

Vorwort	5
Drohne, Flugzeug oder was?	20
Luft-, Land- und Wasserfahrzeuge	23
Multicopter, Quadrocopter, Hexacopter und Co.	25
Multicopter und was sie ausmacht	26
Im Einsatz von Militär bis kommerziell	29
Funktionsweise einer Multicopterdrohne	31
Typische Bauform und Varianten	32
Fluggeräte und Anzahl der Rotoren	32
Ausrichtung der Fluglage	34
Was rotiert hier verkehrt herum?	35
Drehrichtungen der Luftschrauben	36
Bauteile und ihre Eigenschaften	42
Rahmen eines Multicopters	44
Centerplate, Ausleger und Landegestell	44
Materialanforderungen an den Rahmen	46
Rahmenbausatz oder selber bauen?	47
Bauprojekt mit 3-D-Drucker realisieren	47
Systembausatz und Einzelteile	48
Rahmengröße und Einsatzzweck	48
Motoren im Multicopterbau	50
Wirkprinzip des Gleichstrom-Bürstenmotors	50
Aufbau des bürstenlosen Motors	52
Brushlessmotoren: Innen- und Außenläufer	53
Kennzahlen von Brushlessmotoren	53
Pole und Nuten bei einem 12N14P-Motor	54
Auswirkung auf die Motoreigenschaften	55
Stromaufnahme und Betriebsspannung	55
Regelmäßige Wartung von Brushlessmotoren	56
Motorsteuerung – der Brushlessregler (ESC)	57
Wie funktioniert ein Brushlessregler?	58
Spezieller Reglertyp für Multicopter	58
SimonK – Multicopter-ESC-Software	59

BLHeli – Softwarealternative zu SimonK	59
Durchlass der vollen Akkuleistung – PWM	59
Energiedurchlass per P-FET oder N-FET	60
Energieversorger – BEC oder Opto?	60
Was wird speziell für eine Multicopterdrohne benötigt?	61
ESC-Stromfluss in Ampere (A)	62
Spannung (V) und Zellenzahl (S)	62
Energieversorgung per UBEC sicherstellen	63
Luftschrauben im Copterbau	64
Kunststoff, Glasfaser oder Carbon?	65
Wichtige Kennzahlen einer Luftschraube	65
Unterschiedliche Montagemöglichkeiten	67
Auswahl geeigneter Luftschrauben	69
Methoden zum Ausbalancieren	74
Akku: Hier kommt Spannung auf	76
Vorteile von LiPo-Akkus	77
Nachteile von LiPo-Akkus	78
Der Trick mit dem Balanceranschluss	79
Synchronschwimmen im LiPo-Pack	80
Wie macht sich ein Akku-Defekt bemerkbar?	82
Kennzahlen von LiPo-Akkus	82
Parallel- und Reihenschaltung	84
Lagerung und Wartung	85
Ladegeräte und Ladetechnik	86
Auf die richtige Leistung achten	86
Ladegerät mit mehreren Betriebsmodi	88
Ein extra Ladekabel in Betracht ziehen	88
Ladegeräte gleich für mehrere Akkus	88
Laden mit 12 und mit 230 Volt	90
Aufgabe des Flightcontrollers	91
Funktionsweise und Steuereigenschaften	92
Sensoren für optimale Flugeigenschaften	93
Flugposition erfassen und stabilisieren	94
Erweiterung durch optionale Sensoren	96
PID-Regler für Ist-Soll-Vergleiche	97
Openpilot/Librepilot – Steuersoftware	101
Flugmodi der OpenPilot-Software	104

