

Yagi und Uda – die Erfinder der "Beam-Antenne"

von Rolf Schick, DL3AO

Im März 2007 war auch in Europa die Station 8J3YAGI oft zu hören und leicht zu arbeiten. Sie wurde vom Osaka University Radio Club betrieben und sollte an den 120. Geburtstag des 1886 in Osaka geborenen Hidetsugu Yagi erinnern. Der Name von Yagi steht heute allgemein für Richtantennen, deren Wirkung durch mit einem Dipol strahlungsgekoppelte (parasitäre) Elemente erzielt wird.

Yagi schloss 1909 sein Studium der Physik an der Tohoku Universität in Japan ab. Drei Jahre später ging er nach Deutschland, wo er nach einer kurzen Zeit in Berlin Assistent bei Professor Heinrich Barkhausen am Institut für Schwachstromtechnik der Technischen Hochschule in Dresden wurde.

Barkhausen gehörte in dieser Zeit zu den führenden Wissenschaftlern in der Entwicklung von Oszillatoren in der HF-Technik. Bei Beginn des Weltkriegs 1914 musste Yagi fluchtartig Dresden verlassen. Er fand Aufnahme bei John A. Fleming, Professor an der University von London. Fleming gilt als Erfinder der Vakuumröhre. 1916 ging Yagi zu George W. Pierce ("Pierce Oszillator") an die Harvard University in den USA. Nach Kriegsende kehrte Yagi nach Japan zurück und schloss (was bei dieser Ausbildung nicht verwundert!) 1919 sein Studium mit einer Promotion an der Tohoku Universität ab. Danach wurde er als Professor in den Lehrkörper dieser Universität aufgenommen.

Ab etwa 1916, und verstärkt ab 1920, führten Guglielmo Marconi und die Marconi Company Versuche zur Ausbreitung von Wellen unter 100 m Wellenlänge durch. Ausgang für diese Untersuchungen war der hohe und kostenträchtige Energieaufwand für die zur interkontinentalen Kommunikation benötigten Großsender im Langwellenbereich. Eine stabile Verbindung zwischen England und Australien benötigte Leistungen von 500

KW und mehr. Schon 1916 begannen Marconi und Mitarbeiter mit dem Anbringen von Reflektoren an Antennen um die Strahlungsleistung richtungsabhängig zu erhöhen. Damit reduzierte sich für die gleiche Empfangsfeldstärke die Sendeleistung. Der für einen Richtungsgewinn benötigte Abstand zwischen den Antennenelementen in der Größenordnung einer Wellenlänge verbot allerdings die Anwendung im Langwellenbereich. Marconi's Antennen- und Ausbreitungsversuche wurden bei Wellenlängen zwischen 2m und 15m durchgeführt. Ein zweihundertfacher Antennengewinn ließ auch mit kleinen Sendeleistungen Entfernungen von 150 km überbrücken [1]. Bild 1 zeigt eine typische, von Marconi in dieser Zeit verwendete Kurzwellenantenne. Ein vertikal stehender Strahler war parabolförmig von Reflektoren umgeben, welche einzeln und aktiv gespeist wurden.

