

Ich habe heute die Aufgabe, Ihnen die Maßnahmen, die geeignet sind, ein Ziel durch Tarnung gegen die Funkmeßortung zu schützen, kurz zu schildern und Ihnen den Stand unserer Arbeiten in großen Zügen darzulegen. Die Tarnung stellt ein recht schwieriges physikalisches Problem dar, und es geht weiter über den Rahmen dieses Vortrages hinaus, es in seinen Einzelheiten zu behandeln; aber ich will versuchen Ihnen gewisse Grundlagen näher zu bringen.

Ehe wir die eigentlichen Tarnmaßnahmen behandeln, müssen wir uns darüber klar werden, welche Anforderungen man an diese Tarnung stellen muß, wenn eine militärisch ausreichende Herabsetzung der Ortungsreichweite erfolgen soll. Wir müssen also zunächst die Abhängigkeit der Reichweite von der Energie bzw. Amplitude kennen lernen, um daraus dann abzuleiten, welche Forderungen an die Tarnmaßnahmen zustellen sind, wenn der gewünschte Erfolg eintreten soll. Wenn wir voraussetzen dürfen, daß die Reichweite eines Ortungsgerätes durch das thermische Rauschen des Empfängers oder den äußeren Störpegel begrenzt ist, so wissen wir, daß Proportionalität zwischen Reichweite und vierter bis achter Wurzel aus der Energie besteht, und zwar ist der Unterschied bedingt durch die infolge der Reflexion der Welle an der Erd- bzw. Wasseroberfläche sich ergebenden Feldstärkeverteilung der Höhe nach, also der Vertikalcharakteristik. Es ist Ihnen die Auffiederung der Vertikalcharakteristik infolge des Bodeneinflusses bekannt, und auch daß das unterste Maximum einer derartigen Charakteristik desto näher der Erdoberfläche liegt, je höher - in Wellenlängen gerechnet - das Ortungsgerät sich befindet. (Bild 1)

Liegt nun das zu ortende Ziel im untersten Maximum oder in einem höheren Maximum, so gilt die Proportionalität zwischen Reichweite und vierter Wurzel aus der Energie, liegt dagegen das Ziel unterhalb des untersten Maximums der vertikalen Feldstärkeverteilung, so gilt die achte Wurzel. Die Abhängigkeit zwischen Reichweite und Energie wird infolge der Erdkrümmung noch geringer, wenn die Reichweite nicht mehr durch die beiden anfangs genannten Faktoren (thermisches Rauschen und Störpegel) begrenzt ist, sondern wenn die Reichweite durch die geometrisch-optische Sicht begrenzt ist. Hierin kann ein bemerkenswerter Grund für den Übergang des Gegners zur Ortung mit extrem kurzen Wellen liegen, daß nämlich die Reichweite bis zur geometrisch-optischen Sicht infolge der besseren Reflexionsbedingungen gesteigert werden kann, zumindest für das Hauptmaximum der Rückstrahlcharakteristik des Zieles, und damit die Bedingungen für die Tarnmaßnahmen nochmals erschwert werden. Vielleicht kommen uns aber in dieser schwierigen Situation die Maßnahmen, die von der schiff- oder maschinenbaulichen Seite getroffen worden sind, zu Hilfe, die ja durch Übergang zum sogenannten "Schnorchel" die über Wasser befindliche Reflexionsfläche in ihren Abmessungen wesentlich verkleinern. Wir dürften es dabei wohl mit der achten Wurzel aus der Energie zu tun haben. Das Bild 2 zeigt Ihnen anschaulich die geschilderten Verhältnisse. Auf der waagerechten Achse ist aufgetragen die Prozentzahl der reflektierten Energie. Da für beide Koordinaten logarithmische Maßstäbe gewählt sind, erscheinen die oben genannten Funktionen als Gerade. Die erste, steilste Gerade stellt die zu einer bestimmten reflektierten Energie gehörigen Amplituden dar, die nächste Gerade die Reichweite als vierte Wurzel, die darauffolgende als achte Wurzel aus der Energie.



Bild 1

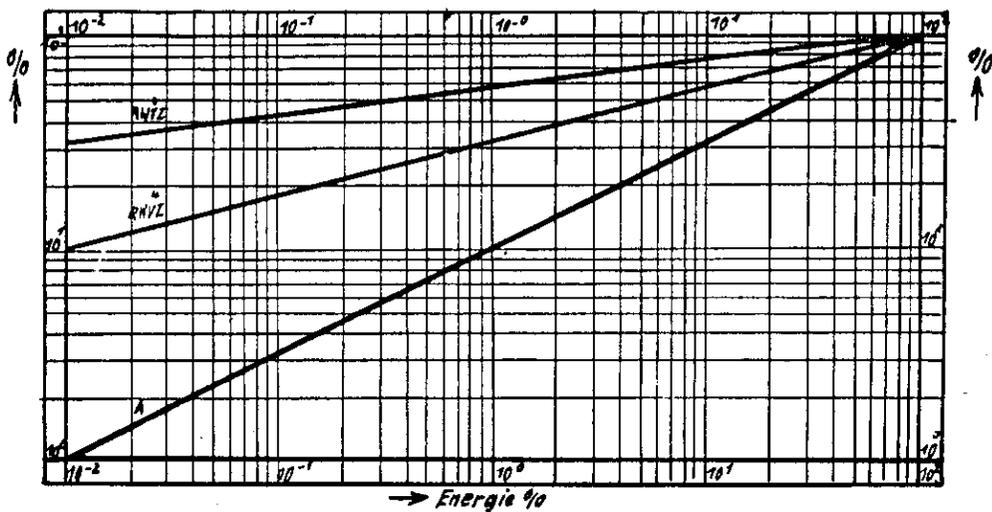


Bild 2 *Abhängigkeit der verbleibenden Amplitude und Reichweite von der reflektierten Energie in %*

Man entnimmt daraus beispielsweise folgendes: angenommen eine Substanz, mit der ein U-Bootturm umkleidet ist, und die diesem die Eigenschaft verleiht, daß er nur noch 6% von der Energie zurückwirft, die er ohne diesen Schutz zurückwerfen würde, dann entnimmt man, daß zu 6% verbleibender Energie etwa 25% verbleibender Amplitude gehören und etwa 50% bis 70% verbleibender Reichweite. Sie sehen, daß damit also kein wesentlicher Erfolg zu erzielen ist. Wir müssen nach den Ihnen anfänglich geschilderten Zusammenhängen eine Restamplitude von 1% anstreben. Zu Beginn unserer forcierten Arbeit, etwa zu Beginn des Jahres 1943, konnten wir so weit noch nicht gehen. Nach den bisdahin erarbeiteten Unterlagen erschien uns eine Forderung auf 10% Restamplitude eine sinnvolle Forderung, und sie hätten uns auch bei den damals allein wichtigen Wellen des ASV-Bereichs- also etwa 1,50m - bei Ortung vom Flugzeug aus Höhen von 500 m und darüber schon eine Reichweitenverminderung von etwa 60-70% gebracht. Ich bin sehr froh, Ihnen heute sagen zu können, daß uns zumindest im cm-Wellenbereich eine Forderung von 1% Restamplitude nicht mehr allzusehr erschreckt, wobei Sie sich bitte an Hand des Bildes nochmals klarmachen wollen, daß das bedeutet, daß die auftreffende Energie bis auf 10-2% vernichtet werden muß.

