

Schiffssendeantennenanlagen mit nicht abgesetztem

Antennenteil und Forderungen der Kriegsmarine an

Bordantennenanlagen.

H. Schlicke, Berlin

I. Teil.

A) Orientierende Betrachtung:

Der erste Teil des Vortrages behandelt in grossen Zügen ein spezielles, für die Marineverhältnisse besonders typisches Problem. Seine Mitteilung erscheint vor allem im Zusammenhang mit der Aktion der Sendertypenbereinigung notwendig, um den anderen Wehrmachtteilen zu zeigen, welche universellen Forderungen von Seiten der Kriegsmarine an Antennenteile gestellt werden müssen.

Die Zuführung der Senderenergie zu den zwischen Türmen, Masten und Stags verspannten Antennen erfolgt durch koaxiale Energiekabel, die je nach Schiffsgrosse Längen bis zu 50 m erreichen können. Aus Sicherheitsgründen werden bis heute keine Anpassungsglieder zwischen Antenne und Energieleitung geschaltet (Beschluss). Da Schiffssender eine grosse Frequenzvariation haben, treten teilweise starke Fehlanpassungen auf, wodurch merkliche Kabälverluste bewirkt werden. Diese Verluste werden unter den gegebenen Voraussetzungen in Kauf genommen. Sie können vom Sender her nicht beeinflusst werden. Für den Senderkonstrukteur erwachsen aus der gleichen Fehlanpassung Probleme, welche wegen der Vielzahl der für eine etwaige Berechnung auftauchenden Parameter bis vor kurzem im wesentlichen empirisch gelöst wurden. Antennenlänge, Antennenform, Kabeldämpfungsmass, Kabelweller

widerstand, Kabellänge und insbesondere die Frequenz sind von Fall zu Fall verschieden. Daher muss eine zunächst unübersehbar grosse Zahl von Kombinationen von Wirk- und Blindwiderständen der durch das Kabel transformierten Antennen als Senderbelastung erwartet werden. Mit dem Antennenteil des Senders soll diese Last bei einfacher, schneller und eindeutiger Bedienung mit gutem Antennenteilwirkungsgrad abgestimmt und ausgekoppelt werden. Stellt man sich z.B. vor, dass der Kabeleingangswiderstand 1 Ohm beträgt, während der zur Abstimmung erforderliche Blindwiderstand einen Verlustwiderstand von 3 Ohm aufweist, so wird nur 1/4 der Senderenergie überhaupt in das Kabel gelangen.

Zwei Beispiele zur Erläuterung dieser teilweise recht ungünstigen Verhältnisse:

Beim Spanienunternehmen der Deutschen Flotte war es den Panzerkreuzern nicht möglich, mit der Heimat Verkehr aufzunehmen. Dieser musste vielmehr von kleineren Einheiten mit schwächeren Sendern, aber besseren Antennenanlagen übernommen werden.

Oder: Bei der Erprobung des 800 Watt Fernverkehrskurzwellensenders der Fa. Telefunken musste festgestellt werden, dass Abstimm- und Koppellöcher bestehen, welche nur durch zusätzliche Anbordgabe von Kondensatoren behoben werden können, die für ungünstige Antennenverhältnisse von Fall zu Fall eingelötet werden müssen.

B.) Die Mindestlänge von Linearantennen für guten Kabelwirkungsgrad.

Der Kabelwirkungsgrad η_k ist gleich dem Verhältnis der in die Antenne gelangenden Leistung zu der durch den Kabeleingang strömenden. Bezieht man den Antennenwirkwiderstand R_a und den Antennenblindwiderstand X_a auf den Kabelwellenwiderstand Z , wodurch die Grössen $P = R_a/Z$ und $Q = X_a/Z$ gegeben sind, so ist, wenn b_k das Kabeldämpfungsmass in Neper ist, der Kabelwirkungsgrad:

$$\frac{1}{\eta_k} - 1 = b_k \frac{P^2 + Q^2 + 1}{P}$$

In Abb. 1 ist diese Gleichung als Nomogramm dargestellt. Die linke Seite gilt für die durch das Kabel gegebenen Werte, die rechte Seite für die durch die Antenne gegebenen. Wie man sich durch Einzeichnen der Antennenortskurve in die P - Q - Netztafel leicht überzeugen kann, liegt der $\lambda/2$ -Punkt der Antenne ungünstig, besonders schlecht aber ist der Kabelwirkungsgrad für sehr kurze Antennen weit unter dem $\lambda/4$ -Punkt.

Abb. 2 zeigt für ein 20 m langes Kabel - angenommen ist das zur Zeit als dämpfungsärmstes verfügbare Telefunktakabel (2/48) - den Kabelwirkungsgrad in Abhängigkeit von der Länge senkrechter Linearantennen für die Wellenlängen 100 m, 50 m und 25 m.

