



Datum:  
24. November 2011

## Das 2.4 GHz Veranstaltungs-How-To

---

### Die Problemstellung

In den Köpfen vieler Modellflieger geistert die Vorstellung umher, dass mit der Einführung der 2.4 GHz Technik in den Modellflug eine Funk-Technologie zur Verfügung steht, die eine absolut sichere und unstörbare Funkverbindung bietet.

**Diese Vorstellung ist falsch!**

Es gibt keine unstörbare Funkverbindung, auch wenn das die Werbung hier teilweise versucht, dem Kunden etwas anderes zu suggerieren. Richtig ist, dass bei 2.4 GHz-Systemen diese ungleich störsicherer sind, als klassische Systeme im VHF-Bereich auf 35 oder 40 MHz. Das Hauptproblem bei den VHF-Systemen war und ist die Frequenzdoppelbelegung. Es ist leider ein physikalischer Grundsatz, dass in diesem Bereich und bei der dabei angewendeten Technik nicht 2 Systeme zur gleichen Zeit auf der gleichen Frequenz am gleichen Ort arbeiten können. Das führt normalerweise zu zwei Kollisionen. Erst die Kollision der Funkssysteme auf einer Frequenz und dann die Kollision des Fliegers mit so unangenehm widerstandsfähigen und unelastischen Dingen wie einer Wiese.

Im Bereich der 2.4 GHz Technik treten diese Kollisionen auf einer Frequenz wesentlich häufiger auf, als bei den klassischen Systemen, nur fällt das dort durch die verwendeten Übertragungsverfahren nicht auf. Es gibt zwar ständig Kollisionen, nur merkt das kein Schwein.

Eine Frequenzkontrolle mit Frequenztafel und Senderabgabe ist daher im 2.4 GHz Betrieb nicht mehr notwendig und auch nur begrenzt nützlich.

Allerdings darf man eine Sache nicht aus den Augen verlieren. Für den Betrieb auf 2.4 GHz steht eine begrenzte Menge der Resource Frequenzspektrum zur Verfügung, die nicht vermehrbar ist.

Übersteigt die Summe der durch die aktiven Systeme belegten Anteile der Resource die zur Verfügung stehende Gesamtmenge, gibt es ein Problem. Das Übertragungsmedium ist überlastet und es kommt zu Störungen. Man ist gut beraten, sich rechtzeitig Gedanken zu machen, unter welchen Bedingungen im Flugbetrieb diese Situation der Überlastung des Übertragungsmediums eintreten kann und ob man etwas dagegen tun kann.

Die schlechte Nachricht ist: Der Fall kann eintreten.

Die gute Nachricht ist: Man kann etwas dagegen tun.

## Die Ursachen

Man muss sich über eine Sache im Klaren sein. Das 2.4 GHz Band ist ein sogenanntes „Schrottband“ auf dem alles Mögliche und Unmögliches unkoordiniert rum funkelt und das mit teilweise erheblichen Leistungen. Es gibt also jede Menge andere Nutzer dieses Bandes. Solange deren Geräte weit entfernt vom Platz sind, ist das oft unkritisch, aber die Geräte, die direkt am Platz aktiv sind, sollte man schon etwas genauer angucken.

Eines ist vollkommen klar. Wenn 2 oder 3 Piloten irgendwo „In the middle of nowhere“ zusammen am Hang fliegen, braucht man sich über das hier besprochene Problem keine Gedanken zu machen. Die hier beschriebenen Überlegungen beziehen sich auf grössere Veranstaltungen, bei denen viele Piloten, viele Besucher und eine im alltäglichen Flugbetrieb nicht unbedingt präsent drahtlose Infrastruktur anwesend sind.

## Die Mitspieler

Zunächst muss man sich fragen, was bei einer Veranstaltung wie einem Wettbewerb, einem Flugtag oder Flugshow an Funksystemen begegnen kann, die Einfluss auf die Sicherheit (und um die geht es hier) des Betriebes von 2.4 GHz Anlagen haben. Zu erwarten wären:

- 2.4 GHz Fernsteuerungen
- 2.4 GHz Telemetriesysteme / Varios
- 2.4 GHz Video-Systeme
- Proprietäre 2.4 GHz Systeme z.B. für Speedmessungen oder Wendemarkenerfassung.
- WLAN
- Bluetooth
- Computerzubehör
- Mikrowellenherde
- Amateurfunk

Zu bewerten ist, in wie fern diese Systeme Einfluss auf die Sicherheit des Betriebes von 2.4 GHz Fernsteuerungen haben und wie man den Einfluss minimieren kann.