Nachdem ich Ihnen diese für das Verständnis der Anforderungen an die Tarnmaßnahmen notwendige Einleitung gegeben habe, möchte ich nun übergehen zu den eigentlichen Tarnmaßnahmen, wobei ich noch kurz vorausschicken darf, daß nach zahlreichen ausgeführten Messungen wir uns bei dem aufgetauchten Boot nur mit dem Turm zu beschäftigen haben. Diese Tarnmaßnahmen können wir in 2 Hauptbegriffe mit einigen Unterbegriffen einteilen:

I. Wattlose Vorgänge (d.h. Vorgänge, bei denen keine Energie vernichtet, sondern sie nur anders verteilt wird)

- a) abweisende und diffuse Reflexion
- b) Interferenz

II. Watt-Vorgänge (d.h. Vorgänge, bei denen Energie vernichtet wird)

- a) Absorption durch Schichten und Schaltelemente in einem bestimmten Abstand von der Wand
- b) Absorption durch elektrische Sümpfe.

Zunächst die abweisenden und diffuse Reflexion. Die optischen Spiegelgesetze sind Ihnen geläufig. Es wäre also denkbar, die ankommende Feindstrahlung durch geeignete Verkleidung der zu schützenden Aufbauten zur Seite oder nach oben derart abzulenken, daß wenig Energie zum Feindgerät zurückkommt. Voraussetzung ist natürlich, daß die optischen Spiegelgesetze tatsächlich gelten, d.h. daß die anzubringende spiegelnde Fläche groß gegen die Wellenlänge ist. Ist sie dieses nicht, so haben sie nicht die geläufige optische

Strahlenkonstruktion durchzuführen, sondern die Rückstrahlung erfolgt mit kleiner werdender Fläche in einer immer breiter werdenden Charakteristik, was aber bedeutet, daß zum Feindgerät mehr und mehr Energie zurückkommt. (s. Bild 3a und 3b)

Bei den bisherigen Wellen des ASV-Bereiches, also im Mittel etwa 1,50 m, gelingt es nur, eine Fläche von etwa 2-3 Wellenlängen anzubringen. Bei einer solchen Fläche und dem am U-Bootsturm nur möglichen geringen Anstellwinkel dieser Fläche ( $8-9^{\circ}$ ) wird also nach dem Vorausgeschickten der Erfolg voraussichtlich gering sein, was durch praktische Versuche des NVK nachgewiesen worden ist. Anders sieht dieses aus, wenn der Gegner mit cm-Wellen arbeitet. In diesem Fall wird die Fläche schon eine erhebliche Anzahl von Wellenlängen groß, und die Rückstrahlung erfolgt mehr und mehr nach den optischen Gesetzen. Da aber, wie ich schon sagte, der Winkel zwischen einfallender und abweisender Strahlung infolge der Baumöglichkeiten beim U-Boot nur gering sein kann und in der Größenordnung der Bootsbewegung liegt, wird immer wieder Energie, und zwar ziemlich periodisch, zum Gegner zurückgestrahlt werden. Solange er also im Dauerbetrieb arbeitet, wird er damit rechnen können, mit einer gewissen Periodizität Impulse zurückzubekommen. Bei der Blitzortung würden gegebenenfalls gewisse Erfolge damit zu erzielen sein. Man kann auch daran denken, wenn eine Absorptionsschicht, die ich später noch behandeln werde, für diese Wellen vorliegt, diese auch schräg anzustellen, sodaß ein gewisser, noch übrigbleibender Rest an zurückgestrahlter Energie zum mindesten abgewiesen wird. Unter dem Kapitel der abweisenden Reflexion kann man gleich noch das Kapitel der diffusen Reflexion mitbehandeln. Auch hierfür sind verschiedene Vorschläge und Versuche gemacht worden. Ähnlich wie bei der bisher behandelten abweisenden Reflexion wird auch hierbei die Energie nur anders verteilt. Man kann also z.B. ein unangenehmes Hauptmaximum der Rückstrahlcharakter-

istik verkleinern, muß sich aber darüber klar sein, daß diese Energie dann in anderen Richtungen in erhöhtem Maße auftritt. Also auch durch diese Maßnahme ist ein vollständiger Erfolg nicht zu erwarten.

Zu der abweisenden Reflexion darf ich noch eine konstruktive Ausführung nachtragen, nämlich die, die versucht, die spiegelnde Fläche durch einen Wasserschleier darzustellen, der durch Düsen, z.B. am oberen Rand des Turmes, erzeugt wird. Man hofft dabei, die abweisend reflektierende Fläche und den Anstellwinkel vergrößern zu können. Ob diese Maßnahme zu einem Erfolg führen wird, ist sehr zweifelhaft, sie wird bei der AEG noch zu Ende durchentwickelt.

Man kann also diesen Abschnitt damit abschließen, daß man sagt, daß man namentlich bei cm-Wellen diese Maßnahmen wohl einen gewissen Erfolg versprechen - vielleicht besonders in Verbindung mit anderen Maßnahmen - , daß sie aber als alleinige Maßnahme in keiner Weise ausreichen.

Erwähnt müssen unter dem Kapitel der wattlosen Effekte noch die Versuche zur Tarnung werden, die auf reiner Interferenz beruhen. Ich muß hier ausdrücklich erwähnen, daß durch Interferenz niemals Energie vernichtet wird, sondern die Energie wird lediglich anders verteilt. Dieser Satz ist wichtig, da hier vielfach irrtümliche Auffassungen auch bei Physikern bestehen. Als ein Ihnen geläufiges Beispiel der Anwendung der Interferenz darf ich Sie an die Gruppenordnungen von Dipolen erinnern. Die Ausnutzung des reinen Interferenzeffektes für die Tarnung hat keine große Bedeutung, da er einmal stark richtungsabhängig, zum zweiten frequenzabhängig ist. Entsprechende Versuche sind von Harms ausgeführt worden, dabei bestand die Anordnung aus einem Gitter aus dünnen Drähten oder Blechstreifen bei einem Abstand von mindestens einer Wellenlänge von der Metallwand. Da die eingestrahlte Energie nicht absorbiert sondern anders verteilt wird, kommt als Ergebnis heraus, daß das Hauptmaximum für ein sehr enges Frequenzgebiet sehr verkleinert und die seitlichen Nebenmaxima sehr vergrößert werden.

