

Ulli Sommer °C



Inklusive 30 Minuten Praxis-Videos auf DVD:

- So optimieren Sie den Kamera-Blickwinkel
- FPV-Sender und Empfänger richtig einstellen und montieren
- Antennen für FPV selber bauen
- und vieles mehr.

FPV im Modellbau richtig betreiben

Videübertragung aus dem RC-Modell



INFO-PROGRAMM
gemäß
§14 JuSchG

FRANZIS

FPV im Modellbau richtig betreiben

Videübertragung aus dem RC-Modell

Ulli Sommer

FPV im Modellbau richtig betreiben

Videübertragung aus dem RC-Modell

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Hinweis: Alle Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag und der Autor sehen sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, dass sie weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen können. Für die Mitteilung etwaiger Fehler sind Verlag und Autor jederzeit dankbar. Internetadressen oder Versionsnummern stellen den bei Redaktionsschluss verfügbaren Informationsstand dar. Verlag und Autor übernehmen keinerlei Verantwortung oder Haftung für Veränderungen, die sich aus nicht von ihnen zu vertretenden Umständen ergeben. Evtl. beigefügte oder zum Download angebotene Dateien und Informationen dienen ausschließlich der nicht gewerblichen Nutzung. Eine gewerbliche Nutzung ist nur mit Zustimmung des Lizenzinhabers möglich.

© 2012 Franzis Verlag GmbH, 85540 Haar bei München

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträgern oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

Satz & Layout: DTP-Satz A. Kugge, München

art & design: www.ideehoch2.de

Druck: GGP Media GmbH, Pößneck

Printed in Germany

ISBN 978-3-645-65110-3

Vorwort

First Person View, kurz FPV, heißt die noch relativ junge Sparte des RC-Modellbaus. Es bezeichnet das Steuern eines RC-Modells – sei es ein Auto-, Boot- oder Flugmodell – aus der Perspektive des Piloten. In Deutschland ist auch der Begriff „Immersionsflug“ gängig. Im einfachsten Fall wird im Modell eine Funkkamera installiert, deren Bild in Echtzeit, also ohne Verzögerung, zum RC-Piloten übertragen wird. Der RC-Pilot betrachtet das Bild der Kamera entweder über einen Monitor oder über eine Videobrille. Dadurch wird der Modellpilot, der das Modell steuert, in die Position des Piloten im Modell versetzt. Es ist, als würde man sich selbst im Modell befinden. Das Erlebnis, z. B. in mehr als 200 m Höhe über den Modellflugplatz zu fliegen oder 3 cm über dem Asphalt mit dem Modellauto auf Erkundungsfahrt zu gehen, wird Sie so schnell nicht wieder loslassen. Dabei kann es vorkommen, dass Sie sich durch den realisti-

schen Eindruck mit in die Kurve legen, obwohl sie nur das Videobild vor Augen haben und eigentlich mit beiden Füßen am Boden stehen. Eine Grundvoraussetzung für dieses Hobby ist, dass Sie sich im RC-Modellbau bereits ein wenig auskennen, einen Lötkolben sicher beherrschen und Ihr Modell auf herkömmliche Weise bereits steuern können.

Was Sie für den Einstieg in das Thema FPV benötigen, welche technischen Möglichkeiten diese Sparte des Modellbaus bietet und was man alles selbst bauen kann, wird Ihnen dieses Buch vermitteln.

Mein Dank geht an Mario Scheel, der das erste Kapitel verfasst hat, und an Dieter Niegratschka, von dem Kapitel 10 stammt.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen, gutes Gelingen beim Bau Ihres eigenen FPV-Modells und einen guten Flug/eine gute Fahrt damit.

Ulli Sommer



(Bild: Thomas Riegler)

Inhalt

1	FPV – Grundlagen	9
1.1	Bedeutung und Entwicklung	9
1.2	Anwendungen	11
1.3	Anforderungen	12
1.4	Die Technik	12
1.5	Was benötigt man für den Einstieg?	15
1.6	Ergänzungen	16
2	Weitere Einsatzgebiete der FPV-Technik	17
3	Gesetzeslage	19
3.1	Wichtige Grundregeln	19
4	ISM-Frequenzen und Sendeleistung	21
5	Für FPV geeignete Modelle	23
6	Die FPV-Technik richtig verstehen	31
6.1	CCD-Kameras	31
6.2	CMOS-Kameras	33
6.3	Objektive	35
6.4	Videosender und -empfänger	39
6.5	Antennen und Funkwellenausbreitung	41
6.6	Antennenkabel	49
6.7	Diversity-Empfänger	50
6.8	Antennen-Tracker	51
6.9	Videobrillen und Monitore	54
6.10	OSD – alle Daten im Blick	55
6.11	Autopiloten und Flugstabilisierung	57
6.12	Pan/Tilt und Headtracker	59
6.13	Aufzeichnungsgeräte	61
6.14	Stromversorgung	65

7	Das erste FPV-Equipment für den Einstieg	67
7.1	Ausstattung Modell	67
7.2	Ausstattung Pilot/Bodenstation	67
8	Das erste Mal aus der Pilotensicht steuern	69
9	FPV-Equipment selbst zusammenstellen	71
9.1	Version 1	71
9.2	Version 2	73
9.3	Version 3	73
10	FPV-Scale-Cockpit	77
10.1	Hauptbestandteile des Cockpits	78
10.2	Die Elektronik des Cockpits	84
11	180°-Pan-Servo selbst bauen	87
12	5,8-GHz-Videosender und -empfänger im Eigenbau	91
13	Ein 5,8-GHz-Diversity-Empfänger für den Selbstbau	95
14	Antennen selbst bauen	103
14.1	Stecker und Adapter für hohe Frequenzen	103
14.2	Stabantenne mit Reflektor	107
14.3	Doppelquad-Antennen	110
14.4	Ring (Loop)	113
14.5	6-Turn-Helix-Antenne	116
14.6	Kleeblattantenne <i>Cloverleaf</i>	119
14.7	Halb- und Viertelwellenstrahler	123
15	Bezugsquellen	125

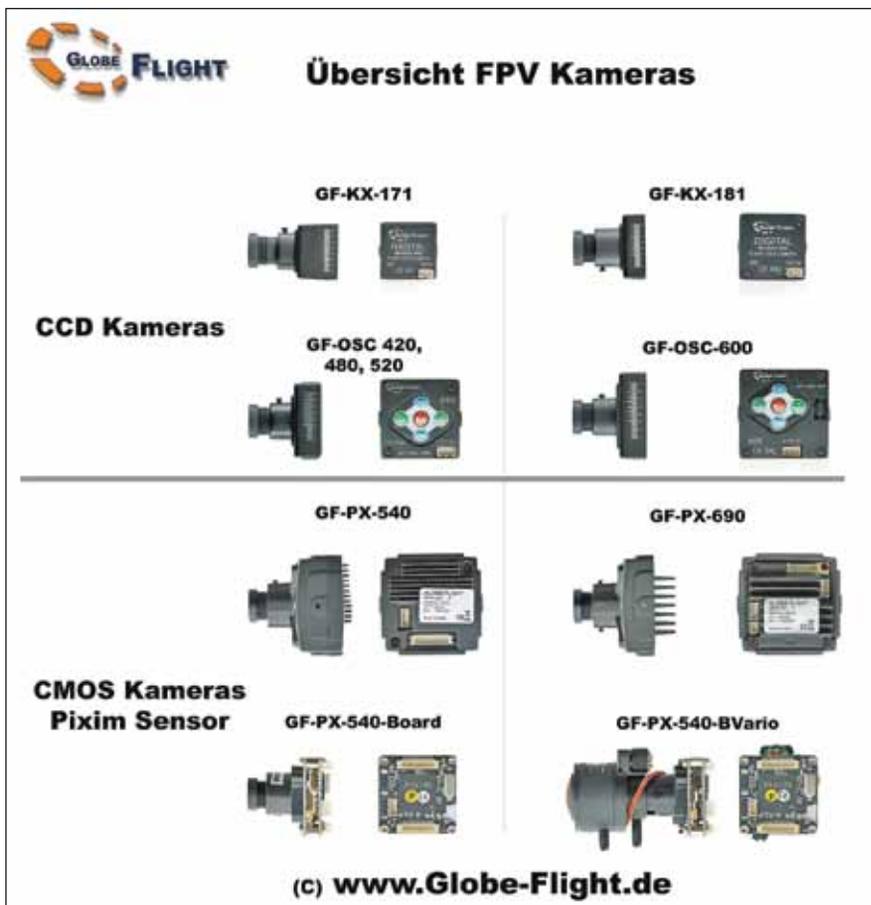
6 Die FPV-Technik richtig verstehen

Wie auf fast allen technischen Gebieten gibt es auch bei FPV viele Details und Fachbegriffe, die nicht jeder auf Anhieb versteht. In diesem Kapitel werden wir uns der FPV-Technik im Einzelnen widmen und die Komponenten und deren technische Daten und Funktion genauer beschreiben. Was muss bei der Wahl der Kamera beachtet werden, welcher Unterschied besteht zwischen CCD- und CMOS-Kamera und was ist ein Diversity-System? Dies und vieles mehr werden Sie auf den nächsten Seiten erfahren.

6.1 CCD-Kameras

Immer wieder liest man in den Datenblättern der Kameras von *CCD-* und *CMOS-Sensoren*. Bei dieser Angabe handelt es sich um den verwendeten Bildsensor, der, je nach Technologie (CCD oder CMOS), auf unterschiedliche Weise funktioniert.