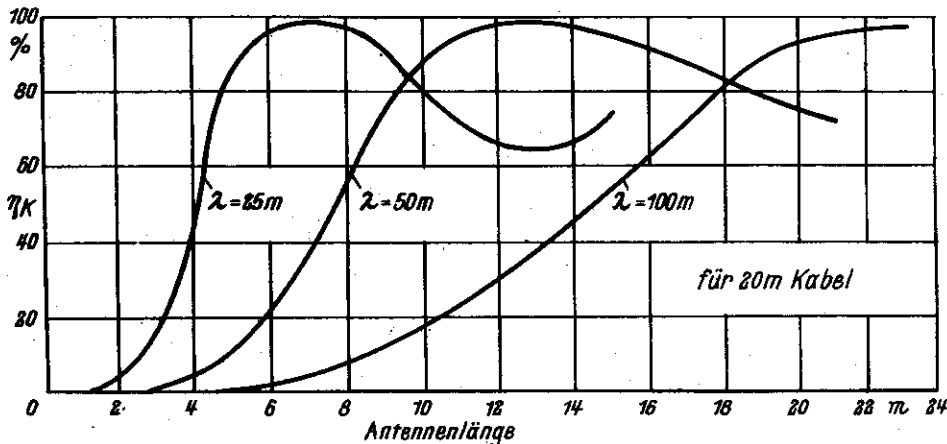


Abb. 2 $\eta_K = f(\text{Antennenlänge})$

Für Fernverkehrskurzwellensender wird man also zweckmässig eine Antennenlänge von 15 m vorschreiben, um auch

bei den längeren Wellen und langen Kabeln einen brauchbaren Wirkungsgrad zu bekommen. Für Betrieb mit Notantennen sind kürzere Wellen zu wählen. Gegebenenfalls ist bei langen Wellen als Ausgleich zu empfehlen, die Notantenne so zu beschweren, dass die statische Kapazität wenigstens etwa 250 pF beträgt.

C) Belastungshüllkurven in der komplexen Widerstandsebene.

Im folgenden soll untersucht werden, für welche überhaupt möglichen Belastungen der Sender eingerichtet sein muss, oder anders ausgedrückt, welche Widerstände beliebiger Antennen ohne und mit Transformation durch beliebige Energiekabel als Senderbelastung in Frage kommen.

Von den vorhin aufgeführten Parametern wird zunächst die Frequenz dadurch eliminiert, dass die Wirkung aller übrigen Einflussgrößen jeweils nur für eine Frequenz berechnet wird. Die Durchrechnung genügt für einige kritische Frequenzen, welche durch die Wellenbereichaufteilung gegeben werden. Auf die Festlegung der kritischen Werte der übrigen Einflussgrößen kann in diesem kurzen Bericht nicht eingegangen werden. Es sei nur darauf hingewiesen, dass als Antennenwellenwiderstand der praktisch grösstmögliche, als kleinste Antennenlänge 4 m und das dämpfungärmste Kabel bei der Berechnung angesetzt sind.

Um einen Ueberblick über die Verhältnisse bei der Zwischenschaltung eines Energiekabels ohne Anpassungsglied zu erhalten, muss kurz auf die Widerstandstransformation durch das Kabel eingegangen werden. Bezieht man wie bei der Berechnung des Kabelwirkungsgrades den Kabelabschlusswiderstand (Index a) auf den Kabelwellenwiderstand Z, indem man

$$\frac{R_a}{Z} + j \frac{X_a}{Z} = P_a + j Q_a$$

einführt, so ermöglicht folgende Substitution

$P_a + jQ_a = \text{Ltg}(b_a + ja_a)$ ein einfaches Berechnungsverfahren des Kabeleingangswiderstandes. Der Abschlusswiderstand ist nämlich jetzt nichts anderes als eine die speisende Leitung verlängernde offene Leitung (Uebertragungsmass $b_a + ja_a$). Der auf den Wellenwiderstand des Kabels bezogene Eingangswiderstand des belasteten Kabels ist damit

$$\frac{R_K}{Z} = P + jQ = \text{Ltg}[(b_a + b_K) + j(a_a + a_K)]$$

Die Funktionentafeln des Hyperbelkotangens mit komplexem Argument sind bei der Kriegsmarine berechnet worden, da die bisher vorliegenden Tafeln sich als unzureichend erwiesen haben. Abb. 3 zeigt einen Abschnitt aus diesen Tafeln, durch welche die Rechenarbeit sehr erleichtert wird.

Man übersieht die transformierende Wirkung der Energieleitung am besten, wenn man sich die Antennenortskurve in die P - Q - Ebene einzeichnet, und zwar zusammen mit dem Funktionsbild des Hyperbelkotangens. Hierfür ergeben sich in der komplexen Widerstandsebene für das Dämpfungsmass b und das Phasenmass a orthogonal trajektierende Kreise. (Vergl. Abb. 4.) Man erkennt nach Eintragen der Antennenortskurve, dass der Punkt P der folgenden Abb. 5, der die kurze 4m Antenne darstellt, den grössten b-Kreis mit dem kleinsten b-Wert erreicht. Ist das Kabel verlustlos, so bewegt sich mit steigender Kabellänge der Kabeleingangswiderstand im Uhrzeigersinn längs dieses grössten Kreises. Alle komplexen Widerstände innerhalb dieses Kreises sind dann die möglichen Kabeleingangswiderstände. Die Idealisierung der Energieleitung führt jedoch zu praktisch unmöglichen Extremwerten. Setzt man daher das Dämpfungsmass des dämpfungsrärmsten Kabels ein, so wird das Kreisdiagramm zu einem Spiraldiagramm, welches in Abb. 5 wegen der halblogarithmischen Darstellung etwa birnenförmig deformiert erscheint.