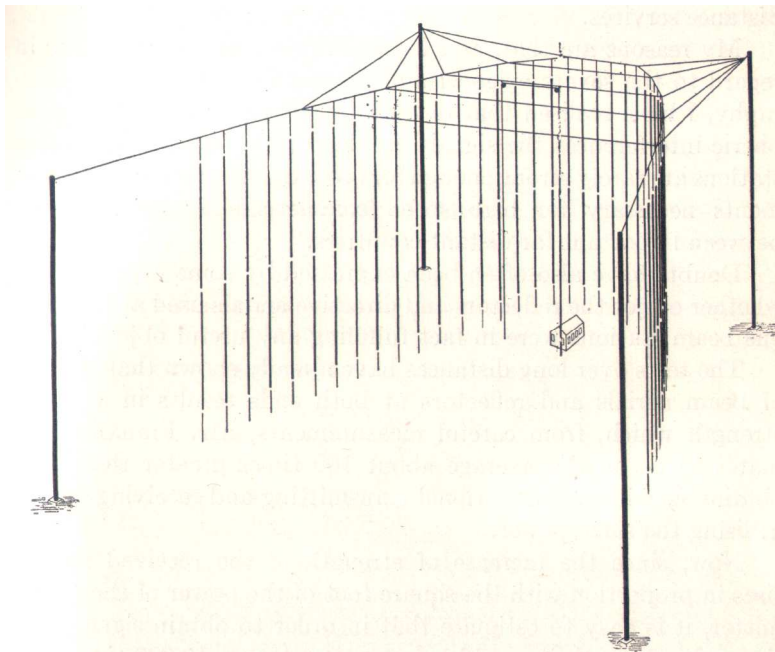


Bild 1: Schema einer von Marconi verwendeten Kurzwellenantenne. Ein Vertikalstrahler ist parabolförmig von aktiv gespeisten Reflektoren umgeben.

Anfang der zwanziger Jahre erhielt das Institut von Professor Yagi von der Saito Gratitude Foundation finanzielle Mittel für Forschungsarbeiten, welche zu einer Verbesserung der drahtlosen Punkt-zu-Punkt Kommunikation zwischen den japanischen Inseln führen sollten. Der Antennensektor dieser Aufgabe wurde dem jungen, 1896 geborenen, Shintaro Uda übertragen. Uda war als Assistant Professor am Institut von Yagi angestellt. Er widmete sich mit großem Eifer und Talent dieser Aufgabe. Im Journal of the Institute of Electrical Engineers of Japan erschien von ihm ab März 1926 in kurzer Folge eine Artikelserie mit dem Titel "On the Wireless Beam of Short Electrical Waves". Eine zusammenfassende Arbeit zu diesen theoretischen und experimentellen Arbeiten kam im Juli 1928 in englischer Sprache heraus [2]. Bei den von Marconi u.a. verwendeten Richtantennen wurden vom Senderausgang alle Antennenelemente aktiv mit Energie eingespeist. Das "Feeder System" (Bezeichnung von Marconi) war mit den starren, koaxialen Leitungen und Phasenschiebern bei den mit vielen Elementen ausgestatteten Antennenanlagen sehr aufwendig. Uda konnte nun in seinen Veröffentlichungen zeigen, dass mit in das Strahlungsfeld von Dipolen eingebrachten Metallstäben auch ohne deren aktive Speisung eine den Antennenanlagen von Marconi gleichwertige Bündelung der abgestrahlten Energie erzielt werden kann. Ist die Eigenfrequenz dieses „parasitären“ Stabes kleiner als die Frequenz der einfallenden Welle, nennt Uda diesen Stab einen "Wave Reflector", umgekehrt einen "Wave Direktor". Die Ausdrücke Reflektor und Direktor wurden Standard. Uda baute Beam-Antennen mit bis zu 30 Direktoren. Er erkannte, dass die Leistungsverstärkung über die Bündelung proportional dem Quadrat der Zahl der verwendeten Direktoren ist. Die Aussage gilt noch heute: 3 dB Gewinn bei Verdoppelung der parasitären Elemente. Uda führte die Versuche bei Wellenlängen von 4.4 m (68 MHz) durch. Yagi

beschäftigte sich zu dieser Zeit intensiv mit Magnetrons und Uda konnte die im Institut gebauten VHF-Oszillatoren bei seinen Untersuchungen einsetzen. Sehr beachtenswert sind auch die von Uda vorgenommenen theoretischen Ableitungen zum Strahlungsfeld eines 2-Element Beams. Ausgehend von den Hertz'schen Gleichungen berechnete Uda Potential und Strom nach Betrag und Phase in einem dem Dipol benachbarten Stab unter Variation dessen Länge und damit dessen Reaktanz. Daraus ermittelte er das Strahlungsfeld der Antenne im Fernfeld. Uda vermerkt, dass er die Rückwirkung des parasitären Elementes auf den Strahler und die daraus resultierenden Wechselwirkungen zwischen den Elementen mathematisch nicht lösen kann. Diese Wechselwirkungen führen auf Integralgleichungen, welche nur mit umfangreicher numerischer Datenverarbeitung näherungsweise zu lösen sind (Allerdings heute mit beliebig hoher Rechengenauigkeit). In die Originalabbildungen von Uda wurden vom Autor mit dem „Numerical Electromagnetics Code“ (NEC) am PC berechnete Kurven auf der Basis der von Uda angegebenen geometrischen Abmessungen seiner Antenne und der angegebenen Frequenz eingetragen. Es ist erstaunlich, wie gut die Kurven von Uda sich modernen Berechnungen annähern.

