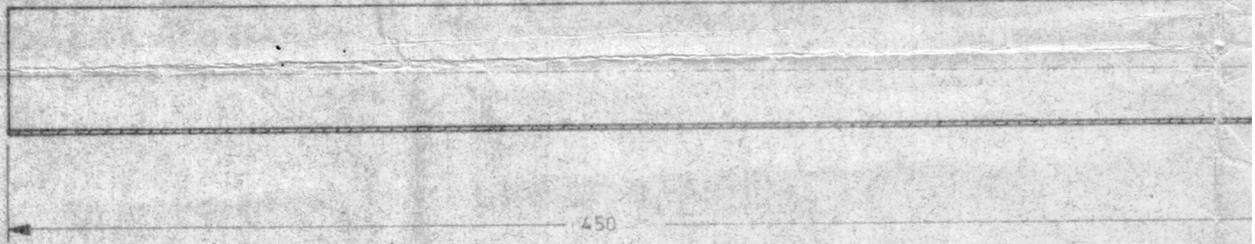
Teil 12 M 1:2,5



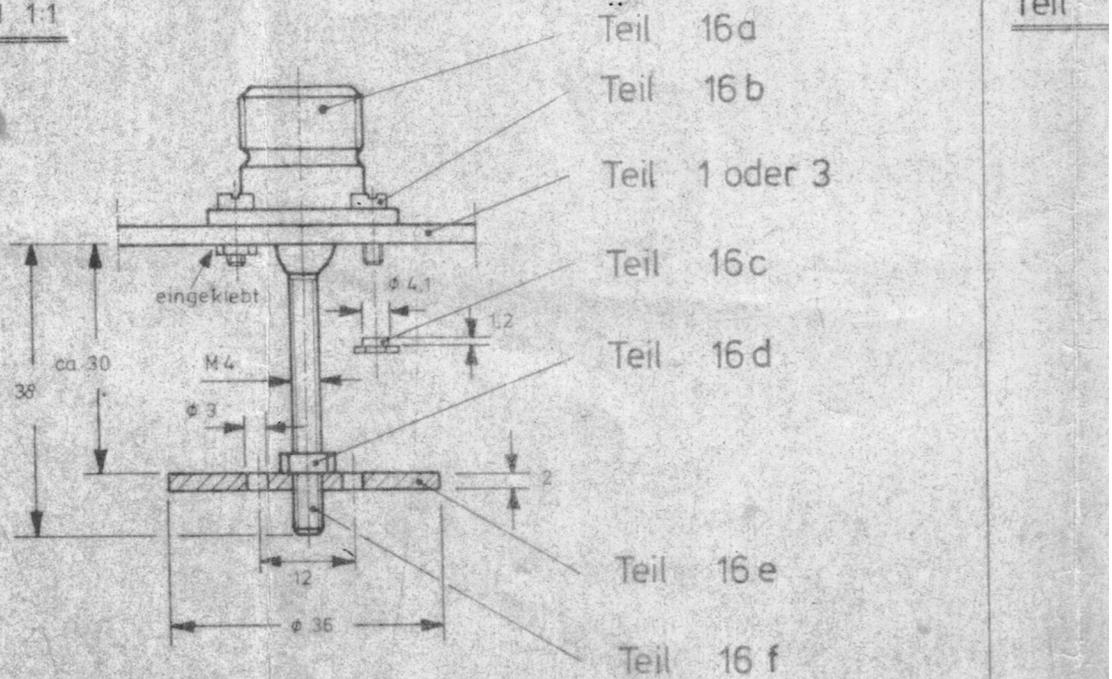
AMSAT - DL		DJ 5 KQ	DJ 4 ZC
Zeichn. Nr. 3020-2	UKW - Diplexer Ausführung I		
gez. Glödisch	für Relaisfunkstellen im 2m Band		
Datum: 24.10.1974	Rx - Tx 600 KHz - Abstand		
Maßstab 1:75, 1:5	Teil 1, 2, 3, 9, 10, 11 u. 12.		
1:25, 1:1			

