

Inhalt

1 Einleitung	9
2 Zum Autor	11
3 System-Überblick	13
3.1 Grundsystem.	13
3.2 OSD – On Screen Display	15
3.3 Diversity-Systeme	16
3.4 Tracking-Systeme.	17
3.5 Autopilot-Systeme bei Flächenmodellen	18
3.5.1 Einfache Gyro-(Kreisel)-Funktionen	18
3.5.2 Automatische Lageregelung und Begrenzung.	19
3.5.3 GPS-unterstützter automatischer Flug	20
3.5.4 Sonnenaktivitäten und die Auswirkung auf GPS und Kompass	21
3.6 Verbesserung der Videoaufnahmequalität durch Gimbal-Stabilisierung	22
3.7 Head Tracking	22
4 Physikalische Einheiten	23
4.1 Logarithmische Einheit Dezibel (dB)	23
4.2 Dezibel (dB) und Bezugsgrößen	24
4.3 Umrechnung dB in lineare Werte.	25
4.4 Häufig verwendete Werte und Multiplikations-Faktoren im logarithmischen Bereich	26
5 Physikalische Grundlagen zur Antenne	27
5.1 Zusammenhang zwischen Frequenz und Antenne	27
5.2 Antennen-Polarisation	28
5.2.1 Zirkulare Polarisation	28
5.2.2 Lineare Polarisation.	29
5.3 Antennengewinn, Richtwirkung und Antennendiagramme	30
5.4 Antennenarten.	35
5.4.1 Stabantenne und Dipol	35
5.4.2 Cloverleaf-(Kleeblatt)-Antenne	36
5.4.3 Wendelantenne	37

6	Physikalische Grundlagen – Sender und Empfänger	39
6.1	Sender	39
6.2	Empfänger	40
6.3	Erlaubte Frequenzen und herstellerspezifische Frequenzkanäle	40
6.4	Analoge und digitale Übertragungsverfahren	41
7	Funk-Leistungsbilanz – RF Link Budget	43
7.1	Signalweg	43
7.1.1	Realitäts-Check und Schlussfolgerung	46
7.2	Dämpfung	47
7.2.1	Stecker	47
7.2.2	Kabel	49
7.3	Frequenzen und ihre Dämpfungseigenschaften	50
7.4	Fresnelzone	51
7.5	Reflexionen und Mehrwegausbreitung	53
7.6	Interferenzen und Phasenüberlagerungen – FPV-Racing	55
8	Kameras	57
8.1	CMOS-Kameras	58
8.2	CCD-Kameras	59
8.3	PAL vs. NTSC	59
8.4	HD-Kameras mit Aufnahmefunktion	60
8.5	Objektive und FOV	60
8.6	Marktübersicht FPV-Kameras	61
8.6.1	FPV-Kamerasystem Spektrum VA 1100 Ultra Micro	61
8.6.2	Fatshark-Kamera Pilot HD V2	64
8.6.3	GF-OSC FPV-Kamera HAD 600TVL 5-15V	64
8.6.4	GF-OSC FPV-Kamera WDR 700TVL 5-15V	65
8.6.5	Gopro Hero	65
8.6.6	Mobius Action Cam	66
8.6.7	GoCam	67
9	Brillen	69
9.1	Auflösung	69
9.2	FOV	69
9.3	IPD	71
9.4	Marktübersicht FPV-Brillen	72
9.4.1	Fatshark	72
9.4.1.1	RCV922AE	72
9.4.1.2	Teleporter V4	73
9.4.1.3	Dominator HD – Die Königsklasse im Fatshark-Sortiment	75
9.4.2	Flysight Spexman One mit Diversity-Empfänger	76
9.4.3	Box-Brillen, Headplay FPV (Lindinger)	76
9.4.4	Heimvideobrillen	78

