



2.4 GHz- Telemetrie und 2.4 GHz- R/C-Anlagen

Telemetrie-Systeme bei R/C Anlagen sind zunehmend der neueste „Gimmick“, den offenbar jede Fernsteuerung haben muss. Mittlerweile setzen fast alle Hersteller bei ihren aktuellen oder angekündigten Anlagen auf eine integrierte Telemetrie. Allerdings ist es auch so, dass zahlreiche, ältere Anlagen keine systeminterne Telemetrie haben. Die Anwender dieser Anlagen wollen aber auch Telemetrie haben, um nützliche Infos zu gewinnen oder auch nur in zu sein.

Hier bietet sich der Einsatz eigenständiger Telemetrie-Systeme an, die unabhängig von der verwendeten R/C-Anlage arbeiten. Die Frage ist, ob diese Kombination von 2 Funksystemen in einem Modell problemlos funktioniert, oder ob es hier Dinge gibt, die man besser beachten sollte.

Um vorher zu verraten, wer der Mörder ist:

Es gibt kritische Konstellationen, man sollte sie besser nicht ignorieren!

Wir haben die Situation, dass sich im Modell ein R/C- Empfänger befindet, der das Modell steuern soll. In unmittelbarer Nähe dazu befindet sich ein Telemetriesender, der mit nennenswerter Leistung sendet. Damit bekommt der R/C- Empfänger den vollen Segen der Sendung des Telemetriesenders ab.

Arbeiten R/C- Anlage und Telemetrie (oder Vario) in unterschiedlichen Frequenzbändern (z.B. 2.4 GHz und 433 MHz), ist das eher unkritisch, da die R/C- Empfänger mit dieser Situation zurechtkommen. Es gab wohl mal Empfänger, die selbst in dieser Situation Probleme hatten. Solche Empfänger gehören aber nicht in ein Modell, sondern in die Mülltonne. Arbeiten beide im gleichen Band, ist die Situation weniger komfortabel.

Es ergeben sich 2 Situationen, die dem R/C Empfänger das Leben schwer machen, wenn er selber auf 2.4-GHz arbeitet und der Telemetriesender das ebenfalls tut:

1. Blocking

Der Telemetriesender erzeugt aufgrund der Nähe zum R/C- Empfänger an dessen Eingang ein sehr starkes Signal, das den R/C- Empfänger übersteuern und in die sog. Sättigung treiben kann. Die Auswirkung ist die, dass der R/C Empfänger an Empfangsempfindlichkeit verliert und somit das Signal „seines“ Senders nicht mehr hört. Dazu muss der Telemetriesender nicht auf der gleichen Frequenz senden, auf welcher der R/C Empfänger gerade hört. Dieses Blocking funktioniert auch dann ganz hervorragend, wenn die Systeme gerade auf unterschiedlichen Frequenzen „rumturnen“. In der Praxis bedeutet das, dass der Telemetriesender während seiner Sendung den Empfang des R/C- Empfängers stören kann, unabhängig von den aktuellen Arbeitsfrequenzen.

2. Phasenrauschen

Es ist nicht so, dass ein Sender nur auf seiner nominalen Sendefrequenz Leistung erzeugt. Es gibt immer ungewollte Aussendungen, die man eigentlich gar nicht haben will, die sich aber nicht vermeiden lassen. Dazu gehört z.B. das Phase Noise (Phasenrauschen). Der Sender erzeugt im Frequenzspektrum ober- und unterhalb des gewollten Signals Rauschen. Ober- und unterhalb kann dabei einen Bereich von sehr vielen MHz bedeuten. Dieses Rauschen fällt direkt in den Empfangskanal und stört dort.

