

Vertikalantennen mit Dachkapazität

Dipl.-Ing. Jürgen A. Weigl, OE5CWL
auf Grundlage eines Artikels von Al Christman, K3LC
oe5cwl@energiedetektiv.com

Im National Contest Journal der ARRL vom November/Dezember 2004 (Vol. 32, No. 6, pp 11 - 13) wurde ein Artikel von Al Christman, K3LC zum Thema „Vertikalantennen mit Dachkapazitäten“ (Originaltitel: “Vertical Antennas with Top Loading”) publiziert. Dieser Artikel beinhaltet eine große Menge von Tabellen mit den Ergebnissen von Antennensimulationen. Dabei wurden unterschiedlich hohe Vertikalantennen und unterschiedliche Formen der Dachkapazität untersucht. Wir haben versucht diese große Anzahl an Meßergebnissen in Form von Diagrammen zusammenzufassen.

Wer sich tiefer mit dieser Materie beschäftigen will, sei auf den Originalartikel bzw. die verschiedenen Publikationen von Jerry Sevick, W2FMI verwiesen.

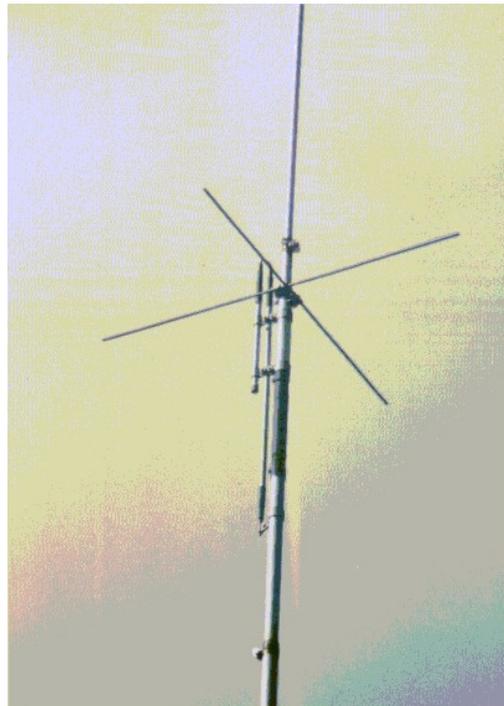


Bild 1: Eine aus vier horizontalen Speichen bestehende Dachkapazität einer Multiband-Vertikal von Cushcraft

Grundlagen der Simulation

K3LC hat die Untersuchung mit EZNEC-4 durchgeführt. Die Antennenmodelle wurden auf 3,65 MHz in Resonanz gebracht. Alle Ergebnisse beziehen sich auf diese Frequenz. Zur leichteren Interpretation haben wir jedoch in den Diagrammen die entsprechenden Angaben jeweils auf die Wellenlänge bezogen. Das grundlegende Modell ist eine Viertelwellenvertikal. Diese wurde mit einer Drahtstärke von 2,6 mm Durchmesser (#10 AWG) aufgebaut. Die untersuchten Antennen befinden sich über einem Radialsystem, das aus 120 Radials mit jeweils einer Viertelwellenlänge besteht. Diese Radials sind im Erdreich in einer Tiefe von 7,6 cm vergraben. Das Erdreich selbst hat eine Leitfähigkeit von 5 mS/m und eine Dielektrizitätskonstante von 13. Diese Werte entsprechen Erdreich mit mittlerer Leitfähigkeit.

