

Funkfernsteuerung (von Bernd Zawadzinski)

Die Funkfernsteuerung (engl. radio control oder RC) beruht auf dem Einsatz von Funksignalen zur Steuerung einer technischen Vorrichtung aus der Ferne. Der Begriff wird meist verwendet, um die Steuerung von Modellen mit einem vom Piloten gehaltenen Steuergerät zu bezeichnen. Dabei sind nur bestimmte Frequenzbänder für die Öffentlichkeit (ohne Lizenz) freigegeben. Um mehrere Modelle gleichzeitig betreiben zu können, sind freigegebene Frequenzbänder (27 MHz, 35 MHz, 40 MHz, 433 MHz, 2,4 GHz) durch ein Kanalraster unterteilt. Sende- wie Empfangskanal werden von einem Quarzoszillator vorgegeben. Moderne Sende- und Empfangsquarze (Quarzpaar) eines jeden Kanals besitzen eine Frequenzdifferenz in Höhe der Zwischenfrequenz des Empfängers. Neueste, mikroprozessor-betriebene Empfänger kommen ohne Quarz durch Nutzung einer PLL aus.

Die Machbarkeit einer Funkfernbedienung wurde unmittelbar nach der Erfindung der Funktechnik erkannt. Nikola Tesla führte bereits 1898 in New York ein funkferngesteuertes Schiffsmodell vor und ließ sich diesen Entwurf einer Funkfernsteuerung patentieren. Wie so vieles in der technischen Geschichte waren auch hier die ersten professionellen Anwender das Militär. So wurden in den 1920er Jahren Funkfernsteuerungen zur Steuerung von Zielschiffen für Schießübungen bei der Marine eingesetzt in der zweiten Hälfte der 1930er Jahre wurden die ersten erfolgreichen Versuche der Fernsteuerung von Flugmodellen besonders in England und Deutschland (unter anderem beim Rhönwettbewerb 1938) durchgeführt.

Während des Zweiten Weltkrieges wurden Funkfernsteuerungen für eine Reihe von Flugobjekten verwendet. Das Ziel war insbesondere die Entwicklung funkgesteuerter Seezielflugkörper für den Einsatz gegen Schiffsverbände, die ansonsten nur schwierig und unter sehr hoher Eigengefährdung anzugreifen waren. Gegen Ende des Krieges hatte auch die Luftwaffe ähnliche Fragestellungen beim Angriff auf Bomberverbände, und es wurden zahlreiche ferngesteuerte Flugkörper entwickelt, die aber nicht mehr zum Einsatz kamen. Nur für die ballistische V2- Rakete wurde bei 20 experimentalen Flügen erstmals Fernsteuerungen in Form von Radarstrahlen angewendet. Aber auch hier war es nur möglich, 1Bit (1 Kanal An/Aus) zu übertragen. Derartige Systeme wurden bis in die 1960er Jahre verwendet. Erst die Entwicklung des Transistors ermöglichte proportionale Fernsteuerungen.

Auch die Briten und die USA entwickelten Funkfernsteuersysteme, um die Gefährdung der Besatzungen beim Einsatz gegen stark verteidigte Ziele zu verringern. Jedoch erwies sich keines dieser Systeme als in der Praxis verwendbar.

Funkfernsteuersysteme dieser Ära waren im Allgemeinen elektromechanischer Natur. So wurde ein Radiogerät in einen Flugkörper eingebaut, das vom Steuerpult übertragene Signal wurde moduliert und einem kleinen Lautsprecher zugeführt. Vor dem Lautsprecher waren einige kleine Metallzungen mit unterschiedlichen Resonanzfrequenzen angebracht. Diese wurden durch die Töne des Lautsprechers zum Schwingen angeregt. Durch diese Schwingungen wurden die Steuerimpulse für die Steuerung erzeugt und an die Ruder weitergegeben.