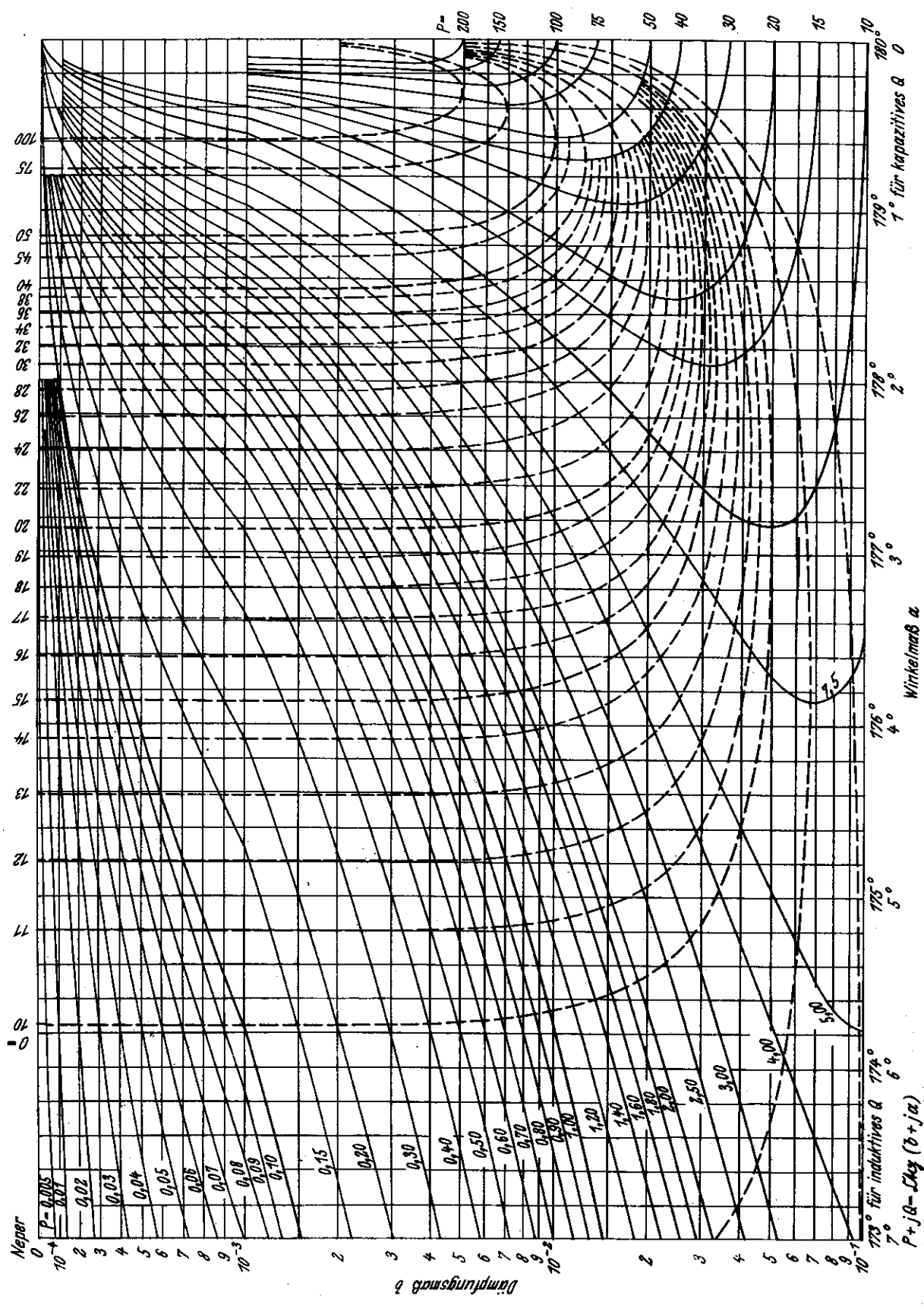


Abb. 3 Funktionstafel des Hyperbolkotangens mit komplexem Argument.