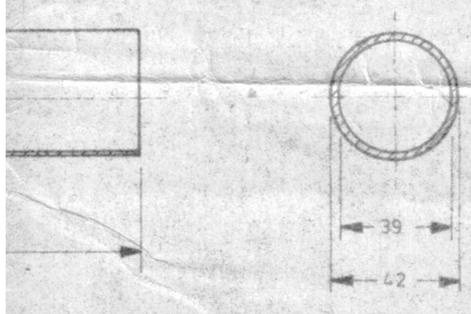
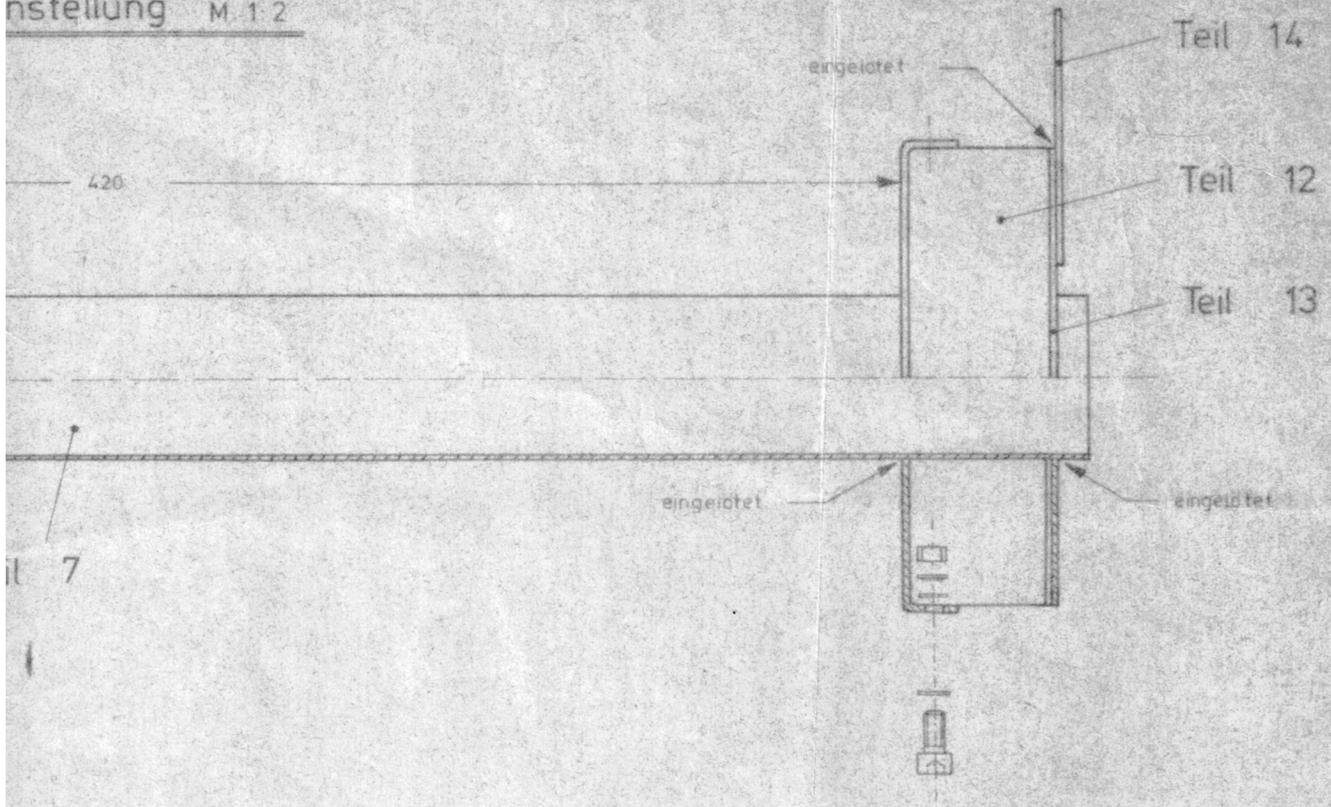


Teil 7 M 1:2,5

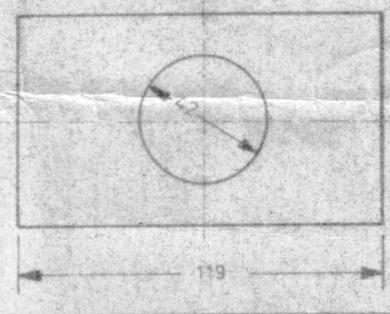


Teil 16 a-g M 1:1

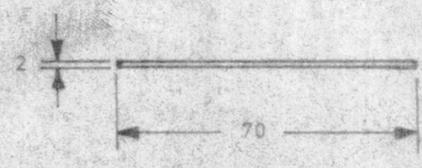
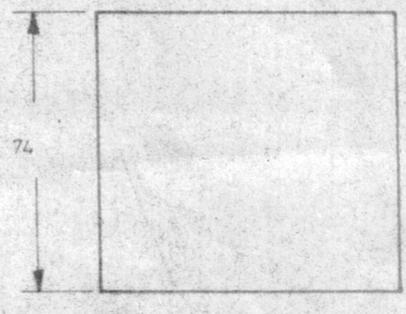