Der Physiker Nikola Tesla stellte bereits 1898 auf der Weltausstellung in New York ein von ihm entwickeltes funkferngesteuertes elektrisches Modellboot vor. Die ersten Modellfunkfernsteuerungen gab es in der zweiten Hälfte der 1930er Jahre, damals nur in Eigenbau mit Röhrensender und -empfänger. Ab den 1950er Jahren waren in Deutschland die ersten serienmäßig hergestellten Röhrenfernsteuerungen erhältlich. Diese sogenannten Einkanalanlagen waren mit nur einer Funktion ausgestattet, das heißt, es konnte nur ein Befehl zum selben Zeitpunkt gegeben werden. Das war in der Regel die Seitenruderfunktion, 1x Tip links, nächster Tip Neutralstellung, nächster Tip rechts, und so weiter. Durch spezielle Techniken mit kurzen und langen Signalen konnten auch Zusatzfunktionen wie Motorsteuerung getätigt werden. Zu dieser Zeit wurden schon die ersten Mehrkanalanlagen mit unterschiedlichen Tonkreisen, auch nur wieder in Eigenbau, mit Röhrenverstärker realisiert.

Ab der zweiten Hälfte der 1950er Jahre gab es auch industriell hergestellte Mehrkanalanlagen, bei denen Funktionen teilweise auch gleichzeitig für mehrere Ruder gegeben werden konnte. Diese wurden wegen der eingeschränkten Möglichkeit, ein Ruder durch Antippen des Signalgebers nur maximal ausschlagen zu lassen (nicht proportional einer Steuerknüppelbewegung) auch Tippanla-

gen genannt. Ab Ende der 1950er Jahre wurden, mit der Entwicklung des Transistors, die vor allem wegen ihrer Batterien schweren Röhrenanlagen durch leichtere Transistoranlagen abgelöst. Als Zwischenentwicklung gab es auch kombinierte Anlagen, in denen zum Beispiel eine Hochfrequenzröhre im Empfängereingang mit einem Transistorverstärker kombiniert war. Seit ca. 1965 sind Proportionalanlagen erhältlich, bei denen jedes Ruder genau dem Ausschlag der Knüppelbewegung am Sender folgt. Bis dahin liefen die Ruder bei „Signal immer zum eingestellten Vollausschlag. Die Proportionalanlagen sind seit den 1960ern immer weiter bis zur Computeranlage verfeinert worden, dabei hat sich an der prinzipiellen Funktion seit dieser Zeit nichts geändert.

Der Einsatz der Mikroelektronik erlaubte bald die Übertragung sehr komplexer Steuersignale. Während frühere Steuersysteme zuerst nur einen Befehl, dann nur einige wenige Schaltbefehle übertragen konnten, schließen moderne Systeme 10 und mehr digital-proportionale Befehlskanäle ein. Diese RC-Systeme ermöglichen eine proportionale Steuerung aller Kanäle, das heißt, alle Steuerelemente des Modells laufen proportional zur Position des Steuerknüppels am Sender.

Mit Einführung digitaler Technik hat der Funktionsumfang aktueller Fernsteuerungen wiederum deutlich zugenommen. Dabei lassen sich Kanäle frei austauschen und damit ihre Kennlinien verändern oder mit anderen Funktionen mischen. Weiterhin können Servos programmiert werden, um z. B. Drehrichtung, nach dem Einbau zu justieren oder zu ändern, was in analogen Systemen nur über Eingriffe in die Senderelektronik möglich ist. Durch Weiterentwicklungen in der Elektronik verringert sich die Störanfälligkeit und die Signalübertragung erfolgt reaktionsschneller.

Neuere Techniken aus der Digital- und Computertechnik werden in Zukunft die Übertragungssicherheit weiter verbessern und Zusatzfunktionen (z. B. Telemetrie) ermöglichen. Dem Einsatz modernster Fernsteuertechnologien stehen zurzeit noch regulatorische Beschränkungen der Behörden entgegen.

Einen erheblichen Qualitätssprung erfuhren die Fernsteueranlagen durch die Miniaturisierung der elektronischen Bauelemente und der Einführung der Chiptechnologie und die Weiterentwicklung von Accus und anderer Spannungsquellen. Wog doch ein Fernsteuerempfänger von 1955 in Röhrentechnik mit zugehöriger Rudermaschine noch etwa 300 g und konnte dabei nur eine Funktion steuern, kann heute eine Empfangsanlage in käuflicher Technik mit vier proportionalen Funktionen unter Verwendung eines Lipo-Akkus von 2,6 g mit 5 g realisiert werden.

Im heutigen Modellbau sind nur noch die digital-proportional verwendeten Systeme (27; 35; 40 MHz) von Interesse und am weitesten in Nutzung, wobei die analog-proportionalen Anlagen noch vertreten sind und auch noch Verwendung finden.