Der CCD-Sensor wurde bereits in den 70er-Jahren von Willard Boyle und George E. Smith in den Bell Laboratories entwickelt. CCD (engl. charge coupled device – ladungsgekopp-

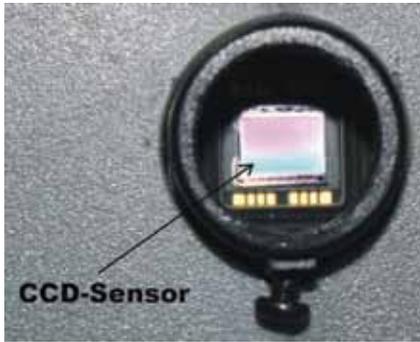


Eine Übersicht der verschiedenen CCD- und CMOS-Kameras der Firma Globe-Flight.

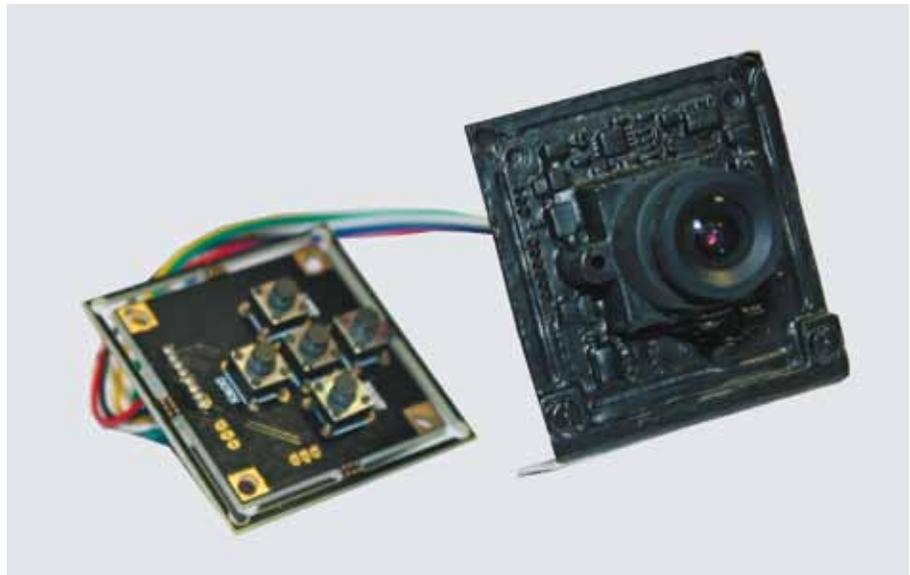


GF-PX690-CCD-Kamera der Firma Globe-Flight; diese Kamera ist derzeit die wohl beste Kamera, die für FPV erhältlich ist. Der neue SEEWOLF-Chip liefert brillante Bilder.

CCD-Kamera mit Blick auf den Sensor, der große CCD-Bildsensor ist deutlich zu erkennen.



Sony CCD-Kamera-modul mit 600 TVL und abgesetzter Bedieneinheit, wie Sie bei diversen Online-Versendern erhältlich ist; die Kamera wurde zum Schutz der Elektronik mit PLASTI-DIP versiegelt.



peltes Bauteil, einem Kondensator ähnlich) wurde ursprünglich als Speichermedium entwickelt. Als man entdeckte, dass diese Zellen sehr lichtempfindlich sind, wurde 1970 der erste CCD-Fotosensor konstruiert.

In CCD-Kameras befindet sich ein zweidimensionales Array lichtempfindlicher Fotodioden. Je größer die Fläche der einzelnen Pixel ist, desto lichtempfindlicher ist unsere Kamera. Mit zunehmender Auflösung und großer Pixelfläche wächst proportional auch die Gesamtgröße des Sensors. Man findet in den Datenblättern immer die Größe des Sensors wie z. B. 1/3-Zoll- oder 1/4-Zoll-CCD-Sensor. Je größer dieser ist, desto besser ist seine Lichtempfindlichkeit. 1/3 Zoll ist die Größe, die derzeit die meisten CCD-Kameras im Consumer-Bereich besitzen. Ein weiterer Unterschied zwischen CCD- und CMOS-Kameras ist, dass die CCD-Sensoren immer gleichzeitig belichtet und ausgewertet werden. So erhält man ein farblich sehr natürliches Bild. Der Nachteil für FPV ist dabei aber, dass es bei direkter Sonneneinstrahlung auf den Sensor zu einem überbelichteten Bild kommt,

was zu weißen Streifen führt, auch als *Blooming* bekannt.

An einem sonnigen Tag sieht man entweder den Himmel oder den Boden richtig belichtet, nie aber beide zur selben Zeit. Diesen Nachteil können nur Kameras mit einem hohen Dynamikbereich von über 100 dB und schnellem Helligkeitsabgleich kompensieren. Bei diesen Kameras ist meist die Zusatzbezeichnung *WDR* (Wide Dynamic Range) genannt. Kameras aus dem Baumarkt oder aus der Überwachungstechnik im unteren Preissegment besitzen meist unter 50 dB und sind nicht ideal für FPV. Mit solch einer Kamera bei strahlendem Sonnenschein zu fliegen, macht nicht viel Freude. Für Anwendungen in fahrenden Modellen, wo die Kamera nicht direkt in die Sonne blickt, kann sie jedoch problemlos verwendet werden. Durch ihren günstigen Preis ist sie hier ein guter Einstieg.

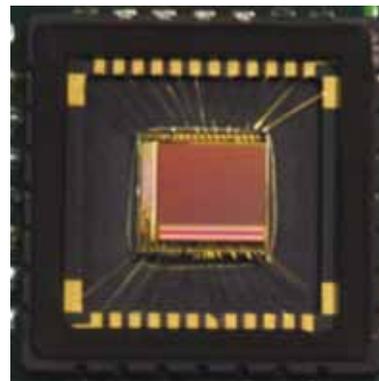
6.2 CMOS-Kameras

CMOS-Sensoren sind aktive Halbleiter, bei denen jedes einzelne Pixel einen eigenen Verstärker besitzt. Dies hat gegenüber dem CCD-Sensor einen gravierenden Vorteil: Sie können große Hell-Dunkel-Unterschiede für jedes einzelne Pixel getrennt anpassen und so den Himmel und den Boden immer richtig

belichten. Das Problem mit einem überbelichteten Himmel und einem zu dunklen Boden besteht hier nicht. Somit muss auch der Signal-Rauschabsand nicht so groß wie bei einer CCD-Kamera sein, um ein klares und richtig belichtetes Bild zu erhalten. Der Nachteil ist aber, dass die Bilder nicht so natürlich wirken wie bei einer CCD-Kamera, sondern mehr wie ein HDR(High Dynamic Range)-Bild. Das sieht dann bisweilen sehr künstlich und unnatürlich aus.

Bei einer CMOS-Kamera werden die Pixel nicht wie beim CCD-Sensor alle gleichzeitig belichtet und ausgewertet, sondern Pixel für Pixel nacheinander. Durch die serielle Bearbeitung ist diese Kamera nicht so schnell in der Bildverarbeitung wie eine CCD.

Dadurch entstehen bei einem drehenden Propeller im Kamerabild Schlieren, und der Propeller ist im Bild immer wie eine Sichel



Blick auf einen CMOS-Sensor: Die dünnen Drähte stellen die Verbindung zwischen Gehäuse und Sensor her und werden als Bond bezeichnet.

zu erkennen. Auch gegen Vibrationen sind CMOS-Kameras deutlich empfindlicher als ihre CCD-Brüder. Bei einem Hubschrauber oder RC-Car kann es zu einem schwammigen

Bild kommen, weil diese Modelle sehr hohe Vibrationen aufweisen. Die Kamera muss immer gut gedämpft montiert werden, um diesen Effekt zu vermeiden.

Englische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung	Beschreibung
TV-System	PAL/NTSC	In Deutschland und einem Großteil der EU wird PAL verwendet.
Minimum Illumination	Lux (Lichtempfindlichkeit)	Je kleiner der Wert, desto lichtempfindlicher ist die Kamera. Will man auch bei Dämmerung damit arbeiten, liegt der Richtwert $<0,1$ Lux. CMOS-Kameras sind nicht so lichtempfindlich wie die CCD-Kameras.
TV-Lines	Anzahl der Zeilen	Mindestens 420, das entspricht einer Auflösung von 640×480 Pixeln, die auch die meisten Videobrillen bieten. Nach oben sind hier keine Nachteile zu verzeichnen.
White Balance	Weißabgleich	Meist automatisch; bei manchen kann man den Abgleich manuell durchführen, was bei schwierigen Lichtverhältnissen ein großer Vorteil ist. Beide Systeme sind verwendbar.
S/N Ratio	Signal-Rauschverhältnis	CCD: Für Flugmodell besser >100 dB, bei Autos und Booten kann man auch mit etwa 50 dB arbeiten. CMOS: Hier reichen Werte von 50 dB aus.
Video Out	Videosignalausgang	Es muss ein Composite-Signal mit 1 Vss (Spitze Spitze) an 75 Ohm sein. Dieser Wert ist genormt und die meisten Hersteller halten sich daran.
Power	Stromversorgung	Die meisten Kameras arbeiten von 5–12 V DC (Gleichspannung) und können über einen separaten 7,4–11,1-V-Lithium-Polymer-Akku problemlos versorgt werden.
Weight	Gewicht	Je nach Modell so gering wie möglich; typische Werte sind 30–100 g. Es gibt auch CMOS Kameras mit weniger als 5 g.

Tabelle: Richtwerte für die Auswahl einer geeigneten Kamera.