## Lösungsvorschläge

### 2.4 GHz FERNSTEUERUNGEN

Das ist naturgemäss die grösste Gruppe der Funksysteme, die anzutreffen sind. Diese Systeme haben einen inhärenten Schutz vor Störungen durch andere Funksysteme im gleichen Frequenzband, der allerdings mehr oder weniger ausgeprägt sein kann und von der verwendeten Übertragungstechnik des jeweiligen Systems abhängt.

Reine DSSS-Systeme sind hier abzulehnen, da der Schutz vor Störungen bei diesen Systemen prinzipbedingt eher schwach ausgeprägt ist. Ausserdem sind die legalen Systeme in dieser Kategorie von der Sendeleistung her inakzeptabel ( $< 10 \text{ mW}$ ) oder oft illegal. Das Feature des Scans des Bandes beim Einschalten ist weitgehend nutzlos, da z.B. WLAN-Netze nur sehr schlecht erkannt werden und diese Massnahme gegenüber FHSS-Systemen nutzlos ist. Ferner können Systeme, die nach dem eigenen Verbindungsaufbau in Betrieb gehen, nicht erkannt werden.

Bei FHSS-Systemen sollte diese eine ausreichende Anzahl aktiv für die Datenübertragung genutzten Frequenzen haben. Als Minimum wären 15 Frequenzen anzusetzen. Systeme, die z.B. nur 2 Frequenzen nutzen, sind nicht akzeptabel, da auch hier der Schutz vor Störungen durch andere Funksysteme, egal welcher Art nicht ausreichend ist.

Hybride Systeme, die gleichzeitig DSSS oder eine Forward Error Correction (FEC) und FHSS machen sollten den Anforderungen für FHSS-Systeme (15 aktive genutzte Frequenzen) entsprechen.

**Fazit: Nur FHSS- oder Hybridsysteme mit mindestens 15 aktive genutzten Frequenzen.**

### 2.4 GHz TELEMETRIESYSTEME / VARIOS

Autarke Telemetriesysteme einschliesslich Varios, die im 2.4 GHz Band arbeiten sind sehr kritisch. Diese Systeme senden ohne Koordination mit dem Fernsteuersystem und es wird regelmässig die Situation eintreten, dass diese Systeme genau zu dem Zeitpunkt senden, zu dem der Empfänger im Modell etwas empfangen soll. Bedingt durch die unmittelbare Nähe des Telemetriesenders zum Empfänger besteht die Gefahr, dass der Empfänger durch die Sendung des Telemetriesenders „zugestopft“ wird und nichts empfängt. Das gilt auch für Telemetriesender kleiner Leistung (z.B.  $10 \text{ mW}$ ). Selbst wenn beide Systeme FHSS-Systeme sind, ist das nicht hilfreich, da der Effekt des Zustopfens auch auftritt, wenn beide Systeme auf unterschiedlichen Frequenzen arbeiten. Die Kombination autarker Telemetriesysteme im 2.4 GHz-Band mit 2.4 GHz Fernsteuerungen wäre also zu vermeiden.

Anders stellt sich die Situation bei Systemen mit integrierter Telemetrie dar. Wenn ein Fernsteuersystem direkt Telemetrie implementiert hat, z.B. direkt im Empfänger oder durch einen vom Fernsteuersystem bedienten, externen Telemetriesender, ist die Sache unkritisch, da hier der Fall des gleichzeitigen Sendens von Telemetriedaten während des Empfangs von Steuerbefehlen nicht eintreten kann, da diese Vorgänge zwangsläufig koordiniert sein müssen. Insbesondere bei in den Empfänger integrierter Telemetrie geht das physikalisch schon nicht. Der Funkchip kann entweder senden oder empfangen, nicht beides gleichzeitig.

**Fazit: Keine vom Fernsteuersystem unabhängigen, autarken Telemetriesysteme oder Varios, die im 2.4 GHz Band arbeiten. Wenn dann in anderen Frequenzbereichen (z.B. 433 / 868 MHz)**

### 2.4 GHz VIDEOSYSTEME

Im Bereich der Videoübertragung im 2.4 GHz Band gibt es sowohl analoge als auch digitale Systeme, wobei die digitalen Systeme eher selten sein dürften. Da die Sender zwangsweise sehr nah am Empfänger des Modells platziert sind, besteht auch hier die Gefahr des Zustopfens des Fernsteuerempfängers. Hinzu kommt, dass diese Systeme ständig senden, dadurch den Empfänger auch ständig belasten und eine sehr breitbandige Aussendung haben, die schon mal 20% des Bandes blockieren können. Falls eine Videoübertragung ge-

wünscht wird, sollten 5.8 GHz Video-Systeme verwendet werden. Das gilt sowohl für analoge als auch für digitale Systeme.