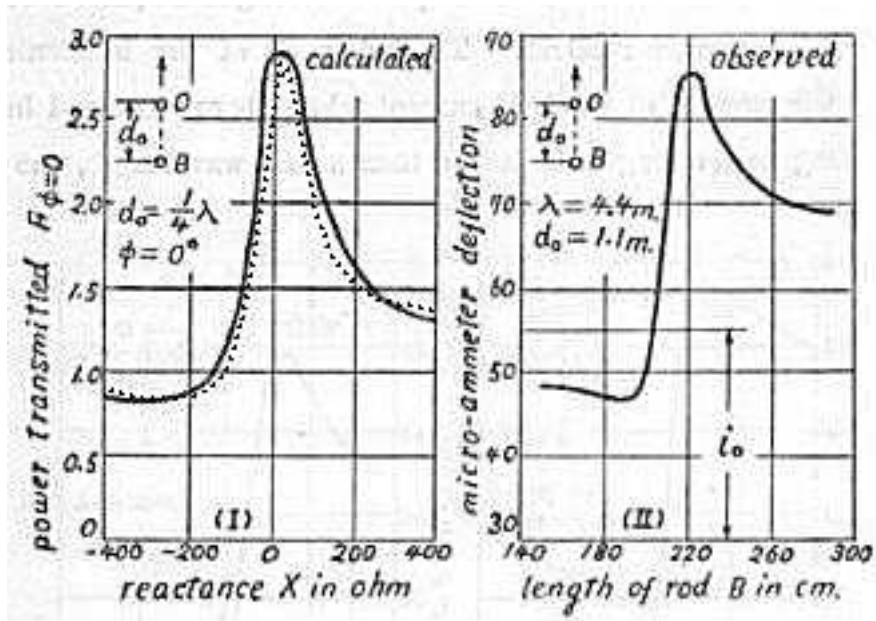


Bild 2: Von Uda berechnete und beobachtete Verstärkung im Strahlmaximum einer 2-Element-Antenne in Abhängigkeit der Reaktanz des parasitären Elements mit Viertelwellenabstand zum Dipol. (O: Dipol, B: parasitäres Element, i_0 : Ausschlag des Empfangsdetektors ohne parasitäres Element, der Pfeil zeigt die Richtung an in der beobachtet wird. [2]. Die gestrichelte Kurve wurde vom Autor mit modernen numerischen Verfahren berechnet.

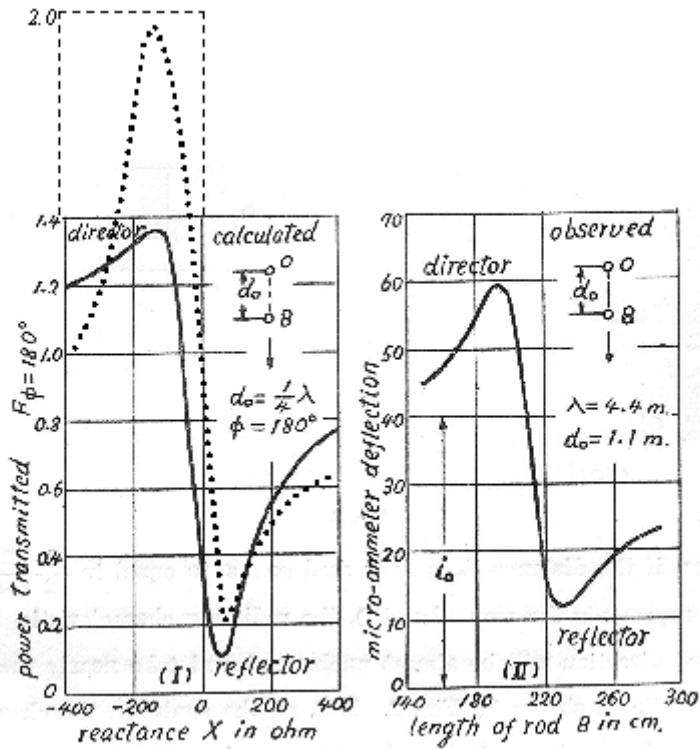


Bild 3: Entsprechend Bild 2 (Pfeil bei der Antenne zeigt 180 Grad gedrehte Abstrahlung an)

