

KATHREIN

Antennen · Electronic

Mobilfunk-Antennentechnik

Dipl. Ing. Peter Scholz
KATHREIN-Werke KG
Anton-Kathrein-Straße 1
83004 Rosenheim

1.	Einleitung	S - 3
2.	Theorie	S - 4
3.	Grundbegriffe	S - 5
3.1	Polarisation	S - 5
3.2	Richtcharakteristik	S - 5
3.3	Halbwertsbreite	S - 5
3.4	Antennengewinn	S - 6
3.5	Impedanz	S - 6
3.6	VSWR/Rückflußdämpfung	S - 6
3.7	Mechanische Vorgaben	S - 6
4.	Feststationsantennen	S - 7
4.1	Rundstrahler	S - 7
4.1.1	Groundplane- und Sperrtopf-Antennen im Vergleich	S - 7
4.1.2	Rundstrahler seitlich am Mast	S - 7
4.1.3	Gewinnrundstrahler	S - 7
4.2	Richtantennen	S - 8
4.2.1	Gewinn durch horizontale Bündelung	S - 8
4.2.2	Längsstrahler	S - 8
4.2.3	Querstrahler	S - 8
4.2.4	Antennenkombination	S - 9
5.	Besondere Techniken bei GSM und DCS 1800	S - 10
5.1	Diversity	S - 10
5.1.1	Raum - Diversity	S - 10
5.1.1.1	Omni - Basisstation	S - 11
5.1.1.2	Sektor - Basisstation	S - 11
5.1.2	Polarisations - Diversity	S - 11
5.1.2.1	Horizontale und vertikale Polarisation	S - 11
5.1.2.2	Polarisation +45°/-45°	S - 12
5.2	Indoor Antennen	S - 12

6.	Fahrzeugantennen	S - 13
6.1.	$\lambda/4$ -Antenne auf dem Wagendach	S - 13
6.2.	Gewinnantennen	S - 14
6.3.	Heckantennen	S - 14
6.4.	Scheiben-Klebeantennen	S - 15
6.5.	Scheiben-Klemmantennen	S - 15
6.6.	Verkürzte Antennen	S - 15
6.7.	Lokantennen	S - 16
7.	Antennen für tragbare Funkgeräte	S - 17
7.1.	$\lambda/4$ -Antennen	S - 17
7.2.	$\lambda/2$ -Antennen (Gainflex)	S - 17
7.3.	Verkürzte Antennen	S - 18
7.4.	Vergleichende Feldstärkemessungen	S - 18

Bildernhang Seite B1 – Seite B 26

Mobilfunk - Antennentechnik

1. Einleitung

Durch die Einführung neuer Mobilfunknetze (GSM/PCN) hat in den letzten Jahren eine sprunghafte Entwicklung auf dem Gebiet des Mobilfunks eingesetzt. Weltweit ist die Zahl der Teilnehmer auf über 150 Millionen gestiegen. Bild 1 zeigt eine Übersicht der Mobilfunkdienste in Deutschland sowie der verwendeten Frequenzbereiche.

Durch den wachsenden Ausbau der Mobilfunknetze werden die Anforderungen an die verwendeten Antennen immer höher:

- streng definierte Abstrahlcharakteristik für eine möglichst genaue Funknetzplanung
- erhöhtes Augenmerk auf die Intermodulationsfestigkeit aufgrund der Abstrahlung vieler HF-Trägerfrequenzen über eine Antenne
- Doppelpolarisation
- elektrische Absenkung des Vertikaldiagramms
- unauffälliges Design

In folgendem Beitrag wird auf die Grundlagen der Antennentechnik eingegangen, die wichtigsten Antennentypen vorgestellt, sowie die besondere Technik von GSM/PCN Anlagen behandelt.

2. Theorie

Antennen sind Wandler zwischen einer leitungsgeführten Welle und einer Freiraumwelle.

Sie empfangen elektromagnetische Wellen und geben sie an einen Empfänger weiter bzw. strahlen elektromagnetische Wellen ab, die von einem Sender erzeugt wurden. Grundsätzlich sind die Eigenschaften von passiven Antennen für den Sende- und Empfangsfall gleich (Reziprozität). Vom Anschluß her erscheint eine Antenne als Zweipol, obwohl sie in Wirklichkeit ein Vierpol ist. Der nicht an einer HF-Leitung liegende Anschluß der Antenne ist mit der Umwelt verbunden und es ist daher stets zu bedenken, daß das Umfeld der Antenne einen starken Einfluß auf die Antenneneigenschaften haben kann (Bild 2).

Das Prinzip einer Antenne läßt sich durch Aufbiegen einer Zweidrahtleitung veranschaulichen (Bild 3):

- a) Ein Sender schickt Hochfrequenz-Wellen in eine Zweidrahtleitung. Zwischen den Drähten bildet sich ein pulsierendes elektrisches Feld, das sich von der Leitung jedoch nicht lösen kann.
- b) Das Leitungsende wird auseinandergebogen. Die Feldlinien werden länger und stehen im rechten Winkel zu den Drähten.
- c) Die Drähte sind im rechten Winkel aufgebogen. Die Feldlinien haben eine Länge erreicht, die eine Ablösung von den Drähten erlaubt.
Das Gebilde strahlt eine elektromagnetische Welle ab, wobei die Länge der beiden senkrechten Drahtstücke der halben Wellenlänge entspricht.

Diese vereinfachte Darstellung beschreibt den Grundbaustein fast jeder Antenne, den $\lambda/2$ -Dipol. Neben einem elektrischen Feld (E), daß durch ein Spannungspotential (U) gebildet wird, entsteht auch ein magnetisches Feld (H), das auf einem Strom (I) basiert (Bild 4). Die Amplitudenverteilungen der Felder entsprechen der Spannungs- bzw. Stromverteilung auf einem Dipol.

Wellenablösung vom Dipol bzw. Wellenausbreitung erfolgen durch permanente Umwandlung von elektrischer in magnetische Energie und umgekehrt.

Die dabei entstehenden elektrischen und magnetischen Felder stehen orthogonal zur Ausbreitungsrichtung (Bild 5).

3. Grundbegriffe

3.1 Polarisation:

Als Polarisation wird die Schwingungsrichtung des elektrischen Feldstärkevektors bezeichnet.

Mobilfunk: vertikale Polarisation

Rundfunk: horizontale Polarisation

3.2 Richtcharakteristik:

Die Abstrahlcharakteristik einer Antenne wird in den meisten Fällen durch Schnitte durch das horizontale und vertikale Strahlungsdiagramm beschrieben. Im Mobilfunk (vertikale Polarisation) entspricht das der magnetischen Feldkomponente (H-Ebene) und der elektrischen Feldkomponente (E-Ebene). Für komplexe Antennen wird oftmals auch eine räumliche Darstellung gewählt.

3.3 Halbwertsbreite:

Dieser Begriff steht für den Öffnungswinkel der Antenne. Er wird gebildet durch die Punkte im Horizontal- und Vertikaldiagramm, bei denen die Leistung um die Hälfte abgesunken ist. Diese Punkte werden daher auch 3 dB-Punkte genannt.

3.4 Antennengewinn:

Durch den Antennengewinn wird in Wirklichkeit nicht Energie gewonnen. Während eine Antenne ohne Gewinn die Energie in alle Richtungen verteilt, konzentriert eine Gewinnantenne die Energie auf bestimmte Winkelsegmente des Raumes. Bezugsgröße für die Gewinnangabe ist meist der $\lambda/2$ -Dipol. Bei höheren Frequenzen kann der Gewinn auf den isotropen Strahler bezogen sein. Dies ist eine in der Realität nicht existierende Antenne, die auch in der E-Ebene ein Rundstrahlungsdiagramm besitzt.

Umrechnung:

Gewinn (bez. auf isotropen Strahler dBi) = Gewinn (bez. auf $\lambda/2$ -Dipol dBd) + 2,15 dB

Der Gewinn einer Antenne ist mit der Strahlungscharakteristik der Antenne verknüpft. Aus den Halbwertsbreiten der Strahlungsdiagramme der horizontalen und vertikalen Ebene lässt sich der Gewinn grob abschätzen (Bild 6).

3.5 Impedanz:

Die frequenzabhängige Impedanz der Dipole bzw. der Antennen wird oftmals über Symmetrier- und Transformationsschaltungen an die 50 Ohm Impedanz der Zuführungsleitung angepaßt. Eine Anpassung über einen größeren Frequenzbereich erfolgt durch geeignete Kompensationsschaltungen.

3.6 VSWR/Rückflußdämpfung:

Eine Impedanz von genau 50 Ohm läßt sich praktisch nur für eine Frequenz einhalten. Bei breitbandigen Antennen gibt das VSWR an, wie weit die Impedanz von 50 Ohm abweicht. Durch diese Fehlanpassung kann die vom Sender gelieferte Leistung nicht mehr ungehindert in die Antenne fließen und abgestrahlt werden. Ein Teil wird an der Antenne reflektiert und läuft zum Sender zurück (Bild 7). Hinlaufende und zurücklaufende Leistung bilden eine stehende Welle mit Spannungsminima und Spannungsmaxima (U_{\min}/U_{\max}). Dieses Stehwellenverhältnis (**V**oltage **S**tanding **W**ave **R**atio) ist ein Maß für die Anpassung der Antenne, und wurde früher durch Abtastung der Welle mit einer Sonde bestimmt.

Im Mobilfunk ist ein VSWR von 1,5 Standard. In diesem Fall darf der Wirkanteil der komplexen Impedanz zwischen folgenden Werten variieren:

Maximalwert: $50 \text{ Ohm} \times 1.5 = 75 \text{ Ohm}$

Minimalwert : $50 \text{ Ohm} : 1.5 = 33 \text{ Ohm}$

Heutzutage wird mehr und mehr die Rückflußdämpfung angegeben. Grundlage dafür ist das Spannungs-Verhältnis der rücklaufenden zur vorlaufenden Welle U_R/U_V , das z.B. mit einem Richtkoppler gemessen werden kann. Dieses Verhältnis wird als Reflexionsfaktor bezeichnet. Die Graphik von Bild 7 zeigt den Zusammenhang zwischen Reflexionsfaktor, Rückflußdämpfung, VSWR und reflektierter Leistung.

3.7. Mechanische Vorgaben:

Antennen werden stets an exponierten Stellen montiert. Bei der Dimensionierung der Antennen muß den vielfältigen Forderungen an die mechanische Belastbarkeit Rechnung getragen werden. Bei Fahrzeugantennen werden z.B. hohe Fahrgeschwindigkeiten, Erschütterungen, Waschstraßentauglichkeit und geringe Windgeräusche berücksichtigt. Antennen für tragbare Funkgeräte sind dem direkten Zugriff und oftmals auch dem Spielbetrieb des Anwenders ausgesetzt. Bei stationären Antennen schließlich sind wiederum hohe Windgeschwindigkeiten und Vibrationen, aber auch Eis, Schnee, eine korrosive Umwelt und natürlich auch atmosphärische Entladungen wichtige Gesichtspunkte.

4. Feststationsantennen

4.1. Rundstrahler

4.1.1. Groundplane- und Sperrtopf-Antennen im Vergleich

Die „klassischen“ Rundstrahler sind die Groundplane-Antenne und die Sperrtopf-Antenne (Bild 8). Die Bezeichnungen deuten an, wie die Antennen vom Mast entkoppelt werden. In einem Fall wird durch die drei Gegengewichtsstäbe eine leitende Ebene nachgebildet, im anderen erreicht man die Entkopplung mit einem $\lambda/4$ -Sperrtopf. Letzterer funktioniert jedoch nur schmalbandig, so daß z.B. zur Abdeckung des 2-m-Bandes drei Ausführungen benötigt werden. Die Groundplane-Antenne dagegen ist breitbandig über den gesamten Frequenzbereich.

4.1.2. Rundstrahler seitlich am Mast

Freie Mastspitzen, auf denen obige Antennen montiert werden können, stehen nicht immer zur Verfügung. Es wird sich daher nicht vermeiden lassen, Rundstrahler auch seitlich an den Mast zu setzen, wodurch das Horizontaldiagramm jedoch stark verändert wird. Der Abstand zum Mast hat einen entscheidenden Einfluß auf die Strahlungscharakteristik. Bei einem Abstand Strahler-Mast von $\lambda/4$ erhält man eine Abstrahlung in Vorzugsrichtung, bei $\lambda/2$ ein Zweiseitendiagramm (siehe Bild 9). Allein durch die Wahl des richtigen Abstandes kann somit das Strahlungsdiagramm dem Versorgungsgebiet angeglichen werden.

Für diese Montageart braucht man für Groundplane- und Sperrtopf-Antennen einen entsprechenden Ausleger oder man benutzt einen Dipol, dessen Befestigung bereits dafür ausgelegt ist.

4.1.3. Gewinnrundstrahler

Die bisher besprochenen $\lambda/2$ -Antennen strahlen bei Montage an der Mastspitze nach allen Azimuth-Richtungen die gleiche Leistung ab (Bild 8). Die vertikale Halbwertsbreite beträgt 78 Grad. Man erkennt, daß sehr viel Energie nach oben und unten abgestrahlt wird, und damit für die gewünschte Richtung in der horizontale Ebene verloren ist.

Durch gleichphasiges Zusammenschalten von einzelnen, übereinander angeordneten Dipolen in einem Mittenabstand von einer Wellenlänge läßt sich die Halbwertsbreite verkleinern (Bild 10). Dadurch erhöht sich die abgestrahlte Energie in Richtung der Horizontalen. Diesen Zuwachs nennt man Antennengewinn, der nichts anderes bedeutet, als die Abstrahlung in bestimmte Richtungen zu bündeln. Eine Verdopplung der Dipolanzahl bewirkt jeweils einen Gewinnzuwachs von 3 dB (Leistungsverdopplung). Bild 11 zeigt ein Beispiel einer Gewinnantenne aus dem GSM-Bereich, bei der mehrere Dipole in einem gemeinsamen Fiberglasrohr angeordnet sind.

4.2. Richtantennen

4.2.1. Gewinn durch horizontale Bündelung

Auch in der horizontalen Ebene lässt sich durch Bündelung Gewinn erzeugen, indem die Abstrahlung nicht kreisrund erfolgt. Bei Abstrahlung der vorhandenen Energie in einen Halbraum (180 Grad) erhält man 3dB Gewinn, bei Abstrahlung in einen Viertelraum (90 Grad) 6 dB Gewinn. Die in Bild 12 dargestellten Diagramme sind rein theoretischer Natur, da solche steilen Flanken bei realen Richtantennen nicht möglich sind.

4.2.2. Längsstrahler

So werden Richtantennen genannt, deren mechanische Ausdehnung in Richtung der Hauptkeule zeigt. Gängige Vertreter sind die Yagi- und die logarithmisch periodische Antenne (siehe Bild 13). Die Yagi-Antenne ist wegen ihrer einfachen und billigen Bauweise weit verbreitet.

Für den professionellen Einsatz ist sie jedoch nur bedingt geeignet. Elektrisch ist es von Nachteil, daß Gewinn und Breitbandigkeit miteinander verkoppelt sind, d.h. ein Kriterium geht zu Lasten des anderen. Das mechanische Konzept ist für den Einsatz in rauen Witterungsbedingungen wenig geeignet, da durch Eis und Schnee eine starke Veränderung des Strahlungsdiagramms stattfinden kann.