MultiWii – Steuersoftware	110
Flugmodi der MultiWii-Software	117
DJI-Flightcontrollersystem	120
Komponenten der DJI-Naza-Flugsteuerung	120
Einstellungen in der DJI-Assistent-Software	122
Flightmode-Auswahl der DJI-Systeme	124
IOC-Einstellung für Fluganfänger	126
Kompass-Kalibrierung durchführen	130
Ardupilot-Flightcontrollersystem	131
Vielfältige Flugmodi und Einstellmöglichkeiten	131
Mission Planner – perfekte Benutzeroberfläche	132
Flugmodi des Ardupilot-Mega-Systems	133
Einstellungsmöglichkeiten und Flugmodi der Software	134
Flightcontroller mit Mission Planner einstellen	138
Ardupilot Mega – Begriffserklärungen	144
Kalibrieren der APM-ESCs	145
Autotune – PIDs einstellen leicht gemacht	146
Log-Daten herunterladen und analysieren	148
KK-Flightcontrollerboard	150
Einfach in der Handhabung	151
Flugmodi mit dem KK-Board	153
Anpassungen und Einstellungen	154
Anlernen des Gasweges	163
Entscheidungshilfe in Sachen Flightcontroller	163
RC-Anlage – Funksteuerung des Multicopters	166
Funktionsweise der RC-Anlage	167
Lehrer/Schüler-Modus	169
RC-Anlage für Multicopter	169
2,4-Gigahertz-Fernsteueranlagen	170
Die Steuermodi 1 bis 4	171
Auswahl einer Fernsteuerung	173
Steuerachsen eines Multicopters	174
Telemetriesysteme	175
Telemetrier Verbindung via Bluetooth	176
Telemetrier Verbindung via Funkmodul	177
Telemetrier Verbindung via RC-Anlage	178

Kameras, Gimbals und FPV	178
Und Action: Kameras in der Luft	181
Actioncams für Bild- Videoaufnahmen	183
Kameras für professionelle Luftbilder	184
Kameras für Filme in Kinoqualität	185
Rolling-Shutter-Effekt	186
Bildübertragung per Live-out-Anschluss	188
Das Gimbal – die Kameraaufhängung	188
Immersionsfliegen wie im Cockpit (FPV)	194
Komponenten einer FPV-Anlage	194
Kompatible Frequenzen und Kanäle	197
FPV mit Stabantenne oder Clover-Leaf?	200
Latenzzeit eines FPV-Systems	201
OSD-Livedaten in ein Videobild einspielen	201
Checkliste: Anschaffung einer FPV-Anlage	203
Gesetze, Rechtslage und Versicherung	204
Sicherheit geht vor!	206
Risiken und Gefahren	206
Rechtslage und Versicherung	208
Flugmodell oder UAV	209
Eine Modellflugversicherung ist Pflicht	210
Rechtsvorschriften und Aufstiegsgenehmigungen	212
Erlaubnis des Grundstückseigentümers	213
Landen und Starten von öffentlichen Wegen	214
Allgemeine Aufstiegsgenehmigung einholen	214
Einholen einer Einzelaufstiegsgenehmigung	215
Einhaltung des aktuellen Luftfahrtrechts	216
Ausnahmen bestätigen die Regel	221
Checkliste: Gesetzes- und Verordnungsaufzählung	223
Überblick: Wo und wie darf man fliegen?	225
Rechtslage FPV und Telemetrie	225
Rechtslage – Fotos und Videos aus der Luft	227

Rechnerische Grundlagen	230
Es geht mit einfachen Berechnungen	232
Gewicht, Schubkraft, Motor, Akku und Flugzeit	232
Gewichtsberechnungen für die Bauteile	233
Grobe Berechnung des Rahmengewichtes	234
Benötigte Schubkraft	236
Verhältnis von Gesamtgewicht zu Schubkraft	236
Geeignete Motoren auswählen	237
Auswahl einer Rotorkombination	238
Daten und Parameter der Komponenten	240
ESC-Auswahl und C-Wert	240
Maximaler Stromfluss durch den Motor	240
Flugzeitberechnung und -optimierung	242
Optimierung der Flugzeit	246
PID-Werte einstellen	248
Methoden zum Ändern der PID-Werte	250
Methode 1 – Ändern via USB-Verbindung	251
Methode 2 – Ändern via Fernsteuerung	252
Methode 3: Ändern via Telemetrieverbindung	252
Einstellung der PIDs während des Fluges	254
PID-Einstellung durch Festhalten des Copters	256
PID-Einstellung durch Seilaufhängung	257
PID-Feintuning im Flug	260
Planung Selbstbaucopter	262
Was geklärt werden muss	264
Was will ich mit der Drohne machen?	264
Welche Bauteile brauche ich?	264
Welchen Rahmen verwende ich?	266
Wie hoch sollen die Kosten sein?	266
Welche Bauteile kommen an welche Stelle?	266
Checkliste aller wichtigen Planungsfaktoren	267
Rahmen selber bauen oder Rahmenbausatz?	267