10 Marktübersicht Antennen	79
10.1 Lineare Stabantennen	79
10.2 Zirkulare Antennen, Cloverleaf-Antenne und Skew Planar Wheel	80
10.3 Richtantennen	81
10.3.1 ImmersionRC 8 dBi Mini-Patch-Antenne, RHCP	81
10.3.2 ImmersionRC 13 dBi Patch-Antenne, RHCP	83
10.4 Sinnvolle Antennen-Kombinationen mit Diversity-Empfängern	85
11 FPV-geeignete Trägersysteme	87
11.1 Quadrocopter und Multi-Rotor-Plattformen	89
11.1.1 FPV-Air-Racing	89
11.1.2 Aufnahmeplattformen	90
11.2 Flächenmodelle	90
11.2.1 Bormatec Q/Ninox	90
11.2.2 Multiplex Xeno	91
11.2.3 Hochdecker-Trainer, wie MPX Funcub und Horizon Sports Cub	92
11.2.4 UMX Radian FPV - Micro FPV RTF mit AS3X-Unterstützung	92
12 Der Autopilot – Absturz-Absicherung für Flächenmodelle	93
12.1 FY-41AP, Autopilot mit GPS und RTH	93
12.2 FY-40A-Stabilisierung	94
12.3 Ardupilot Mega - APM	95
12.4 Eagle Tree Systems - Guardian	96
12.5 Horizon Safe Plus	97
13 Gesetzliche Regelungen und Verhaltenskodex – Stand Januar 2016	99
13.1 Besondere Regelungen in Österreich	101
13.2 Besondere Regelungen in der Schweiz	101
14 Schlusswort	102
15 Danksagung	102
16 Abkürzungen	103

3 System-Überblick

Jedes FPV-System besteht auf der Modellseite aus den Grundkomponenten Kamera, Sender und Antenne. Dann folgt das Übertragungsmedium, in unserem Fall Luft – eventuell mit Hindernissen. Auf der Empfängerseite stehen wieder die Grundkomponenten Antenne, Empfänger und ein Ausgabegerät, der Monitor oder die Brille. Das beschreibt die einfachste Grundausstattung die für FPV benötigt wird. Je nach Anspruch und Einsatzzweck ist dieses System erweiterbar. Im Folgenden möchte ich ein paar Ausbaustufen vorstellen.

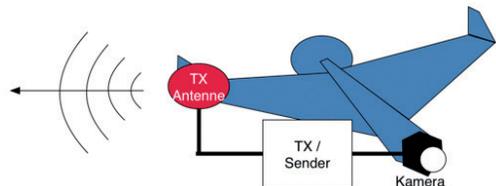
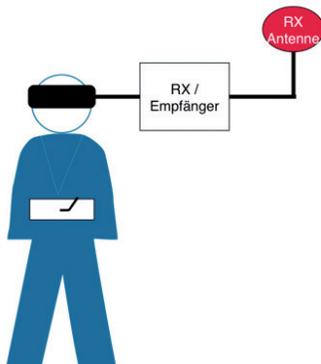
3.1 Grundsystem

Die Komponenten des Grundsystems bieten bereits verschiedene Optionen und Möglichkeiten:

Die Kamera

Bei der Kamera ist die erste zu treffende Entscheidung, ob es sich um eine reine FPV-Kamera handeln soll oder um eine Kamera, die Videoaufnahmen ermöglicht und das Signal mit einem AV-Ausgang (Audio-Video) auf das FPV-System überträgt. Einige Brillen bieten auch die Option, das empfangene Bild auf einer Speicherkarte aufzuzeichnen. Das ist allerdings eher zur Fehlersuche und Modellsuche als für Luftaufnahmen in hoher Auflösung geeignet. Auf der Brille wird nur

Das FPV-Grundsystem



das empfangene Videobild in niedriger Auflösung und mit allen empfangenen Übertragungsfehlern aufgezeichnet. Für verwertbare Videoaufnahmen ist deshalb eine Kamera mit Aufzeichnungsfunktion sinnvoll.

Der Sender

Hier gibt es theoretisch eine große Auswahl an Sendern mit verschiedenen Sendeleistungen, angegeben in mW. Theoretisch – denn durch den Gesetzgeber ist die Sendeleistung limitiert. Ein Verstoß gegen diese Gesetze kann mitunter empfindlich teuer werden, wenn man erwischt wird. Dazu kommt, dass mehr Leistung nicht unbedingt auch ein besseres Signal zur Folge hat. Im Gegenteil: Es gibt sogar Fälle in denen mehr Leistung auch mehr Störungen verursacht. Ich empfehle daher, um auf der legalen Seite zu bleiben, die erlaubte Sendeleistung nicht zu überschreiten und dafür etwas mehr in das Empfangssystem zu investieren. Damit kann am Ende ein legales und besseres Ergebnis erreicht werden. Neben der Sendeleistung stehen noch zwei verschiedene Frequenzbereiche mit verschiedenen Eigenschaften zur Auswahl. Der 5,8-GHz-Frequenzbereich ist für den Übertragungsweg physikalisch nicht optimal, hat sich aber gegenüber dem 2,4-GHz-Bereich praktisch durchgesetzt. Im 2,4-GHz-Bereich befinden sich schon viele andere Anwendungen, wie z. B. die Fernsteuerungen der Modelle, die das Videosignal entweder stören oder von dem Signal gestört werden.