Art der Dachkapazitäten

Die Länge des vertikalen Leiters der Antenne wurde zwischen $0,097$ und $0,22 \lambda$ variiert. Dann wurde die Antenne jeweils durch Änderung der Dachkapazität in Resonanz gebracht. Diese Dachkapazität selbst bestand aus vier gleichlangen Drahtelementen („Speichen“) mit einem Drahtdurchmesser von 2 mm (#12 AWG). Diese vier Drahtstücke sind sternförmig an der Spitze des vertikalen Leiters angebracht. Dabei gibt es einerseits die gängige Variante, daß die Dach-

Vertikalantennen mit Dachkapazität

kapazität absolut horizontal verläuft. D.h. der Winkel zwischen dem vertikalen Leiter und der Dachkapazität beträgt genau 90 Grad (s. Bild 1). Als zweite Variante werden Dachkapazitäten verwendet, die schirmförmig von der Spitze der Vertikal schräg nach unten führen. Auch hier werden 4 Leiter verwendet, die um die Vertikal symmetrisch angebracht sind. Der Winkel, unter dem diese Dachkapazitäten nach unten verlaufen, wurde zwischen 0 und 60 Grad variiert. Die einzelnen Speichen wiederum sind symmetrisch angebracht, weisen also untereinander einen Winkel von 90 Grad auf.

In der Simulation wurde von K3LC nun die Länge der Dachkapazität ermittelt, die für Resonanz bei 3,65 MHz erforderlich ist. Gleichzeitig wurden die Kennwerte der entsprechenden Antennen festgehalten. Die im folgenden in Wellenlängen angegebene Länge der Dachkapazität bezieht sich immer auf die Länge eines einzelnen Drahtstückes. Also einer einzelnen Speiche der aus vier gleichartigen Elementen bestehenden Dachkapazität.

Wie erwähnt sind im Originalartikel die Ergebnisse in Tabellenform angegeben. Wir wollen hingegen anhand einiger Diagramme die wichtig erscheinenden Punkte besprechen.

Aus den Auswertungen von Christman fällt zuerst auf, daß der Gewinn einer stark verkürzten Vertikal mit $0,097 \lambda$ Länge sogar etwas besser ist, als jener einer vollen Viertelwellenlänge. Wobei bei der verkürzten Variante jene mit einer Dachkapazität, die unter 60 Grad zur Horizontalen geneigt ist, den höchsten Gewinn aufweist.

Die Änderung im Gewinn ist aber sehr gering. Die fullsize Viertelwellenvertikal weist einen Gewinn von 0,66 dBi auf, während die stark verkürzte Variante einen Gewinn von 0,73 dBi erreicht. Also kein wirklich großer Unterschied. Allerdings ist dabei ein Punkt zu beachten: die Untersuchung wurde anhand von verlustlosen Elementen durchgeführt. Es spielt daher keine Rolle, wie groß oder wie klein der Strahlungswiderstand der Antenne wird. Dies ist aber bei verkürzten Antennen unter reellen Verhältnissen ein besonders wichtiger Punkt. Denn je kleiner der Strahlungswiderstand wird, desto mehr Rolle spielt der Verlustwiderstand. Und desto schlechter wird damit der Wirkungsgrad. Und gerade dieser Wirkungsgrad geht in den Gewinn ein. Nicht jedoch hier bei unseren Untersuchungen. Insofern sind die oben gemachten Gewinnangaben zu relativieren.