Die „log.-per.“ -Antenne wird gern verwendet, weil sie unempfindlich gegenüber Vereisung und ihr Strahlungsdiagramm über große Frequenzbereiche konstant und arm an Nebenkeulen ist. Sie wird dort eingesetzt, wo es auf ein exakt definiertes Strahlungsdiagramm ankommt.

4.2.3. Querstrahler

Im Gegensatz zum Längsstrahler liegt hier die mechanische Ausdehnung quer zur Hauptstrahlrichtung. Dies trifft vor allem auf Antennenfelder zu, aber auch Winkelreflektor-Antennen zählen zu dieser Kategorie (Bild14).

Bei den Antennenfeldern werden mehrere Dipole vor einer geraden Reflektorwand angeordnet, um sowohl aus der horizontalen als auch aus der vertikalen Ebene Gewinn zu erzielen. Dieser Antennentyp ist hervorragend für Kombinationen geeignet. Etwas verwirrend ist die Bezeichnung: eine Antenne mit 6 Dipolen wird Zwölferfeld genannt. In der Theorie lässt sich die Reflektorwand ersetzen durch einen 2. Satz Dipole, die mit entgegengesetzter Phase strahlen. Diese virtuellen Dipole werden bei der Bezeichnung mitgezählt.

Bei der Winkelreflektorantenne ist die Reflektorwand nicht gerade, sondern nach vorne abgewinkelt. Mit dem gewählten Winkel lässt sich die horizontale Halbwertsbreite beeinflussen, meistens beträgt er 90 Grad. Sie wird nur als Einzelantenne eingesetzt, z.B. zur Versorgung von Eisenbahnlinien und Autobahnen.

4.2.4. Antennenkombinationen

In der Antennentechnik werden oft Wünsche, die mit einer Einzelantenne nicht realisierbar sind, durch eine Antennenkombination verwirklicht. Diese Kombination besteht aus mehreren Einzelantennen und einem Speisernetzwerk (Leistungsverteiler + Verbindungskabel). Häufig wird eine Kombination aufgebaut, um mehr Bündelung und Gewinn zu erzeugen. Es werden auch mehrere Antennen verwendet, um größere Möglichkeiten zur Formung von horizontalen Strahlungscharakteristiken zu erhalten. Durch Variation der Antennen-Anzahl, der Azimuthrichtungen, des Abstands, der Phase und der Leistungsaufteilung lassen sich die verschiedenartigsten Richtcharakteristiken erzielen. In Bild 15 sind drei einfache Beispiele dargestellt.

Auch die Erzeugung eines rundstrahlähnlichen Diagramms ist möglich. Die notwendige Anzahl an Antennen steigt mit dem Durchmesser des Turms. Bei einem Durchmesser von ca. 1,5 m sind bei 900 MHz bereits 8 Felder nötig. Die Rundstrahlung ergibt sich nicht kontinuierlich, sondern bei jeder Felderanzahl existieren ein oder zwei optimale Montagedurchmesser der Antennen.

Die Berechnung solcher Strahlungsdiagramme erfolgt durch Vektoraddition der Einzelantennen nach Betrag und Phase. Während der Betrag als Einzelstrahlungsdiagramm auf einem Datenblatt angegeben ist, so ist die Phase eigentlich nur dem Antennenhersteller bekannt. Sie ist jedoch für die Berechnung unerlässlich, eine überschlägige Abschätzung nur mit dem Betrag kann zu völlig falschen Ergebnissen führen.

5. Besondere Techniken bei GSM und DCS 1800

5.1. Diversity

Darunter versteht man ein Verfahren, den Signalpegel von der Mobilstation zur Basisstation (uplink) zu erhöhen. Hier treten Probleme auf, da das Handy nur mit kleinen Leistungen und kurzen Antennen arbeitet. Das Verfahren wird auf der Empfangsseite der Basisstation angewandt.

Nur in den seltensten Fällen erreicht ein ausgesendetes Signal den Empfänger auf direktem Weg. Vielmehr besteht das Empfängersignal besonders in Städten aus einer Kombination von direkter Welle und Reflexionen aus der Umgebung (Bild 16). Diese Reflexionen weisen unterschiedliche Phasenlagen und Polarisationen auf.

Dadurch erfolgt an einem bestimmten Empfangsort eine Verstärkung oder, im Extremfall eine Auslöschung des Signals. Es ist keine Seltenheit, daß die Empfangsfeldstärke innerhalb weniger Meter um 20-30 dB schwankt.

In Straßenschluchten kann der Betrieb oft nur durch Reflexionen aufrecht erhalten werden. Diese Reflexionen an Gebäuden, Masten oder Bäumen sind besonders ausgeprägt, da im Mobilfunk überwiegend vertikale Polarisierung verwendet wird.

5.1.1. Raum - Diversity

Dieses System besteht aus 2 Empfangsantennen in einem räumlichen Abstand. Erhält man mit einer Feststationsantenne ein bestimmtes Feldstärkeprofil mit maximalen und minimalen Werten im Versorgungsgebiet, so sieht das Feldstärkeprofil einer zweiten Feststationsantenne, die von der ersten nur wenige Meter räumlich getrennt ist, vollkommen unterschiedlich aus. Im Idealfall würden Minima oder Versorgungslücken der einen Antenne durch Maxima der zweiten Antenne ausgeglichen (Bild 17). Die damit verbundene Verbesserung des mittleren Signalpegels wird als Diversity-Gewinn bezeichnet.

Diversity-Antennen sind nicht hochfrequenzmäßig zusammengeschaltet, da sich sonst eine ungünstige Summencharakteristik einstellen würde. Sie arbeiten getrennt voneinander mit eigenen Empfangszweigen, wobei für jeden Kanal die Antenne mit dem höheren Signal ausgewählt wird. Vorzugsweise erfolgt die räumliche Trennung in der Horizontal-Ebene (Horizontal-Diversity). Die Ergebnisse bei Vertikal-Diversity sind wesentlich schlechter.

5.1.1.1. Omni - Basisstation

Die typische GSM- Rundstrahlstation besteht aus 3 Antennen (Bild 18):
eine Sendeantenne (Tx)
zwei Empfangsantennen (Rx)

Die Sendeantenne in der Mitte ist höher angebracht, um eine saubere Rundstrahlcharakteristik zu gewährleisten. Außerdem wird dadurch die gegenseitige Beeinflussung zwischen den Rx- und Tx-Antennen kleiner (höhere Entkopplung). Die beiden Rx-Antennen für Raum-Diversity haben einen Abstand von $12 - 20 \lambda$. Der erreichbare Diversity-Gewinn beträgt $4 - 6$ dB.

5.1.1.2. Sektor - Basisstation

Rundstrahlstationen werden hauptsächlich in Regionen mit relativ niedrigen Teilnehmerzahlen aufgebaut. In Städten wird aus Kapazitätsgründen die Funkzelle in 3 Sektoren zu je 120 Grad aufgeteilt. Zur Versorgung dieser Sektoren verwendet man Richtantennen, z.B. Antennenfelder (siehe 4.2.5.). Bild 19 zeigt die Anordnung der aus 9 Antennen bestehenden Anlage. Alle 3 Antennen pro Sektor können hier in gleicher Höhe montiert werden, da sich bei Richtantennen höhere Entkopplungswerte im Vergleich zu Rundstrahlern einstellen.

5.1.2 Polarisations - Diversity

Reflexionen in bebauten Gebieten erfolgen nicht polarisationsrein, d.h. es sind auch horizontale Anteile vorhanden. Außerdem wird ein Handy nie exakt aufrecht getragen, sodaß bei der Handy-Antenne jede Polarisation zwischen vertikal und horizontal möglich ist. Es liegt auf der Hand, auch diese Signale zu nutzen.

Während bei Raum-Diversity die Empfangssignale von zwei vertikal polarisierte Antennen miteinander verglichen werden, wählt Polarisations-Diversity das bessere Signal von zwei orthogonal polarisierten Antennen aus.

5.1.2.1 Horizontale und vertikale Polarisation

Die Dipole der beiden Antennensysteme sind horizontal bzw. vertikal angeordnet.

Ein räumlicher Abstand ist nicht notwendig, sodaß die verschiedenen polarisierten Dipole in ein gemeinsames Gehäuse untergebracht werden können. Selbst bei Verschachtelung der Dipole läßt sich noch eine ausreichende Entkopplung erreichen, sodaß die dual polarisierte Antenne keine größeren Abmessungen besitzt als die einfach polarisierte Antenne.

Damit ergeben sich folgende Vorteile:

- pro Sektor müssen nur noch 2 Antennen aufgebaut werden: 1 x hor./vert. für Pol.-Diversity
1 x vert. für Tx
(Bild 20)
- zwischen den Antennen ist nur noch ein geringer horizontaler Abstand notwendig, bzw. die Antennen sind übereinander am gleichen Mast montiert, was die Anlage sehr kompakt macht und das Genehmigungsverfahren erleichtert.

- Wird zusätzlich der vertikale Zweig der dual polarisierten Antenne über einen Duplexer für Rx und Tx verwendet, ist pro Sektor nur noch eine Antenne erforderlich. Das erlaubt die Montage der Antennen für 3 Sektoren an nur einem Mast (Bild 21).

Zuminderst in Städten wird der gleiche Diversity-Gewinn von 4 – 6 dB wie bei Raum-Diversity erreicht.

5.1.2.2 Polarisation +45°/-45°

Statt einer horizontalen und vertikalen Ausrichtung der Dipole sind auch die Winkel +45° und -45° möglich. Man erhält 2 identische Systeme, die sowohl horizontale als auch vertikale Polarisationsanteile verarbeiten können. Besonders auf dem flachen Land bringt diese Anordnung gewisse Vorteile, da eine reine horizontale Polarisation hier weniger, wegen geringer Reflexionen, vorhanden ist.

Ein weiterer Vorteil liegt in der Möglichkeit, beide Antennensysteme für Sendekanäle einsetzen zu können. Versuche haben gezeigt, daß die reine horizontale Polarisation im Sendefall wesentlich schlechtere Ergebnisse bringt als die vertikale Polarisation.

Zwei Sendekanäle wurden daher über einen 3 dB-Koppler zusammengefaßt und an den vertikalen Zweig angeschlossen, wobei durch die Zusammenschaltung die Hälfte der Leistung beider Sendekanäle verlorengeht.

Mit kreuzpolarisierten Antennen kann ein System nach Bild 22 aufgebaut werden, das für zwei HF-Kanäle bei nur einer Antenne pro Sektor geeignet ist.

5.2. Indoor Antennen

Bei höheren Frequenzen ist es oft schwierig, das Innere eines Gebäudes funktechnisch zu versorgen. Verspiegelte Scheiben und Stahlbetonwände schirmen die elektromagnetischen Wellen ab.

Flughäfen, U-Bahnhöfe oder Kauf- und Bürohäuser werden daher häufig durch ein eigenes Netz geringer Leistung versorgt, das z.B. durch einen Repeater an die nächste Basisstation angeschlossen ist. In den einzelnen Räumen oder Gängen befinden sich spezielle Indoor-Antennen, die sich durch geringe Größe und besonderes Design unauffällig der Umgebung anpassen.

Für die Deckenmontage sind breitbandige Rundstrahler verfügbar, die sowohl für GSM als auch für DCS 1800 (DECT) einsetzbar sind (Bild 23). Zusammen mit breitbandigen Verteilern kann somit ein Indoor-Netz aufgebaut werden, in das mehrere Funkdienste eingespeist werden können.

Extrem flache Richtantennen sind zur Montage an der Wand gedacht (Bild 24). Die geringe Bautiefe wird durch die sogenannte Patch-Technologie erreicht. Eine rechteckige Metallplatte befindet sich dicht über einer leitenden Ebene (Bild 25). Das Patch wird in der Mitte einer Seite gespeist, wodurch sich zwischen Patch und Grundfläche ein elektrisches Feld einstellt. Die Feldstärkevektoren der Schlitze an der Speiseseite und der gegenüberliegenden Seite befinden sich in Phase und bestimmen die Polarisationsrichtung. Die Feldstärkevektoren der beiden anderen Patch-Seiten sind gegenphasig und löschen sich daher aus.

6. Fahrzeugantennen

Sind Fahrzeugantennen heutzutage überhaupt noch notwendig?

Besonders bei den öffentlichen Mobilfunknetzen ist ein Betrieb im Fahrzeug oft auch mit der eingebauten Antenne des Handfunkgeräts (Handy) möglich. Die Verwendung von externen Antennen ist jedoch in jedem Fall dringend zu empfehlen!

Gerade das Handy steht im Mittelpunkt der Diskussion über die Auswirkungen elektromagnetischer Wellen auf den menschlichen Körper. Die Ausgangsleistung wird daher von der Basisstation gesteuert und auf ein für den Betrieb notwendiges Minimum gehalten. Die Fahrgastzelle erzeugt eine starke Dämpfung in der Verbindung, Handy – Basisstation, so daß die Leistung der Handies auf Maximum reguliert werden muß, um das Gespräch nicht abbrechen zu lassen. Der Mobilfunkteilnehmer setzt sich damit unnötig einer erhöhten Strahlung aus. Bei Verwendung einer externen Fahrzeugantenne wird das Wageninnere dagegen abgeschirmt (Faraday'scher Käfig).

6.1. $\lambda/4$ -Antenne auf dem Wagendach

Wie der $\lambda/2$ -Dipol bei stationären Antennen ist der $\lambda/4$ -Strahler der Grundtyp der Fahrzeugantenne (Bild 26). Der $\lambda/4$ -Strahler ist jedoch nicht allein funktionsfähig, da die elektrische Länge zu kurz ist. Er benötigt stets eine leitende Fläche als Gegengewicht, das ein Spiegelbild des Strahlers erzeugt. Dieser virtuelle Strahleranteil verlängert die elektrische Länge auf $\lambda/2$.

In elektrischer Hinsicht ist der beste Platz für eine Autofunkantenne das Wagendach. Die Vertikalcharakteristik einer so montierten Antenne zeigt Bild 27. Die Anhebung des Diagramms ist Folge der relativ kleinen Gegengewichtsfläche des Autodachs, die elektrischen Feldlinien können sich nicht korrekt schließen. Je größer diese Fläche wird, umso kleiner ist diese Anhebung, für eine theoretisch unendlich große Fläche ist das Diagramm eben.

Bei Montage der Antenne auf dem Wagendachrand wird die Horizontalcharakteristik leicht unrund, da in den einzelnen Richtungen unterschiedlich große Gegengewichtsflächen bestehen. Dadurch weisen die Vertikal-Charakteristiken unterschiedliche Anhebungen und damit unterschiedliche Gewinne in der horizontalen Ebene auf.

Diese Ausführungen gelten nur, wenn es sich um ein Wagendach aus Metall handelt. Des öfteren werden die Wagendächer aus Kunststoff hergestellt. Hier ist es notwendig, nachträglich eine leitende Fläche einzubringen und mit dem Antennenfuß zu kontaktieren. Diese Fläche sollte eine Seitenlänge von ca. einer Wellenlänge haben und kann aus Blech, Kupfer- oder Alufolie, Lochblech usw. bestehen.