Allerdings funktioniert die die Kombination 2.4 GHz Video und 2.4 GHz R/C oft sowieso nicht, da die Videosysteme nicht mit 2.4 GHz FHSS-Systemen bedingt durch ihre doch etwas simple Technik nicht kooperieren können.

**Fazit: Keine Videosysteme auf 2.4 GHz in Verbindung mit 2.4 GHz R/C. Wenn Video, dann auf 5.8 GHz.**



### PROPRIETÄRE 2.4 GHz SYSTEME FÜR SPEEDMESSUNGEN ODER WENDEMARKENERFASSUNG

Wenn solche Systeme (ist etwas Zukunftsmusik) eingesetzt werden, gehören diese zum Flugbetrieb und können nicht vermieden werden. Allerdings kann man hier eine weise Wahl der Betriebsfrequenz treffen. Es sollte eine Frequenz am oberen Bandende gewählt werden. Nähere Erklärungen dazu unter dem Punkt WLAN.

### **Fazit: Manuelle Frequenzkoordination analog zu WLAN**

#### WLAN

Mittlerweile wird bei Wettbewerben oder Veranstaltungen eine lokale WLAN-Infrastruktur angeboten, die in Konkurrenz zu den Fernsteuerungen steht. Diese WLAN-Netze arbeiten typischerweise auf 2.4 GHz. Hier muss man sich vor Augen halten, dass auf einer grossen Veranstaltung viele Teilnehmer per WLAN auf aktuelle Ergebnisse zugreifen wollen und Unmengen von Besuchern mit einem Smartphone dort rumlaufen. Diese Smartphones versuchen typischerweise ständig, eine WLAN-Verbindung zu einem der sichtbaren Netze aufzubauen. Ferner ist davon auszugehen, dass die auf den Smartphones laufenden APPs alle erst mal nach Hause telefonieren wollen, so sie ins Netz kommen. Das generiert erheblichen Traffic. Um das zu unterbinden sollte das Netzwerk verschlüsselt sein, damit nicht jeder Besucher ins Netz kann um Videos bei Youtube zu gucken. Das sollen die zuhause tun. Dazu sollte als Schlüsselmethode WPA2 verwendet werden, damit nur Teilnehmer Zugriff haben, denen der Key bekannt ist. WEP knacken dauert 10 – 15 Minuten ! Man muss es den Wardrivern ja nun nicht einfach machen.

Um einen flächenmässig grossen Bereich abzudecken, werden dabei typischerweise zahlreiche Access-Points eingesetzt, die zudem noch auf unterschiedlichen WLAN-Kanälen arbeiten, um die Performance des Netzes zu optimieren. Um das ganze Band zu belegen, braucht man 3 Access-Points (AP's) auf unterschiedlichen Frequenzen. Diese Situation ist aus der Sicht des Sicherheitsaspektes für Fernsteuerungen nicht akzeptabel. Hier ist eine Koordination der Arbeitsfrequenzen eines WLAN-Netzes notwendig, um Kollisionen zu reduzieren. Es bietet sich an, ein WLAN-Netz so zu konfigurieren, dass alle AP's auf dem höchsten WLAN-Kanal (Kanal 13) arbeiten, auch wenn dadurch die Performance des Netzes sinkt. Dadurch ist aber sichergestellt, dass der gesamte WLAN-Verkehr nur einen Teil des Bandes belegt. Die Clients, also die Geräte der Nutzer werden dadurch auf den Kanal gezwungen.

Einige Fernsteueranlagen bieten einen sog. „France Mode“ bei dem der obere Teil des Bandes nicht benutzt wird. In Verbindung mit der Konfiguration eines WLAN-Netzes auf Kanal 13 würden hier Kollisionen vermieden und ca. 75% des Bandes bleiben durch WLAN unberührt und somit für Fernsteuerungen verfügbar.

Ferner sollte in Erwägung gezogen werden, dass man das zu versorgende Gebiet nicht mit wenigen AP's mit maximaler Leistung sondern mit vielen AP's kleiner Leistung versorgt und in Bereichen, in denen es realisierbar ist, eine kabelgebundene Lösung anbietet.

Eine weitere Alternative ist ein WLAN-Netz auf 5 GHz (IEEE 802.11a/n) anzubieten. Hier besteht allerdings das Problem, dass wohl nur relativ wenige Teilnehmer 5 GHz WLAN nutzen können.

Ein weiterer Punkt sind Kameras für Live-Streams ins Internet oder Web-Cams. Die Kameras, wenn sie als Wireless-IP-Kameras arbeiten, produzieren sehr viel Traffic und belasten dementsprechend den durch WLAN genutzten Bereich des Bandes. Solche Kameras sollten entweder per Kabel oder per 5 GHz WLAN angebunden werden.