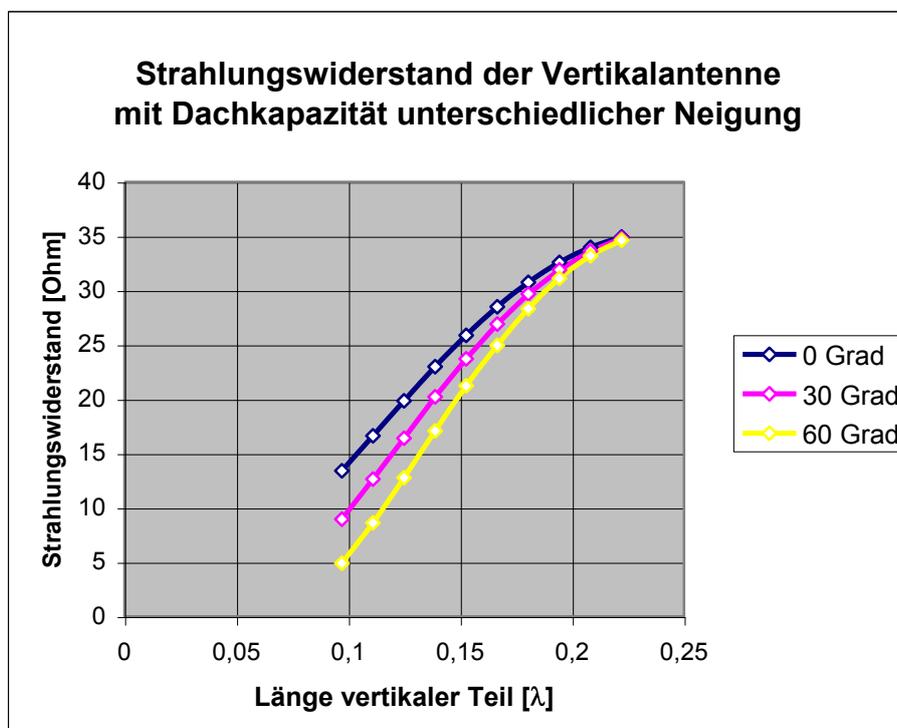


Bild 2: Einfluß von Verkürzung des vertikalen Teils der Antenne und Neigung der Dachkapazität auf den Strahlungswiderstand der Antenne

Vertikalantennen mit Dachkapazität

Damit wissen wir aber auch schon, daß bei verkürzten Vertikalantennen der Strahlungswiderstand eine besondere Rolle spielt. In Abbildung 2 haben wir aus den Daten von K3LC den Strahlungswiderstand der Vertikal abhängig von der Höhe des vertikalen Teiles dargestellt. Angegeben sind drei Kurven: Eine für eine rein horizontale Dachkapazität („0 Grad“) und zwei weitere Kurven für eine Neigung der Dachkapazität mit 30 bzw. 60 Grad gegenüber der Horizontalen.

Man erkennt aus Abbildung 2, daß ein möglichst flacher Verlauf der Dachkapazität anzustreben wäre. Das bedeutet also möglichst horizontale Dachspeichen. Eine starke Neigung der Dachkapazität läßt bei großer Verkürzung der Antenne den Strahlungswiderstand rasch absinken. Damit werden wir dann aber keinen guten Wirkungsgrad mehr erreichen.

Den Einfluß der Neigung der Speichen der Dachkapazität zeigt Abbildung 3. Hier ist für drei unterschiedlich lange vertikale Elemente der Strahlungswiderstand dargestellt. Je stärker die Verkürzung des vertikalen Abschnitts, desto mehr Einfluß hat die Neigung der Dachkapazität.