Das zweite Kapitel meiner Einteilung, das die Absorption der einfallenden Energie behandelt, ist als das wesentliche Kapitel aufzufassen. Es gliedert sich in zwei Hauptteile: den ersten, der die Arbeiten umfaßt, die Schichten benutzen, die in einem gewissen Abstand von der zu schützenden Wand anzubringen sind, wobei eine Absorption und der Interferenzeffekt auftreten, und die Arbeiten, bei denen die Absorption den ausschlaggebenden Faktor bildet, nämlich die elektrischen Sümpfe. Diesen elektrischen Sumpf, dessen Aufbau ich Ihnen noch erläutern werde, kommt die Hauptbedeutung zu, und zwar für alle Wellenbereiche. Für die kürzeren Wellen, etwa von 50 cm abwärts, können wir ihn heute schon in sehr vollkommener Form verwirklichen, für die längeren Wellen werden wir noch Schwierigkeiten zu überwinden haben, sehen aber auch hier schon die praktischen Wege zu seiner Verwirklichung.

Zunächst also die Schichten.

Für den Reflexionsfaktor gilt allgemein

wobei  $Z = 120 \sqrt{\pi}$  den Wellenwiderstand in Luft oder Vacuum,  $Z_g$  der Wellenwiderstand der Grenzfläche. Die Aufgabe, durch eine vor die zu schützende Wand gebaute Schicht die Tarnung zu erreichen, ist also im wesentlichen gelöst, wenn in einem vorgeschriebenen Wellenbereich  $Z = Z_g$  erzielt wird. Man kann also eine ebene Welle durch eine leitende Schicht mit dem Flächenwiderstand  $120 \sqrt{\pi}$ , d.h. gleich dem Wellenwiderstand für Luft, die sich im Abstand von etwa  $1/4$  Wellenlänge von der Metallwand befindet, reflexionsfrei absorbieren, und zwar steigt die Restamplitude bei Abweichung von rund  $\pm 10\%$  von der Nennwelle aus nicht über  $10\%$ : man kann z.B. bei  $37\text{cm}$  Abstand der Schicht von der Wand die Welle  $148\text{cm}$  völlig löschen, das Wellenband von  $130-170\text{cm}$  auf weniger als  $10\%$  schwächen. Die völlige Löschung beruht dabei auf Interferenz. Durch Benutzung mehrerer Schichten läßt sich der Frequenzbereich erweitern. Ich darf hier einfügen, daß mit Untersuchungen an derartigen Schichten das ganze Problem der Tarnung vom NVK im Jahre 1940 aufgenommen wurde. Die leitende Schicht im  $1/4$  Abstand von der zu schützenden Wand läßt sich, wie von Bachem gezeigt ist, durch ein quadratisches Drahtnetzwerk ersetzen, was im konstruktiven Aufbau wesentliche Vorteile hat. Die Maschenweite dieses Netzes ist etwa  $\lambda/6$ , in jeder Maschenseite ist ein Kohlewiderstand von  $120 \sqrt{\pi}$  eingebaut. Ein solches Netz zeigt Ihnen Bild 4. Es sind eine ganze Reihe solcher Netze sehr gründlich untersucht worden und man kann sagen, daß die Erwartungen zumindest an geraden Flächen erfüllt worden sind. Beim auf  $144\text{cm}$  eingestellten Netz blieb