Fazit

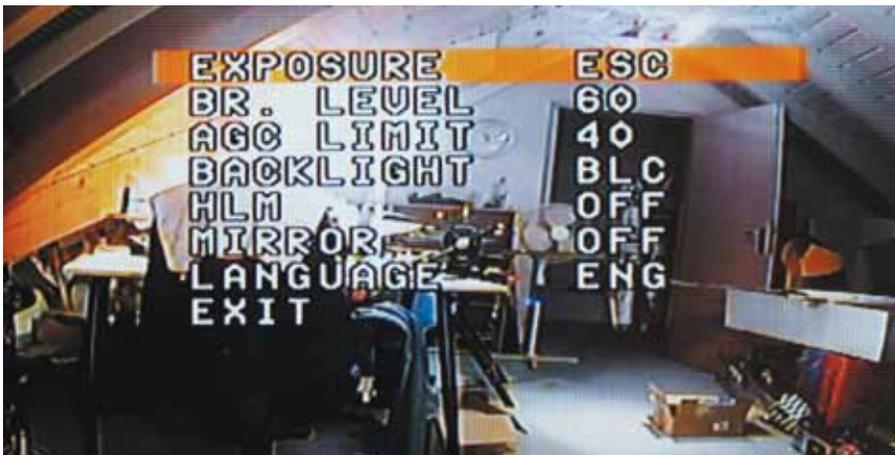
Für den ersten Einstieg ist die preislich günstigere CMOS-Variante zu empfehlen, die dank modernster Technik ein akzeptables Bild liefert. Für farblich natürlichere und klarere Bilder und den schnelleren Helligkeitsausgleich sorgt die CCD-Kamera, die auch preislich deutlich höher liegt. Letztendlich muss jeder selbst entscheiden, welche Kamera für ihn geeignet ist.

Kameras, bei denen sich Parameter wie Weißabgleich, Belichtung, Farbe etc. manuell über ein OSD (engl. On Screen Display) einstellen lassen, kann man gut an die gegebenen Lichtverhältnisse anpassen.

Vor- und Nachteile:

CCD

- + Sehr gute und klare Bildwiedergabe
- + Ohne besondere Spannungswandlertechnik an einen 11,1-V-LiPo-Akku anzuschließen
- + Scheller Helligkeitsabgleich
- + Gute Nachtsichteigenschaften
- Blooming (weiße Streifen bei direktem Blick in die Sonne)



Die Einstellungen bei einer CDD-Kamera der Mittelklasse können direkt über das Bildschirmmenü der Kamera erfolgen.

- Höherer Stromverbrauch als C-MOS-Kameras
- Etwas schwerer als C-MOS-Kameras
- Teurer als C-MOS-Kameras

C-MOS

- + Preislich sehr günstig
- + geringer Stromverbrauch
- + Sehr leicht (<5 g)
- + Keine Probleme bei hellen Lichtverhältnissen
- Spannungswandler erforderlich, da die meisten 5 V benötigen
- Kein gutes Bild bei Dämmerung
- Verzerrung bei Vibrationen
- Bild wirkt künstlich

6.3 Objektive

Das Objektiv ist maßgeblich für das Blickfeld und die Qualität des Bildes entscheidend. Bei FPV wollen wir das menschliche Blickfeld mit der Kamera nachempfinden. Ein Teleobjektiv wäre hier absolut ungeeignet, weil es nur ein Blickfeld von weniger als 20° hat. Man benötigt für FPV Glasobjektive mit einem



Eine kleine Auswahl verschiedener Objektive mit unterschiedlichen Brennweiten.

Blickwinkel, oft auch als FOV (engl. Field Of View) bezeichnet, von 65° bis 90° . Bei einem 1/3-Zoll-CCD-Sensor und einem Objektiv mit einer Brennweite von 3,6 mm erhält man ein Blickfeld von ungefähr 65° .



Objektiv mit Magnethalterung: An die Kamera wird ein kleiner Metallring geklebt und die Linse besitzt einen Magneten, der das Objektiv auf der Kamera hält. Die Linsen sind ideal, um kleine Camcorder mit einem Weitwinkelobjektiv nachzurüsten.

Da sich das Blickfeld aus der Brennweite F (Angabe in Millimeter) und der Blende ergibt, geben die meisten Hersteller den Öffnungswinkel mit an oder stellen eine Tabelle dafür bereit. Man kann nämlich nicht sagen, dass ein 3,6-mm-Objektiv bei einem Kameramodell genau das gleiche Blickfeld bietet wie bei einem anderen Modell. Die einzige ableitbare

Aussage ist, dass ein 3,6-mm-Objektiv ein größeres Blickfeld liefert als ein 6-mm-Objektiv. Als Alternative zu den fixen Objektiven gibt es auch noch sogenannte *Varioobjektive*, die sich in der Brennweite und somit im Öffnungswinkel variieren lassen. Man sollte aber den Blickwinkel nicht zu groß wählen, weil sich sonst das Bild wie eine Art Kugel verformt. Man nennt solche Objektive mit einem Blickwinkel $>120^\circ$ auch *Fischaugenobjektiv* (engl. Fisheye lens). In der Praxis hat sich ein Blickfeld von ca. 90° als ideal herauskristallisiert.



Hier sind Magnet und Metallring gut zu erkennen.



Schon ist der Camcorder (Sony Bloggy) mit einem Weitwinkelobjektiv ausgestattet.

Hinweis

Wer sich näher mit der Brennweite von Objektiven beschäftigen möchte, findet im Internet detaillierte Angaben und Erklärungen: <http://de.wikipedia.org/wiki/Brennweite>



Das daraus resultierende Bild besitzt ein deutlich größeres Blickfeld, als es ohne solch ein Objektiv der Fall wäre. Viele (HD-)Camcorder besitzen einen Videoausgang, der das aktuelle Bild für unseren Videosender bereitstellt. So kann man das Livebild zur gleichen Zeit sehen und auch aufzeichnen.



Auch in fahrenden Modellen macht sich ein größerer Öffnungswinkel positiv bemerkbar.

Aufnahme mit Standardobjektiv, Brennweite 6 mm. Das Sichtfeld ist relativ klein, Wackler durch Windböen und Vibrationen vom Modell werden hier wesentlich deutlicher sichtbar und wirken sich störend aus.



Aufnahmen mit Weitwinkelobjektiv, Brennweite 3,6 mm: Dieses Sichtfeld sollte mindestens angestrebt werden, um FPV richtig genießen zu können.





Aufnahme mit einem Weitwinkelobjektiv mit einem Blickfeld von 120° . Hier wird deutlich, wie das Bild mit zunehmendem Öffnungswinkel langsam kugelförmig wird. Wird das Blickfeld noch weiter erhöht, wird es deutlich schwieriger, die Lage und die Entfernung einzuschätzen.

6.4 Videosender und -empfänger

Zur Übermittlung des Videosignals sind zwei ISM-Frequenzbänder für jedermann freigegeben (2,4 GHz und 5,8 GHz). Da moderne RC-Anlagen zur Steuerung des Modells aber auch auf 2,4 GHz senden, kann man diese Frequenz in Verbindung eines 2,4-GHz-Videosenders nicht nutzen. Hier muss man entweder auf 5,8 GHz senden, was durch die hohe Frequenz eine geringere Reichweite besitzt, oder man verwendet einen 2,4-GHz-Videosender in Verbindung mit einer 35-MHz-RC-Anlage. Diese Kombination ist oft anzutreffen, weil die Reichweite trotz der geringeren Leistung höher und auch störungsempfindlicher gegen Abschattungen ist. Bei 5,8 GHz reicht in der Regel schon erhöhte Luftfeuchtigkeit oder z. B. ein Busch aus, um das Signal zu schwächen. Man nennt das auch

Signalabschattung. Sie erzeugt im harmlosen Fall nur kurz ein etwas verrauschtes Bild, bis das Modell wieder freie Sicht zum Empfänger hat, bis hin zur kompletten Unterbrechung der Funkverbindung.

Man sollte immer bedenken, dass sich die Funkwellen bereits bei einer Frequenz von 2,4 GHz ähnlich wie Licht ausbreiten. Je höher die Frequenz wird, desto mehr prägt sich dieser Effekt aus. Wenn man ein Blatt Papier vor eine Lichtquelle hält, wird die Helligkeit stark gedämpft – genauso verhalten sich die Funkwellen auch.

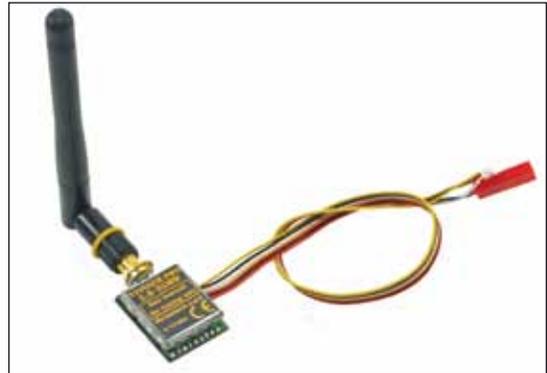
Die Stromversorgung wird bequem über einen BEC-Stecker realisiert. Durch die offenen Kabelenden kann der Sender an jeder beliebigen Kamera angeschlossen werden.

Da die Sender die in Deutschland erhältlich und zugelassen sind, bedarf es hier keiner besonderen Aufmerksamkeit, was die technischen Daten angeht. Hier sollte man nur einen



2,4-GHz-Videosender der Firma Immersion RC. (Bild: Globe-Flight)

gezielten Blick auf die Spannungsversorgung, das Gewicht und die Baugröße werfen.