$P + jQ$ -Lsg ($0 + ja$)
halblogarithm. aufgetragen

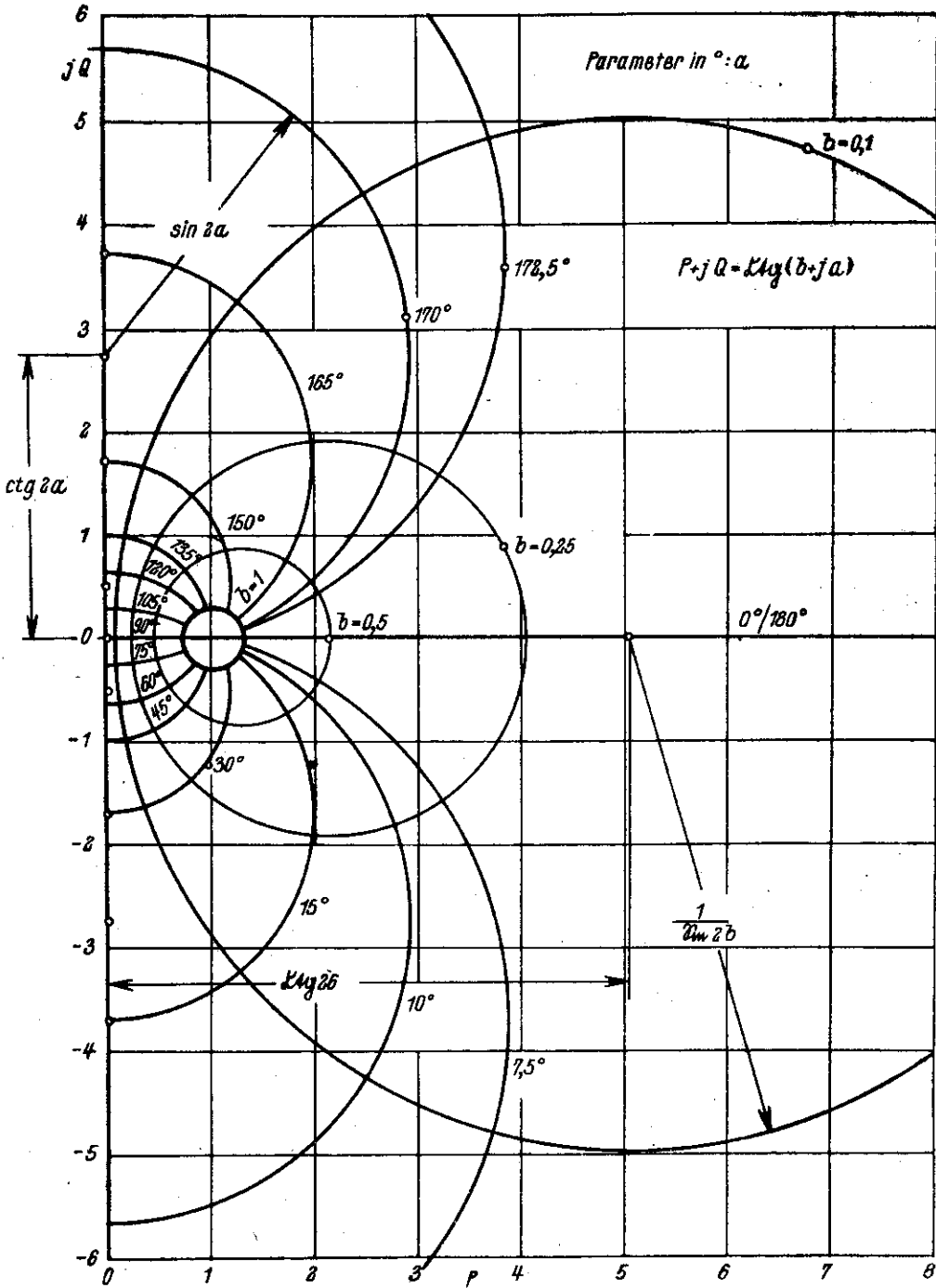


Abb.4 Leitungsdiagramm

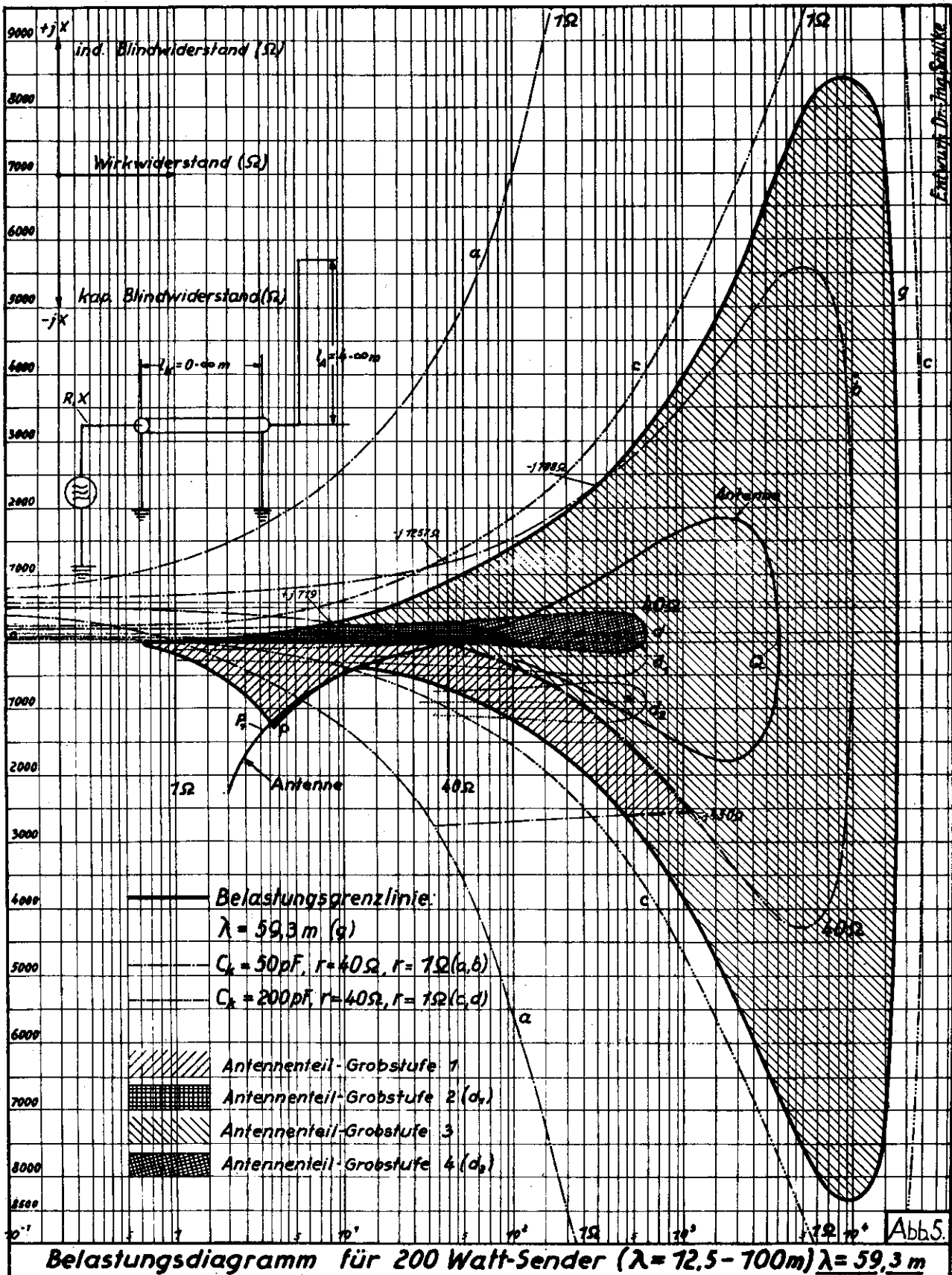


Abb.5 Antennenteilberechnung für 100 Watt Schiffssender.

Abb. 5 gilt für eine Wellenlänge von 100 m. Alle Widerstandswerte innerhalb der Grenzlinie g und