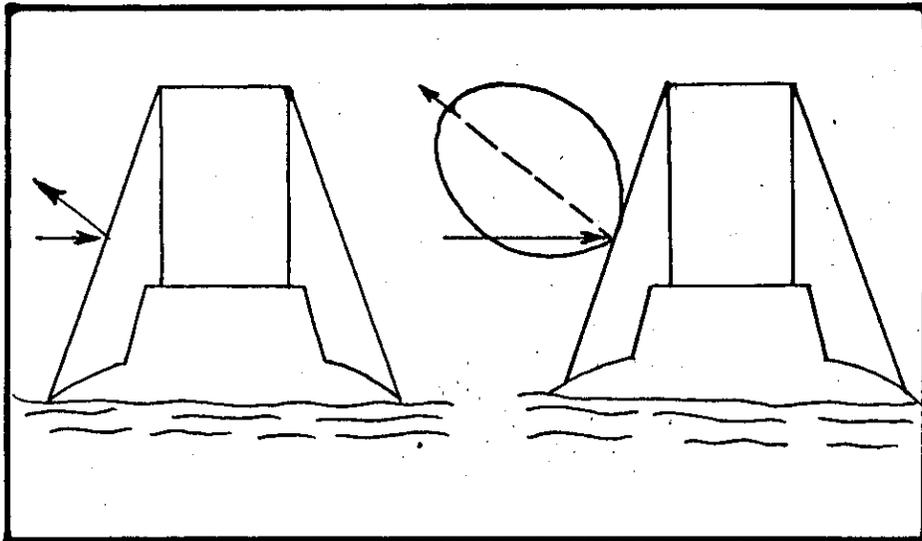


Bild 3a

Bild 3b

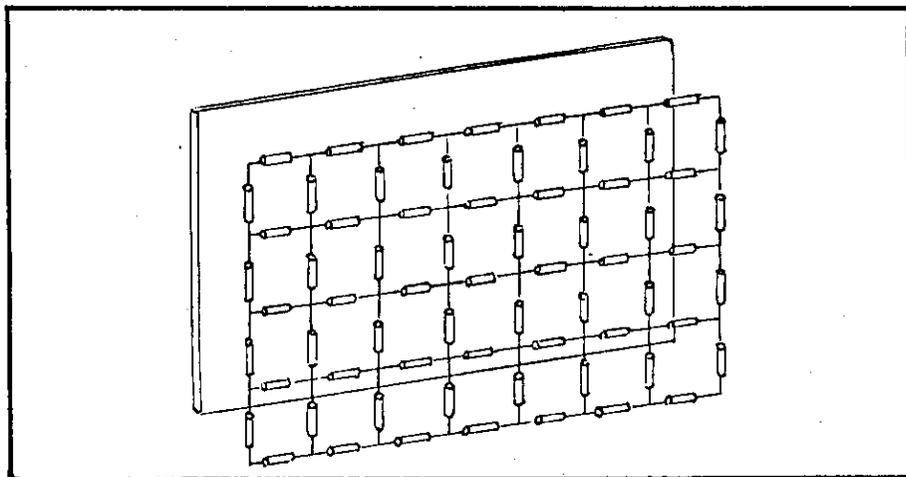


Bild 4

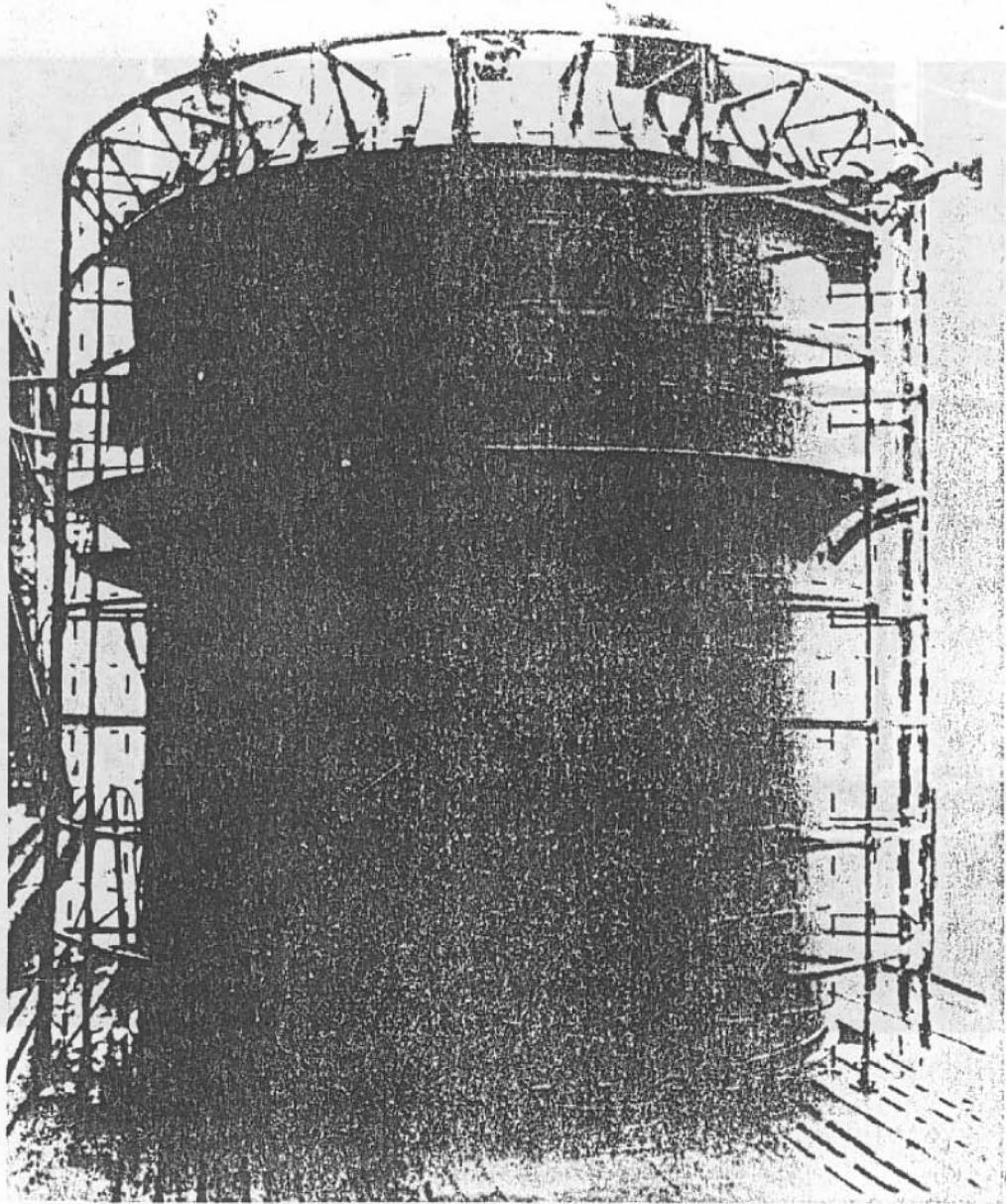


Bild 4a

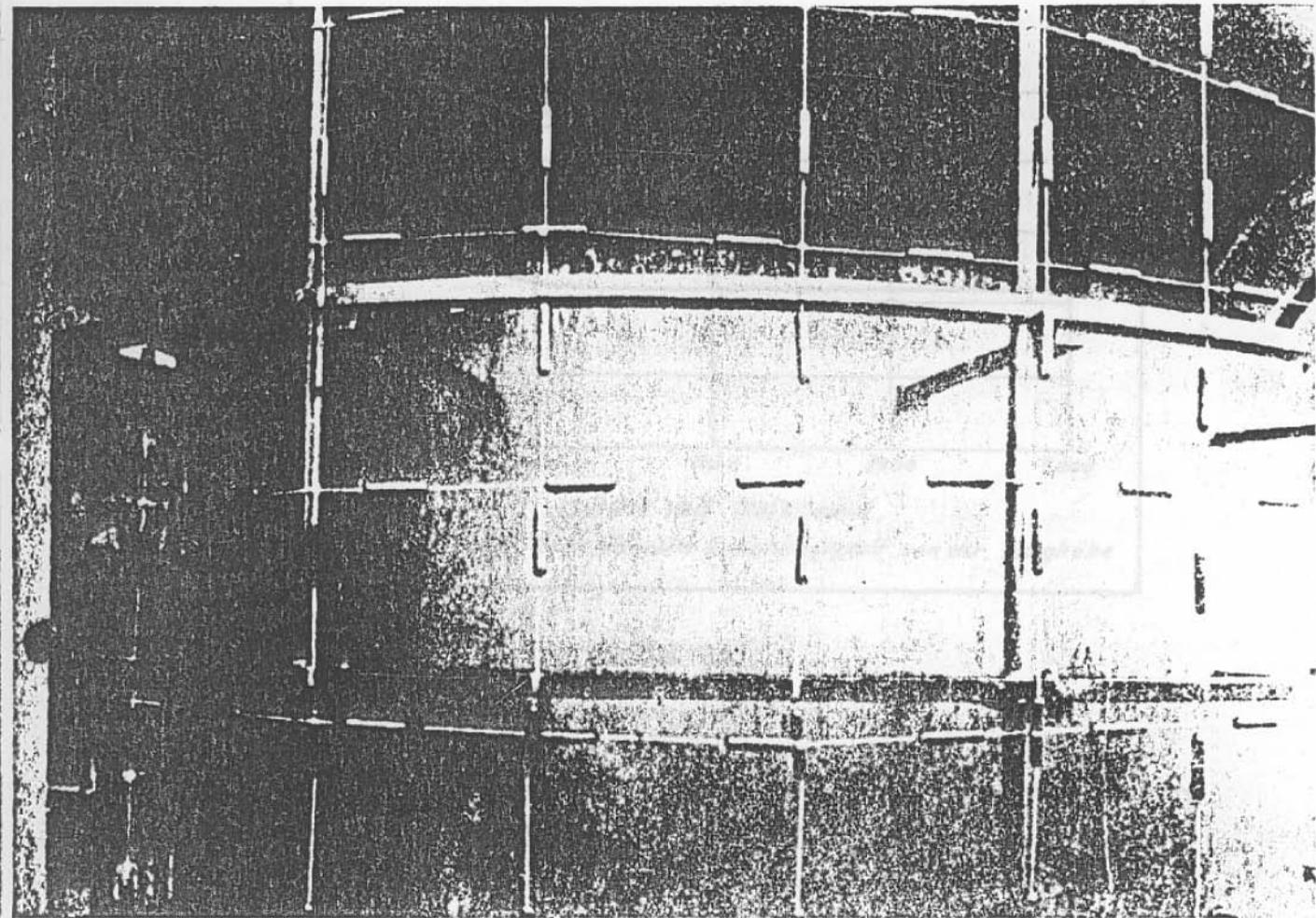


Bild 4b

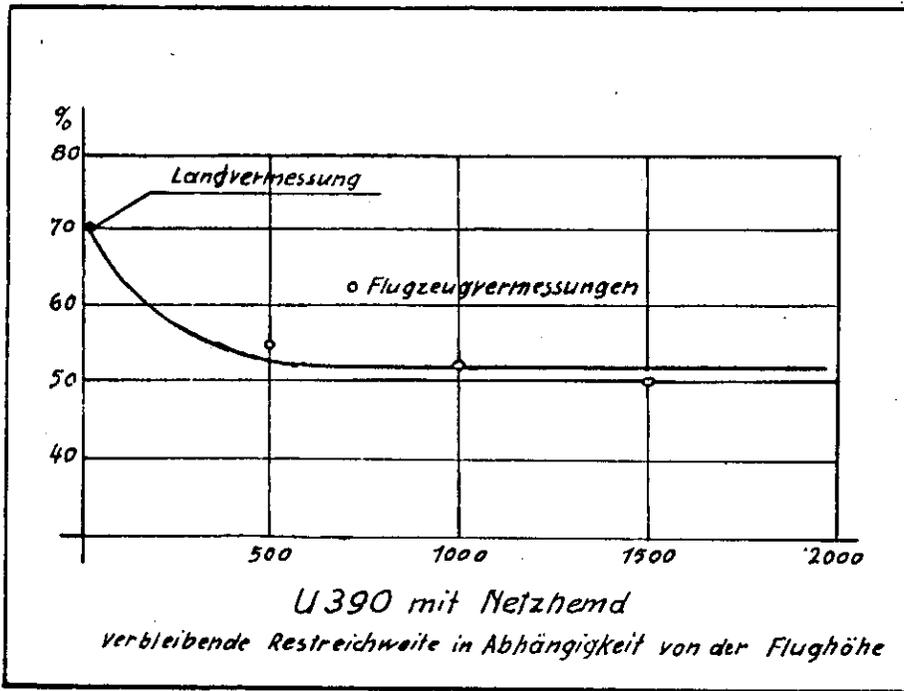


Bild 5a

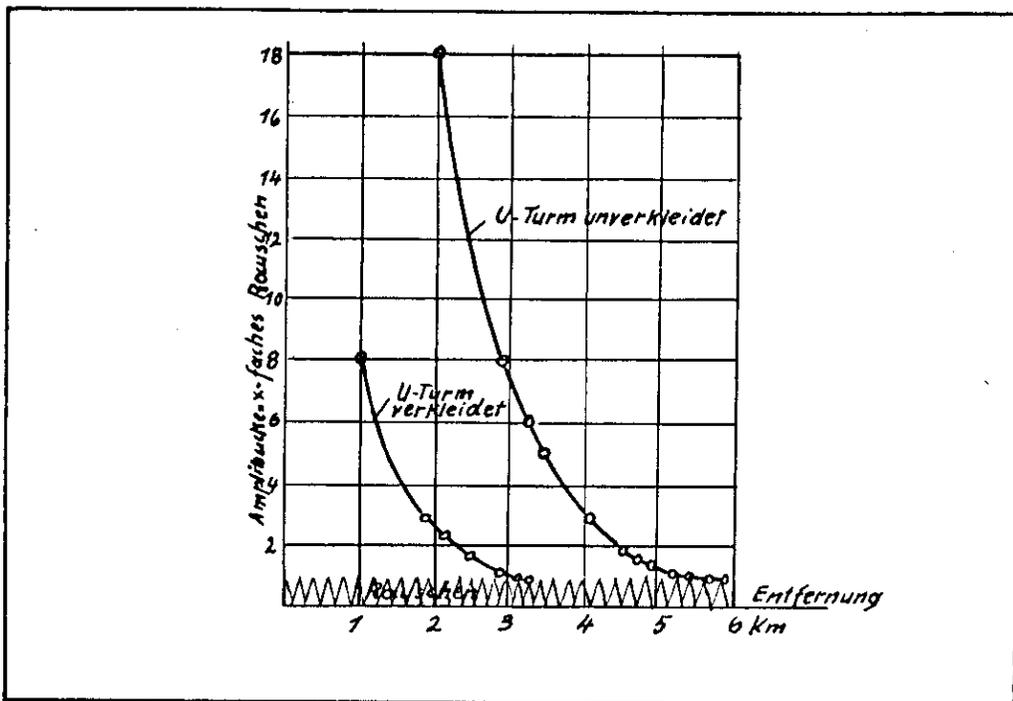


Bild 5b

das Reflexionsvermögen in einem Wellenband von 130 - 171 cm unter 10%. Der kleinste Wert in der Bandmitte betrug 2%. Bei sorgfältigem Durchexperimentieren des Abstandes des Netzes von dem Turm hat sich auch bei dem Turm selber, also an mehr oder weniger gekrümmten Flächen, ein noch brauchbarer Effekt nachweisen lassen. Allerdings liegen die Werte hier schon schlechter als bei der geraden Wand. Die Bilder 5a und 5b zeigen Ihnen die mit einem verkleideten Boot erhaltenen Werte, und zwar gemessen bei verschiedenen Aufstellungshöhen des Ortungsgerätes, von 20 m Höhe (Aufstellung an Land) bis auf 1000 oder 1500 m Höhe vom Flugzeug aus. Die Bilder zeigen Ihnen, daß wir mit diesen Anordnungen für das angegebene Frequenzgebiet eine Reichverminderung von rund 50% bei Ortung vom Flugzeug aus erreicht haben. Die Bilder geben Ihnen auch nochmals eine Anschauung der einleitend erwähnten Zusammenhänge zwischen Reichweite und Energie.