Sehr kleiner und leichter 5,8-GHz-Videosender der Firma Iftrontech. (Bild: Globe-Flight)

Anders sieht es bei den Empfängern aus. Hier ist auf die Empfindlichkeit zu achten. Die meisten erhältlichen 2,4-GHz-Empfänger haben eine Empfindlichkeit von ca. -90 dBm. Bei den 5,8-GHz-Empfängern liegt die Empfindlichkeit meist bei ca. -85 dBm. Je höher dieser Wert ist, desto empfindlicher ist der Empfänger.

Hinweis

Die Angabe *dBm* gibt den logarithmischen Pegel/die Signalgröße in Mikrovolt (μV) an, den der Empfänger gerade noch empfangen kann. Ein Empfänger mit -90 dBm wäre deutlich empfindlicher (empfangsstärker) als ein Empfänger mit -85 dBm.

Einige Angaben werden bei den meisten Empfängern leider nicht angegeben. So ist die Empfangsleistung nicht nur von der Empfindlichkeit, sondern von diversen anderen Faktoren wie der Rauschzahl, der Bandbreite des Empfängereingangs und dem Signal-Rausch-Verhältnis abhängig. Hier muss man sich vor dem Kauf auf Testberichte verlassen, wie sie



Manche Hersteller bieten auch fertig konfektionierte Kamera-Sender-Lösungen an. Für die Leser mit wenig oder gar keiner Erfahrung beim Löten ist das die beste Möglichkeit, in das Hobby FPV einzusteigen. (Bild: Globe-Flight)



Leistungsstarke Diversity-Empfänger sind den Einfachempfängern deutlich überlegen. Durch zwei getrennte Empfangseinheiten in einem Gerät ist ein störungsarmes Bild garantiert. (Bild: Thomas Riegler)

bei Globe-Flight, in Foren und in der FPV-Fachzeitschrift *RC-Flight-Control* zu finden sind. Diese testen regelmäßig das aktuell auf dem Markt befindliche FPV-Equipment.

6.5 Antennen und Funkwellenausbreitung

Sie haben nun schon einiges über Sender und Empfänger erfahren. Aber der beste Empfänger ist nichts ohne eine gute Antenne. Sie ist der beste Hochfrequenzverstärker, um die Reichweite zu erhöhen. Hier ist ausschließlich von Empfangsantennen die Rede, weil

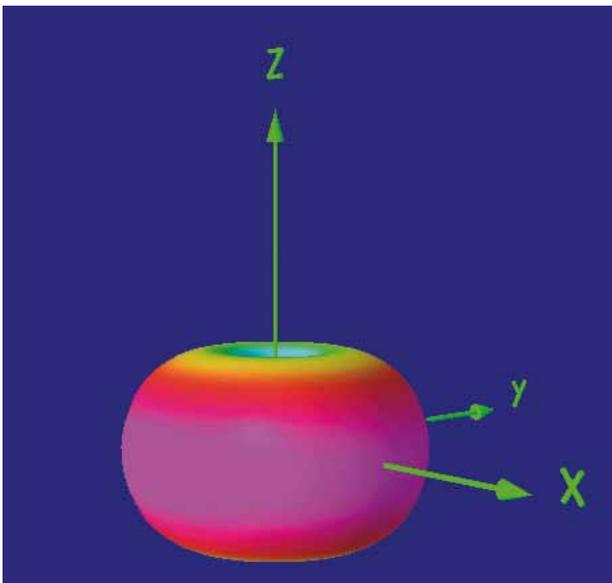
man nur auf der Empfängerseite Modifikationen durchführen darf. Senderseitig dürfen keine Änderungen vorgenommen werden, weil man mit den gesetzlichen Bestimmungen in Konflikt geriete.

Da das Thema Antennentechnik komplex und nicht jeder Leser ein Fachmann ist, werden die meisten physikalischen Eigenschaften so einfach wie möglich erklärt.

Den meisten Empfängern liegt bei Auslieferung eine kleine Stabantenne mit einer Gummi- oder PVC-Ummantelung bei (auch „Gummiwurst“ genannt). Bei diesem Antennentyp handelt es sich um einen Rundstrahler (omnidirektionale Antenne), die die Funkwellen



Die einfache 5,8-GHz-Stabantenne und Ihr Innenleben; viel ist unter der Hülle nicht versteckt, es reicht aber für Entfernungen bis ca. 200 m aus.



So kann man sich plastisch die annähernd kugelförmige Empfangskeule einer Stabantenne vorstellen. Die rötlichen Teile stellen das Empfangsmaximum dar. (Erstellt mit EZNEC)

annähernd kugelförmig empfängt und einen Gewinn von 0 dBd (2,15 dBi) aufweist.

6.5.1 Richtantennen

Grundsätzlich handelt es sich bei Antennen mit einem Gewinn $> 2,15$ dBi um Richtantennen oder gestockte Antennensysteme sowie spezielle Sonderformen. Gegenüber einem

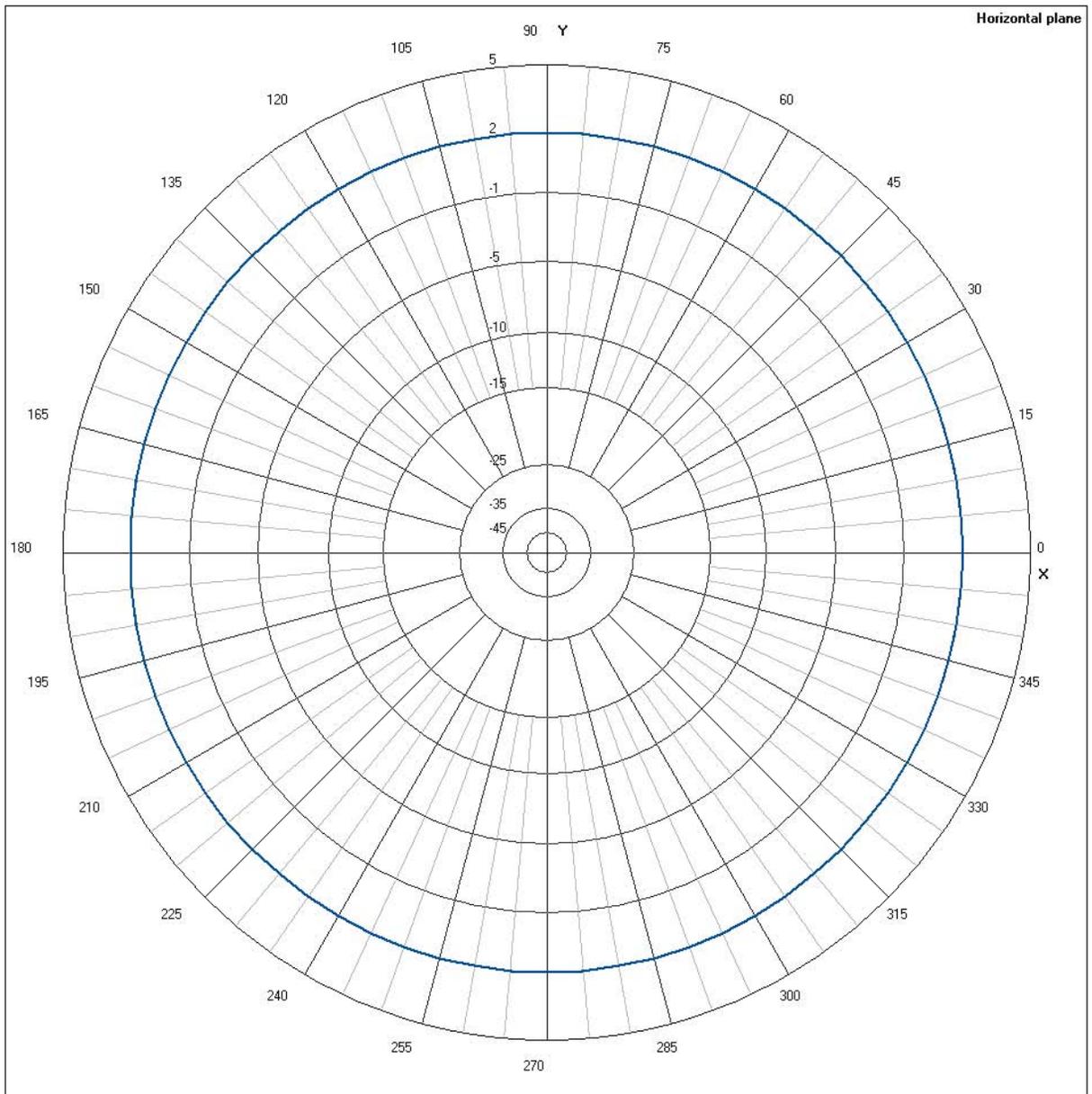
Bezugsrundstrahler wie einem Dipol oder einem Isotropstrahler (Kugelstrahler) erzielen sie einen Gewinn in eine bestimmte Richtung.