6.2. Gewinnantennen

Die $\lambda/4$ -Antenne ist allgemein der Gewinnbezug von Autofunk-Antennen. Zur Erhöhung des Gewinns müssen die vertikalen Abmessungen der Antenne vergrößert werden. Bild 27 zeigt auch das Vertikal-Diagramm einer $5/8\lambda$ -Antenne. Der Gewinn von ca. 2 dB in der Horizontalen kommt nicht nur durch Erhöhung der Amplitude zustande, sondern hauptsächlich durch Absenkung des Vertikalcharakteristik.

Bei einer weiteren Verlängerung des Strahlers werden die gegenphasigen Stromanteile zu hoch, so daß eine Phasenumkehr notwendig wird. Die phasenrichtige Kombination eines $\lambda/4$ - und $\lambda/2$ -Strahlerelemente ergibt eine 4 dB-Gewinnantenne (Bild 28).

Einen nicht unerheblichen Einfluß auf die horizontale Strahlungscharakteristik hat die Neigung des Strahlers. Bei der im Mobilfunk üblichen vertikalen Polarisation sollte für gute Rundstrahlcharakteristik der Strahler immer möglichst senkrecht stehen. Beispiele, wie sehr die Strahlerneigung Einfluß nimmt, zeigen die Diagramme von Bild 29.

6.3. Heckantennen

Für viele Kunden ist der Montageort auf dem Wagendach jedoch nicht beliebt. Zum einen ist die Montage schwierig, und zum anderen verliert der Wagen wegen der Bohrung im Dach an Wiederverkaufswert. Auch ist das Zuführungskabel relativ lang und damit die Dämpfung groß. Eine Alternative bieten Heckantennen, die in die meist vorhandene Bohrung einer Autoradio-Antenne montiert werden.

$\lambda/4$ - oder 4 dB-Gewinnantennen erzeugen am Heck eine unsymmetrische Horizontalstrahlungscharakteristik, die in Richtung des Fahrgastraums eine starke Abschattung aufweist (Bild 30). Eine Heckantenne muß daher deutlich länger sein, so daß ein wesentlicher Teil über das Wagendach ragt. Bild 30 zeigt ebenfalls als Beispiel das Diagramm einer Netz C Heckantenne mit ca. 900 mm Länge (zwei $\lambda/2$ -Strahler übereinander).

Durch die kürzeren Antennenlängen im 900 MHz-Bereich verursacht der Fahrgastraum stärkere Einbrüche. Es werden daher sog. hochgesetzte Antennen verwendet. Der Speisepunkt liegt nicht am Antennenfuß, sondern ca. in der Mitte der Antenne, wodurch der strahlende obere Bereich größtenteils über das Dach hinausragt. Dadurch lassen sich nahezu ideale Rundstrahlcharakteristiken erzielen (Bild 31).

6.4. Scheiben-Klebeantennen

Eine Antennenmontage auf dem Auto völlig ohne Bohrung bieten die sogenannten Scheibenantennen. Diese Antennen bestehen aus zwei Funktionsgruppen (Bild 32):

- Außenteil: Strahler mit Außeneinheit
- Innenteil: Koppereinheit mit Gegengewicht und Anschlußkabel

Beide Teile klebt man von innen bzw. außen auf die Heck-, Front- oder Seitenscheibe.

Elektrisch sind sie über kapazitive Kopplung durch die Glasscheibe verbunden. Da das elektrische Gegengewicht sehr klein ist, arbeitet man vorteilhafterweise mit entkoppelten Strahlern. Wie bei den Heckantennen kommt ein Kolinear-Strahler zum Einsatz, der bei guten Scheibenantennen aus zwei elektrisch $\lambda/2$ langen Abschnitten mit Phasenumkehrsystem besteht. Das Gegengewicht in der Koppereinheit, das die Gehäusegröße bestimmt, vermindert eine Abstrahlung in das Wageninnere, die durch Ströme auf dem Anschlußkabel hervorgerufen werden können. Es sollte daher nicht zu klein dimensioniert sein.

6.5. Scheiben-Klemmantennen

Wird die Autofunkantenne nur zeitweise benötigt und soll daher wieder leicht zu entfernen sein, steht neben einer Magnethaftantenne auch eine Scheiben-Klemmantenne zur Verfügung (Bild 33).

Die Antenne wird auf die Oberkante einer heruntergekurbelten Seitenscheibe aufgesetzt und festgeklemmt. Die Scheibe kann danach wieder geschlossen werden. Elektrisch besteht der Strahler aus einer hochgesetzten $\lambda/2$ -Antenne, d.h. der Teil unterhalb der Verdickung ist nur eine Koaxleitung. Dadurch ist sichergestellt, daß die Abstrahlung oberhalb der Dachkrümmung erfolgt und eine gute Rundstrahlcharakteristik zu erwarten ist.

6.6. Verkürzte Antennen

Für viele Anwendungsbereiche sind selbst $\lambda/4$ -Antennen zu lang. Z.B. für Busse oder Baustellenfahrzeuge werden oft extrem kurze Antennen gefordert. Bild 34 zeigt eine Miniflexantenne für das 2 m-Band mit einer Länge $L = 170\text{mm}$, die aus einer mit Kunststoff überzogenen Metallwendel besteht. Durch die starke Verkürzung wird die Antenne sehr schmalbandig. Mit der Anpaßschaltung unterhalb des Montageblechs erfolgt die Abstimmung auf die Betriebsfrequenz.

Eine andere Verkürzungsmöglichkeit liegt in der Verwendung einer Dachkapazität, die den Strahler künstlich verlängert. Damit ist es möglich, sehr flache Antennen zu konstruieren. Bild 34 zeigt auch eine 70 cm-Antenne mit einer Bauhöhe von 70 mm. Der resultierende Gewinn dieser verkürzten Antennen hängt vom Grad der Verkürzung ab, wobei die Dicke des Strahlers eine große Rolle spielt.

6.7. Lokantennen

Bei Autoantennen liegt der Strahler in der Regel „hoch“, d.h. er ist nicht geerdet. Im Gegensatz dazu müssen Lokantennen im Unglücksfall für eine Berührung mit dem Fahrdrabt ausgelegt sein, d.h. es wird eine hohe Strom- und Spannungsfestigkeit gefordert. Gleichzeitig darf der Lokführer über das niederführende Speisekabel nicht gefährdet werden.

Nach Prüfvorschriften der Deutschen Bahn AG muß die Antenne eine Spannung von 16.6 kV und einen Strom von 40 kA aushalten, wobei am HF-Anschluß eine Spannung von nicht mehr als 60 V auftreten darf. Diese Vorgabe erfordert eine besondere Konstruktion.

Bild 35 zeigt eine Lokantenne für den 450 MHz-Bereich. Der Strahler wurde schwertförmig ausgebildet, um die Breitbandigkeit zu erhöhen. Ein Kurzschlußbügel verbindet das obere Ende des Strahlers mit Masse. Dieser Bügel hat eine elektrische Länge von ca. $\lambda/4$. Der Strahler liegt HF-mäßig hoch, gleichstrommäßig ist er jedoch an Masse.

In tiefen Frequenzbereichen können nur Lokantennen eingesetzt werden, die kürzer als $\lambda/4$ sind, um ausreichende Abstände zu den Fahrleitungen einhalten zu können.

Bild 36 zeigt eine Topfantenne für das 2 m-Band. Durch die Verkürzung ist sie schmalbandig und muß mit 2 variablen Kapazitäten abgestimmt werden. Die Parallel-Kapazität C_p verlängert die Antenne elektrisch, mit der Serienkapazität C_s wird das VSWR eingestellt. Über ein zentrales Standrohr ist die Antenne geerdet.

7. Antennen für tragbare Funkgeräte

Besonders in Funknetzen höherer Frequenzen wie GSM und DCS 1800 wird die Antenne immer mehr zu einem Teil des Funkgeräts, d.h. sie wird vom Gerätehersteller mit entwickelt. Das hat den Vorteil, daß auf die Schnittstelle (Impedanz 50 Ohm am Stecker) nicht mehr geachtet werden muß, sondern beliebige Impedanzen gewählt werden können.

Auf dem Markt sind Geräte mit einschiebbaren Antennen. Diese erfüllen im eingeschobenen Zustand die Kriterien einer $\lambda/4$ -Antenne (Handy muß erreichbar bleiben). Im ausgezogenen Zustand erhöht sich die elektrische Länge auf $\lambda/2$, wodurch mehr Gewinn speziell für den Sendebetrieb des Handy's erzielt wird.

7.1. $\lambda/4$ -Antenne

Wie bei den Fahrzeugantennen ist zur korrekten Abstrahlung ein elektrisches Gegengewicht erforderlich, das vom Gehäuse des Funkgeräts gebildet wird. Der Benutzer des Funkgeräts stört jedoch das System Antenne-Gegengewicht, da das Gerät im strahlenden Bereich getragen wird. Die Leistungseigenschaften der Antenne können sich je nach Benutzer und Tragweise stark verändern. Aufgrund der Tatsache, daß das Funkgerät Teil der Antenne ist, sind Störungen der Geräteelektronik möglich.

Der Vorteil dieser Antenne liegt in der sehr einfachen Ausführungsform. Ohne besondere Maßnahmen wird eine ausreichende elektrische Anpassung an 50 Ohm erreicht. Die Antenne ist der verlängerte Innenleiter einer Koaxleitung.

7.2. $\lambda/2$ -Antenne (Gainflex)

Bei einer elektrischen Länge von $\lambda/2$ ist keine Gegengewichtsfläche mehr notwendig. Die Antenne arbeitet unabhängig vom Funkgerät, weshalb man auch von einer entkoppelten Antenne spricht.

Daraus resultieren eine Reihe von Vorteilen:

- weitgehende Unempfindlichkeit gegenüber Veränderungen der Tragweise
- definierte Strahlungscharakteristik und ein damit verbundener praktischer Gewinn von ca. 4 dB gegenüber einer $\lambda/4$ -Antenne.
- durch die Entkopplung vom Gerät Vermeidung von Störungen der Geräteelektronik.

Der Fußpunktwiderstand dieser Antenne ist sehr hochohmig. Deshalb ist eine relativ aufwendige Transformationsschaltung im unteren Teil der Antenne notwendig, um eine Anpassung an 50 Ohm zu erreichen.

7.3. Verkürzte Antenne

Für tiefere Frequenzen werden hauptsächlich verkürzte $\lambda/4$ -Antennen eingesetzt. Sie besitzen einen wendelförmigen Strahler, wobei die ausgezogene Drahtlänge wieder in der Größenordnung von $\lambda/4$ liegt. Dadurch wird eine gute Anpassung erreicht.

7.4. Vergleichende Feldstärkemessungen

Handfunkgeräte werden immer nahe am Körper betrieben, der als Reflektor oder Absorber wirkt und somit Einfluß auf die Strahlungscharakteristik nimmt. Unter diesen Voraussetzungen werden die oben beschriebenen Antennen miteinander verglichen (Bild 37). Die angegebenen Gewinne sind dabei auf einen $\lambda/2$ Dipol ohne Einfluß des menschlichen Körpers bezogen, d.h. Referenz 0 dBd.

Bilderanhang

Bild 1: Mobilfunkdienste in Deutschland

Frequenz	Funkdienst / Betreiber
13 – 47 MHz	CB-Funk Personenrufanlagen Zubringerfrequenzen für Gleichwellenfunk
47 – 68 MHz	Fernsehen Band I
68 – 88 MHz	BOS-Dienste („Behörden für Ordnung und Sicherheit“) z. B. Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienste Zugrangierfunk Energieversorgungsunternehmen
88 – 108 MHz	UKW-Rundfunk
108 – 144 MHz	Flugfunk VHF Sprechverbindung Pilot / Tower (zivil) VOR Radiokompass
146 – 174 MHz	BOS-Dienste Zugbahnfunk Betriebsfunk Verkehrsunternehmen Taxifunk Autotelefonnetz B 2 ERMES (European Radio Messaging System)
174 – 225 MHz	Fernsehen Band III
225 – 380 MHz	Flugfunk UHF Sprechverbindung Pilot / Tower (militärisch) ILS Instrumenten - Landesystem
380 – 400 MHz	TETRA (Trans European Trunked Radio)
400 – 430 MHz	Bündelfunk / Checker Modacom / Mobitex
450 – 470 MHz	Autotelefonnetz C, Cityruf / Quix/Telmi, Zugbahnfunk
470 – 860 MHz	Fernsehen Band IV / V
870 – 960 MHz	Mobilfunknetz D (GSM) DIBMOF (digitales Zugfunksystem)
960 – 1215 MHz	Flugfunk DME (Distance Measuring Equipment)
1452 – 1492 MHz	DAB-Rundfunk (Digital Audio Broadcasting)
1710 – 1880 MHz	Mobilfunknetz E (PCN)
1880 – 1900 MHz	Schnurlostelefon DECT (Digital European Cordless Telefone)