Sende- und Empfangsantenne

Auch für diese Antennen gibt es eine große Auswahl, sowohl zum Kaufen als auch zum

Selbstbau. Wobei die Auswahl bei den Sendeanennen kleiner ist. Da das Modell sich in allen Richtungen frei im Raum bewegen kann, muss die Sendeanenne am Modell möglichst gleichmäßig in alle Richtungen abstrahlen. Hier gibt es eigentlich nur die Wahl zwischen zirkular und linear polarisierenden, rundstrahlenden Antennen. Die Empfangsantenne muss dieselben Polarisierungseigenschaften wie die Sendeanenne haben. Bei den Empfangsantennen gibt es viele verschiedene Möglichkeiten. Hier ist es besonders wichtig, die Zusammenhänge und die technischen Eigenschaften zu verstehen.

Empfänger

Der Empfänger kann entweder in einer separaten Box, in der Brille oder dem Monitor integriert sein. Maßgeblich für die Qualität der Übertragungsstrecke ist beim Empfänger die Empfangsempfindlichkeit in dBm.

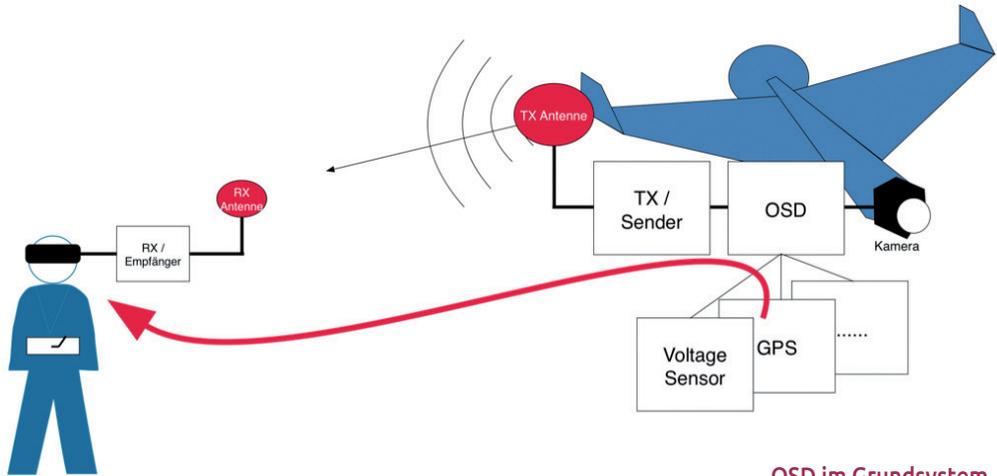
Der Monitor oder die Brille

Die Benutzung eines Monitors erlaubt einem abwechselnd die Wahrnehmung der eigenen Umgebung, die Sicht auf das Modell und aus dem Cockpit über die Kamera. Ein Monitor eignet sich besser für die Kontrolle von Luftbildaufnahmen. Die Brille eignet sich besser für das Fliegen aus der Cockpit-Perspektive. Der Pilot taucht dabei völlig in das Flugenerlebnis ein.

	Wichtigste Kenndaten	Standard Werte
Kamera	Auflösung	VGA wird übertragen, 640x480 im günstigsten Fall 768x576
Sender	„Sendeleistung (Tx Power) Sendefrequenzen“	„Maximal erlaubte Sendeleistung 25 mW / 5.8 Ghz 10 mW / 2.4 Ghz <small>Sendefrequenzen sind Herstellerabhängig</small> “
Sende-Antenne	Gewinn (Gain)	Isotroper Strahler (rund strahlend) ideal mit 0 dB Gewinn
Empfangs-Antenne	Gewinn (Gain)	0dB bis ca. 14 dB Gewinn
Empfänger	„Empfindlichkeit Empfangsfrequenzen“	„Empfindlichkeit: ca. -90 dBm Empfangsfrequenzen passend zum Sender“
Monitor	„Helligkeit Auflösung“	Helligkeit: je nach Modell ca. 300 cd/m2 Auflösung: mindestens 640x480
Brille	„Auflösung FOV IPD“	„Auflösung: je nach Hersteller bis HD FOV: je nach Hersteller 30° bis 46° IPD: Vorzugsweise einstellbar“