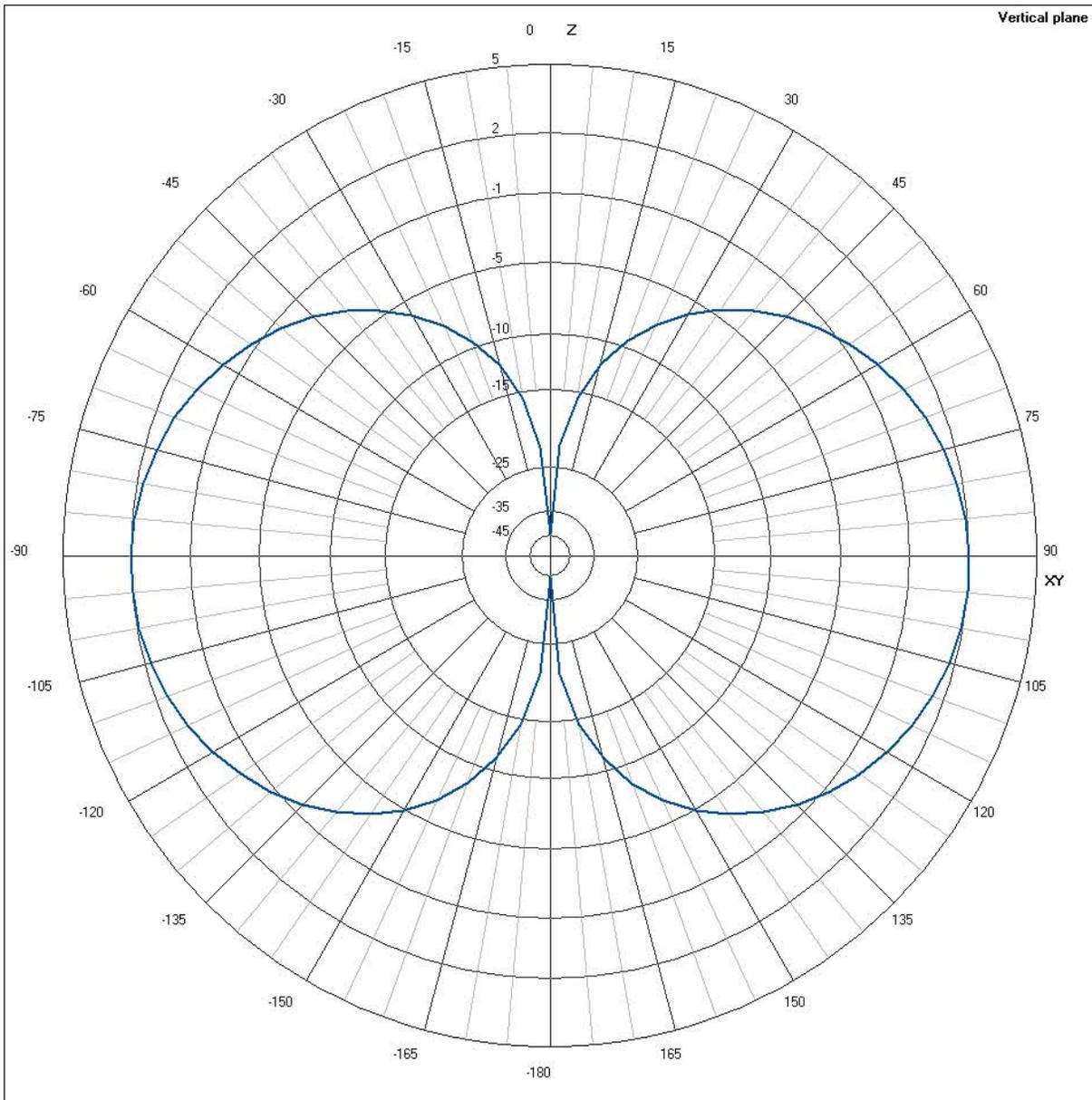
Flachantennen bieten bei kompakten Abmessungen einen sehr guten Gewinn. Diese 5,8-GHz-Flachantenne der Firma Globe-Flight bringt einen Gewinn von 8 dBi.

Das Prinzip einer Richtantenne ist, dass sie die Funkwellen in einer bestimmten Ebene (horizontal, vertikal oder beide) wie eine optische Linse bündelt. Dadurch erreicht man einen Gewinn in eine bestimmte Vorzugsrichtung, was zur Folge hat, dass die Reichweite deutlich erhöht wird und Störungen aus anderen Richtungen ausgeblendet werden.

In alle anderen Richtungen außerhalb der Hauptstrahlrichtung wird das Signal mäßig bis stark gedämpft. Man kann bei den meisten Antennen davon ausgehen, dass, je höher der Gewinn, desto kleiner der Öffnungswinkel der Antenne wird. (Der *Öffnungswinkel* ist der Bereich, in dem eine „Verstärkung“ erzielt wird.) Der Gewinn einer Antenne wird in Dezibel (einem logarithmischen Faktor) angegeben. Der Gewinn wird immer auf eine Ver-

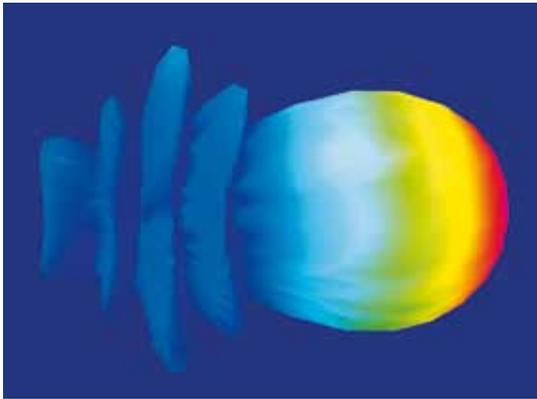


Das Bild zeigt den horizontalen Öffnungswinkel der Stabantenne. Die Rundstrahlcharakteristik in der horizontalen Ebene ist deutlich zu erkennen. Dieses Diagramm kann man so verstehen, als ob man sich mit Blick nach vorn auf einem Punkt im Kreis drehen würde. Die Antenne hat somit einen Erfassungsbereich von 360° horizontal.



Hier sieht man den vertikalen Öffnungswinkel der Stabantenne. Eine allzu deutliche Rundstahlcharakteristik ist nicht mehr zu erkennen. Wenn man mit solch einer Antenne über sich selbst hinwegfliegt, wird man höchstwahrscheinlich Bildstörungen verzeichnen, da hier das Minimum der Antenne liegt.

gleichsantenne wie einen Isotropstrahler (dBi) oder einen Dipol (dBd) bezogen.



Hier ist das Antennendiagramm einer Richtantenne zu sehen. Man sieht deutlich die bevorzugte Richtung. Alle Richtungen außer der Hauptstrahlrichtung werden stark gedämpft. Eine solche Antenne muss immer auf den Sender ausgerichtet sein, in unserem Fall auf das Modell.

- 3 dB = Faktor 2
- 6 dB = Faktor 4
- 10 dB = Faktor 10
- 20 dB = Faktor 100
- 30 dB = Faktor 1.000

6.5.2 dBi und dBd

Meist findet man die Angabe dBi in den Datenblättern der Antennen. Die „dB“-Angabe ist eine logarithmische Einheit, die den Antennengewinn angibt. Das „i“ dahinter steht für *Isotropstrahler*, der ein idealer Rundstrahler ist, den es eigentlich nur in der Mathematik

gibt. Hier wurde also als Referenzantenne ein Isotropstrahler verwendet der eigentlich einen Verlust von 2,15 dB gegenüber einem realen $\frac{1}{2}$ -Lambda-Dipol aufweist. Eine Antenne mit einer trickreichen Angabe von 2,15 dBi hat eigentlich einen Gewinn von 0 dBd. Auf diese Weise werden Antennendaten mitunter geschönt. Um Antennen vergleichen zu können, muss man sie auf eine Einheit bringen. Vermehrt ist aber die Angabe „dBi“ anzutreffen. Um einen Antennengewinn in dBi mit einer dB- oder dBd-Angabe vergleichen zu können, müssen 2,15 dB hinzuaddiert werden.

Beispiel

Die Antenne (A) besitzt einen Gewinn von 8 dBi, Antenne (B) einen Gewinn von 6 dBd. Umgerechnet auf die Angabe *dBi* besitzt die Antenne (B) also einen Gewinn von 8,15 dBi.

Hier sollte man sich nicht täuschen lassen und immer darauf achten, auf welche Antenne die Angaben bezogen sind.

6.5.3 Wellenlänge Lambda

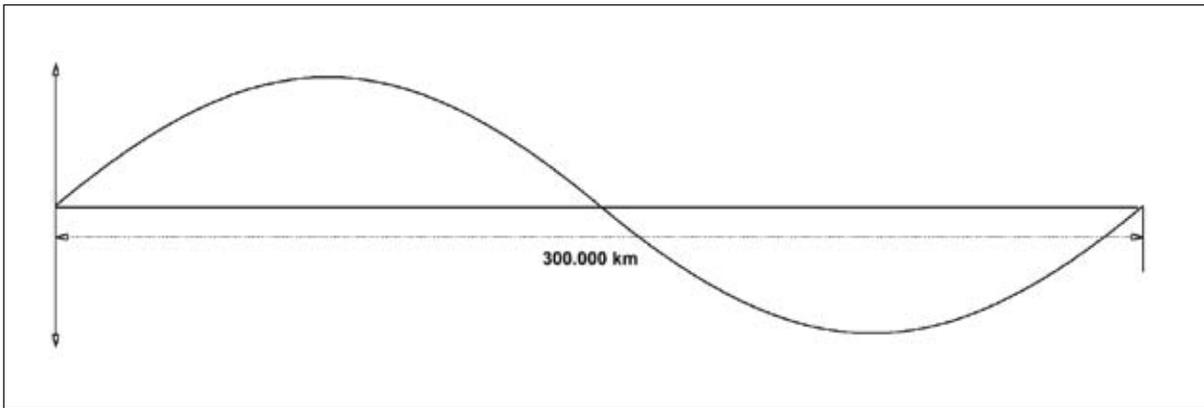
Lambda gibt die Wellenlänge an, die die Funkfrequenz besitzt, und wird in Meter, Zentimeter oder Millimeter angegeben. Hätte z. B. eine Welle eine Frequenz von 1 Hz, wäre der Anfang der Welle 300.000 km entfernt – sofern das Ende gerade abgestrahlt wird. Diese Entfernung nennt man *Wellenlänge Lambda*. Im folgenden Beispiel wird die Wellenlänge für 2,4 GHz berechnet.

$$\text{Wellenlänge} = \text{Lichtgeschwindigkeit (m/s)} / \text{Frequenz (Hz)}$$

$$0,1249 \text{ m (12,49 cm)} = 299.792.458 / 248$$

Eine Wellenlänge beträgt also 12,49 cm für 2,4 GHz.

$$\text{Vereinfacht: Wellenlänge in Meter} = 300 / \text{Frequenz in MHz}$$



Eine Wellenlänge mit 1 Hz

Dieses Wissen ist maßgeblich, will man Antennen selbst bauen. Jede Antenne wird in Verbindung mit der Wellenlänge berechnet, weil diese nur bezogen auf 1 Lambda oder einen Teil davon ($1/2$ Lambda, $1/4$ Lambda, etc.) in Resonanz schwingt und arbeitet.