des Anfangs der Antennenortskurve sind bei dieser Frequenz als Senderbelastung möglich. Diese Spiraldiagramme müssen, wie wir gleich sehen werden, für Anfang und Ende jedes Frequenzbereiches des Senders berechnet werden.

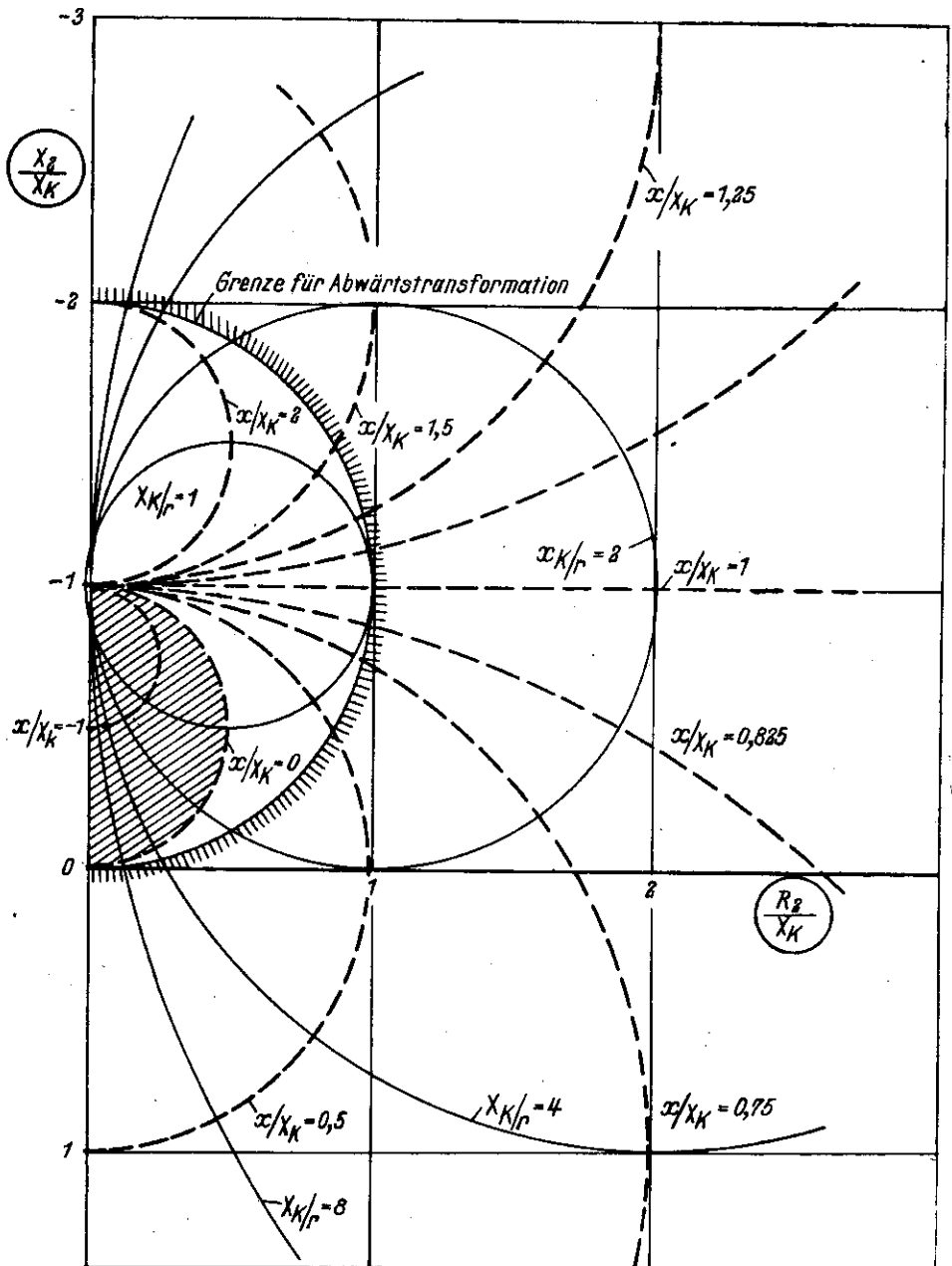
D.) Hinweise für die Ausbildung des Antennenteils.