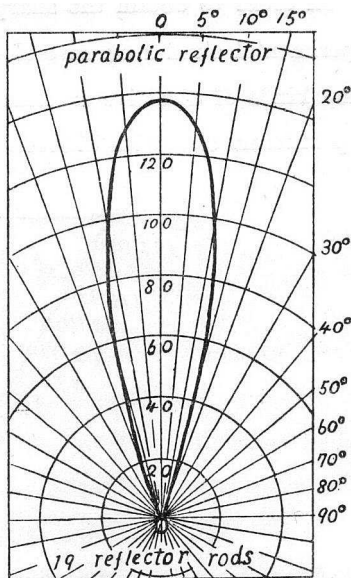


Bild 4: Von Uda gemessenes horizontales Abstrahldiagramm eines parabolförmig mit 19 parasitären Reflektoren umgebenen vertikalen Halbwellendipols. Die geometrische Anordnung entspricht der Marconi-Antenne von Bild 1. [2]

Die Ergebnisse von Uda wurden von Professor Yagi, unter dessen Leitung das Projekt durchgeführt wurde und der auch gegenüber dem Geldgeber verantwortlich zeichnete, 1926 bei zwei Tagungen in Tokyo vorgetragen. Autoren waren H. Yagi und S. Uda. Yagi folgte 1928 einer Einladung nach USA und hielt Vorträge vor Sektionen des Institute of Radio Engineers. Neben seinen Arbeiten zu Magnetron-Röhren berichtete Yagi über die Arbeiten von Uda. Die Vorträge erschienen kurz darauf als Veröffentlichung in der renommierten Zeitschrift Proceedings of the Institute of Radio Engineers (Vorläufer der Proceedings IEEE) unter dem alleinigen Namen von Yagi [3]. Obwohl Yagi in dem Artikel darauf hinweist, dass Messungen und Berechnungen von seinem Mitarbeiter Uda stammen, fand diese Antennenform in kurzer Zeit unter dem Namen "Yagi-Antenne" oder "Yagi-Array" weite Verbreitung. John D. Kraus (W8JK), Autor eines der Standardbücher über Antennen [4] und Erfinder der Helix-Antenne versuchte zwar, den Namen Yagi-Uda für diese Beams einzuführen, doch hatte dies nur kurzzeitig Erfolg. Der alleinige Name von Yagi setzte sich durch. Uda, der eigentliche Erfinder, geriet weitgehend in Vergessenheit.

Mit der Entwicklung des Fernsehens wurden die Yagi-Uda-Antennen auch für die Bevölkerung ein gewohnter Anblick. Als Uda einige Jahre nach dem 2. Weltkrieg die USA besuchte war er erstaunt, auf fast jedem Hausdach *seine* Antenne zu erblicken.

Professor Yagi erhielt später viele Ehrungen und wird heute unter den zehn bedeutendsten Erfindern Japans geführt. 1946 wurde er Präsident der Japanese Amateur Radio League (JARL).

Der erste Artikel über einen "Rotary Parasitic Array" in einer Zeitschrift des Amateurfunks erschien in der QST vom Dezember 1935. Heute sind im Amateurfunk diese Drehrichtstrahler nicht mehr wegzudenken.

Literatur.

[1] G. Marconi: "Radio Communication", Proc. IRE, Vol.16, 1928, S. 40-69.

[2] S. Uda: "On the Wireless Beam of Short Electric Waves", Selected Papers from the J. Inst. Electr. Eng. Japan, No. 20, 1928, S. 1-17.

[3] H. Yagi: " Beam Transmission of Ultra Short Waves", Proc. IRE, Vol.16, 1928, S. 715-741.

[4] J.D. Kraus: " Antennas", Mc Graw-Hill Book Comp., 1988, 892 S.