Hinweis

Die Funkwelle breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Innerhalb eines Leiters ist sie etwas geringer. Zur Berechnung eines Dipols wird noch ein Verkürzungsfaktor mit einbezogen, der sich auf das Material bezieht, aus dem die Antenne besteht. Er liegt bei ca. bis 0,6 bis 0,95.

Wählt man eine willkürliche Drahtlänge für eine Antenne aus, ist dieser Draht zwar auf irgendeiner Frequenz in Resonanz, aber höchstwahrscheinlich nicht auf der gewünschten. Es nützt also nichts, einfach ein möglichst langes Stück Draht an den Empfänger zu basteln und zu hoffen, dass sich der Empfang dadurch verbessert. Eine Antenne muss immer in Resonanz auf der erforderlichen Frequenz schwingen.

Auch wenn hier nur die Empfangsantenne besprochen wird, besteht kein Unterschied

zur Sendeantenne. Eine schlecht abgestimmte Antenne funktioniert in der Regel immer noch gut als Empfangsantenne. Sie ist aber wegen einer Fehlanpassung als Sendeantenne nicht zu gebrauchen und würde im schlimmsten Fall den Sender beschädigen.

Wie man einfache Antennen für den FPV-Einsatz baut und wie man sie berechnet, wird später noch beschrieben.

6.5.4 Polarisierung

Ein weiteres Kriterium für guten Empfang einer Antenne ist die Polarisierung. Hier gibt es die vertikale, die horizontale und die zirkulare Polarisierung. Für FPV wird aus Montagegründen meist eine vertikale Polarisierung gewählt. Die Antenne steht also auf dem Modell.

Um maximalen Gewinn zu erzielen, müssen beide Antennen (Sender und Empfänger) mit der gleichen Polarisierung betrieben werden. Beim Modellflug kommt es oft vor, dass das Modell nicht immer zu 100 % in der gleichen Polarisierungsebene wie die Bodenstation ist. Führt man einen starken Sink- oder Steigflug durch oder neigt das Modell zur Seite, steht die Antenne nicht mehr direkt vertikal, sondern um einige Grad versetzt zur Empfangs-

antenne. Dadurch kann es zu starkem Fading (schwankende Empfangsfeldstärke) kommen, das sich durch ein zeitweise verrauschtes Bild bemerkbar macht.



Diese Antenne wurde vertikal polarisiert am Empfänger angebracht.



Diese Antenne wurde horizontal polarisiert am Empfänger angebracht.

6.5.5 Antennenstandort

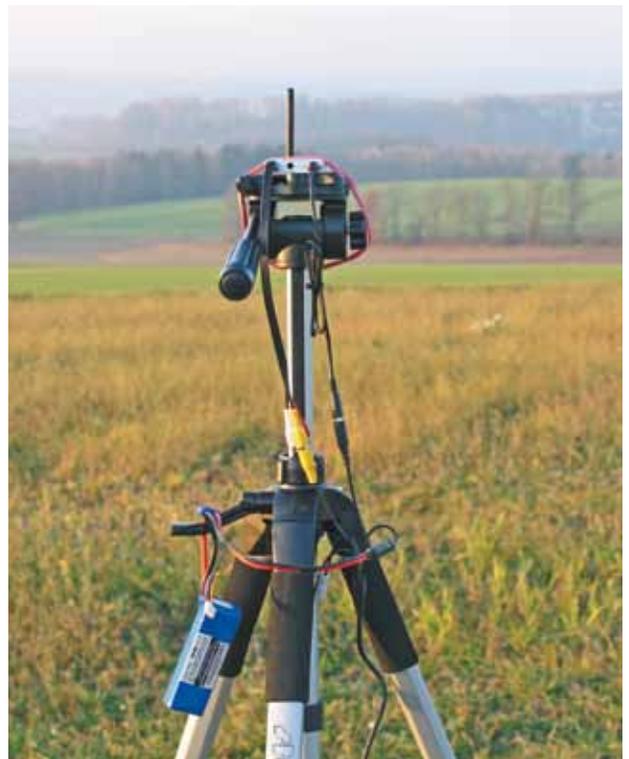
Damit die Antenne den gewünschten Gewinn erzielt, muss sie hoch und frei von Abschattungen (Metallstange, Metallzäunen, Aluminiumkoffer usw.) aufgebaut werden.

Ein großer Fehler ist, die Antenne in der Nähe eines Sicherheitszauns aufzubauen, wie er auf Modellflugplätzen vorhanden ist, und dann über diesen hinwegzufliegen. Der Zaun wirkt wie ein faradayscher Käfig und die Funkver-

bindung reißt durch die hohe Abschirmung abrupt ab. Dies trifft nicht nur für die Videoverbindung zu, sondern gilt auch für die 2,4-GHz-RC-Anlagen und führt meist zum Verlust des Modells. Bei 35-MHz-RC-Anlagen wirkt sich der Zaun extrem kritisch aus.

Schlecht ist auch, die Antenne zu niedrig aufzubauen, sodass sie vom Piloten selbst oder von Zuschauern verdeckt werden kann. Jedes Hindernis, das die Antenne teilweise oder sogar ganz verdeckt, minimiert die Reichweite drastisch.

Um die Antenne inklusive Empfänger ausreichend hoch aufzubauen, haben sich Foto- oder Lautsprecherstative als praxistauglich bewährt.

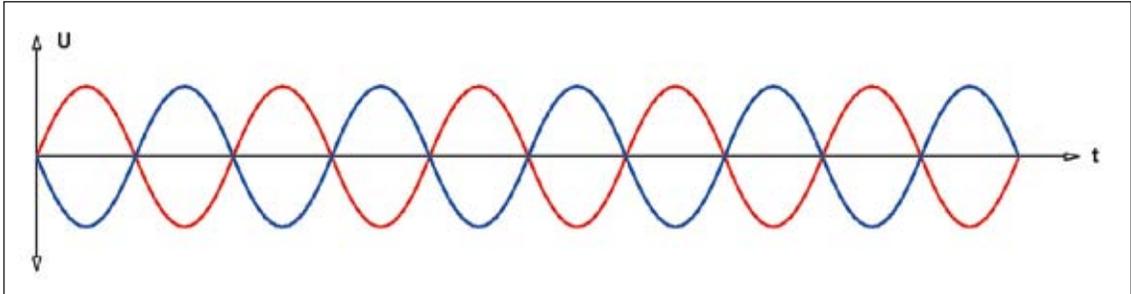


Der Empfänger wird oben am Stativ befestigt. Für Versuche lässt er sich auch mit einem einfachen Gummiring fixieren.

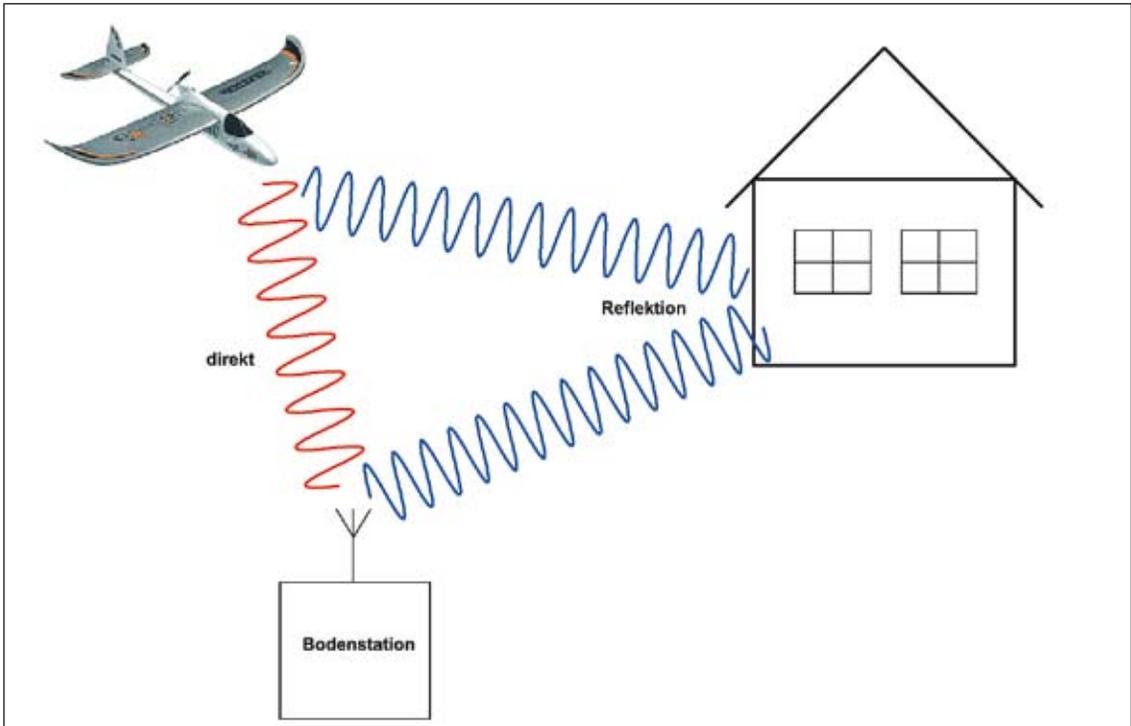
6.5.6 Mehrwegausbreitung

Nun wird es etwas komplizierter, denn unter *Mehrwegausbreitung* versteht man den Empfang des eigenen Funksignals über verschiedene Ausbreitungswege. Wird das Funksignal an einem Hindernis reflektiert (Gebäude, Bäume, Sträucher, Wasser in beliebigem Aggregatzustand, der Boden selbst etc.) kann es vor-

kommen, dass die Funkwellen auf mehreren Wegen zu unterschiedlichen Zeiten und in unterschiedlicher Phasenlage zum Empfänger gelangen. Durch die verschiedenen Laufzeiten entsteht eine Phasenverschiebung, die dazu führt, dass sich die Funkwellen teils und sogar ganz auslöschen, wenn die beiden Funkwellen gegenphasig (um 180° gedreht) am Empfän-



Die beiden Wellen sind zueinander um 180° versetzt und würden sich zu 100 % auslöschen.