Bild 2: Die Antenne als Vierpol

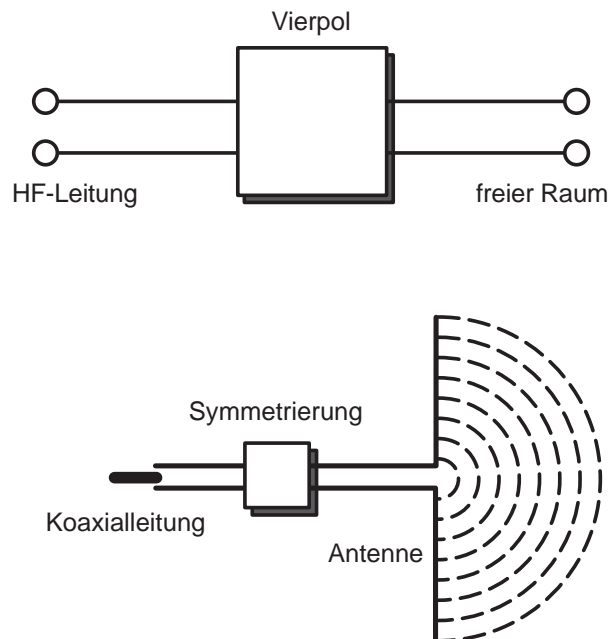


Bild 3: Entstehung einer Antenne aus einer Zweidrahtleitung

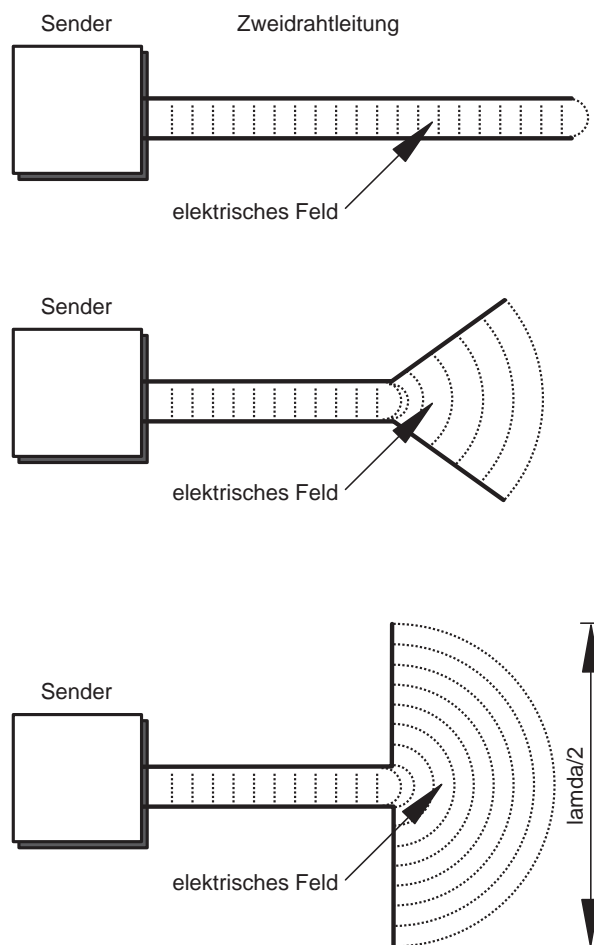


Bild 4: Feldverteilung auf einem $\lambda/2$ -Dipol

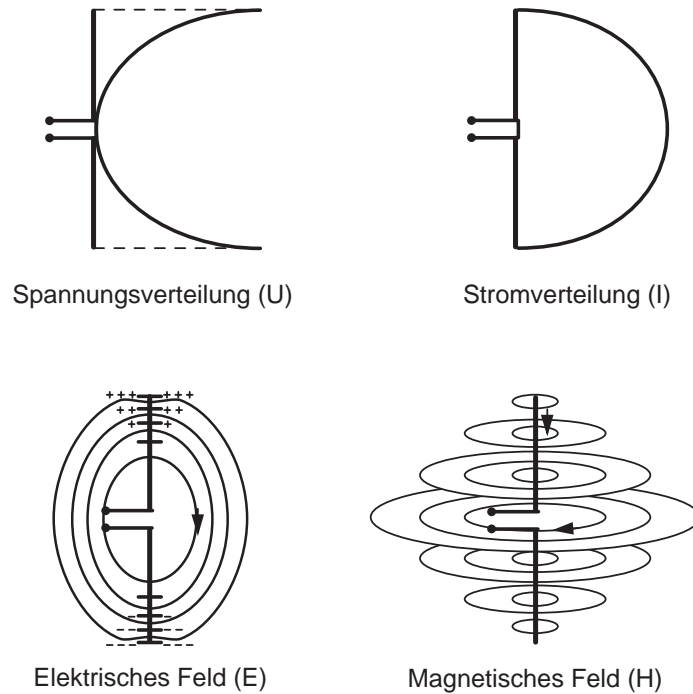


Bild 5: Wellenausbreitung

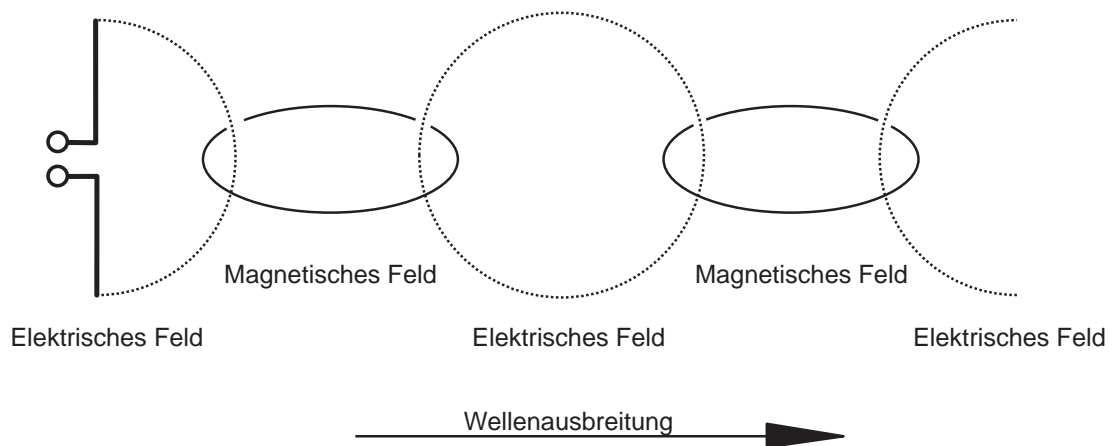


Bild 6: Antennengewinn über der Halbwertsbreite

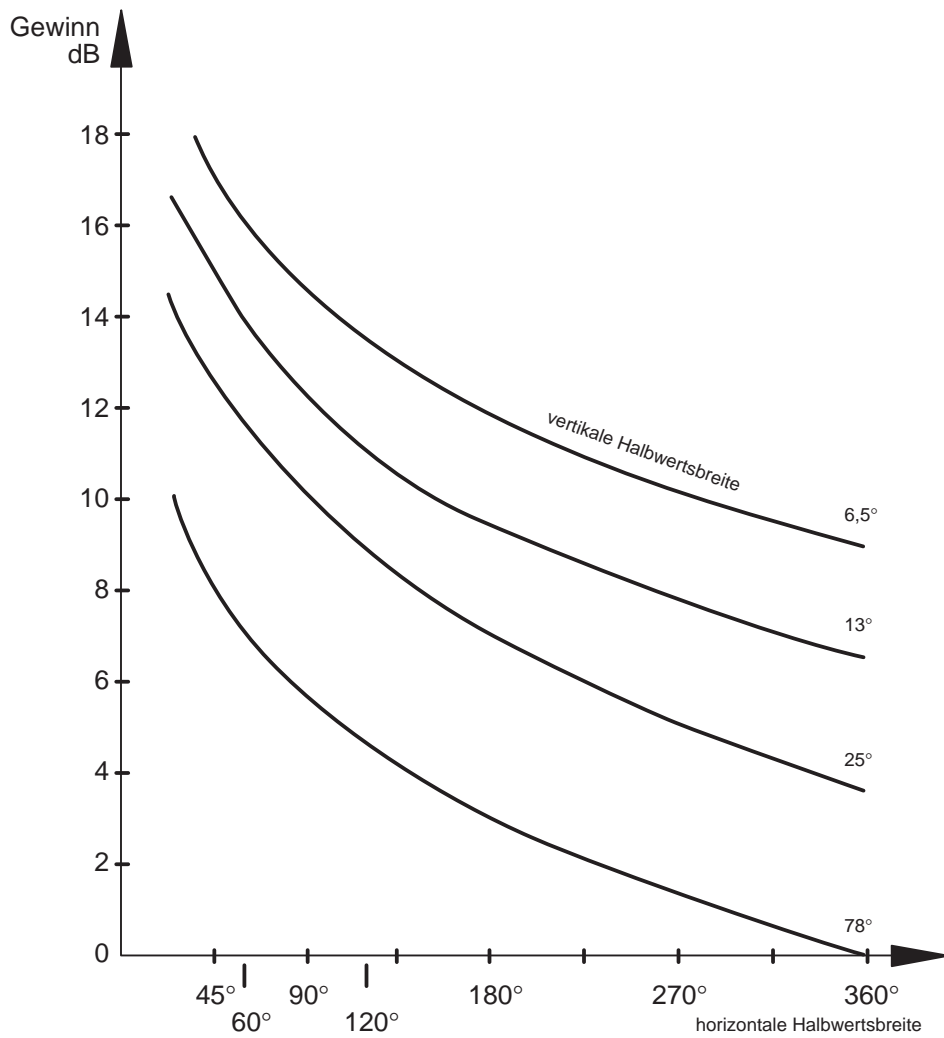
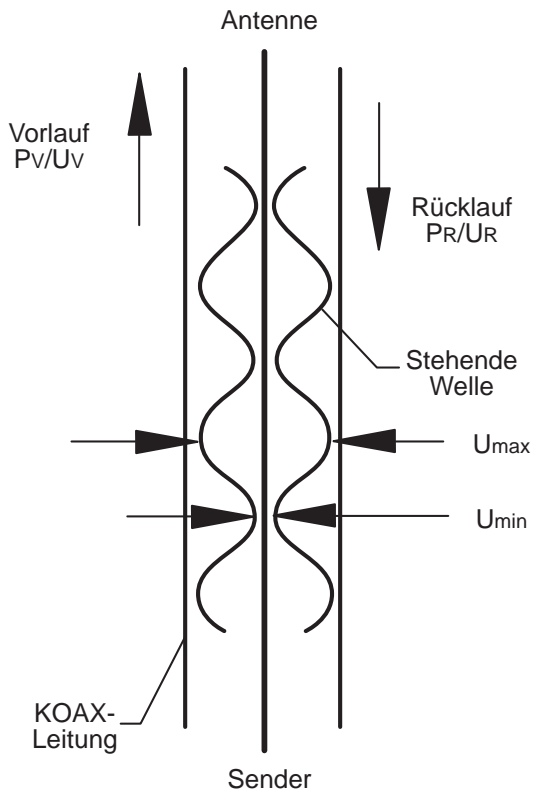


Bild 7: Zusammenhang zwischen VSWR, Rückflußdämpfung, Reflexionsfaktor



VSWR s

$$s = \frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{1 + r}{1 - r}$$

Rückflußdämpfung a_r

$$\text{Reflexionsfaktor } r = \frac{U_R}{U_V} = \frac{s - 1}{s + 1}$$

$$a_r \text{ [dB]} = -20 \log r$$

Reflektierte Leistung

$$\frac{P_R}{P_V} = 100 r^2 \text{ [%]}$$

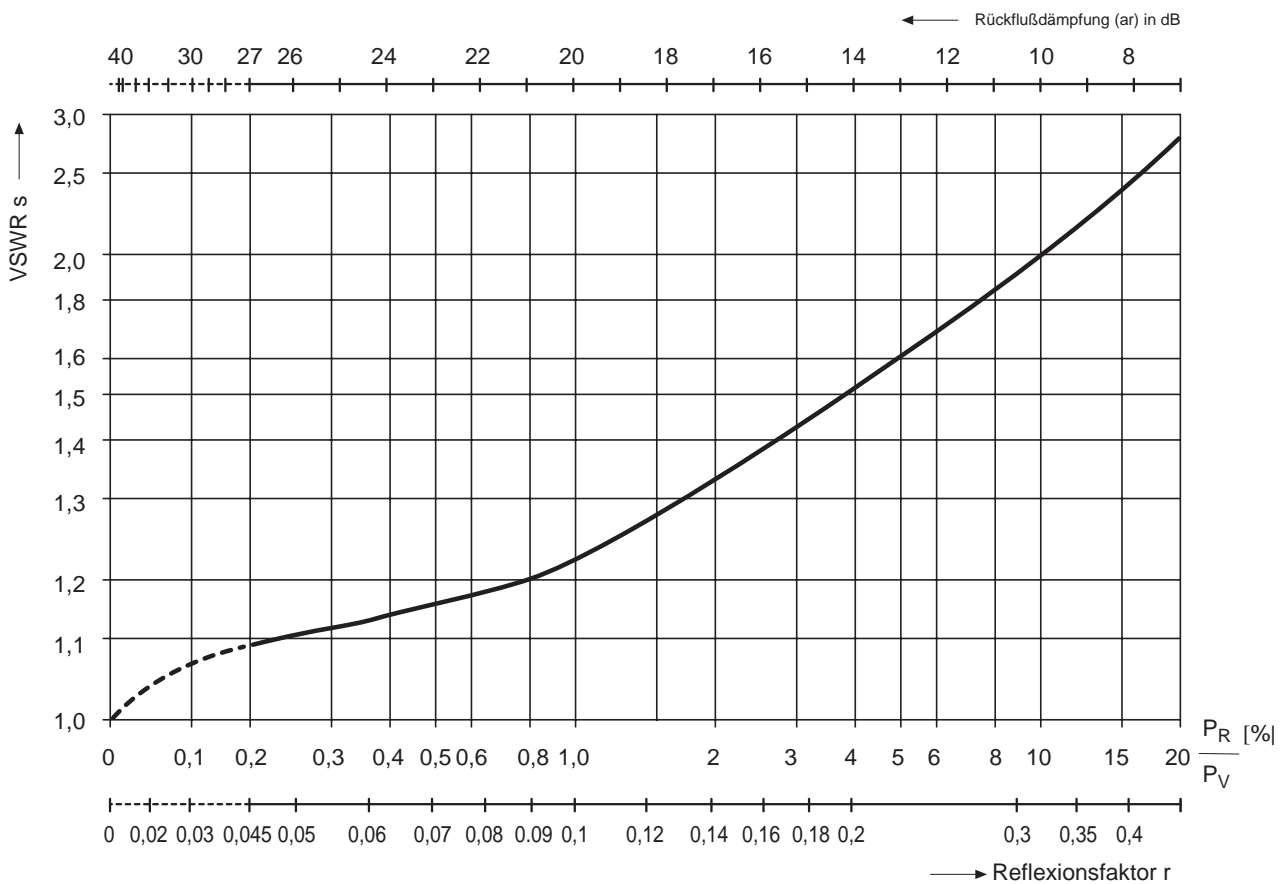
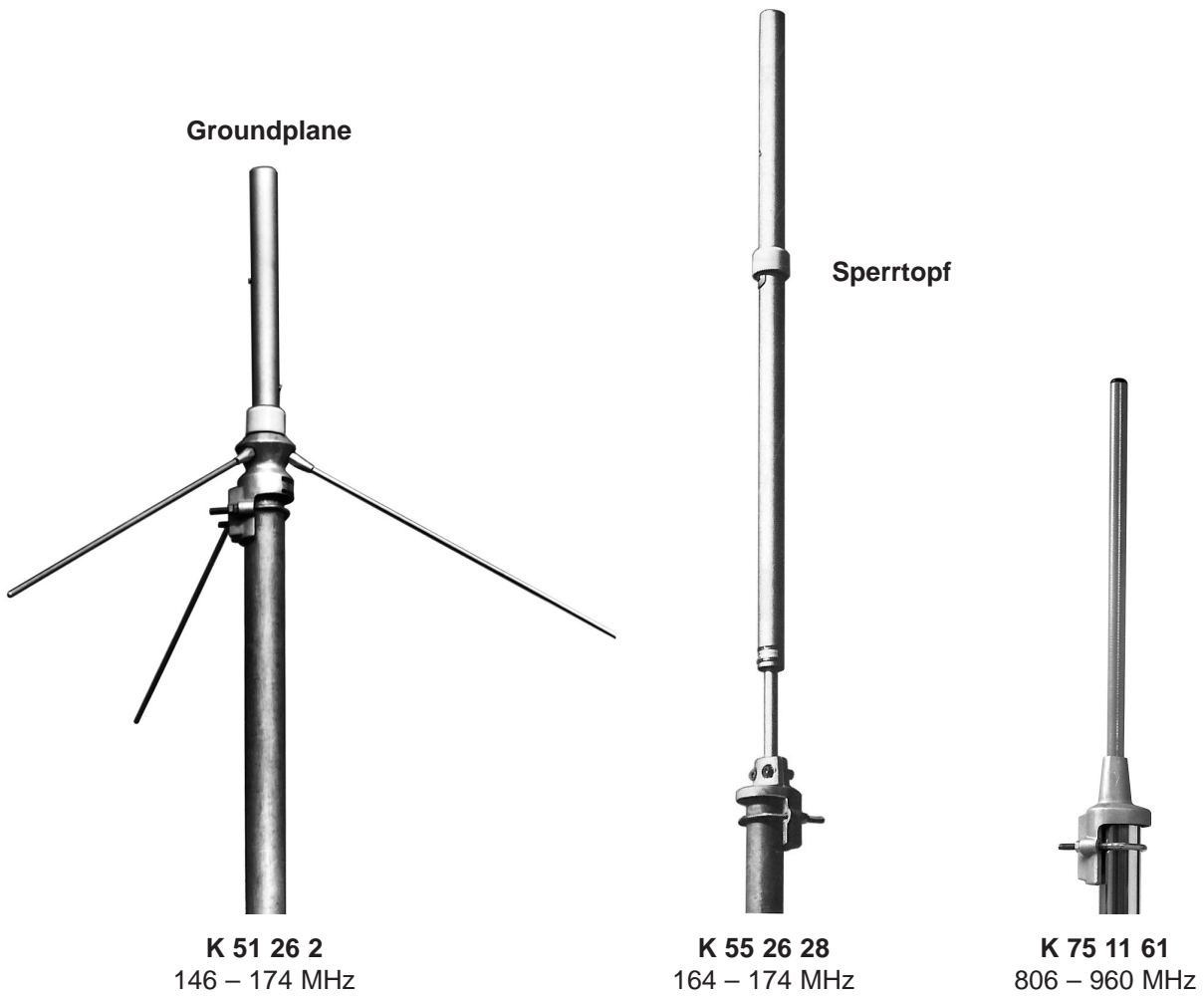