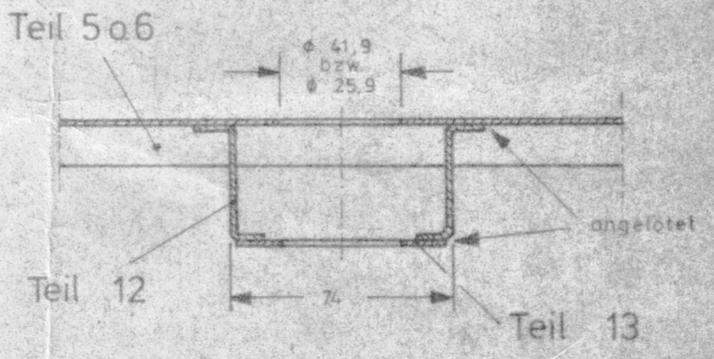
Teil 13 M 1:2,5



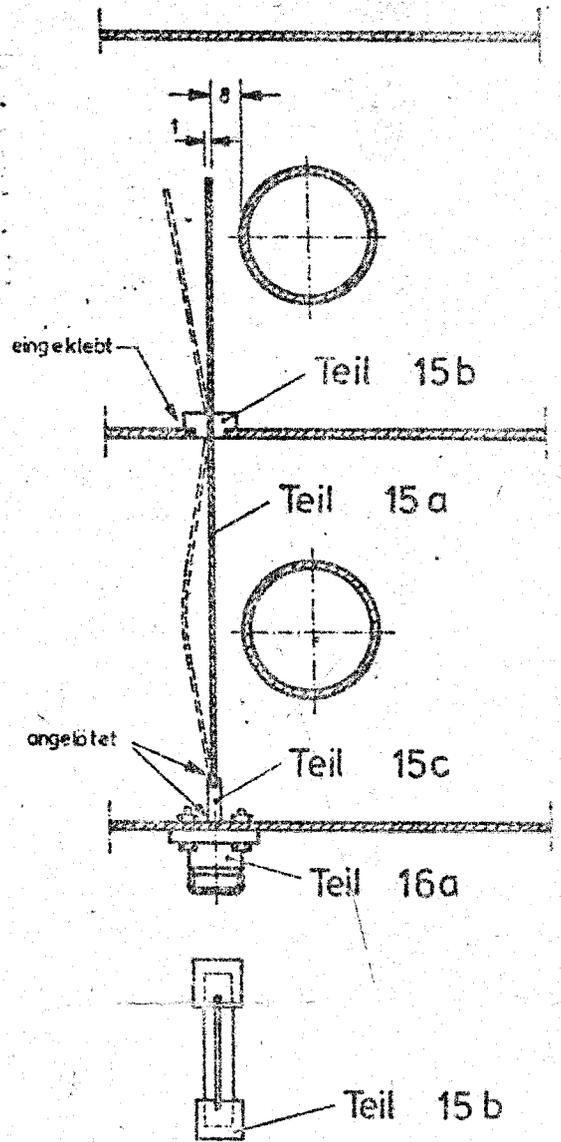
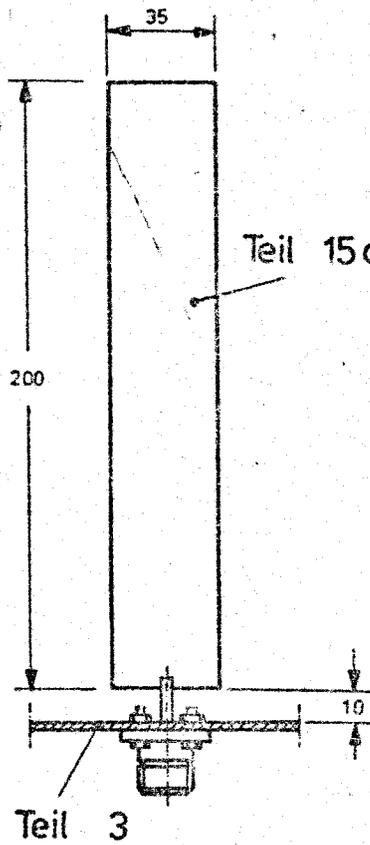
14 M 1:2