Die Skizze veranschaulicht die Mehrwegausbreitung anhand einer Reflexion an einem Gebäude. Die blaue Welle legt einen deutlich längeren Weg zurück.

gereingang anstehen. Das Resultat ist ein ver- rauschtes oder gar kein Bild. Dieser Effekt wird auch als *Fading* bezeichnet.

In einem anderen Fall treffen die beiden Funk- wellen gleich stark und mit gleicher Phasen- lage am Empfänger ein und das Signal steigt um 3 dB an.

Das Videosignal der Kamera wird zudem in FM (Frequenzmodulation) übertragen. Bei FM wird, wie der Name schon verrät, die Frequenz mit der Modulation verändert – mal zur höhe- ren und mal zur niedrigeren Frequenz hin. Ein weiterer interessanter Effekt ist hier, dass man im ungünstigen Fall das Signal zweimal gleich stark über zwei Ausbreitungswege empfängt – nur mit dem Unterschied, dass beide Signale zu unterschiedlichen Zeiten am Empfänger anstehen (einmal direkt und einmal über ein Hindernis). So könnte sich ein Signal in einer tieferen Modulationsfrequenz, und das andere Signal in einer höheren befinden. Beide Signale würden sich dann überlagern. Es entstünde ein gestörtes Bild, weil die Modulation durch diesen Effekt stark verzerrt würde.

Um dieses Phänomen zu minimieren, sollte die Antennenkeule nie auf den Boden oder auf irgendeine Art von Hindernis zeigen. Richtan- tennen wie eine 8-dBi-Patch oder eine 6-Turn- Helixantenne, kann man „Pi mal Daumen“ auf mindestens 35° nach oben anstellen, um der Boden-Reflexion vorzubeugen. Weitere Abhilfe schafft ein Diversity-System, das später noch beschrieben wird.

6.6 Antennenkabel

Lange und ungeeignete Kabel wie das bekannte und weitverbreitete RG-58-Kabel sind für die Frequenzbereiche von 2,4 GHz und

5,8 GHz gänzlich ungeeignet. Es müssen Kabel verwendet werden, die eine geringe Dämpfung und eine hohe Schirmdichte besitzen, um Ver- lusten und Störungen vorzubeugen, wie z. B. ECOFLEX 10, H-155 oder AIRZELL 5. Diese Kabel kann man für 2,4 GHz und 5,8 GHz auch für längere Stecken bis zu 5 m benutzen. Kabel wie das RG-58 oder das RG-174 können zum Bau von Antennen benutzt werden. Hier sollte man aber auf keinen Fall mehr Kabel verwen- den, als zwingend nötig.

Dämpfung auf 1 m Kabellänge bei 2,4 GHz

RG-58	2,4 dB
ECOFLEX 10	1,3 dB
H-155	1,5 dB
AIRZELL 5	1,5 dB

Es gibt noch eine Vielzahl anderer Kabel, die noch geringere Verluste aufweisen. Ein Blick in diverse Funk-Shops oder zu HF-Technik- Lieferanten lohnt sich hier. Außerdem ist zu beachten, dass jeder Steckeradapter ebenfalls Verluste mit sich bringt. Pro Adapter kann man ca. $-0,1$ bis $-0,3$ dB rechnen.

Würde man eine Antenne mit 8 dBi Gewinn verwenden, ein Kabel mit 2,4 dB Dämpfung und dazu noch einen Adapter anschließen, würde sich der Gewinn der Antenne bereits folgendermaßen reduzieren:

Rechenbeispiel

$8 \text{ dBi} = 5,85 \text{ dB}$
 $5,85 \text{ dB} - 2,4 \text{ dB (Kabel)} - 0,2 \text{ dB (Adapter)} - 0,2 \text{ dB (vorhanden Stecker)} = 3,05 \text{ dB}$.

Die Gewinnangaben sind meist nicht real. Beim Nachmessen der Antenne würde man feststellen, dass die meisten Antennen einen

deutlich geringeren Gewinn besitzen, als vom Hersteller versprochen wird.

6.7 Diversity-Empfänger

Eine weitere Verbesserung der Reichweite und Unterdrückung von Störungen wie Interferenzen und Fading erzielt man mit einem Diversity-System. Dabei werden zwei oder mehrere Antennen, die an getrennten Empfangsstufen angeschlossen sind, räumlich versetzt angeordnet. Der fachlich richtige Ausdruck für diese Art von Diversity ist *Raum- oder Antennen-Diversity*. Dabei wechselt der Empfänger automatisch immer auf den höheren Empfangspegel. Interferenzen, wie sie durch Mehrwegausbreitung (z. B. durch Reflexionen an Gebäuden) zustande kommen, können dadurch fast komplett vermieden werden. Einfache Empfänger überwachen dazu den RSSI (engl. Received Signal Strength Indication; Feldstärkeausgang) und wechseln nach Bedarf automatisch auf den besseren Empfangspegel. Dieses System erzielt, im Gegensatz zu einem einzelnen Empfänger, bereits hervorragende Ergebnisse.

Noch besser sind Empfänger mit intelligenter Überwachung, die zudem noch die Qualität des Videosignals auswerten, denn es ist nicht immer gesagt, dass der bessere Empfangspegel auch das bessere Bild wiedergibt. Solch Diversity-Systeme wechseln bereits beim Ansatz einer Störung auf den besseren Empfängereingang, ohne dass der Anwender davon etwas mitbekommt – außer vielleicht dem Umschalten der LED am Gerät selbst.

Um die Leistungsfähigkeit eines Diversity-Systems noch weiter zu steigern, sollte ein

räumlicher Abstand der Antennen von 10–20 Lambda eingehalten werden.

Für ein 2,4-GHz-System wäre dies ein Abstand von 1,25 m zwischen den Antennen, und bei 5,8 GHz von 52 cm. Sollten Sie bereits etwas Erfahrung mit den Sendern und Empfängern gesammelt haben, werden Sie wissen, dass bei einer Bildstörung bereits das Versetzen der Antenne um wenige Zentimeter bessere Ergebnisse erzielt. Das ist natürlich vom jeweiligen Standort des Modells abhängig und ändert sich ständig, da es normalerweise in Bewegung ist. Das Versetzen der Antenne übernimmt nun der Diversity-Empfänger, und das sogenannte *Flutterfading* gehört der Vergangenheit an.

Um Polarisationsstörungen zu unterbinden, wäre es möglich, eine Antenne horizontal und die zweite vertikal anzuordnen. Auch beide nur um 45° zu versetzen wäre möglich. Diese Art von Diversity nennt man auch *Winkel-Diversity*. Dadurch stellt man sicher, dass bei jeder Fluglage klarer Empfang gewährleistet ist.



Empfänger mit um 45° versetzten Antennen, auch *Winkel-Diversity* genannt. Diversity-Empfänger erkennt man an mindestens zwei Antennenbuchsen.

Einen guten Rundumempfang im Nahbereich kann man mit einer Kombination aus der kleinen, meist mitgelieferten Rundstrahlantenne

($1/4$ Lambda Rundstrahler) und einer Richtantenne wie einer Patch- oder Biquad-Antenne erzielen. Letztere deckt das Aktionsfeld in die Ferne ab – natürlich unter der Berücksichtigung des Öffnungswinkels der Antenne.

6.8 Antennen-Tracker

Ein Antennen-Tracker ist eine der interessantesten technischen Errungenschaften, wenn es um das Erhöhen der Reichweite geht. Die Sender sind nicht sonderlich leistungsfähig und decken mittels Rundstrahlantenne nur zwischen 150 m und maximal 300 m ab. Bei der Verwendung von Richtantennen erhöht sich die Reichweite bis auf mehr als 700 m, aber ohne Antennennachführung ist der Aktionsradius bei größeren Entfernungen deutlich eingeschränkt.

Die Aufgabe eines Antennen-Trackers ist, eine Richtantenne dem Modell automatisch nachzuführen, sodass sie immer exakt zum Modell ausgerichtet ist. So ist gewährleistet, dass jederzeit der maximale Empfangspegel am Empfänger anliegt. Zudem werden Mehrwegausbreitungen durch Richtantennen mit schmalen Öffnungswinkel (kleiner 45°) minimiert, weil die Empfangskeule sehr schmal und immer direkt zum Modell gerichtet ist.