Kenngrößentabelle für das Grundsystem

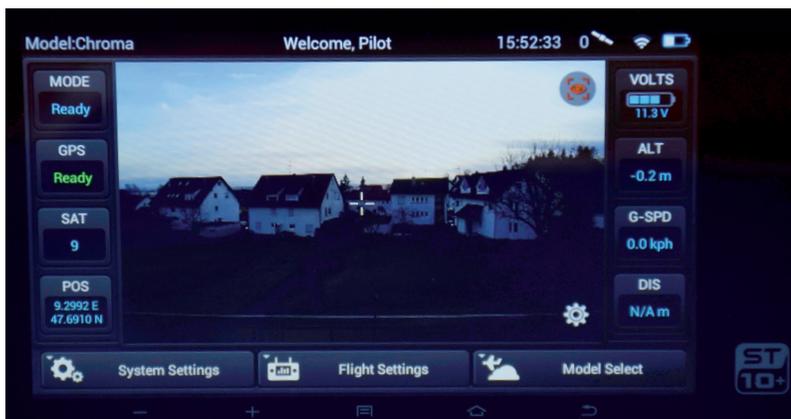
Display



OSD im Grundsystem

Das OSD blendet nützliche Informationen in das Videobild der Kamera ein. Dazu wird im Modell das OSD mit dem Videobild der Kamera überlagert und über den Sender zur Bodenstation gesendet. Auf der Videobrille oder dem Monitor sieht der Pilot dann die OSD-Informationen am Rand des Videobildes. Folgende Informationen können als Beispiel je nach Anzahl der optionalen Sensoren über das OSD eingeblendet werden:

- Flug-Akkustand
- GPS-Koordinaten
- Kompassrichtung
- Flughöhe
- Vario (steigen oder sinken)
- Entfernung und Richtung zum Startpunkt
- Geschwindigkeit über Grund (km/h)
- Aktueller Stromverbrauch / Leistung
- Gesamter Stromverbrauch (Amperemeter)
- Die Flugzeit