Detail Z M 1:2,5

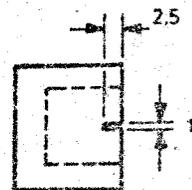
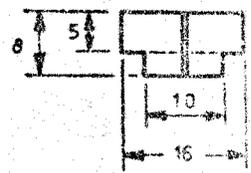
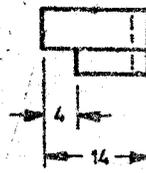


AMSAT - DL DJ4 ZC DJ5 KO	
Zeichn. Nr. 3020-3	UKW - Diplexer Ausführung I
gez. Gladisch	für Relaisfunkstellen im 2m. Band
Datum: 24. 10. 1974	Rx - Tx 600 KHz Abstand
Maßstab: 1:1 - 1:2 - 1:2,5	Teil 7, 13, 14 und 16



Teil 15b

Maßstab 1:1



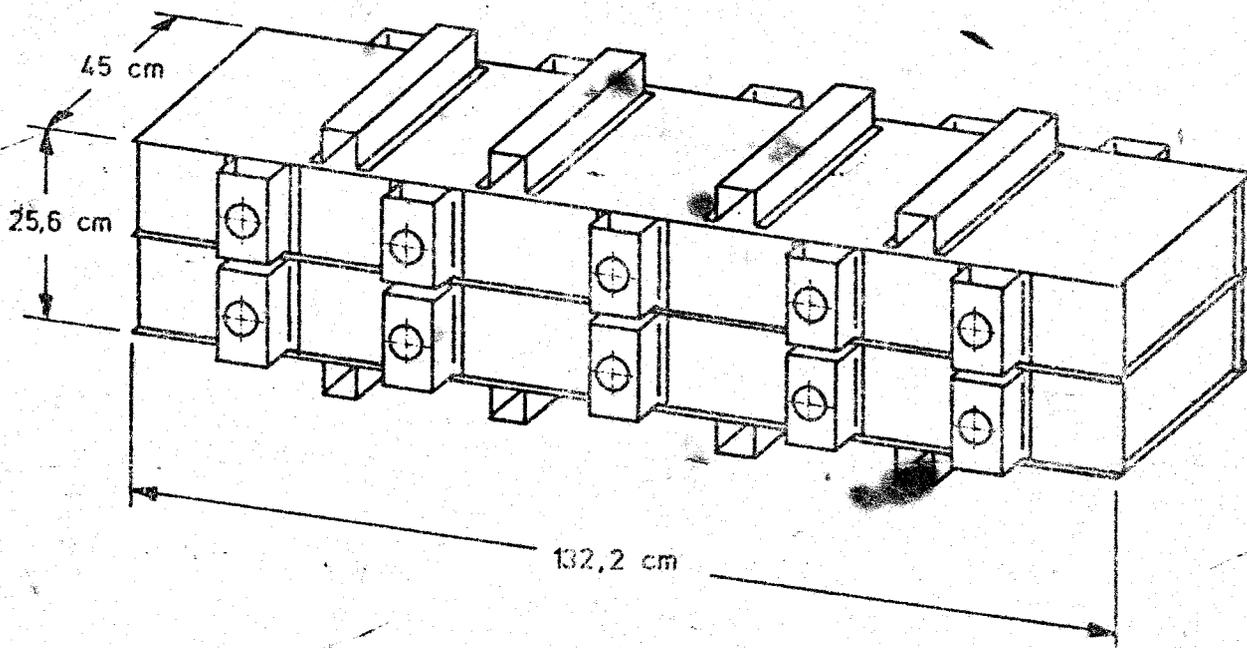
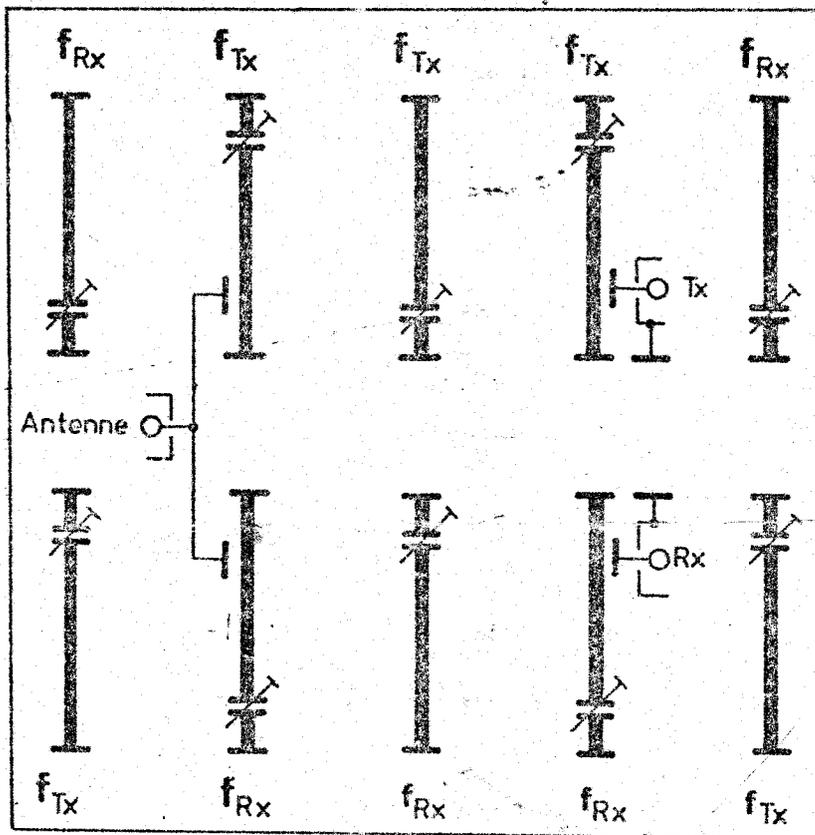
AMSAT - DL DJ 4 ZC DJ 5 KQ	
Zechn.Nr. 3020 - 4	UKW - Diplexer Ausführung 1
gez Gladisch	für Relaisfunkstellen im 2m Band
Datum: 24.10.74	Rx - Tx 600 KHz - Abstand
Maßstab: 1:1 1:2.5	Teil 15a, b u. c