Bild 8: Groundplane und Sperrtopfantenne



Strahlungsdiagramm in relativer Feldstärke

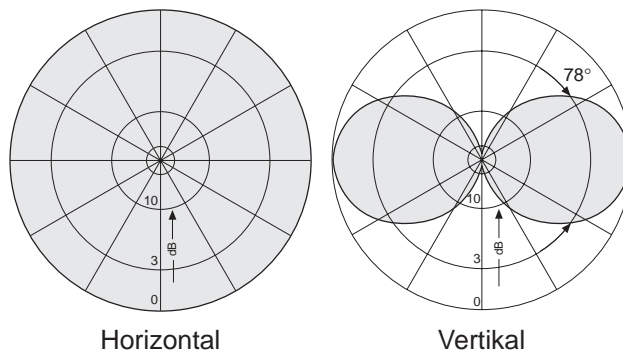
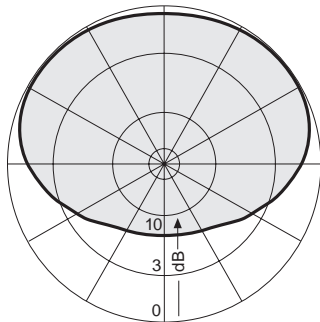
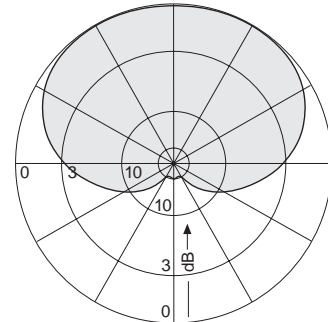
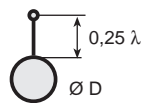


Bild 9: Strahler für Mastbefestigung

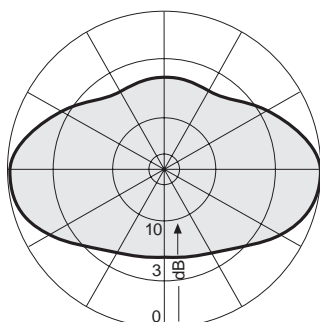
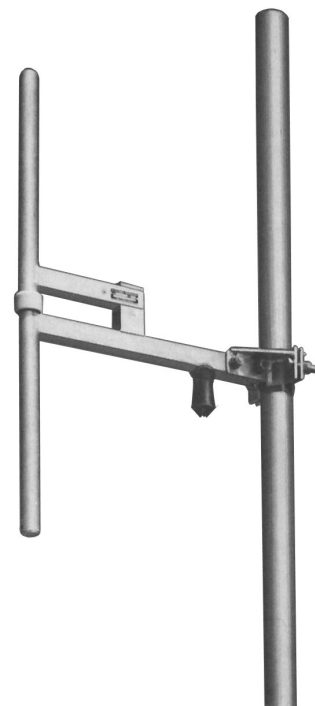


$D = 0,04 \lambda$

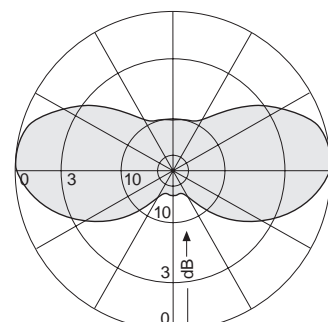
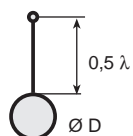


$D = 0,4 \lambda$

K 55 29 2..
146 – 174 MHz



$D = 0,04 \lambda$



$D = 0,4 \lambda$

Bild 10: Gewinn durch vertikale Bündelung

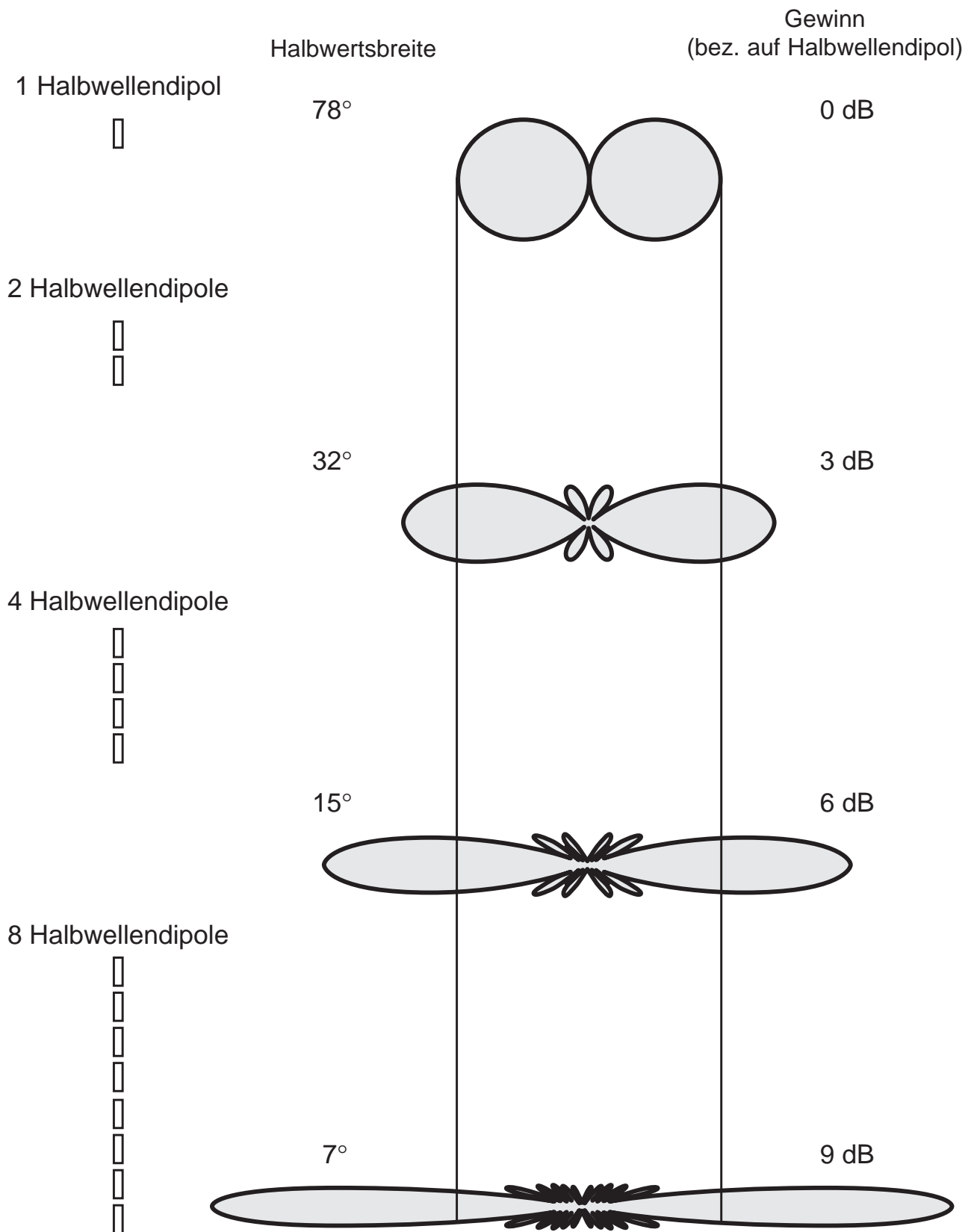
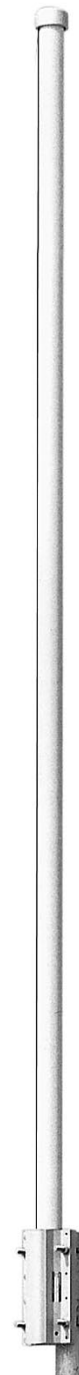
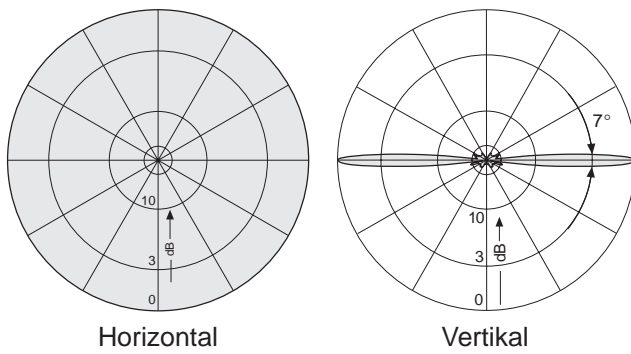


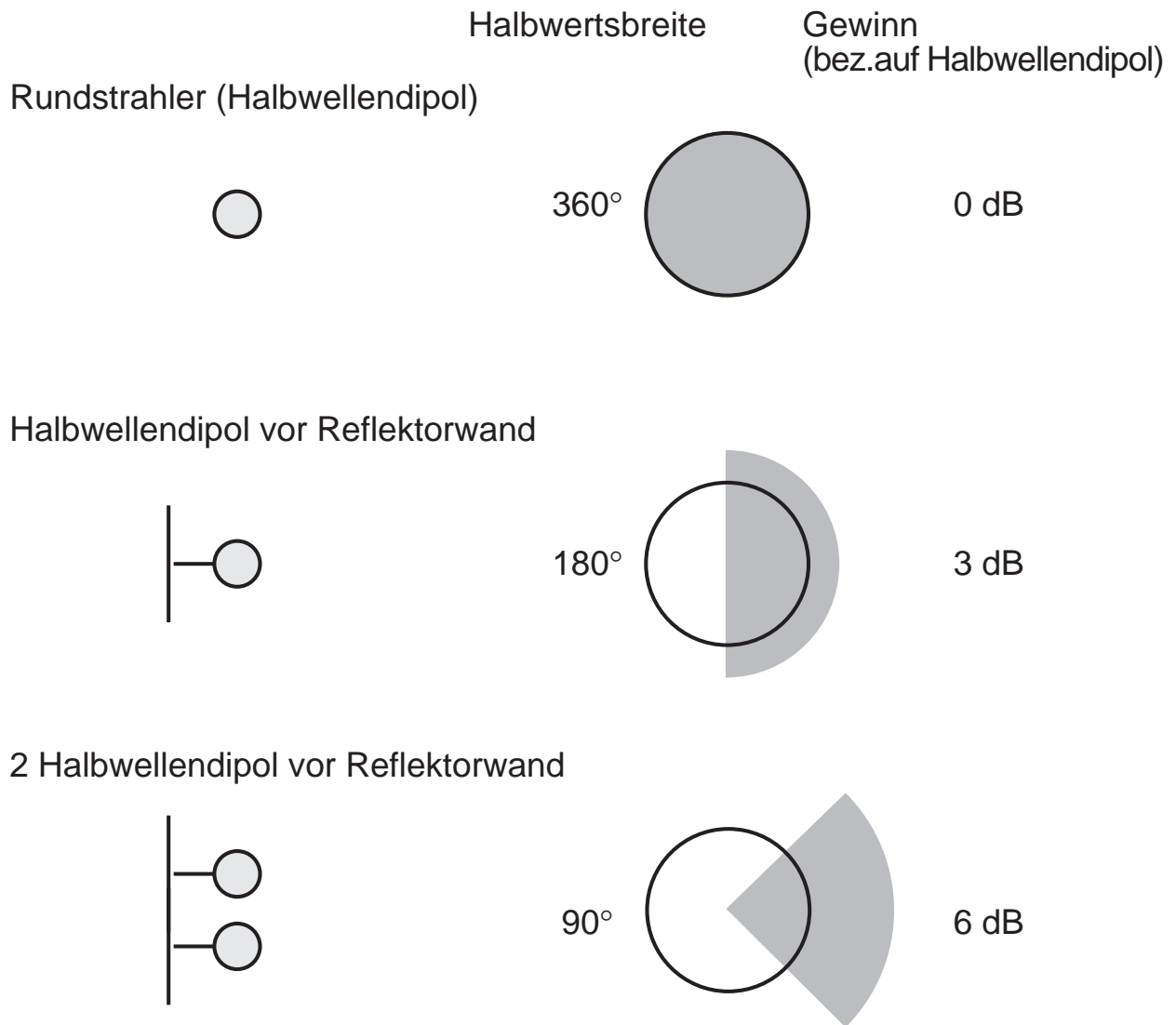
Bild 11: 9 dB Gewinnrundstrahler

Strahlungsdiagramm in relativer Feldstärke



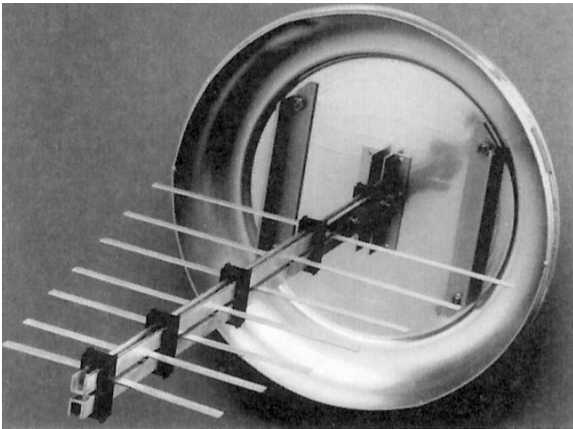
736 347
870 – 960 MHz

Bild 12: Gewinn durch horizontale Bündelung



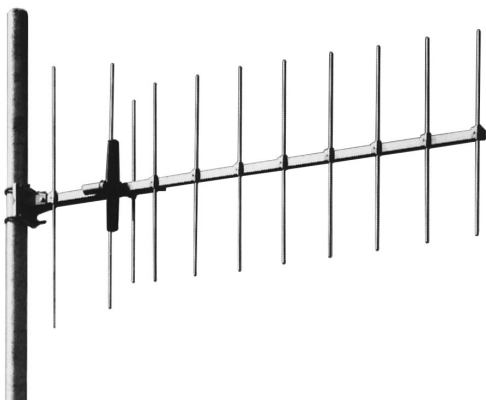
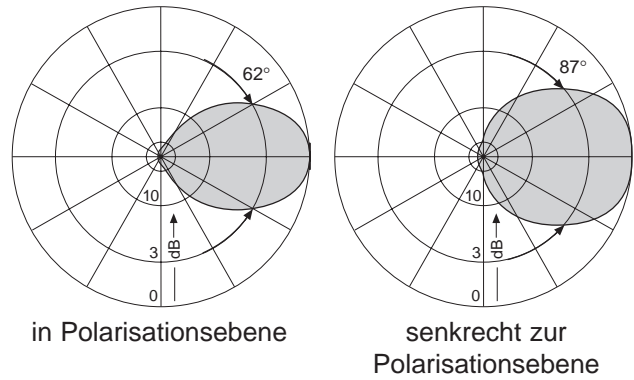
(Strahlungsdiagramme nur theoretisch)