In Europa sind die Frequenzbänder 27; 35; 40; 433 MHz und 2,4 GHz für Fernsteuerungen zugelassen, wobei die genaue Frequenz am Sender durch Quarze festgelegt wird. An den modernsten Sendern und Empfängern kann man die Frequenz beliebig einstellen. Durch neueste Übertragungsverfahren, wie Bluetooth oder Spread Spektrum braucht man sich als Nutzer nicht mehr um einen Kanal zu kümmern. Hier werden die Frequenzen dynamisch eingestellt, bzw. per eindeutiger Sender- und Empfänger-ID zugeordnet. Dasselbe Prinzip ist jedem, der zu Hause ein mobiles Telefon hat, bekannt.

Noch einige Worte zu den in Deutschland zugelassenen Frequenzbändern.

27 MHz-Band ist das älteste verwendete Frequenzband. Hier teilen sich der Modellbau und der CB-Funk ein Band. Was in der Praxis nicht ganz problemlos ist, da gegenseitige Störungen vorprogrammiert sind. Da die CB-Funker in der Regel über leistungsfähigere Sender verfügen, sind wir Modellbauer oft unterlegen. Dieses Frequenzband ist daher für Flugmodelle nicht zu empfehlen, wird aber noch sehr viel im Spielzeugsbereich mit Tippanlagen benutzt. Dabei dürfen nicht alle in den 27 MHz Bereich vorhandene Kanäle von den Modellbauern genutzt werden.

35 MHz-Band ist in Deutschland nur für den Flugmodellbau zugelassen und war bis 2003 lizenz- und gebührenpflichtig. Diese Pflicht wurde 2003 aufgehoben.

40 MHz-Band ist für alle Modellbauarten zugelassen und damit das zurzeit verbreitetste Band. Aber auch hier gilt, das nicht alle vorhandenen Kanäle für alle zugelassen sind. Die Kanäle 50 bis 53 gelten für alle Modelle, die Kanäle 54 bis 59 und 87 bis 92 für alle Modelle außer Flugmodellen

433 MHz Band Dieses Frequenzband etabliert sich in den letzten Jahren immer stärker für Modelle aller Art. Die Frequenzen 433,100 bis 434,750 MHz ist in 25-kHz-Schritten gegliedert. Fernsteueranlagen sind aber lizenz- und gebührenpflichtig. Der Bereich von 430 bis 440 MHz ist auch für den Amateurfunk freigegeben

2,4 GHz Band Dieses Band gibt es erst seit ca. 1 Jahr für den Modellbau. Diese Übertragungsfrequenz und das Anmeldeprinzip stammen aus der Computertechnologie und der Telemetrie. Es ist zurzeit das modernste und übertragungssicherste System.

Hier nun noch für das allgemeine Verständnis die dazu gehörenden Frequenztabellen.

Übersicht über die zulässigen Betriebsfrequenzen zur Fernsteuerung von Modellen					
Bereich 27 MHz		Bereich 35 MHz Band A		Bereich 40 MHz	
Kanal	Frequenz MHz	Kanal	Frequenz MHz	Kanal	Frequenz MHz
4	26.995	61	35.010	50	40.665
5	27.005	62	35.020	51	40.675
6	27.055	63	35.030	52	40.685
7	27.025	64	35.040	53	40.695
8	27.035	65	35.050	54	40.715
9	27.045	66	35.060	55	40.725
10	27.055	67	35.070	56	40.735
11	27.065	68	35.080	57	40.765
12	27.075	69	35.090	58	40.775
13	27.085	70	35.100	59	40.735
14	27.095	71	35.110	81	40.815
15	27.105	72	35.120	82	40.825
16	27.115	73	35.130	33	40.835
17	27.125	74	35.140	34	40.865
18	27.135	75	35.150	35	40.875
19	27.145	76	35.160	86	40.885
24	27.195	77	35.170	87	40.915
30	27.255	78	35.180	88	40.925
		79	35.190	89	40.935
		80	35.200	90	40.965
				91	40.975
				92	40.985
		Bereich 35 MHz			
		182	35.820		
		183	35.830		
		184	35.840		
		185	35.850		
		186	35.860		
		187	35.870		
		188	35.880		
		189	35.890		
		190	35.900		
		191	35.910		