Die Aufgabe des Antennenteils besteht darin, erstens den Blindwiderstand der Antenne abzustimmen, zweitens den Wirkwiderstand so in den zur Oberwellenschwächung erforderlichen Zwischenkreis der Endstufe zu transformieren, dass an der Koppelstelle keine Widerstandswerte über etwa 50 Ohm auftreten. Diese obere Grenze ist durch die wirtschaftliche Stufenzahl des Koppelgliedes und die Forderung nach einfacher Bedienbarkeit des Gleichlaufsenders gegeben. Im Interesse eines guten Antennenteilwirkungsgrades muss als untere Grenze für die Widerstandstransformation 1 Ohm angestrebt werden, weil der Verlustwiderstand des Antennenteils in dieser Größenordnung liegt.

Für Wirkwiderstände über - sagen wir - 40 Ohm wird die Widerstandstransformation im Antennenteil zweckmäßig durch Parallelblindwiderstand durchgeführt. Abb. 6 zeigt die Kreisscharen der übersetzten Wirk- und Blindwiderstände in der komplexen Widerstandsebene, wobei die Widerstandskomponenten auf den Transformationsblindwiderstand X_k bezogen sind.

Der Vergleich der Abb. 6 mit dem Hyperbelkotangensbild in der Widerstandsebene (Abb. 4) legt es nahe, nur Widerstandstransformation durch Parallelblindwiderstand anzuwenden. Allerdings müssen dann 2 Bedingungen erfüllt werden:

1. Die Reihenfolge der Antennenteilabstimmgrobstufen muss so gewählt werden, dass durch die zuerst geschaltete Stufe die geringste Übersetzung des Widerstandes nach unten



$$\left(\frac{X_2}{X_K} + 1\right)^2 + \left(\frac{R_2 - X_K}{X_K \cdot 2r}\right)^2 = \left(\frac{X_K}{2r}\right)^2$$

$$\left(\frac{X_2}{X_K} + 1 + \frac{1}{2\left(\frac{X_K}{r} - 1\right)}\right)^2 + \left(\frac{R_2}{X_K}\right)^2 = \left(\frac{1}{2\left(\frac{X_K}{r} - 1\right)}\right)^2$$

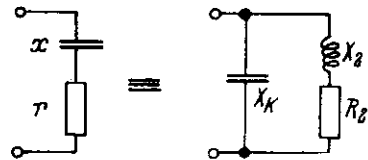


Abb. 6 Widerstandstransformation durch Parallel-Blindwiderstand.

erfolgt, um insbesondere bei einem Strombauch am Kabeleingang noch einen guten Antennenteilwirkungsgrad sicher zu stellen. (Die Leistung bleibt sonst im Sender.)

2.) Durch eine konstruktiv sehr einfach durchführbare frequenzgrobstufenabhängige Steuerung der Festwerte der Abstimmgrobstufen muss die Frequenzabhängigkeit weitestgehend eliminiert werden, sodass für jede Frequenz der günstigste Blindwiderstand und damit der bestmögliche Antennenteilwirkungsgrad zwangsläufig gegeben sind. Hiermit ist gleichzeitig der bedienungsmässig sehr wesentliche Vorteil verbunden, dass man mit sehr wenig Grobstufen bei der Abstimmung auskommt.

Abb. 7a zeigt in linearer Darstellung der Widerstandsebene die Grenzlinie g , die, wie vorhin besprochen, alle möglichen Belastungskombinationen des Senders enthält.