Grundmaterial und technische Ausstattung	268
Checkliste der Grundausrüstung	268
Kleiner Lötkurs für Drohnenbauer	271
Stecker und Buchse anlöten	272
Kabel aneinander löten	274
Pins in eine Platine löten	276
Einen neuen Akkusteckers löten	276
Einen JST-Stecker löten	279
Bau einer Low-Cost-Drohne	280
Das Baukonzept ausarbeiten	282
An erster Stelle steht der Kostenfaktor	283
Grundlegender Funktionsumfang der Drohne	283
Festlegen der für den Bau benötigten Teile	283
Checkliste der benötigten Bauteile	284
Einkaufstipps und Bauteileauswahl	284
Der Rahmen - Basis der Multicopterdrohne	285
Der Flightcontroller - für die Steuerung (CC3D)	286
Der Empfänger - passend zum Fernsteuersystem	286
Der Motor - die wichtigste Entscheidung	287
Der Akku - im Rahmen der Budgetbeschränkung	291
Die LEDs - für jeden Ausleger ein Streifen	291
Berechnungen prüfen und Fluganalyse erstellen	292
Durchführen einer Flugzeitberechnung	292
Finale Teileliste und Gesamtkosten	293
Bau der Multicopterdrohne von A bis Z	295
Bauphase 1: Exakte Anordnung der Bauteile	295
Bauphase 2: ESC- und Motorkabel zuschneiden und löten	298
Bauphase 3: Montage der Motoren, ESCs und LEDs	303
Bauphase 4: Verkabelung und Akkustecker löten	307
Bauphase 5: Flightcontroller montieren	310
Bauphase 6: ESCs und Flightcontroller verbinden	312
Bauphase 7: Empfänger einbauen und anschließen	313
Bauphase 8: Akku und Akkuchecker montieren	316
Software: Grundkonfiguration der Steuersoftware	319
Software: Kalibrieren der Fernsteuerung	327
Software: Parameter zur Flugstabilisation	331
Bauphase 9: Montage der Luftschrauben	334

Fire it up! Bereitmachen für den Erstflug	335
Pre-Flight-Checkliste abhaken	336
Fernsteuerung einschalten	336
Akku mit dem Copter verbinden	336
Flightboard hochfahren	336
Drohne scharf schalten	337
Richtigkeit der Steuereingaben checken	337
Checkliste: Multicopter flugfertig machen	337
Langsam Gas geben und abheben	338
Erkenntnisse nach dem Jungferflug	338
Feintuning der Low-Cost-Drohne	339
PID-Tuning step by step	339
Checkliste: PID-Tuning	343
Agilerer Flugstil mit Rollen und Flips	343
Alternativer Flightcontroller KK-Board	347
Zum Einbau des KK-Boards benötigte Teile	347
Einbau und Verkabelung des KK-Boards	348
Flightcontroller einschalten und kalibrieren	351
Montieren der Luftschrauben	356
Pre-Flight-Check und flugfertig machen	356
Feine Anpassungen der PI-Settings	357
Alternativer Flightcontroller MultiWii Crius	357
Einbau und Verkabelung des MultiWii Crius	357
Softwarepakete downloaden und konfigurieren	364
Fernsteuerung einstellen und Flugmodi festlegen	369
ACC, Magnetometer und ESCs kalibrieren	372
Pre-Flight-Check und flugfertig machen	373
Möglichkeiten, den Coper zu modifizieren	376
Allround-Quadrocopter	378
Das Baukonzept ausarbeiten	380
Grundlegender Funktionsumfang des Copters	381
Kriterien für die Auswahl eines Rahmens	381
Festlegen der für den Bau benötigten Teile	382
Anfallende Kosten für das Copter-Projekt	383