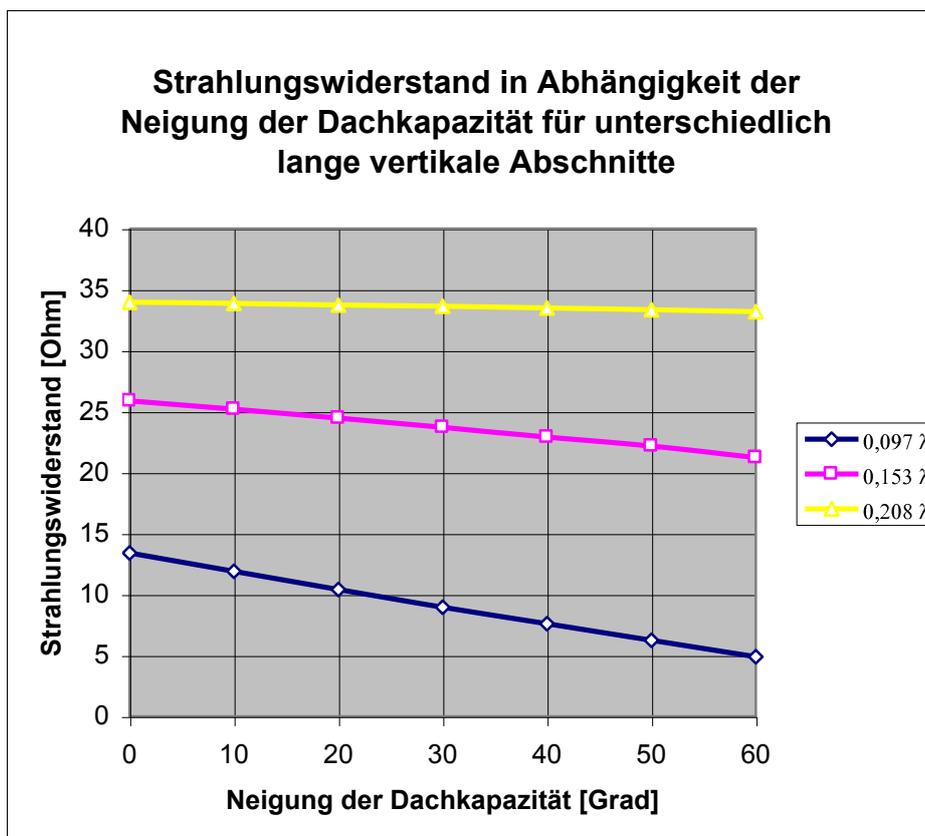


Bild 3: Einfluß der Neigung der Dachkapazität auf den Strahlungswiderstand der Antenne

Die wichtigste Frage ist aber zweifellos, wie groß muß die Dachkapazität sein, um die Antenne in Resonanz zu bringen. Die Abbildungen 4 bis 7 zeigen die notwendige Länge der Speichen der Dachkapazität, um Resonanz herzustellen. Auf der x-Achse ist jeweils die Höhe des vertikalen Abschnitts dargestellt. Auf der y-Achse kann dann die zugehörige Länge der Dachkapazität abgelesen werden. Die Angaben sind jeweils in Wellenlängen gemacht. Genau genommen beziehen sie sich jedoch nur auf das von K3LC untersuchte Modell einer 80 m Antenne. In den Abbildungen ist jeweils das Ergebnis für eine bestimmte Neigung der Dachkapazität dargestellt: In Abbildung 5 für rein horizontale Elemente der Dachkapazität bis zu Bild 7 für unter 60 Grad stark geneigte Speichen der Dachkapazität.

Wie sehr die Länge der Speichen der Dachkapazität von der Neigung derselben abhängt, ist in Abbildung 8 dargestellt. Dabei wurden wieder drei verschieden lange vertikale Abschnitte gewählt. Wie schon vermutet, ist der Einfluß der Neigung um so stärker, je kürzer der vertikale Abschnitt ist.

Vertikalantennen mit Dachkapazität

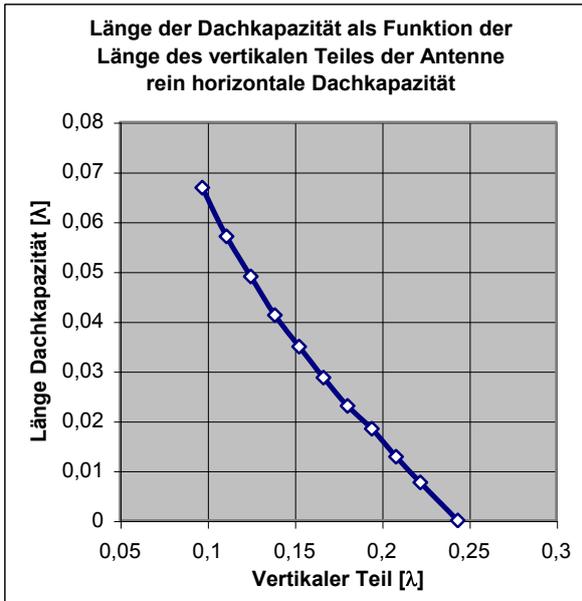


Bild 4: Länge der Speichen der Dachkapazität in Abhängigkeit der Länge des vertikalen Leiters. Die Speichen der Dachkapazität sind horizontal angebracht