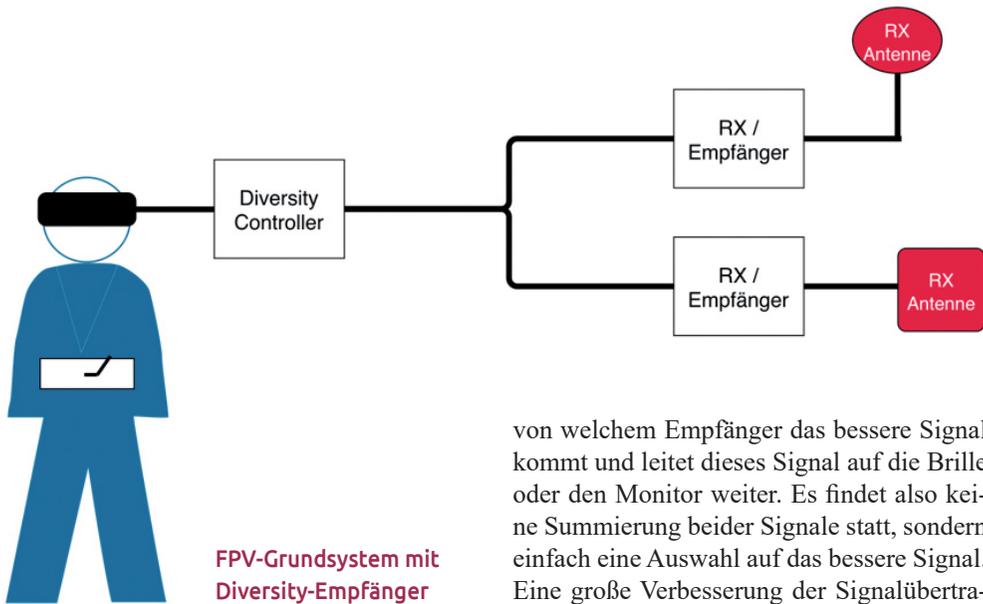


OSD-Screenshot

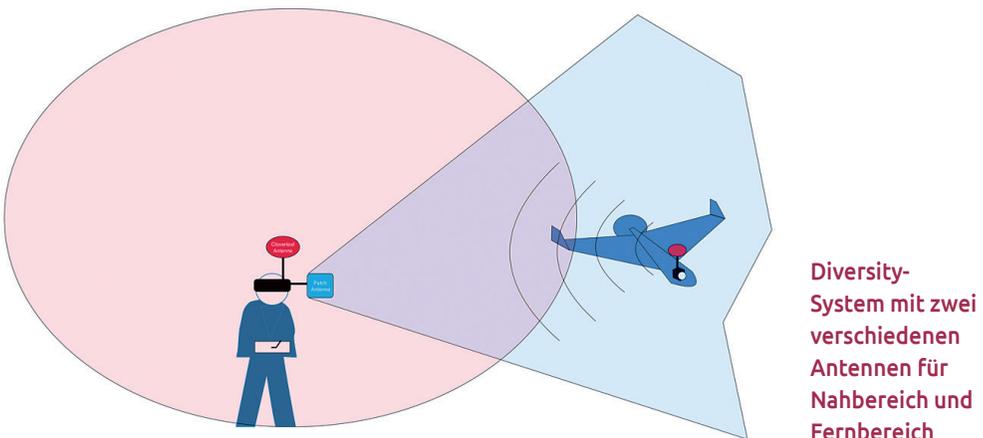
Die OSD-Informationen helfen bei der Orientierung und liefern wertvolle Informationen über den aktuellen Zustand des Modells. Die OSD-Informationen werden aber nicht nur von dem Piloten ausgewertet. Auch das Antennen-Tracking-System nutzt die GPS-Informationen für die Antennenausrichtung. Dazu überträgt das OSD die aktuellen Informationen zur Position über den Audiokanal und das Tracking-System wertet sie aus.

3.3 Diversity-Systeme

Ein Diversity-Empfänger ist eine lohnenswerte Erweiterung des Grundsystems, welche ein deutliches Plus an Reichweite und Übertragungsstabilität bringt. Diversity-Empfänger können sowohl in der Brille, dem Monitor oder in einer separaten Box integriert sein. Ein Diversity-System enthält zwei oder mehr Empfänger in einem System. Eine nachgeschaltete Logik erkennt,



von welchem Empfänger das bessere Signal kommt und leitet dieses Signal auf die Brille oder den Monitor weiter. Es findet also keine Summierung beider Signale statt, sondern einfach eine Auswahl auf das bessere Signal. Eine große Verbesserung der Signalübertra-



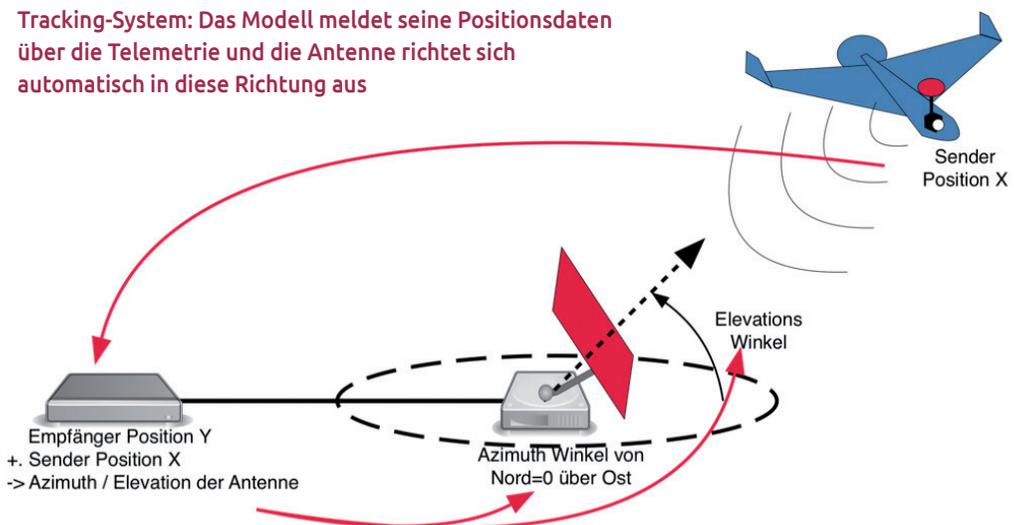
gung wird bei der Verwendung spezieller unterschiedlicher Antennen erreicht. Eine Antenne mit Rundumempfang aber niedriger Verstärkung empfängt das Signal zuverlässig im Nahbereich, wenn das Modell um den Empfänger herum fliegt. Eine zweite Antenne welche nur Signale aus einer bestimmten Richtung empfängt, aber eine hohe Verstärkung hat, empfängt das Signal aus größerer Entfernung. Wenn der Diversity-Empfänger am eigenen Körper getragen wird, dreht man sich einfach in die Richtung des Modells so, dass die zweite Antenne in Richtung des Senders/Modells zeigt.