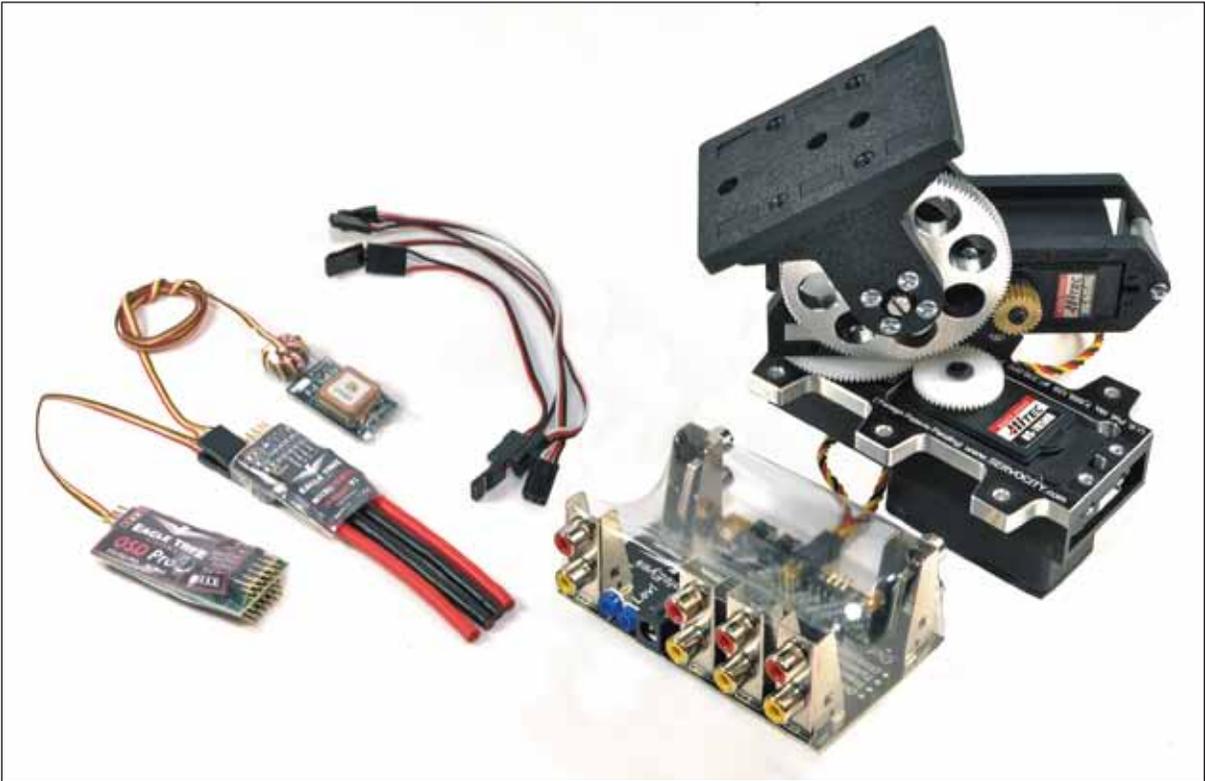
Antennen mit einem Öffnungswinkel kleiner als 10° sind auch bei Verwendung eines Antennen-Trackers sinnlos. Der Tracker besitzt, bedingt durch das GPS-System, eine gewisse Mindestauflösung. Dadurch sind wesentlich mehr Störungen zu verzeichnen, weil sich das Modell öfter außerhalb als innerhalb der Hauptempfangskeule der Antenne bewegt. Wer einen Diversity-Empfänger verwendet, kann aber zwei Antennen mit kleinem Öff-



Empfänger mit Richt- und Rundstrahlantennen sind ideal für das Nah- und Fernfeld.



Antennen-Tracker passend zum EzOSD mit Schwenk-/Neigemechanik und Auswerteeinheit; auf der freien Plattform oben wird die Richtantenne montiert. (Bild: Globe-Flight)



Eagle-Tree-System bestehend aus Komponenten für das Flugzeug, der Mechanik für die Antennennachführung und der Auswerteeinheit für die Bodenstation. (Bild: Globe-Flight)

Hier wurden zwei Antennen verwendet und mit einem Diversity-Empfänger verbunden. Besser geht es kaum mehr. Die Empfangsleistung kann sich sehen lassen, das System arbeitet bei einer Entfernung von mehr als 500 m noch absolut rauschfrei. (Bild: Globe-Flight)



nungswinkel und hohem Gewinn verwenden und diese leicht versetzt (je nach Öffnungswinkel z. B. 10°) auf den Tracker anbringen. Der Gesamtöffnungswinkel der beiden Antennen wird dann auf ca. 20° erhöht. Damit kann der Tracker wieder sauber arbeiten.

Die Bodenstation des Trackers besteht aus einer mechanischen Pan-and-Tilt-Einheit für die Antennennachführung und einem kleinen Steuercomputer in Form eines Mikrocontrollers. Dieser dekodiert die über den Audiokanal vom Modell empfangen Telemetriedaten und steuert die Servos der Pan-and-Tilt-Einheit an. Die Einheit für die Antennennachführung besteht aus zwei Servos, die mechanisch so angeordnet sind, dass sich die Antenne in der Elevation und im Azimut bewegen kann.

Das Modell ist mit einem kleinen Bordcomputer wie dem EzOSD ausgestattet, der die aktuellen GPS-Koordinaten kodiert und über einen freien Audiokanal des Videosenders zur Bodenstation überträgt. Man muss beim Kauf darauf achten, dass die Einheit im Modell zum Tracker passt. Einen Standard gibt es hier leider noch nicht.

Vor dem ersten Start mit einem Antennen-Tracker muss die Bodenstation kalibriert werden, um den Tracker an seinen eigenen Standort anzulernen. Da nur das Modell einen GPS-Empfänger besitzt, wird es so nah wie möglich an die Bodenstation gebracht. Dann wird die aktuelle Position im Tracker gespeichert. Nun kennt die Bodenstation ihren eigenen Standort. Das Modell kann sich nun frei im Raum bewegen, und die Antenne wird automatisch immer auf das Modell gerichtet. Die Winkeldaten werden aus den beiden GPS-Koordinaten (Modell und Tracker) berechnet. Mittels Antennen-Tracker ist zu 100 % gewährleistet, dass die Richtantenne immer exakt



Hier ist die ganze Tracker-Einheit mit Antennen, Diversity-Empfänger, Auswertung und TFT-Bildschirm zu sehen. Das System wurde auf ein stabiles Lautsprecherstativ montiert. (Bild: Globe-Flight)



Videobrille mit Richtantenne – der wohl einfachste Antennen-Tracker der Welt. Der Kopf wird einfach in Richtung Modell ausgerichtet. Voraussetzung ist, dass man das Gelände gut kennt und in die richtige Richtung blickt.

FPV im Modellbau richtig betreiben

Videübertragung aus dem RC-Modell

Live-Kick in Echtzeit: Werden Sie zum Piloten Ihres RC-Modells!

FPV steht für „First Person View“, das Steuern eines Modells aus der Pilotenperspektive. Eine im Modell installierte Kamera in Verbindung mit einer Videobrille versetzt Sie beim Bedienen der Fernsteuerung direkt ins Cockpit – ganz so, als wären Sie selber darin unterwegs. Die Bilder der Kamera werden per Funk in Echtzeit zur Bodenstation übertragen. Ein atemberaubendes Erlebnis, auch wenn es nur virtuell ist!

Stellen Sie sich vor, Sie fliegen in mehr als 200 Metern Höhe über Ihren Modellflugplatz oder Sie rasen mit dem Modellauto dicht über dem Asphalt dahin: Diese Faszination wird Sie so schnell nicht mehr loslassen. Es kann sogar sein, dass Sie sich selber mit in die Kurve legen, obwohl sie nur das Videobild vor Augen haben und eigentlich fest auf dem Boden stehen. Nicht umsonst gilt FPV vielen Modellbauern als Königsklasse des Modellbaus: Der geübte Pilot startet und landet nicht nur damit, sondern fliegt Kunstfiguren oder trägt Autorennen aus.

Dieses Buch soll Ihnen helfen, ohne langes und teures Herumprobieren den Weg zum perfekten FPV-Modell zu finden. Der Autor betreibt dieses Hobby seit mehr als sechs Jahren und stellt Ihnen hier sein umfangreiches Know-how zur Verfügung. Er beschreibt präzise und allgemeinverständlich, wie die Technik funktioniert, was beim Kauf von Komponenten beachtet werden muss, was für den Einstieg benötigt wird und wie Sie die Ausrüstung optimieren können. So gibt es zum Beispiel Autopiloten oder On-Screen-Displays, die wichtige Informationen im Bild anzeigen – wie die Höhe des Flugmodells, den künstlichen Horizont und die Geschwindigkeit. Noch raffinierter sind Headtracker, die Ihre Kopfbewegungen aufnehmen und die Kamera im Modell synchron dazu schwenken.

Die mitgelieferte DVD beschreibt und illustriert Schritt für Schritt, wie Sie bei den einzelnen Schritten richtig vorgehen, und ergänzt damit das Buch um wertvolle praktische Hilfestellungen.



Aus dem Inhalt:

- Das erste FPV-Equipment für den Einstieg
- Die Elektronik des Cockpits
- Bestandteile des Cockpits
- Grundlagen der Kameratechnik
- Sender- und Antennentechnik
- Antennen im Selbstbau

Bauanleitungen:

- 180°-Pan-Servo selbst bauen
- 5,8-GHz-Videosender und Empfänger
- 5,8-GHz-Diversity-Empfänger
- und vieles mehr



24,95 EUR [D]

ISBN 978-3-645-65110-3

Besuchen Sie unsere Website www.franzis.de