Lfd. Nr.	Stück	Benennung	Wahlrichtung	
1	1	Al - 1322 x 450 x 2	Wahlrichtung nach 1322 zu	
2	1	Al - 1322 x 450 x 2	"	"
3	1	Al - 1322 x 450 x 2	"	"
4	4	Al - 460 x 160 x 2	"	160 zu
5	2	Cu - 1322 x 165 x 1		
6	2	Cu - 1322 x 165 x 1		
7	10	Cu - Rohr Außen $\varnothing = 42$ Wandst. = 1,5 L = 450 ✓		
8a	10	Ms $\varnothing = 30$ L = 26		
8b	10	Zylinderschraube mit Innensechskant M 3x10 DIN 912-8.8		
9	10	Ms - Rohr Außen $\varnothing = 22$ Wandst. = 2 L = 128		
10	10	Ms $\varnothing = 4$ L = 70		
11	8	Al - 450 x 200 x 2	Wahlrichtung nach 200 zu	
12	40	Cu - 119 x 60 x 2		
13	20	Cu - 119 x 70 x 2		
14	10	Cu - 74 x 70 x 2		
15a	1	Cu - 200 x 35 x 1 ✓		
15b	2	Teflon 16 x 14 x 8		
15c	1	Cu - $\varnothing = 4$ L = 20		
16a	3	N-Buchse		
16b	12	Zylinderschraube	M 3x8	DIN 84 - 5.8 Ms
16c	12	Sechskantmutter	M 3	DIN 934 - 8 Ms
16d	2	Sechskantmutter	M 4	DIN 934 - 8 Ms
16e	2	Al - $\varnothing = 35$ L = 2		
16f	2	Gewindestab M 4 x 40 Ms		
17	386	Sechskantmutter	M 5	DIN 934 - 8
18	386	Zylinderschraube mit Innensechskant	M 5 x 16	DIN 912 - 8.8
19	386	Zahnscheibe	A 5,3	DIN 6797
20	772	Scheibe	A 5,3	DIN 125

AMSAT - DL DJ 4 ZC DJ 5 KQ

Zeichn. Nr. 3020 - 5
gez. Gledisch
Datum: 24.10.74

UKW - Diplexer Ausführung I
für Relaisfunkstellen im 2m Band
Rx - Tx 600. KHz - Abstand
Stückliste



AMSAT - DL DJ 4 ZC DJ 5 KQ	
Zeichn. Nr. 3020-6	UKW - Diplexer für Relaisfunkstellen im 2m Band Rx - Tx 600 KHz Abstand
gez. Gladisch	
Datum: 24.10.1974	
Maßstab: 1:10	