Ferner sollte darauf geachtet werden, dass die auf 2.4 GHz arbeitende Infrastruktur nicht im Flugbereich liegt, damit die Fernsteuersender näher am Modell sind, als die AP's oder die Endgeräte, auch wenn das sicher nicht einfach realisierbar ist.

Obwohl nur selten verwendet, sollten Ad-Hoc Verbindungen im 2.4 GHz WLAN auf den höchsten WLAN-Kanal beschränkt, ganz unterbunden werden oder auf 5 GHz ablaufen.

### **Fazit: Dezidierte Frequenzkoordination von 2.4 GHz WLAN, 5 GHz WLAN oder Kabellösungen. Keine offenen Netze.**



### BLUETOOTH

Der Bereich Bluetooth entzieht sich weitgehend dem Einflussbereich des Veranstalters, da hier vorzugsweise Systeme der Teilnehmer und Besucher ins Spiel kommen. Eine Bluetooth-Infrastruktur kommt wohl kaum in Frage. Hauptsächlich geht es hier um Freisprecheinrichtungen für Handies (Auto, Autoradio, Knopf im Ohr), die ständig miteinander reden, auch wenn nicht telefoniert wird und Anbindungen von Fernsteuerungen an externe Applikationen. Aufgrund der geringen Sendeleistungen ist das aber eher unkritisch.

**Fazit: Man kann eh nichts dran machen. Muss so hingenommen werden.**

### COMPUTERZUBEHÖR

Mittlerweile arbeitet sehr viel drahtloses Zubehör für PC's bzw. Notebooks auf 2.4 GHz. Paradebeispiel ist die Maus. Der Einsatz dieser Geräte entzieht sich aber dem Einfluss des Veranstalters. Aufgrund der geringen Sendeleistungen ist das aber auch das eher unkritisch.

**Fazit: Man kann eh nichts dran machen. Muss so hingenommen werden.**

### MIKROWELLENHERDE

Mikrowellenherde arbeiten im 2.4 GHz Band mit HF-Leistungen so ca. ab 800 Watt aufwärts. Ein kleiner Teil dieser Leistung pfeift vorzugsweise durch die Tür nach draussen. Wie viel das ist, ist schlecht vorhersagbar und hängt stark vom Zustand der Tür des Herdes ab. Hier wäre es wert die Überlegung anzustellen, dass diese Welt eine längere Zeit auch ohne Mikrowellenherde funktioniert hat und ob die klassische Herdplatte nicht den Job übernehmen kann.

**Fazit: Mikrowellenherde sollten vermieden werden.**

### AMATEURFUNK

Es gibt einige Amateurfunk-Relais, die im durch Fernsteuerungen genutzten Frequenzbereich auf 2.4 GHz arbeiten. Im Vergleich zu Fernsteuerungen haben die Relaisfunkstellen recht hohe Strahlungsleistungen und befinden sich typischerweise an HF-technisch sehr guten Standorten. Sollte eine Veranstaltung in unmittelbarer Nähe eines solchen Relais stattfinden, wäre es ratsam mit den Betreibern des Relais Kontakt aufzunehmen, um evtl. eine Betriebspause zu vereinbaren. Infos dazu können im Bedarfsfall beim lokalen Ortsverband des DARC oder beim FR Funk der BuKo Modellflug abgefragt werden.

**Fazit: Kontaktaufnahme mit den Betreibern von Relaisfunkstellen oder dem FR Funk**

Alle diese Massnahmen sollten so betrachtet werden, dass sie für sich betrachtet nicht allein selig machend sind. Es geht dabei darum, das Risiko von Störungen der Fernsteueranlagen zu reduzieren. Die oben aufgeführten Massnahmen dienen dazu, die Belastung des Bandes niedrig zu halten um genügend Raum für R/C-Anlagen zu geben. Es ist gut möglich, dass es einen reibungslosen Flugbetrieb ohne alle diese Vorkehrungen gibt. Nur „gut möglich“ ist eben nicht genug. Daher ist es besser, Vorsorge zu treiben, auch wenn sie nicht unbedingt notwendig gewesen wäre, als in die Situation zu geraten, dass es zu Problemen kommt. Besser man hat es und braucht es nicht, als man braucht es und hat es nicht.

Die hier gemachten Vorschläge sollen dazu dienen, die Sicherheit des Betriebes von 2.4 GHz Fernsteuerungen zu erhöhen. Die Empfehlungen zielen hauptsächlich auf grössere Veranstaltungen ab. Sicherlich werden diese Empfehlungen nicht immer und überall umsetzbar sein.

Mit freundlichen Grüßen



Frank Tofahrn