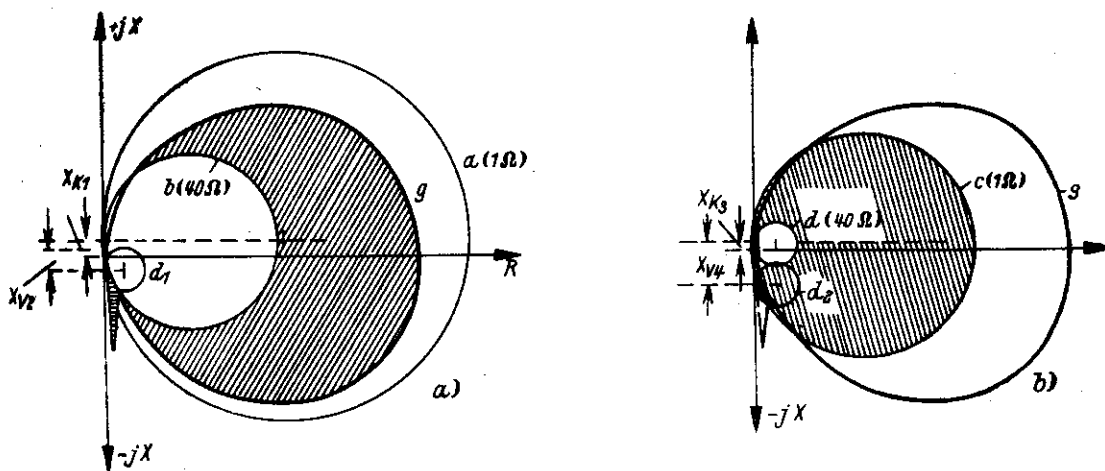


Abb. 7

Widerstands-Ebene $R + jX$

In Abb. 7a ist der transformierende Kondensator so gross gewählt, dass die Grenzlinie g innerhalb der Transformationslinie für 1 Ohm liegt (Linie a). In der Mitte bleibt ein Loch, gegeben durch die Transformationslinie b für $R = 40$ Ohm. In Abb. 7b ist durch stärkere Transformation dieses Loch stark verkleinert. Die Linie c (1 Ohm) in Abb. 7b umschliesst die Linie b (40 Ohm) der Abb. 7a. Das verbleibende Restloch d wird durch Vorschalten von Verkürzungskondensatoren vor den Kabeleingang in auskoppelbare Gebiete verschoben. In der halblogarithmischen Darstellung der Abb. 5 ist besser zu übersehen, dass dieses kleine Koppelloch d zur Erlangung eines guten Antennenteilwirkungsgrades zweckmässig in 2 Stufen unterteilt wird.

Abb. 8 zeigt schliesslich die bedienungsmässig sehr einfache Schaltung eines von der Kriegsmarine berechneten Schiffssenderantennenteils mit nur 4 Grobstufen, mit dem es möglich ist, mit immer gutem Antennenteilwirkungsgrad alle an Bord und Land denkbaren Kombinationen von Antennen und Kabeln ohne vom Sender abgesetzte Anpassungsglieder abzustimmen und auszukoppeln.

II. Teil.

=====

Im zweiten Teil sollen zunächst die besonderen Bedingungen mitgeteilt werden, die bei der Planung und Konstruktion von Schiffsantennenanlagen über die Forderungen hinaus gestellt werden müssen, welche normalerweise aus militärischen und technischen Gründen von Antennen verlangt werden müssen, also in der Hauptsache konstruktive Forderungen, die durch den Bordbetrieb bedingt sind.

Die Kampfkraft eines Schiffes ist durch seine Artillerie und Torpedowaffe wesentlich bestimmt. Die Nach-

richtenwaffe hat sich dieser primären Forderung unterzuordnen.

Die grösste Schwierigkeit bereitet die Antennenführung in Bezug auf das Schussfeld der eigenen Schiffsflak, die im Ernstfall natürlich keine Rücksicht auf die vielen Antennen nehmen kann und bei Steilschieser fast jedesmal einige Antennen an Deck legt. Man müsste die Antennen also möglichst dicht zusammenlegen. Andererseits müssen die zahlreichen Antennen jedoch möglichst weiträumig verteilt werden, um die Strahlungskopplung auf ein erträgliches Mass zu bringen. Diese Strahlungskopplung wirkt sich einmal auf die Empfangsantennen aus, bei denen sich beim Tasten der 800 Wattsender Koppelspannungen bis zu einigen 100 Volt nicht immer vermeiden lassen, wodurch die auf benachbarten Wellen eingestellten Empfänger verstopfen, selbst wenn man im Bordempfänger besondere Vorselektionskreise eigens zu diesem Zweck anbringt. Aber auch bei den Senderantennen wirkt die starke Antennenverkopplung nachteilig, weil bei Mehrfachbetrieb die exerziermässig geübte Abstimmung geändert wird. Ja selbst bei Einfachbetrieb können die Abstimmwerte der Senderantennen durch die zufällige Stellung der Abstimmittel z.Zt. garnicht benutzter Sender beeinflusst werden, wenn deren Antennenteil nicht elektrisch vollkommen abgeschaltet oder zusätzlich bedämpft ist. - In diesem Zusammenhang muss auch auf die Notwendigkeit der Unterteilung von Verspannungen durch Isolatoren hingewiesen werden, wodurch vermieden wird, dass der Energieentzug durch Sekundärstrahler zu gross wird..