Bild 13: Yagi – und log.-per. Antenne



log.-per. Antenne K 73 23 2
406 – 512 MHz

Strahlungsdiagramm in relativer Feldstärke



Yagi-Antenne K 52 07 21
146 – 174 MHz

Strahlungsdiagramm in relativer Feldstärke

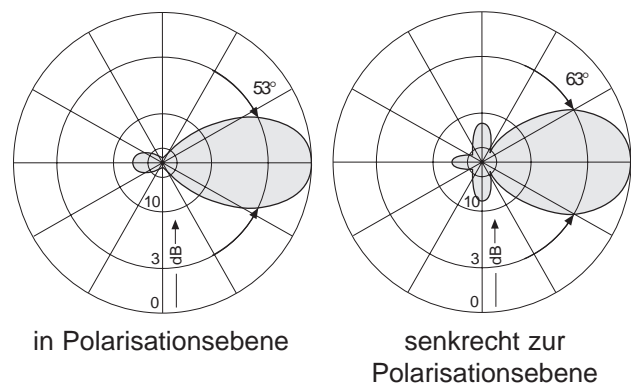
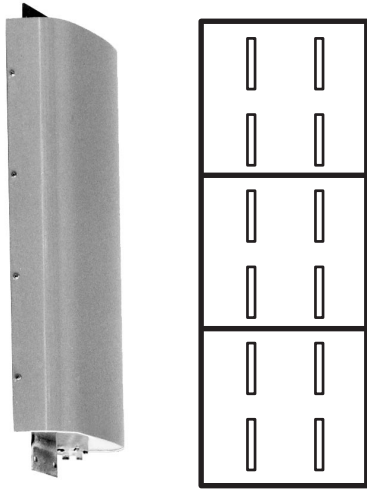
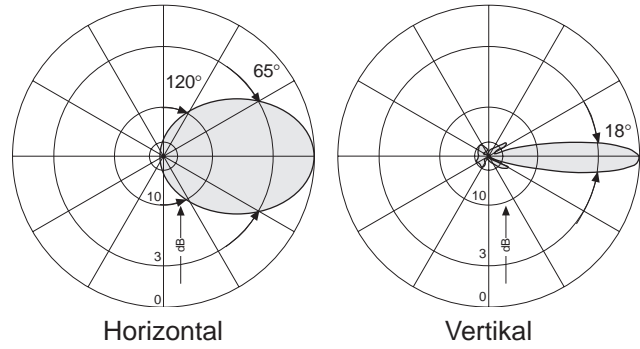


Bild 14: Antennenfeld und Winkelreflektorantenne



Zwölfer-Feld 730 684
890 – 960 MHz

Strahlungsdiagramm in relativer Feldstärke



Winkelreflektorantenne K 73 12 21
400 – 700 MHz

Strahlungsdiagramm in relativer Feldstärke

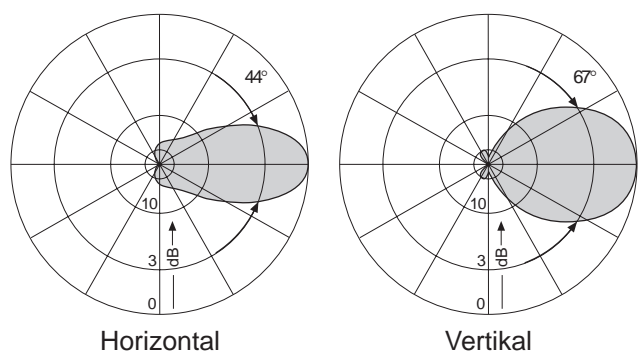
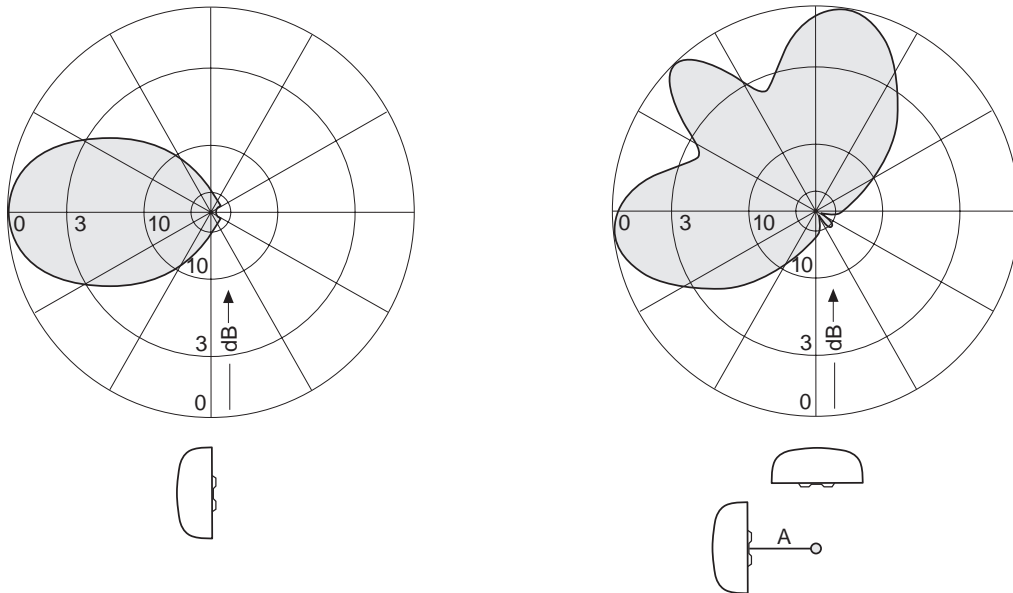


Bild 15: Kombination von Richtantennen



Abstand A = 200 mm
947 MHz
Antenne 730 360

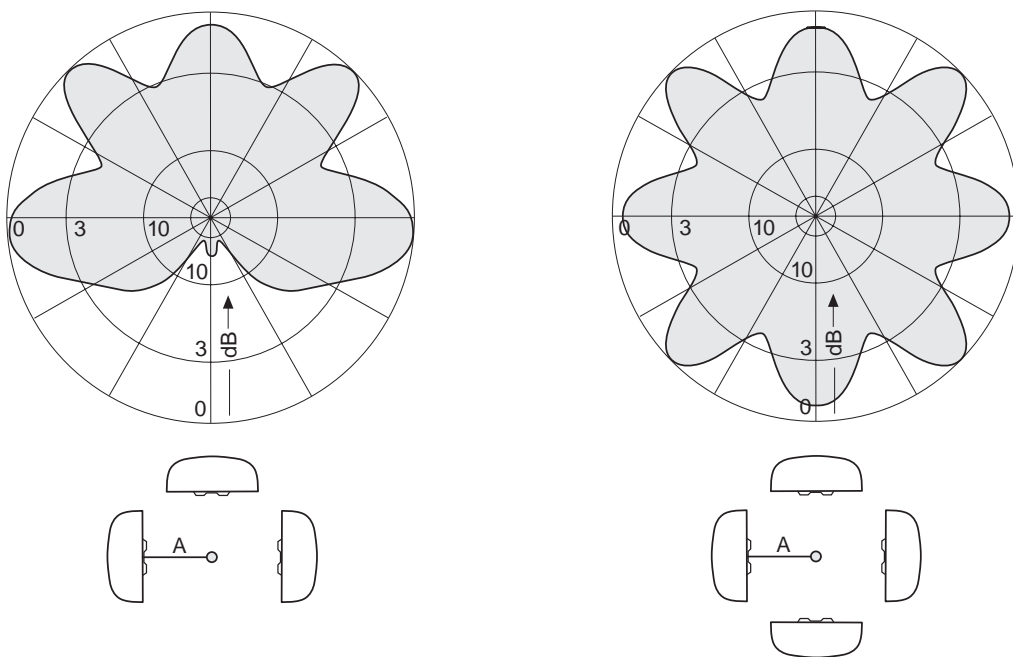


Bild 16: Mehrwegeausbreitung durch Reflexionen

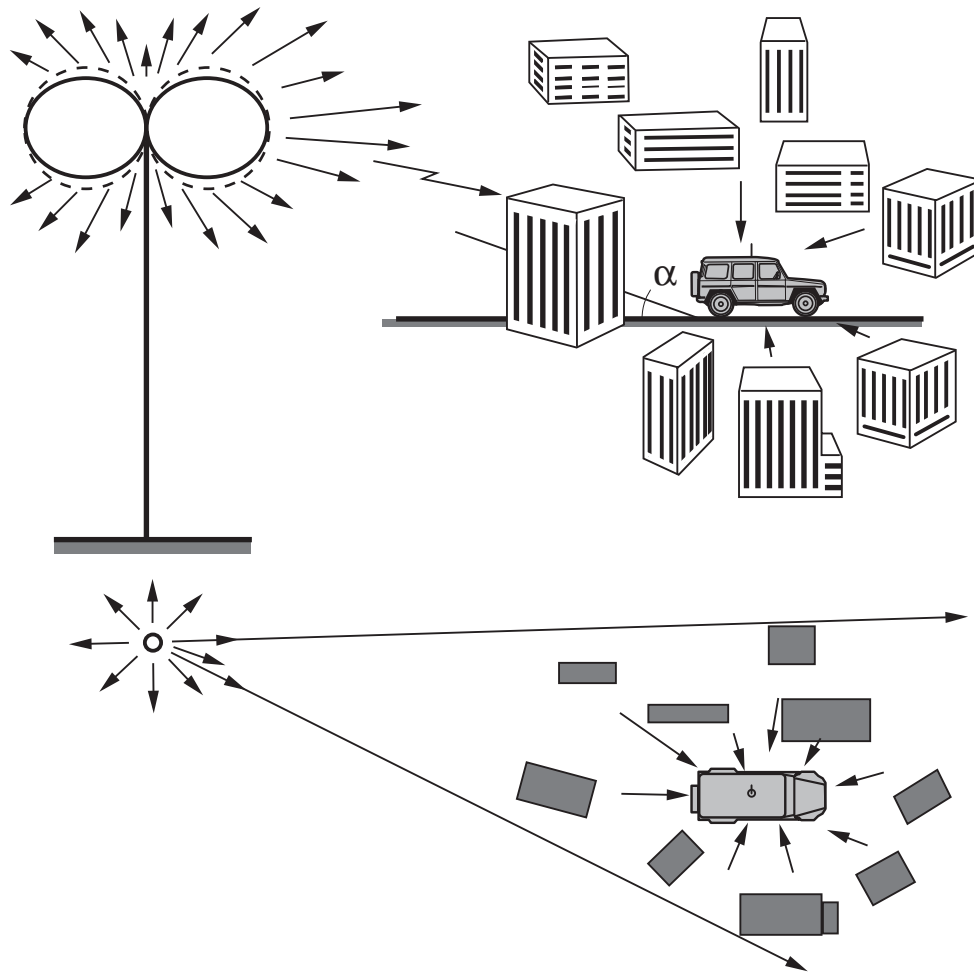
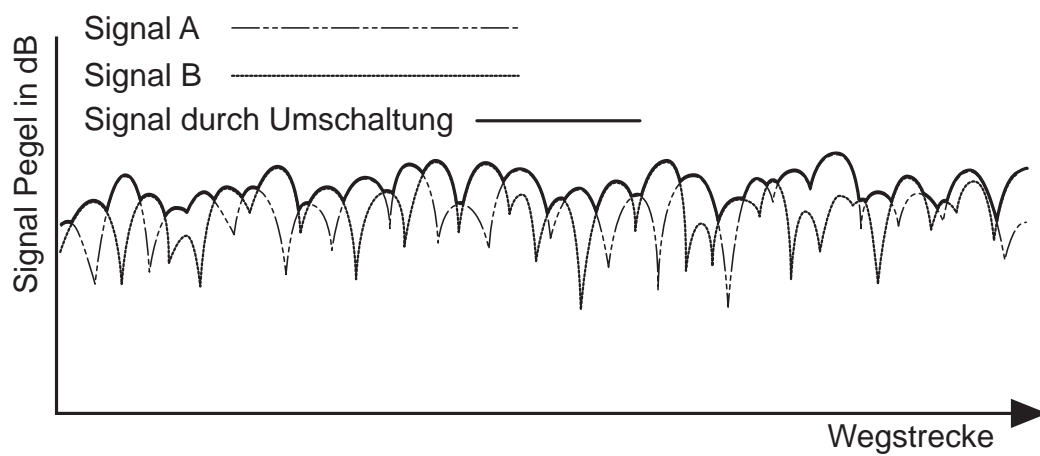