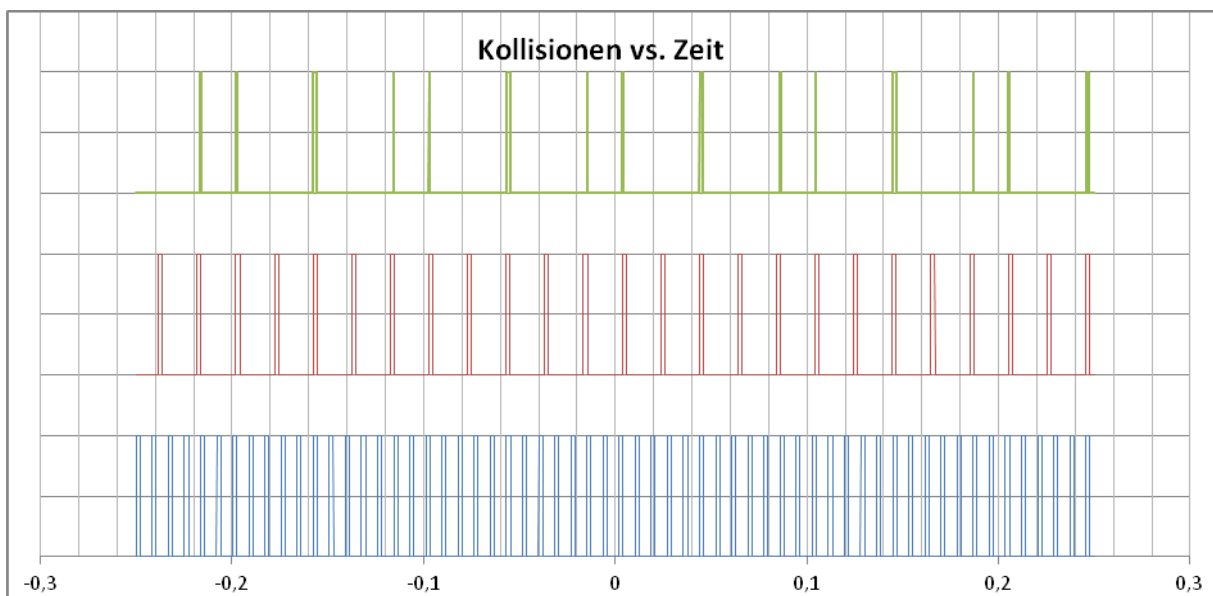
Geht man mal davon aus, dass der Telemetriesender im Empfangskanal der R/C- Anlage eine Strahlungsleistung des Phase Noise von -30 dBm (das ist 1 μ W) hat und nahe am Empfänger ist, müsste ein 1000 Meter weit entfernter Sender ca. 40 Watt Leistung haben, um die gleiche Signalstärke zu produzieren. Dieses Bei-

spiel dient dazu, die Verhältnisse klar zu machen. $1\mu\text{W}$ ist zwar eine pessimistische Annahme, aber durchaus im Bereich des Möglichen und Legalen.

Dummerweise treten beide Effekte gleichzeitig auf. Für weiter entfernte R/C- Empfänger ist das alles relativ belanglos. Nur, wenn R/C- Empfänger und Telemetriesender sich dicht auf der Pelle sitzen, wird das zur Spaßbremse.

Die spannende Frage ist: Kann das gefährlich werden ?
Die traurige Antwort ist: Ja, es kann !

In einer Worst Case- Betrachtung wird der R/C- Empfänger immer dann nichts empfangen, wenn der Telemetriesender gerade sendet. Zum Glück passiert das nicht unbedingt so oft gleichzeitig. Es ist zu betrachten, wie oft diese Situation auftritt. Eine grafische Darstellung der Vorgänge ergibt folgendes Bild:



Die untere Linie zeigt die Sendungen einer typischen R/C- Anlage. Die mittlere Linie zeigt die Sendungen eines Telemetrie-Systems. Dabei sind alle Sendungen unabhängig von der Frequenz dargestellt. Die obere Linie zeigt die Kollisionen zwischen R/C und Telemetrie. Im Falle einer Kollision kann man die Sendung der R/C- Anlage als zerstört betrachten. Die Daten basieren auf einer realen Messung.