3.4 Tracking-Systeme

Antennen die eine starke Richtwirkung haben ermöglichen nur guten Empfang, wenn sie relativ genau auf das Modell ausgerichtet sind. Je enger der Öffnungswinkel des Empfangsbereiches der Antenne ist, umso genauer muss die Antenne auf das Modell ausgerichtet sein. Bei der Verwendung von Antennen mit einem sehr schmalen Öffnungswinkel und damit einer hohen Verstärkung, ist

eine Nachführung erforderlich. Das kann ein Helfer sein, der die Antenne immer wieder neu auf das Modell ausrichtet. Die elegantere Möglichkeit ist jedoch ein automatisches Tracking-System. Bei automatischen Tracking-Systemen sendet das Modell über das Telemetrie-System oder den Audio-Kanal des OSD-Systems die jeweils aktuellen Positionsdaten. Aus den Positionsdaten des Modells und des Empfängers errechnet der Controller des Tracking-Systems die Ausrichtung der Antenne in Elevation (Winkel aus der horizontalen) und Azimuth (Himmelsrichtung in Grad von Nord über Ost) und richtet die Antenne kontinuierlich automatisch auf das Modell aus. Die Daten werden bei vielen OSD-Systemen über den Audiokanal übertragen, sodass für das Tracking keine extra Funkverbindung nötig ist. Das hat natürlich den Nachteil, dass bei einer Unterbrechung des Video-/Audiosignals auch die Ausrichtung der Antenne verloren geht und damit die Verbindung komplett weg ist. Wenn für die Übermittlung der Tracking-Informationen ein separater Kanal in einer niedrigeren Frequenz verwendet wird, erhöht das den Aufwand aber auch die Zuverlässigkeit.

Tracking-System: Das Modell meldet seine Positionsdaten über die Telemetrie und die Antenne richtet sich automatisch in diese Richtung aus



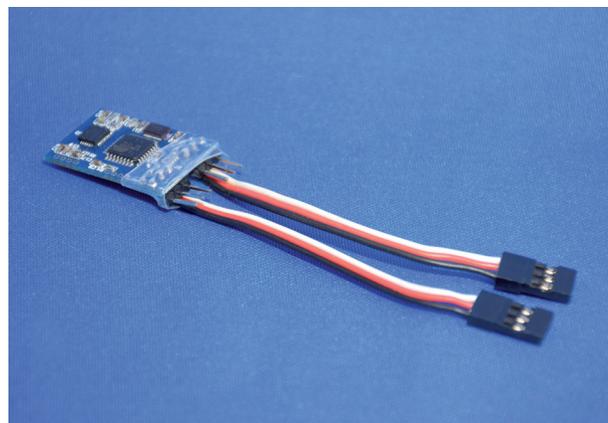
Für FPV-Flüge über größere Distanzen ist ein Tracking-System unverzichtbar. Wobei damit natürlich auch das Verlustrisiko für das Modell steigt. Ein Modell das in großer Entfernung fliegt ist im Falle eines Video-Verbindungsverlustes auch schlechter durch den Spotter kontrollierbar.