Bild 17: Verbesserung des Empfangspegels durch Diversity



Quelle: William C.Y. Lee, Mobile Communications Design Fundamentals

Bild 18: Omni – Basisstation

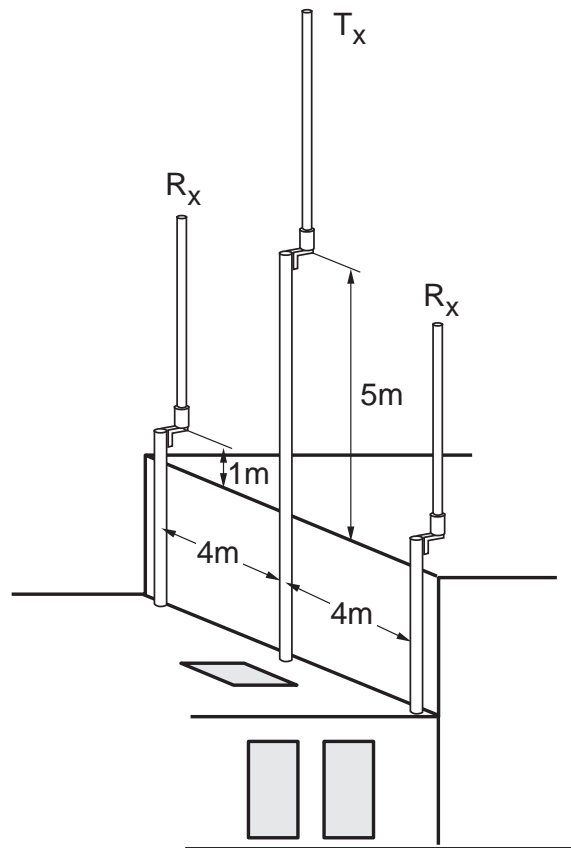


Bild 19: Sektor – Basisstation

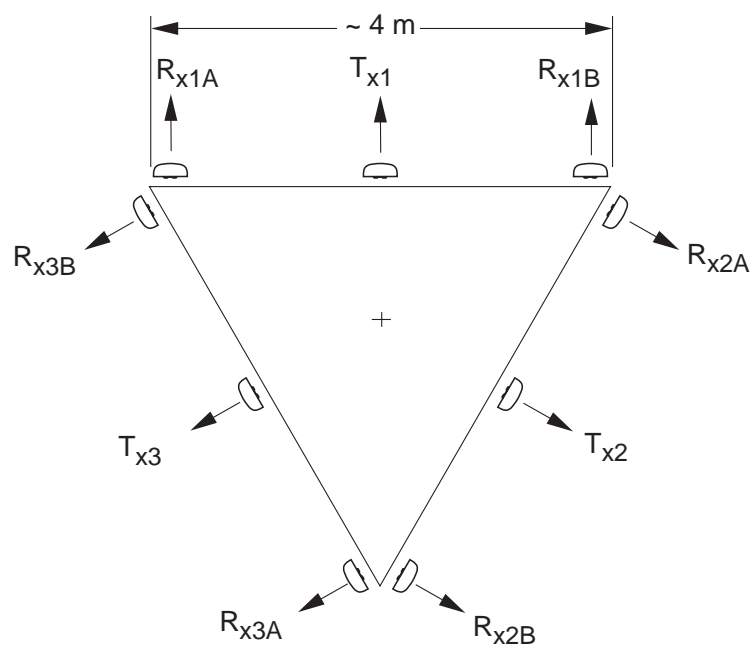


Bild 20: 2-Antennen Sektor Anlage

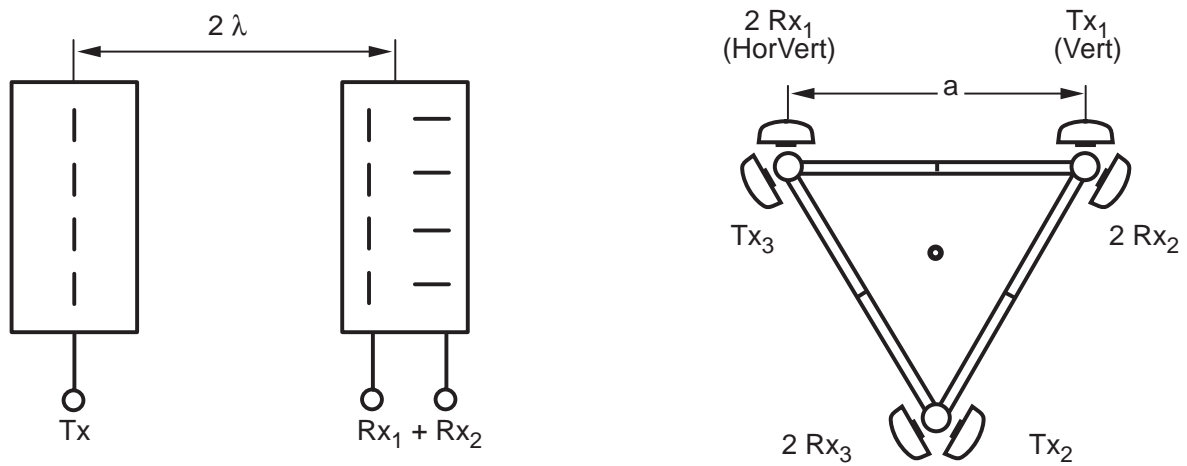


Bild 21: 1-Antennen Sektor Anlage

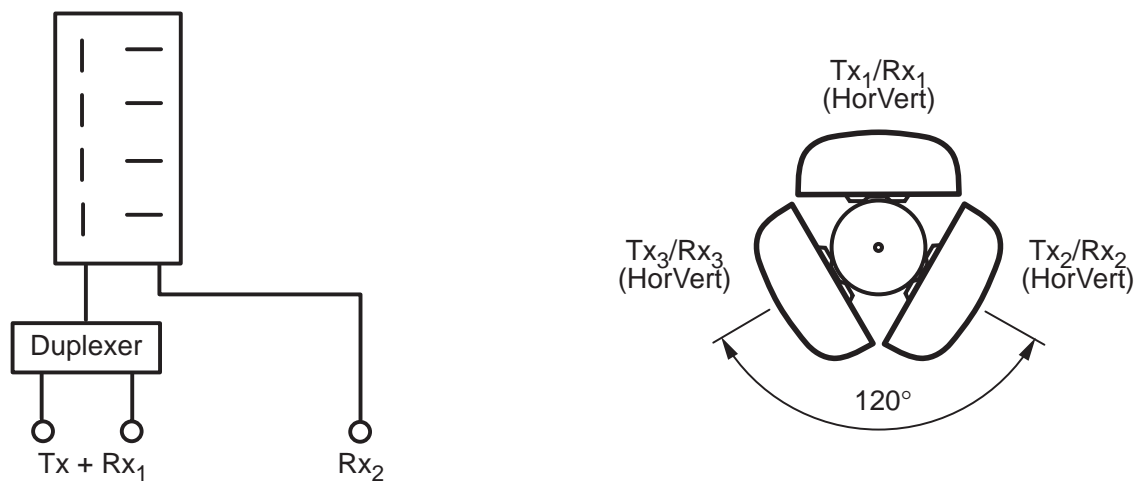


Bild 22: X-Pol Antennenanlage

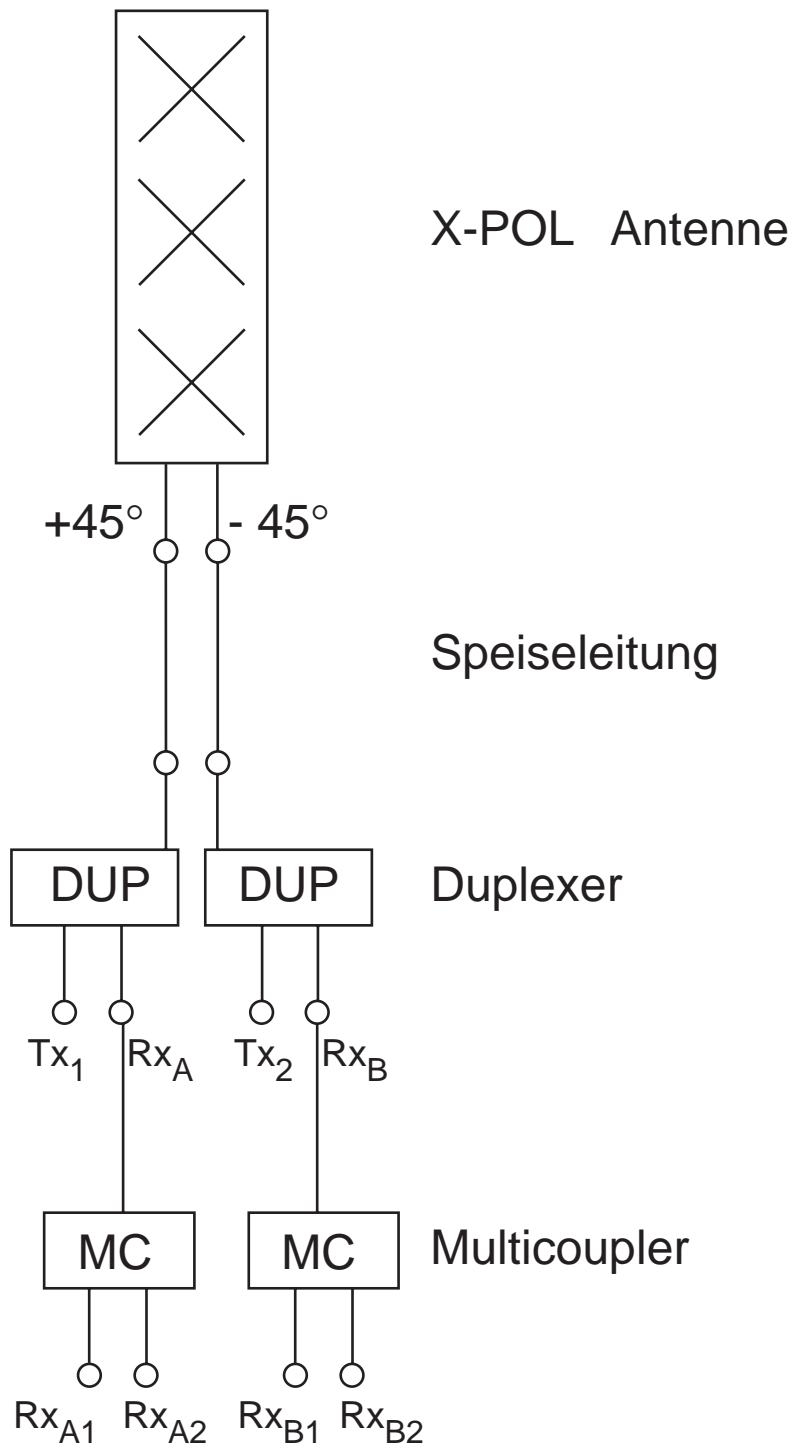
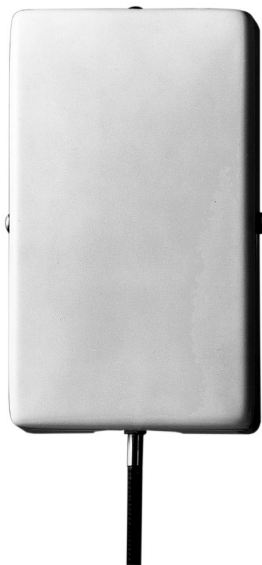


Bild 23: Indoor Rundstrahler



890 – 960 MHz / 1710 – 1900 MHz
(GSM / DCS 1800 / DECT)

Bild 24: Indoor Patch-Antenne (Bautiefe 20 mm)



1710 – 1900 MHz
(DCS 1800 / DECT)

Strahlungsdiagramm in relativer Feldstärke

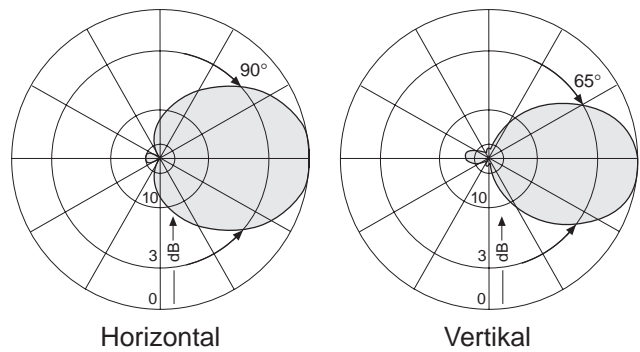
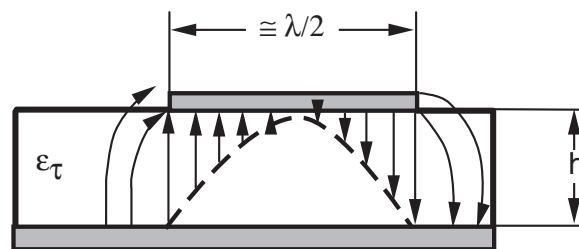
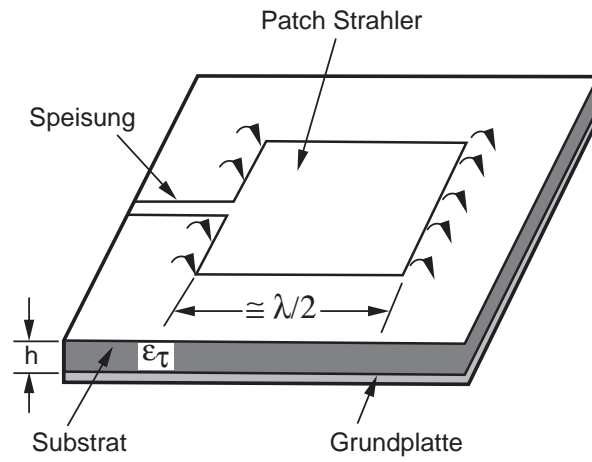
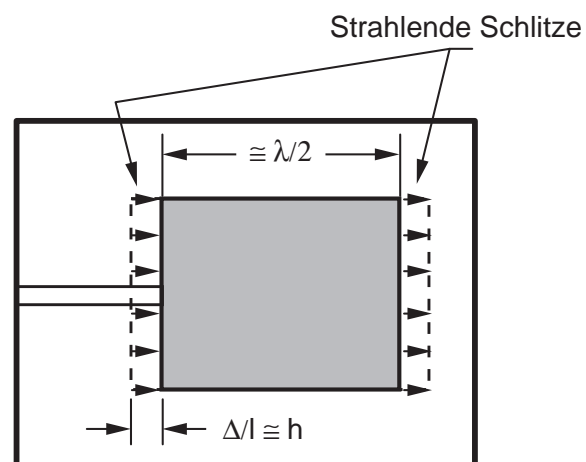


Bild 25: Funktionsweise der Patch-Antenne



Seitenansicht



Draufsicht

Quelle: Bahl / Bhartia "Microstrip Antennas"

Bild 26 : Elektrische Feldverteilung einer $\lambda/4$ -Antenne über leitender Ebene