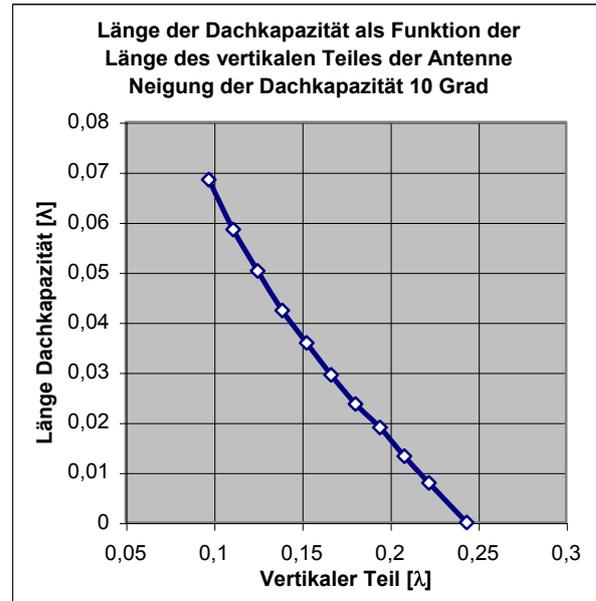


Bild 5: Länge der Speichen der Dachkapazität in Abhängigkeit der Länge des vertikalen Leiters. Die Speichen der Dachkapazität sind um 10 Grad gegen die Horizontale geneigt

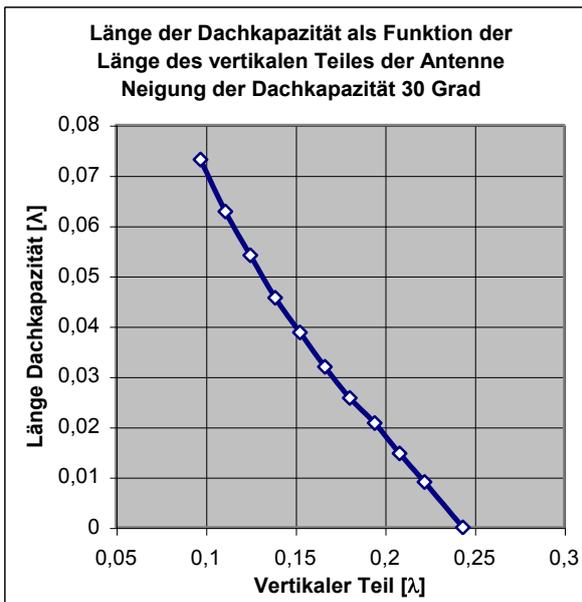


Bild 6: Länge der Speichen der Dachkapazität in Abhängigkeit der Länge des vertikalen Leiters. Die Speichen der Dachkapazität sind um 30 Grad gegen die Horizontale geneigt