Berechnungen und BauteilAuswahl	383
Der Rahmen – einfach und mit ausreichend Platz	383
Der Flightcontroller – einfach zu handhaben (DJI-Naza)	384
Der Empfänger – passend zum Steuersystem	384
Der Motor – die wichtigste Entscheidung	385
Die ESCs – passend zum Motor	386
Die Luftschrauben – passend zu Rahmen und Motor	387
Der Akku – passend zur Gewichtsklasse	387
Der Schwebestrom – Basis für die Flugzeitberechnung	388
Bau des Allround-Quadrocopters	391
Bauphase 1: Rahmen zusammenbauen	394
Bauphase 2: Anordnung der Bauteile	394
Bauphase 3: Motoren und ESCs montieren	396
Bauphase 4: Stromverteiler montieren	399
Bauphase 5: ESC- und LED-Kabel löten und montieren	400
Bauphase 6: Montage des Flightcontrollers	405
Bauphase 7: ESCs und Empfänger anschließen	412
Bauphase 8: Akku umlöten und montieren	417
Software: Software installieren und einstellen	421
Software: Fernsteuerung einstellen	425
Software: Weitere Softwareeinstellungen	429
Software: ACCs kalibrieren	431
Bauphase 9: Motorrichtungen überprüfen	432
Bauphase 10: Gasweg der ESCs anlernen	433
Bauphase 11: Kompass kalibrieren	434
Bauphase 12: Luftschrauben montieren	435
Fire it up! Bereitmachen für den Erstflug	440
Pre-Flight-Check und flugfertig machen	440
Ausschlagrichtungen der Fernsteuerung testen	441
Abheben und Testen der Flugeigenschaften	441
FPV-Tuning und PID-Optimierung	442
FPV-Tuning - der Techniktrend schlechthin	442
FPV-Brille - Do-it-yourself-Bausatz	446
Spannungsregler in das Kamerakabel löten	452
Kamera und FPV-Sender am Copter anbringen	454
PID-Werte einstellen und optimieren	458
Flugzeittuning mit zweitem Akku	460
Flugzeitberechnung mit einem zweiten Akku	460
Copter für die Parallelschaltung vorbereiten	461

Power-Octocopter	464
Das Baukonzept ausarbeiten	466
Nebenziel und Funktionsumfang	467
Festlegen aller benötigten Bauteile	467
Rahmengröße des Octocopters	468
Einschätzung anfallender Kosten	468
Bauteilauswahl und Berechnungen	468
Der Rahmen: Lastenträger, optimiert für Schubkraft	468
Der Flightcontroller: mit Erweiterungsmöglichkeiten (APM 2.6)	470
Die Fernsteuerung: Mit integrierter <i>FailSafe</i> -Funktion	470
Der Motor: Die wichtigste Entscheidung	471
Bau des Power-Octocopters	475
Dies und das – was sonst noch benötigt wird	479
Bauphase 1: Rahmen zusammenbauen	479
Bauphase 2: Anordnung der Bauteile	479
Bauphase 3: Motoren und ESCs löten	481
Bauphase 4: Motoren und Stromverteiler befestigen	483
Bauphase 5: ESC-Kabel verlängern und löten	485
Bauphase 6: LED Kabel zuschneiden und löten	487
Bauphase 7: Adapter zur Stromversorgung löten	491
Bauphase 8: Flightcontroller initialisieren und kalibrieren	493
Bauphase 9: Montage des Flightcontrollers	497
Bauphase 10: ESCs und Empfänger verbinden	498
Bauphase 11: Kompassmodul anbringen und anschließen	500
Bauphase 12: ESC-Kabel und Empfänger befestigen	502
Bauphase 13: Akkus befestigen	504
Software: Fernsteuerung einstellen und kalibrieren	505
Software: Flightmodes und Leerlaufdrehzahl einstellen	508
Software: ESCs kalibrieren und Motordrehrichtungen prüfen	508
Software: <i>FailSafe</i> -Funktion einstellen	512
Bauphase 14: Luftschrauben montieren	514
Fire it up! Bereitmachen für den Erstflug	516
Pre-Flight-Check und flugfertig machen	516
Motoren hochfahren und abheben	517
Einbau des Telemetriesystems	517
Gimbal-Actioncam-FPV-Tuning	521
Flugzeit nach der Tuning-Maßnahme	523
Kabel verbinden und FPV-Sender befestigen	531
Rundum-Optimierung durchführen	534

FAQs und Fehlerquellen	536
Fragen und Antworten	538
Fehlerquellen allgemein	543
Fehlerquellen OpenPilot	545
Fehlerquellen MultiWii	546
Fehlerquellen KK-Board	546
Fehlerquellen ArduPilot	547
Fehlerquellen DJI Naza	549
Glossar	550
Index	564
Bildnachweis	575