Erhebliche Schwierigkeiten hat die Befestigung eines solchen Netzes in einem Abstand von immerhin 36-37 cm von der Bordwand gemacht. Die Ausführungen haben sich bei Seeerprobungen als völlig unzureichend erwiesen (Bild 6 )

Man versucht deshalb in der Richtung weiterzugehen, daß man kein freistehendes Netz verwenden will, sondern das Netz auf oder in eine Stüttschicht aufbringen oder einbetten wollte. Dabei konnte man dann gleichzeitig noch einen Schritt weitergehen und durch geeignete Wahl der Konstanten dieses Stützstoffes auch den immerhin unangenehmen Abstand von 36 cm wesentlich verringern. Man hatte also einen Isolierstoff zu nehmen, in welchem die Wellenlänge verkürzt ist. Das kann durch Erhöhen der Permeabilität  $\mu$  und der Dielektrizitätskonstanten  $\epsilon$  erreicht werden. Der notwendige Abstand wird dann kleiner, aber die erzielte Bandbreite nimmt dabei im Verhältnis  $\mu/\epsilon$  ab. Würde man z.B.  $\epsilon = 40$ ,  $\mu = 10$  wählen, was technisch erreichbar ist, würde die Stüttschicht 20mal dünner, also innerhalb des ASV-Bereichs etwa 2 cm, wobei dann allerdings die Bandbreite erheblich herabgeht, etwa 1,40 - 1,58 m. Dieses Stützmaterial ist eisenhaltig und sehr schwer (spez. Gewicht 6). Man hat deshalb zunächst von diesem Weg abgesehen und ist zur Verwendung eines Dielektrikums sehr niedriger Dielektrizitätskonstante übergegangen, wobei man wegen des großen Volumens der Stüttschicht leichte Schaumstoffe verwenden mußte, die zunächst für die bei dem U-Boot bestehenden besonderen Forderungen bezüglich Druckfestigkeit und Wasserdichtigkeit nicht vorhanden waren. Sie sind inzwischen entwickelt worden und werden heute, wie ich Ihnen später zeigen werde, bei elektrischen Sumpfen verwendet. Da die Breitbandigkeit des bisher geschilderten Netzes sowieso nicht ausreicht und bei der Aufbringung des Netzes auf Stüttschichten noch mit einer Verringerung dieser Bandbreite gerechnet werden mußte, ging die Entwicklung des reinen Netzes über zu dem sogenannten Breitbandnetz. Es konnte gezeigt werden, daß man durch eine Reihenschaltung der Ohmschen Widerstände mit Blindwiderständen von geeignetem Frequenzgang, z.B. kleinen Schwingungskreisen, die auf die Mitte des zu löschenden Wellenbandes abgestimmt werden, die Bandbreite eines solchen Netzes wesentlich erhöhen kann. Diese Schwingungskreise sind in Resonanz bei der Wellenlänge  $\lambda/4$  nahezu unwirksam. Bei längeren Wellen wirken sie verkürzend auf den erforderlichen Wandabstand, umgekehrt bei kürzeren Wellen verlängernd, sodaß der tatsächliche feste Wandabstand für jede Welle richtig bleibt. Die Verkürzung (Verlängerung) muß mit der Wellenlänge Schritt halten. Das Wellenband wird so breit als der Wellenbereich in welchem dies mit genügender Genauigkeit gelingt. Bei Abstimmung auf 144 cm Wellenlänge bleibt man theoretisch in einem Wellenband von 133 bis 200 cm unter 5% Restamplitude und in einem Wellenband von 103 bis 207 cm unter 10%. Man umspannt also mehr schon als eine Oktave des Wellenbandes. Diese Werte sind bei einem Versuch an ebenen Flächen auch nahezu erreicht worden. Selbstverständlich kann auch bei dem Breitbandnetz eine Stüttschicht angewandt werden, die in der oben geschilderten Weise wirkt.

chen haben sich jedoch erhebliche Schwierigkeiten gezeigt. Es haben bei den praktischen Versuchen nur ganz minimale Reichweitenverminderungen stattgefunden. Die Untersuchungen hierüber laufen z.Zt. noch. Diese Arbeiten mit den Netzen sind auf breiter Basis gelaufen, da wir über längere Zeit hinweg infolge der Unmöglichkeit, die an sich ideale Lösung des elektrischen Sumpfes für die längeren Wellen, und diese waren ja bis vor kurzem im wesentlichen interessant, bei nicht zu großen Dicken des Sumpfes zu verwirklichen, das Netz zumindest in Verbindung mit den Stüttschichten als die zur Zeit einzig mögliche schnell herauszubringende Tarnung im ASV-Bereich ansehen mußten. Daß der praktische Erfolg nicht dementsprechend war, liegt an einer ganzen Reihe von Erscheinungen, die ich Ihnen hier nicht im einzelnen erörtern kann. Es war uns von vornherein klar, daß man bei Übertragung der an der geraden Wand entwickelten Tarnungsmethoden auf die Rundungen des Turms Überraschungen erleben würde. Schon bei Anbringung des schmalbandigen Netzes an den Turm hatten sich ja nicht die Werte ergeben, die von den Messungen an der geraden Wand her bekannt waren. Bei dem breitbandigen Netz wird das Experimentieren infolge der drei möglichen Variablen: Maschenweite, Abstand vom Turm und eingeschaltete Blindwiderstände, natürlich noch schwieriger. Die Bedenken, die wir hatten, betreffen den Umstand, daß bei dem Turm für m-Wellen Beugungsprobleme aufgeworfen werden, deren Erfassung zur Zeit noch Schwierigkeiten macht, die aber auch erst erfolgreich in Angriff genommen werden können, nachdem die Tarnung man an der ebenen Wand beherrschte. Es ist also nicht so, daß den Untersuchungen an der ebenen Wand in Verkenntnis des eigentlichen Problems ein übermäßiges Gewicht beigelegt worden wäre, sie stellen vielmehr ein unumgängliches Durchgangsstadium dar. Die Wirkungsweise des Netzes ist darauf abgestellt, daß es an den Wellenwiderstand des freien Raumes angepaßt ist. Es ist dabei vorausgesetzt, daß in dem Abstand, in dem das Netz sich befindet, die Feldverteilung tatsächlich so ist, daß das Netz richtig angepaßt ist. Hier treten vermutlich bei gekrümmten Flächen erhebliche Schwierigkeiten auf. Wir sind deshalb dabei, die Feldverteilung, und zwar die elektrische und magnetische Komponente, an gekrümmten Flächen, wie sie der Turm darstellt, auszumessen, dadurch den Wellenwiderstand zu bestimmen und nunmehr das Netz richtig anzupassen. Nur so scheint es mir möglich, mit Erfolg den Weg des Netzes weiterzugehen. Es sind deshalb auch derartige Versuche aufgenommen, die überhaupt allgemein interessant sind. Daß an sich Gebilde wie das Netz an gekrümmten Flächen wirken, ist durch Versuche bei Telefunken nachgewiesen, bei denen an Stelle des Netzes Breitbanddipole verwendet sind, was aber keinen wesentlichen Unterschied in der Wirkungsweise bedeutet. Die Werte am Turmmodell sind bezüglich der höchsten Reflexion bemerkenswerterweise fast so günstig wie bei der