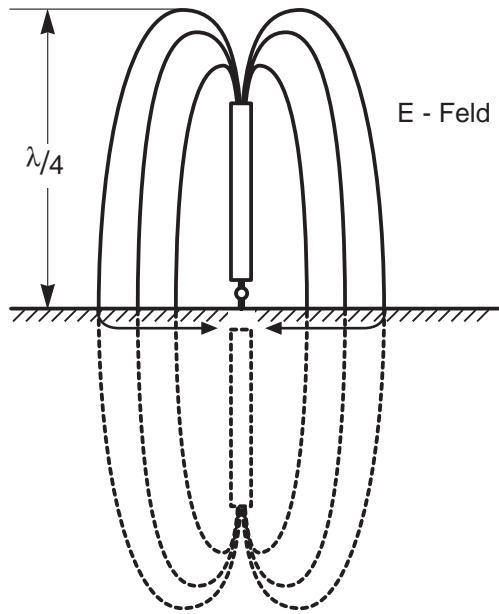


Bild 27 : Vertikalstrahlungsdiagramm in Wagendachmitte

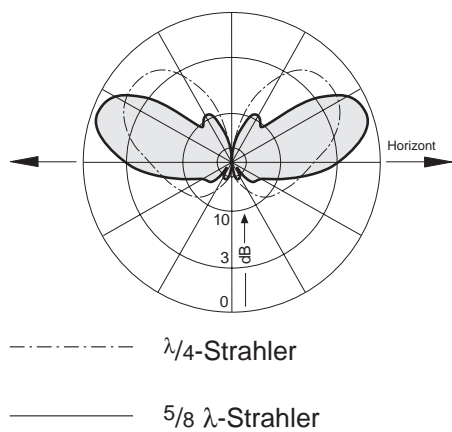


Bild 28 : 4 dB-Gewinnantenne 70 cm-Band

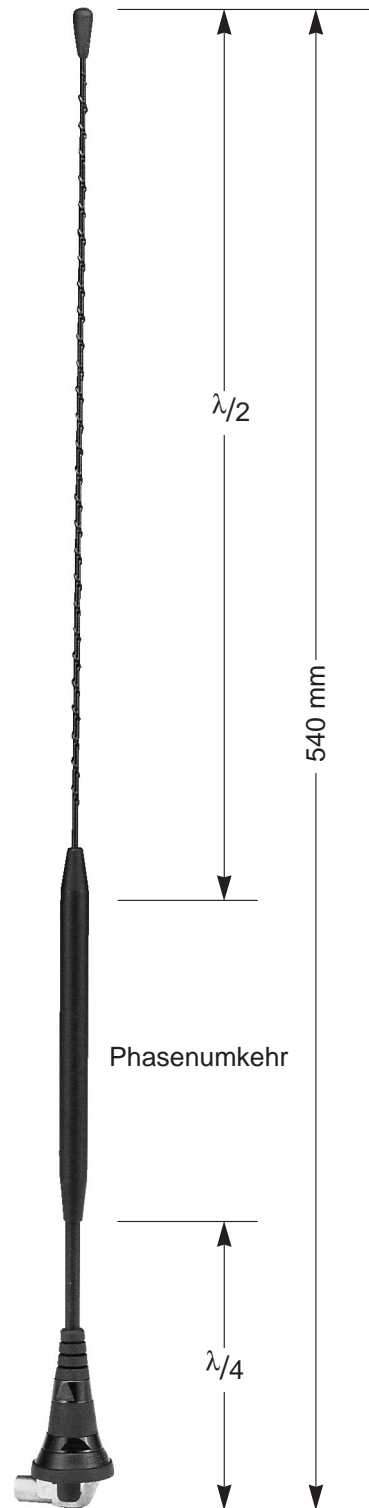
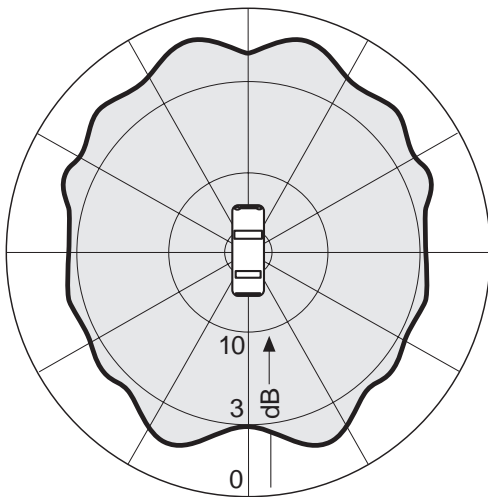
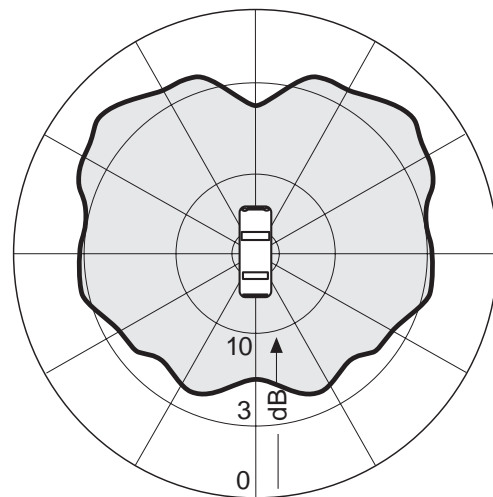


Bild 29: Strahlungsdiagrammveränderungen und Gewinnverlust bei Neigung der Antenne

0 Grad

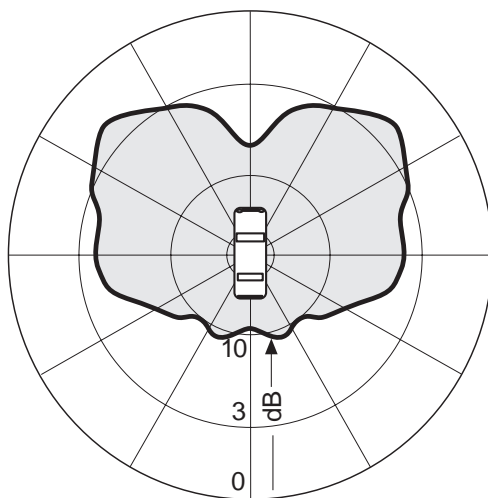


20 Grad nach hinten



**4 dB-Antenne in Autodachmitte
mit verschiedenen
Neigungswinkeln**

35 Grad nach hinten



65 Grad nach hinten

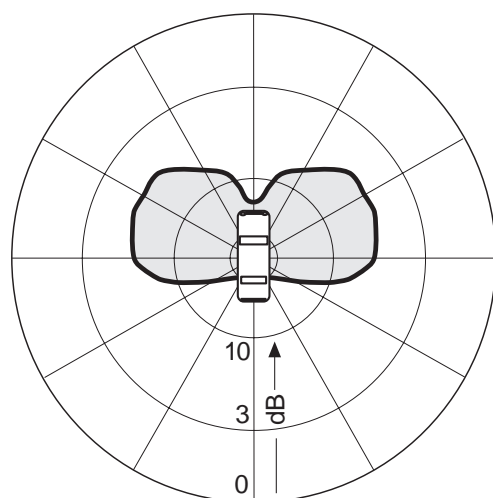
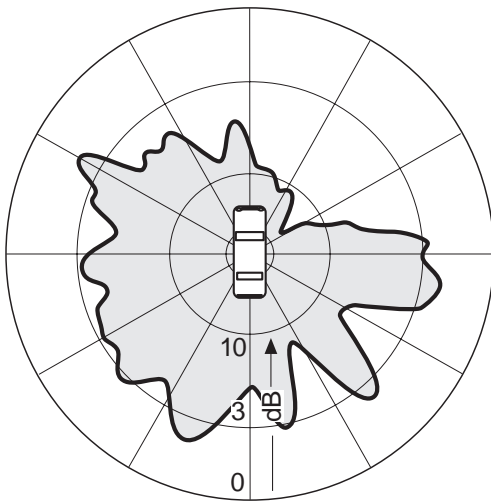
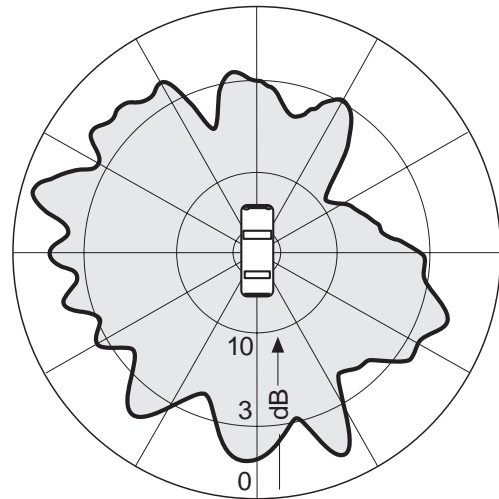


Bild 30: Horizontaldiagramm bei Heckmontage

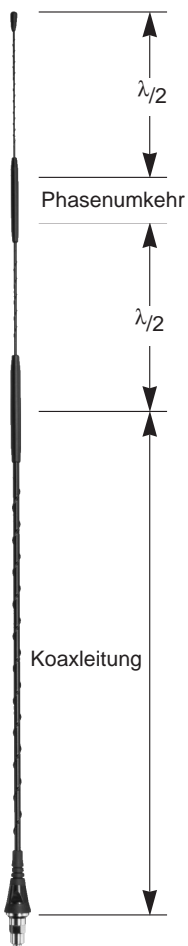


Autofunkantenne für Dachmontage
mit 4 dB Gewinn
am linken Heckflügel montiert, 453 MHz

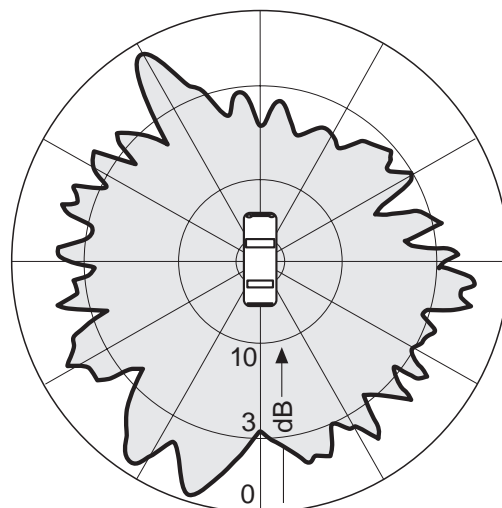


Autofunkantenne für Heckmontage:
Länge 900 mm
am linken Heckflügel montiert, 453 MHz

Bild 31: 900 MHz Heckantenne

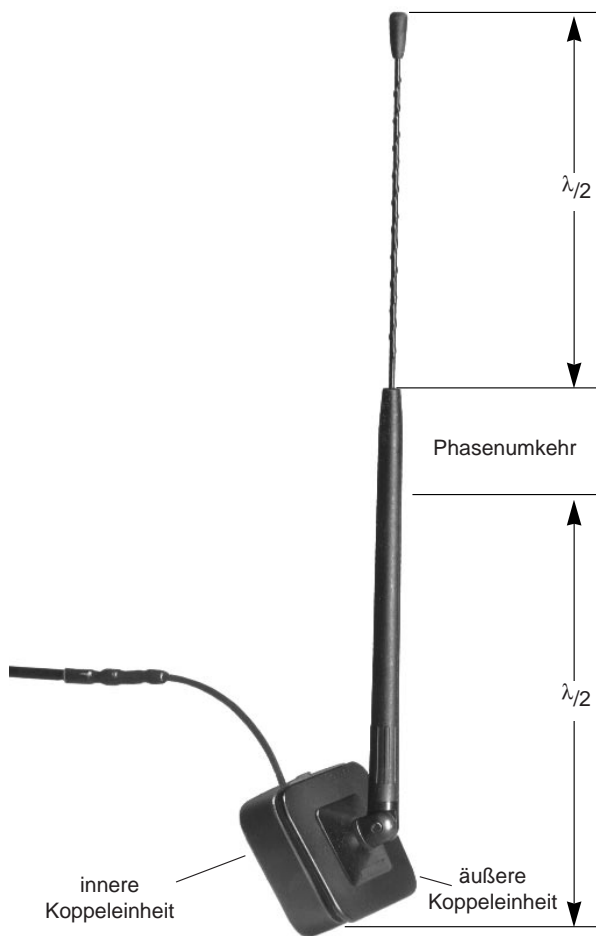


890 – 960 MHz



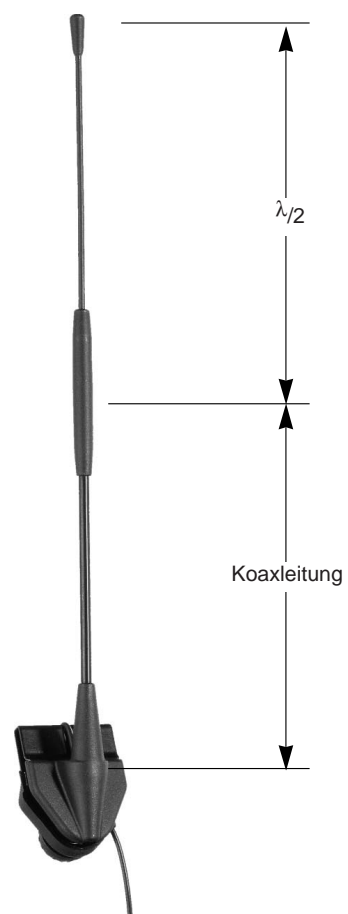
Heckantenne für 900 MHz mit hochge-
setztem Strahlerfußpunkt
Montageort: Linker Heckkotflügel

Bild 32: Scheiben-Klebe Antenne



Screenfix-Antenne
870 – 960 MHz

Bild 33: Scheiben-Klemmantenne



Classic-Antenne
890 – 960 MHz

Bild 34: Verkürzte Fahrzeugantenne

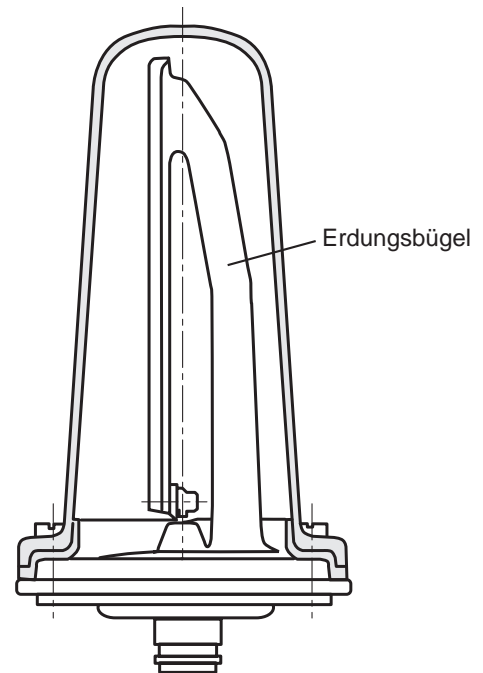


Miniflex-Antenne
K 50 39 2 ..
146 ... 174 MHz



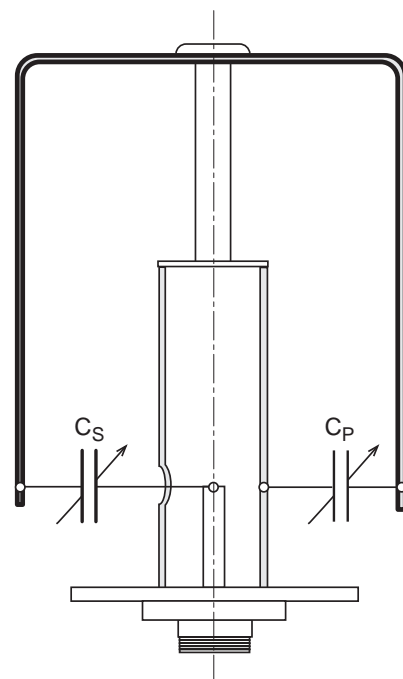
Fahrzeugantenne
K 70 23 2 ..
406 ... 470 MHz

Bild 35: Lokantenne 70 cm-Band



Lokantenne
K 70 20 21
406 – 470 MHz

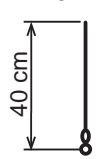
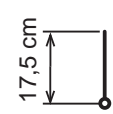
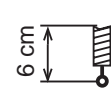






Bild 36: Verkürzte Lokantenne 2 m-Band



Lokantenne
K 50 21 22
146 ... 174 MHz

Prinzip-Schaltbild

Bild 37: Vergleichende Feldstärkenmessungen mit Antennen für tragbare Sprechfunkgeräte

Frequenzbereich: 400 - 470 MHz		sichtbar getragene Antenne					
Antenne		Gainflexantenne K 71 51 2.. 		$\lambda/4$ Stabantenne 		Miniflex-Antenne K 71 39 2 	
Trageart		Funkgerät in Kopf- höhe	Funkgerät in Brust- tasche	Funkgerät in Kopf- höhe	Funkgerät in Brust- tasche	Funkgerät in Kopf- höhe	Funkgerät in Brust- tasche
Form des horizontalen Strahlungsdiagramms							
Feld- stärke*	in Vorzugs- richtung	0 dB	0 dB	- 4 dB	- 6 dB	- 4 dB	- 6 dB
	in Abschatt- richtung	- 4 dB	-10 dB	- 12 dB	- 20 dB	- 13 dB	- 21 dB
	Mittelwert	2,5 dB	3,5 dB	- 7 dB	- 12,5 dB	- 7 dB	- 12,5 dB

* bezogen auf einen entkoppelten $\lambda/2$ -Dipol ohne menschlichen Körper