Aus diesen grundsätzlichen Forderungen wird klar, dass die Tendenz im Bau von Schiffsantennenanlagen dahin zu gehen hat, auf möglichst wenige und kleine Antennen Überzugehen, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dass zu der auf engem Raum zusammengeballten Kraft eines Kriegsschiffes notwendig eine umfangreiche Nachrichtenanlage zur Verfügung stehen muss. Aber der Antennenwald

muss verschwinden. Die aufgestellten Forderungen würden jedoch bei den längeren Wellen zu einer untragbaren Verringerung der Strahlungsleistung führen, die nur durch abgesetzte Antennenteile in gewissem Umfange wieder ausgeglichen werden könnte. Versuche der Mehrfachspeisung einer Antenne durch mehrere Sender haben bis jetzt noch zu keinem befriedigenden Ergebnis geführt. Die Versuche mit Eigenerregung von Schiffstürmen (bei Panzerkreuzern) zeigten gangbare Möglichkeiten, werden aber zurzeit nicht weiter verfolgt. Auf dem Gebiet der Empfangsantennen ermöglichen Antennenverstärker ausser einer besseren Ausnutzung des Empfangsfeldes eine Verringerung der Antennenzahl. Bei den Uebertragern für Empfangsantennen sind die durch den grossen Frequenzbereich und die grossen Koppelspannungen bedingten Schwierigkeiten noch nicht ganz überwunden.

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde ein Grund für die teilweise so schlechte Reichweite von Schiffssendeantennenanlagen noch nicht erwähnt, nämlich die Verwendung fester Antennen für Fernverkehrskurzwellen. Bei Konstanz der Antennenlänge ist es möglich, dass insbesondere bei den kürzeren Wellen der zur Erreichung einer bestimmten Entfernung notwendige Abstrahlungswinkel gerade in einem Einschnitt der aufgeblättern Vertikalcharakteristik liegt. Veränderliche Strahler (der $\lambda/4$ -Strahler bietet die beste Gewähr) für FKW Sender würden sendermässig, kabelwirkungsgradmässig und strahlungsmässig unterschiedene Vorteile bringen. Sie werden jedoch aus den gleichen Gründen nicht verwendet, aus denen keine abgesetzten Antennenteile eingeführt werden.

Im Gegensatz zu Landantennenanlagen haben Schiffsantennen praktisch vernachlässigbare Erdwiderstände, sodass insbesondere bei langen Wellen so kleine Dämpfungen auftreten, dass die Beherrschung der Spannung schwierig wird, weil Glimmerscheinungen in der Takelage den Empfang stören. Die Verwendung von Langwellensendern mit

einer grösseren Leistung als 800 Watt ist daher an Bord nicht angebracht.

Für Sendeantennen werden Stahldrähte von 5,5 mm Durchmesser, für Empfangsantennen von 3,2 mm \varnothing benutzt. Besondere Anforderungen werden durch den rauen Bordbetrieb an die Isolatoren gestellt. Das früher angewandte Verfahren, die Porzellanknüppel mit Bleiglätte in die Sprühschutzkappe einzukitten, musste nicht nur aus Sparstoffgründen, sondern vor allem auch deshalb aufgegeben werden, weil der Kitt in den heissen Schornstein gasen bröckelig wurde. Die Antennen müssen zur Reinigung der durch Russ verschmierten Isolatoren ab und zu abgefiert werden; sie müssen daher besonders robust sein und dürfen beim Anschlagen gegen Decksaufbauten nicht zerbrechen. Die Robustheit ist auch wegen starker Zugbeanspruchung besonders bei Sturm notwendig. Bei U-Bootantennen müssen die Isolatoren grau oder grün durchgefärbt sein, damit gesprungene Isolatoren nicht durch Blendung verraten.

Mit den Modellen, Mustern und Zeichnungen der Antennenausstellung wird das hier Vorgetragene anschaulich ergänzt.

Zum Schluss möchte ich nur einige grundsätzliche Probleme nennen, die mehr verfahrensmässig bedingt sind, und die als Entwicklungen auf lange Sicht zunächst eingestellt sind oder noch gar nicht in Angriff genommen sind. Es sind dies Probleme, die nur teilweise durch die Antennenausführung gelöst werden können, da die angestrebte Wirkung stark von der Ionosphäre und auch von den Senderverfahren abhängig ist: Unpeilbarkeit, exakte, willkürliche Reichweitenbegrenzung und als endgültige, konsequenteste Forderung: die Schaffung eines Nachrichtenwerfers, der nur ein bestimmtes, beliebig wählbares Planquadrat mit Nachricht versieht. Es handelt sich hierbei keineswegs um eine Utopie, da die Realisierbarkeit unter

Ausnutzung der toten Zone bei Verwendung von Richtstrahlern durchaus gegeben ist.

Auch der schnelle Uebergang von Rundverkehr auf Richtverkehr und umgekehrt ist eine taktische Forderung, die noch nicht gelöst ist, weil beim jetzigen Stand der Technik bei langen Wellen der Aufwand zu gross sein müsste und bei kurzen Wellen die Schattenwirkung der Decksaufbauten stört.