der Ebene. Damit ist der Beweis erbracht, daß Breitbandanordnungen auch auf gekrümmten Flächen wirken können. Im Mittel über alle Einfallrichtungen des Turmdiagramms liegen die Werte natürlich höher als das entsprechende Mittel bei der Ebene.

Ich darf bei dem Netz noch erwähnen, daß es sich gleichzeitig auch als Sender- und Empfängerantenne verwenden läßt, und zwar mit derselben Breitbandigkeit, die es als Tarnnetz hat, wenn an Stelle des Ohmschen Widerstandes über angepaßte Leitungen der Empfänger- eingang oder Senderausgang herangeführt wird. Wir untersuchen z. Zt. beim elektrischen Sumpf ähnliche Möglichkeiten.

Zu diesem Kapitel wäre noch eine ganze Reihe von Vorschlägen zu erwähnen, die aber im großen und ganzen sich ähnlich wie das Netz behandeln lassen; ich darf sie deshalb, ohne sie dabei in ihrer Bedeutung herabsetzen zu wollen, hier fortlassen. Erwähnen möchte ich nur noch einen Vorschlag von Esau, der die Metallwand mit Eisenspänen verkleidet und dabei für cm-Wellen eine wesentliche Verringerung der reflektierten Energie feststellte. Die Erklärung dieses Effektes, den übrigens die RPF in letzter Zeit durch Anbringung von leitfähigen Papierstreifen, die ähnlich wie die Eisenspäne wirr aufgebracht werden, ebenfalls erzielt hat, ist nicht leicht. Die Annahme, daß es sich dabei um Streuung handelt, ist sicherlich verfehlt und auch durch die Messungen keineswegs bestätigt. Wir neigen jetzt nach Messungen, die von Ott durchgeführt sind, dazu, den Effekt unter die hier behandelten Anordnungen einzureihen. Es haben sich nämlich bei Messungen als Funktion der Dicke Ergebnisse gezeigt, die dieser Erklärung entsprechen; bei der Schichtdicke  $= \lambda/2$  tritt ein ausgesprochenes Reflexionsmaximum auf.

Bei den Netzen und auch den Schichten gingen wir nun noch dazu über, durch Kombination mehrerer Schichten bzw. Netze die Breitbandigkeit weiter zu erhöhen. Theoretisch werden die Verhältnisse nunmehr schon recht schwierig, und der ganze Aufbau nähert sich dem elektrischen Sumpf, der für die Tarnaufgabe sicherlich die ideale Lösung darstellt. Unter einem elektrischen Sumpf versteht man eine Anordnung, in die die Energie infolge guter Anpassung eindringen kann und in dem sie dann vernichtet wird! In unserem Fall besteht er aus einer Folge von dünnen, absorbierenden Schichten, deren Konstanten unter geeigneter Abstufung nach außen hin in die Vakuumwerte einmünden. Ein solcher Sumpf ergibt die Möglichkeit einer Reflexionskurve, die nach der kurzwelligen Seite hin monoton oder schlimmstens unter unbedeutenden Interferenzschwankungen zu kleinen Amplituden hin absinkt. Es ist hier sofort die Frage zu beantworten, weshalb, wenn schon der Sumpf als ideale Lösung angesehen wird, die anderen bisher genannten Lösungen überhaupt verfolgt wurden. Die theoretische Erfassung des Sumpfes lag zwar schon recht hoch vor, aber die Schaffung der Metariation, die seinen tiefsten

kurzwellige Gebiet, erst in allerletzter Zeit gelungen. Es kommt ferner noch folgendes hinzu. Die wesentliche zu erfassende Erkenntnis für den Sumpf ist, daß er durch richtige Abstufung der elektrischen Werte von der Wand nach außen hin bis zur Anpassung an den Außenraum in der äussersten Schicht der Welle ermöglicht, reflexionsfrei in ihn einzudringen und weiter reflexionsfrei vorzudringen. Ein solcher Sumpf wird dargestellt durch eine Aufeinanderfolge von leitfähigen Schichten und dielektrischen Stützsichten sehr niedriger Dielektrizitätskonstante, wobei die Leitfähigkeit der leitenden Schichten von außen nach innen ansteigt, somit die Überleitung vom freien Raum zur Metallwand geschaffen wird, und die Welle in den einzelnen leitenden Schichten mehr und mehr absorbiert wird. Er durchläuft also alle Stadien vom reinen Isolator über den Halbleiter zum unendlich guten Leiter. Sie verstehen, daß man für einen solchen langsamen Übergang natürlich eine gewisse Aufbaudicke braucht, die nach den theoretischen Untersuchungen bei etwa  $\frac{1}{3}$  der längsten zu absorbierenden Welle anzunehmen ist. Bei dem langwelligem Gebiet ergibt dieser Sumpf ziemlich unangenehme Dicken, also etwa 70cm. Wir können zwar den Wert  $\frac{\lambda_{\max}}{3}$  heute schon etwas unterschreiten, aber für das langwellige Gebiet gibt es keine hinreichende Erleichterung, man mußte deshalb versuchen, durch andere Maßnahmen eine beträchtliche Verringerung der Sumpfdicke zu schaffen. Man kann dies erreichen, indem man eisenhaltige Stoffe verwendet, die ich schon bei den Stützsichten für das Netz kurz angedeutet habe. Will man aber dabei die Anpassung an den Außenraum wieder erreichen, so muß man die Bedingung  $\mu = \epsilon$  (d.h. Dielektrizitätskonstante = Permeabilität) in der Grenzsicht erfüllen, was wesentliche Schwierigkeiten macht und uns über lange Zeit nicht gelungen ist. Erst in letzter Zeit nähern wir uns diesem Wert in erfreulicher Weise. Man kann auch daran denken, den reinen elektrischen Sumpf zur Wand hin, also dann, wenn nicht mehr die Anpassung an den Außenraum, sondern an eine Zwischenschicht des Sumpfes verlangt wird, zu einer Schicht übergehen zu lassen, die dann natürlich nicht mehr die obige Forderung zu erfüllen braucht, sondern es genügt ein Verhältnis  $\mu : \epsilon$ , was heute realisierbar erscheint. Sie sehen aus diesen Ausführungen, daß es trotz der Ideallösung "Sumpf" infolge der Schwierigkeiten, die seiner Realisierung entgegenstanden, schon nötig war, auch die anderen Ihnen dargestellten Methoden zu verfolgen; und für die längeren Wellen dürfte auch heute noch nicht der Zeitpunkt gekommen sein, auf die Unterstützung durch die gewichtssparenden Interferenzanordnungen, seien es Schichten, seien es Schaltelemente, zu verzichten. Es ist immer notwendig, ein Gebiet in allen seinen Möglichkeiten zu erforschen, denn die Vermehrung des Allgemeinwissens, die dadurch eintritt, kann immer nur von Vorteil sein.