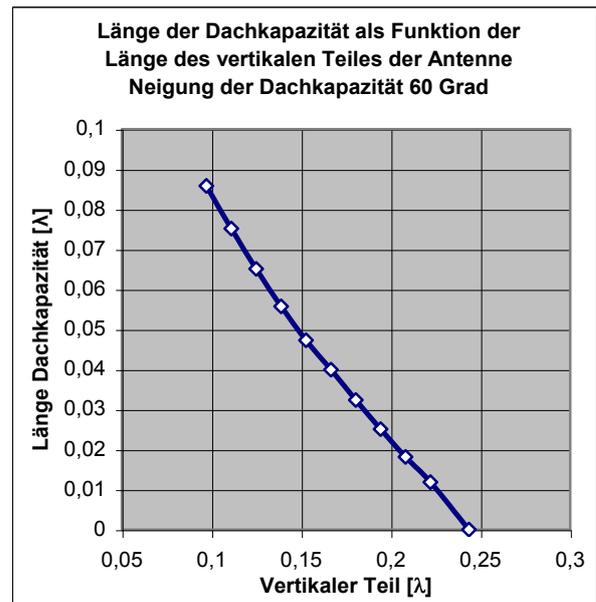


Bild 7: Länge der Speichen der Dachkapazität in Abhängigkeit der Länge des vertikalen Leiters. Die Speichen der Dachkapazität sind um 60 Grad gegen die Horizontale geneigt

All diese Diagramme bzw. Angaben für die Speichenlänge der Dachkapazität beziehen sich auf Antennen, die nur mit einer Dachkapazität in Resonanz gebracht werden. Für diese Antennen ist also keine Verlängerungsspule nötig. Wird eine solche angebracht, so kann die Dachkapazität entsprechend kleiner konstruiert werden. Eine Verlängerungsspule vor der Dachkapazität hat eine transformierende Wirkung auf die Dachkapazität. Näheres dazu findet man im Buch „Kurze Antennen“ von Gerd Janzen.

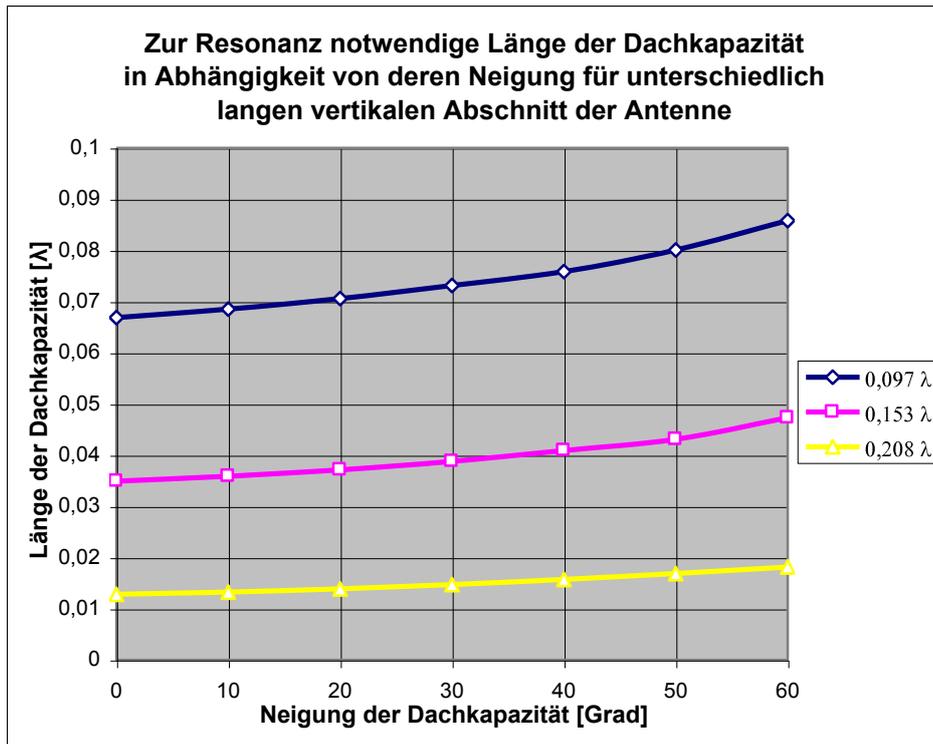


Abbildung 8: Einfluß der Neigung der Dachkapazität auf die zur Resonanz erforderlichen Länge der Speichen

Die Verkürzung der Antenne hat naturgemäß auch einen Einfluß auf die Bandbreite. Der kleinere Strahlungswiderstand führt auch zu einer kleineren nutzbaren Bandbreite. Abbildung 9 zeigt die Bandbreite bei einem SWR von 1:2 für drei unterschiedliche Ausführungen der Dachkapazität. Dabei zeigt sich, daß horizontale Speichen der Dachkapazität bei starker Verkürzung der Vertikal eine deutlich höhere nutzbare Bandbreite ergeben als stark geneigte Speichen. Ist hingegen die Vertikal nur mäßig verkürzt, hat die Neigung der Dachkapazität faktisch keinen Einfluß auf die Bandbreite.