3.5 Autopilot-Systeme bei Flächenmodellen

Gesetzlich ist beim FPV-Fliegen eine zweite Person – der Spotter – vorgeschrieben, welche im Falle eines Verbindungsabbrisses der Videoübertragung die Kontrolle über das Modell übernehmen kann. Unbeachtet der gesetzlichen Regelung muss jederzeit mit einem Ausfall des Video-Systems gerechnet werden und damit dem kompletten Kontrollverlust über das Modell. Wenn in größerer Entfernung geflogen wird kann es dann auch für den Spotter schwierig sein das Modell unter Kontrolle zu bekommen. In diesem Fall lohnt sich der Einsatz eines Autopilot-Systems. Aber auch beim normalen FPV-Fliegen ist ein Autopilot-System eine wertvolle Hilfe, um nicht in einen unkontrollierten Flugzustand zu kommen. Daher haben alle meine Flächenmodelle die ich zum FPV-Fliegen verwende, eine unterstützende Elektronik an Bord. Diese Systeme gibt es in vielen Ausführungen mit einfachen Gyro-Funktionen zum Ausgleichen von Windböen bis zu vollautomatischen GPS-gesteuerten Flugfunktionen mit automatischer Heimkehr Funktion (Return to Home).

3.5.1 Einfache Gyro-(Kreisel)-Funktionen

Einfache Gyro-Funktionen machen das Modell gutmütiger und erleichtern das FPV-Fliegen im Nahbereich. Diese einfachen Funktionen bietet Horizon Hobby z. B. mit dem AS3X-System, welches in viele BNF-Modelle bereits implementiert ist. Des Weiteren gibt es andere Bausteine wie den Micro Stabilizer HX-7, der bei beliebigen Modellen einfach zwischen Empfänger und Servo dazwischengeschaltet wird. Diese Bausteine erkennen anhand eingebauter Kreisel, wenn sich die Fluglage des Modells ohne Steuerbefehl z. B. durch Wind ändert und steuern für kurze Zeit der Änderung entgegen. Damit können Windböen sehr gut ausgeglichen werden und das Modell ist deutlich lagestabiler. Pilotenfehler, wenn der Pilot z. B. zu viel Schräglage steuert, können damit aber nicht verhindert werden. Für das FPV-Fliegen mit kleinen Flugzeugen im Nahbereich sind solche Systeme aber perfekt. Ein typischer Anwendungsfall ist hier das Spektrum VA1100 Ultra Micro FPV-System in Verwendung mit einem Ultra-Micro-Flugzeug wie z. B. dem Radian FPV.



Micro-Stabilizer HX-7: Die kleine Platine wird zwischen Empfänger und Höhen-/Querruder-Servo zwischengeschaltet

3.5.2 Automatische Lageregelung und Begrenzung

Ein einfaches Gyro-System reagiert auf eine Störung der Fluglage mit einem kurzen Regelpuls ohne Erfolgskontrolle. Die nächst höhere Stufe sind Bausteine welche das Modell in eine zuvor festgelegte Normalposition zurücksteuern und/oder die maximalen Schräglagen des Modells begrenzen. Bei Modell-Helis nennt man diese Funktion „Head Lock“. Diese Funktion ist z. B. beim Safe-System von Horizon oder im FY-40A enthalten. Egal wie stark die Steuerknüppel zur Seite gedrückt werden, das Modell bleibt immer in einem einfach beherrschbaren Flugzustand. Werden die Steuerknüppel losgelassen, geht das Modell sofort in die Normallage zurück. Diese Funktion ist unbedingt empfehlenswert beim FPV-Flug mit Flächenmodellen. Ohne diese Unterstützung erreicht man am Anfang schneller als man denkt einen unkontrollierbaren Flugzustand. Auch beim Fliegen in größerer Entfernung ist eine automatische Lageregelung eine wertvolle Hilfe für den Spotter, um das Modell bei einem Ausfall der Videoverbindung wieder unter Kontrolle zu bekommen.

3.5.3 GPS-unterstützter automatischer Flug

Ambitioniertere FPV-Piloten werden ein GPS-unterstütztes System verwenden, welches alle zuvor genannten Funktionen vereint. Diese Systeme bieten typischerweise Funktionen wie:

RTH, Return to Home, automatische Rückkehr zum Startpunkt

Wird diese Funktion über einen Schalter aktiviert, dann fliegt das Modell auf direktem Weg zu dem Punkt an dem das GPS initialisiert wurde zurück und kreist dort in Warteposition. Idealerweise sollte man daher den Akku nicht unter einem Baum anstecken, um zu starten, sondern auf einer freien Fläche über der das Modell kreisen kann. Zu beachten ist auch, dass das Modell auf direktem Wege zurückkehrt. Es sollten also keine Bäume oder andere Hindernisse zwischen dem Startplatz und dem Modell liegen.

Glasair SAFE+ mit GPS und Geofence-Funktion, ideal für sichere FPV-Flüge