Für den cm-Wellenbereich bis zu den kürzeren dm-Wellen hin ist der elektrische Sumpf heute fertig. Ein Sumpf also, dessen Aufbau in einer etwa zehnmaligen Aufeinanderfolge von Stüttschicht und leitfähiger Schicht besteht (Bild 7).

Die leitfähigen Schichten bestehen dabei aus leitfähigem Papier, die Stüttschichten aus Kunststoff sehr niedriger Dielektrizitätskonstante, der die Forderungen an Druckfestigkeit und Wasserdichtigkeit erfüllt, was auch eine nicht unerhebliche Entwicklung erfordert hat. Dieser Sumpf ist ausgelegt für  $\lambda_{\max}=20\text{cm}$ , es ist aber nach den letzten Messungen, die zeigen, daß auch mit geringeren Schichtdicken auszukommen ist, anzunehmen, daß mit einer für die Anbringung an dem Schnorchel zulässigen Dicke von etwa 70mm das  $\lambda_{\max}$  noch höher zu legen ist. Das spezifische Gewicht ist etwa 0,3, liegt also sehr günstig. Der Sumpf hat bei der längsten Welle eine Restamplitude von etwa 10%, bei  $\lambda=10\text{cm}$  liegt der z. Zt. beste Sumpf zwischen 1-2% Restamplitude. Die Messungen bei den kürzeren Wellen stehen noch aus, es sind aber keine Abweichungen von der Theorie zu erwarten, ebenso laufen z. Zt. noch im Labor Messungen an gekrümmten Flächen. Es scheint aber so auszusehen, als ob hier die Verhältnisse günstiger liegen als z. B. beim Netz an gekrümmten Flächen. Mit einem solchen Sumpf, angebracht an einen Schnorchel, werden in allernächster Zeit die ersten praktischen Versuche begonnen.

Ich habe versucht, Ihnen in kurzen Zügen einen Einblick und einen Überblick über die Arbeiten zur Frage Tarnung eines Zieles gegen die Funkmeßortung zu geben. Es steckt in dieser Entwicklung ein ungeheures Maß an theoretischer und Laboratoriumsarbeit. Es war z. B. neben den eigentlichen Arbeiten auch noch für die Schaffung der notwendigen Meßmethoden, vor allem im cm-Gebiet, zu sorgen.

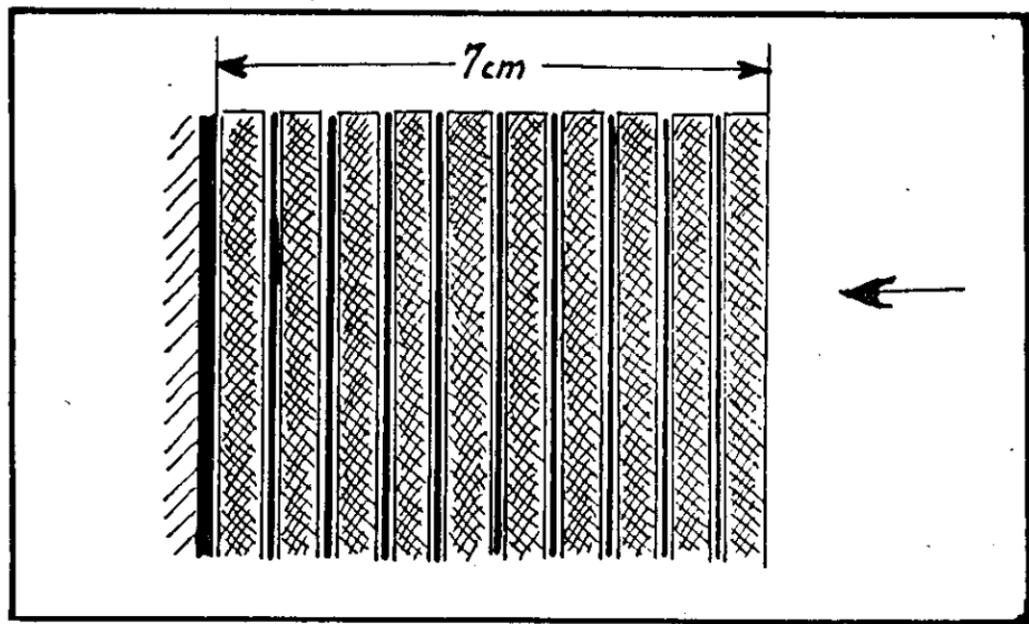


Bild 7

Über die gesamten Arbeiten haben wir einen großen zusammenfassenden Bericht zusammengestellt, der alle Einzelheiten, die ich Ihnen im Rahmen dieses Vortrages nicht darlegen konnte, enthält. An der Fülle der zu leistenden Arbeit gemessen ist die Zeit, die bis zur Schaffung des heutigen Standes vergangen ist, wahrhaftig nicht zu lang. Wir haben die Arbeiten im Jahre 1940 beim NWK mit Unterstützung von drei Hochschulinstituten und einer Firma begonnen und haben dann im Jahre 1943 durch den Aufbau der Arbeitsgemeinschaft in größerem Rahmen die Arbeiten fortführen können, wobei ich sagen darf, daß dieser größere Rahmen, abgesehen von der größeren Arbeitskapazität, vor allen Dingen deshalb sehr fruchtbar war, weil sich jeder der Mitarbeiter unter Zurückstellung seiner eigenen Person nur dem Dienen an der Sache in dieser Arbeitsgemeinschaft gewidmet hat.