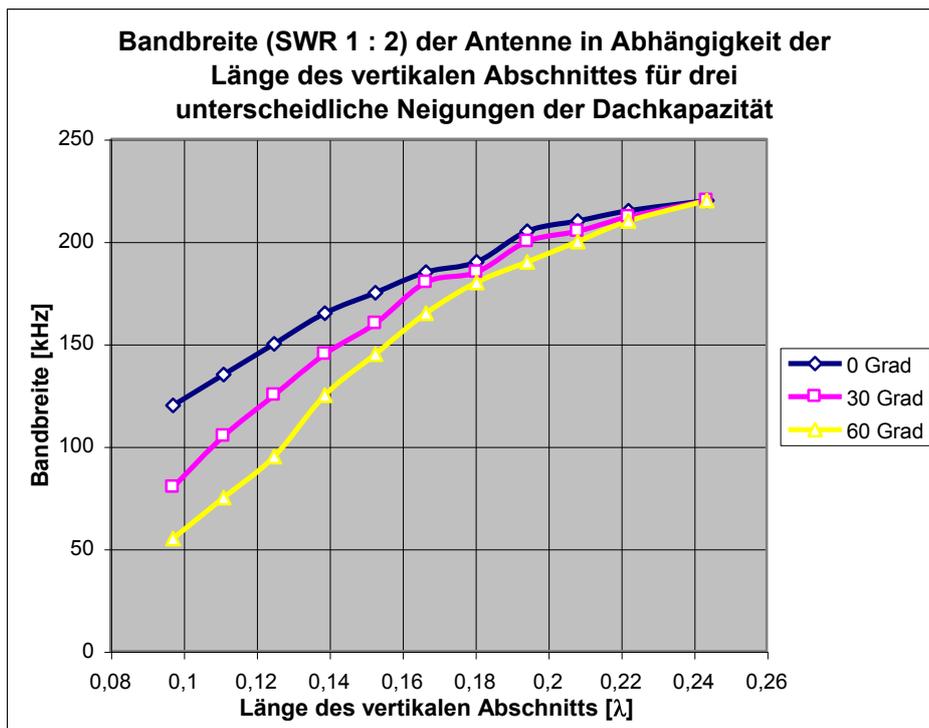


Abbildung 9: Einfluß der Neigung der Dachkapazität und der Länge der Vertikal auf die Bandbreite der Antenne

Vertikalantennen mit Dachkapazität

Wenn die Bandbreite weniger ein Kriterium ist, dann meint K3LC, kann eine verkürzte Vertikal recht gut mit einer fullsize Viertelwellen-Vertikal mithalten. Der Gewinn der (verlustlosen) Antenne bleibt praktisch gleich. Der Erhebungswinkel der Antenne steigt auf nur 27 Grad für eine Antenne mit ca. $0,097 \lambda$ Länge gegenüber 24 Grad für eine Antenne mit $0,25 \lambda$ Höhe (Anm.: dies gilt nur unter den oben beschriebenen Erdverhältnissen). Abschließend zitiert K3LC einen anderen Antennen-Fachmann, Jerry, W2FMI mit dem Satz „Mit einer verlustarmen Anpassung und einer verlustarmen elektrischen Verlängerung liegt der Nachteil von verkürzten Vertikalantennen über guten Erdungssystemen nur in der geringeren Bandbreite“.