Der Beobachtungszeitraum beträgt 0,5 Sekunden. Innerhalb dieser Zeit sendet das R/C- System 60 mal. Davon werden 15 Sendungen zerschossen. Es gehen also 25% der Übertragungskapazität verloren. Im Normalfall, also wenn das Signal des R/C Senders am Empfänger stark genug und ungestört ist, ist das kein großes Problem. Allerdings kann sich die Latenzzeit kurzfristig erhöhen. Kritisch wird die Geschichte, wenn gleichzeitig viele andere 2,4 GHz Systeme aktiv sind oder das Signal am Empfänger sehr schwach ist (oder beides) und somit ohnehin viele Sendungen verloren gehen. Die durch die Telemetrie eventuell zerstörten 25% der Übertragung können hier den Unterschied zwischen Leben und Tod ausmachen. Solange nur das Modell stirbt, ist das ärgerlich und teuer. Wenn es um Personen geht, ist das nicht mehr akzeptabel.

Der Einfluss des Telemetrie-Systems hängt von der Senderate ab. Im vorliegenden Fall sind das ca. 20 ms, was VIEL! zu hoch ist. Einmal pro Sekunde hätte für dieses System auch gereicht. Das System ist aber nun mal am Markt und wird, obwohl illegal, verkauft und eingesetzt.

Fazit

Wird eine 2,4 GHz- R/C- Anlage eingesetzt, sollte man sich gut überlegen, ob man parallel dazu eine autarke 2,4 GHz- Telemetrie einsetzt. Hier sind R/C- Anlagen mit integrierter Telemetrie deutlich zu bevorzugen, da der oben geschilderte Effekt hier nicht eintreten kann. Der „Telemetriesender“ ist normalerweise gleichzeitig der R/C- Empfänger und dieser kann nicht gleichzeitig senden und empfangen. Somit gibt es zwangsweise eine zeitliche Koordination der Sendungen von R/C und Telemetrie. Der Fall, dass die Telemetrie sendet, während der Empfänger etwas empfangen soll, tritt dort nicht auf. Wenn der Empfänger nicht auf Empfang ist, kann ich ihn auch nicht stören.

Die Kombination von 2.4 GHz- R/C und 433- oder 868 MHz- Telemetrie oder Vario (kommt bestimmt auch noch) ist eher unkritisch, ebenso die Kombination 35 / 40 MHz- R/C (soll es ja vereinzelt noch geben) und 2.4 GHz- Telemetrie.

Noch eine abschließende Bemerkung. Es wird sicher Einige geben, die jetzt sagen: „Bei mir funktioniert das problemlos“. Das ist schön und gut und wird wahrscheinlich auch in 99% der Fälle gut gehen. Für diejenigen, die vom verbleibenden Prozent betroffen sind, ist das allerdings nicht so richtig tröstlich. Daher ist eine solche Argumentation wenig hilfreich.

2.4 GHz- Videosysteme wurden hier nicht separat betrachtet. Es gelten aber die gleichen Überlegungen. Hinzu kommt, dass Videosysteme immer senden und das Problem dadurch noch verstärkt wird. Allerdings zeigt die Praxis, dass der parallele Betrieb von 2.4 GHz- Video und 2.4 GHz- R/C eh keinen Sinn macht, da die Videosysteme nicht mit FHSS-Systemen kooperieren können und kein gescheites Bild liefern. Diese Kombination sollte ebenfalls vermieden werden.

Der köllsche Jung sagt:	Et hätt noch immer jot jejange.
Murphy sagt:	Alles, was schief gehen kann, geht schief und alles, was nicht schief gehen kann, geht auch schief.

Ich halte mich vorsichtshalber lieber an Murphy: Das schützt vor Überraschungen.

Holm- und Rippenbruch
DAeC Bundeskommision Modellflug, Funkreferat
Frank Tofahrn