

Inhalt

Geleitwort	V
Vorwort	VII
Autorenverzeichnis	XXXIII
Literaturverzeichnis	XXXV
1 Verwendung von unbemannten Luftfahrzeugsystemen	1
1.1 Foto- und Videoproduktion	2
1.1.1 Produktpräsentation und Werbung	2
1.1.2 Filmproduktion für Kino und TV	2
1.1.3 Naturfotografie	2
1.1.4 Medienberichterstattung	3
1.2 Veranstaltungen und Drohnenshows	3
1.3 Drohnen in großen Höhen	4
1.3.1 Stratosphären-Drohne	4
1.3.2 Alternative zu Satelliten	4
1.4 Vermessung und Kartografie	5
1.4.1 Stadt-, Landschafts- und Verkehrswegeplanung	5
1.4.2 Straßenbau	6
1.4.3 Grundstücke und Gebäude	6
1.4.4 Historische Gebäude und Baudenkmäler	6
1.4.5 Bodendenkmäler	7
1.4.6 Baustellen	7
1.4.7 Verkehrssicherheitsarbeit	7
1.5 Klima-, Umwelt- und Naturschutz	8
1.5.1 Eiskappen	8
1.5.2 Gletscher und Gletscherseen	8
1.5.3 Erosion der Gebirge	9
1.5.4 Ufer- und Küstenerosion	9
1.5.5 Vulkanausbruch	9
1.5.6 Wettervorhersage von Extremwetter	9
1.5.7 Überflutung und Austrocknung	10
1.5.8 Trockenheit – Dürre	10
1.5.9 Gewässerverschmutzung	10
1.5.10 Gewässerschutz – Blaualgen	10
	IX

1.5.11	Gewässerschutz – Süßwasser	11
1.5.12	Mülldeponien	11
1.5.13	Luftverschmutzung	11
1.5.14	Drohneinsatz in Naturschutzgebieten	11
1.5.15	Baumdenkmal	12
1.5.16	Ornithologische Überwachung	12
1.6	Land- und Forstwirtschaft	12
1.6.1	Ackerbau – Wachstum von Pflanzen und Schädlingsbekämpfung	12
1.6.2	Gartenbau – Obst, Gemüse und Zierpflanzen	13
1.6.3	Weinbau – Bewirtschaftung von Weinbergen	13
1.6.4	Nässe- und Trockenstress von Pflanzen	14
1.6.5	Unwetterschäden	14
1.6.6	Bekämpfung invasiver Arten	14
1.6.7	Fischwirtschaft	15
1.6.8	Viehzucht – Weidetierzählung	15
1.6.9	Wildtierrettung	15
1.7	Bergbau – Tagebau	16
1.7.1	Bild- und Vermessungsdaten	16
1.7.2	Geländesetzung durch Grundwasserabsenkung	16
1.7.3	Überwachung von Betriebsabläufen	16
1.8	Instandhaltung (Überwachung, Inspektion, Wartung und Instandsetzung)	16
1.8.1	Industrieanlagen	18
1.8.2	Freileitungen und Windenergieanlagen	18
1.8.3	Betonbauwerke	19
1.8.4	Baustellen	19
1.8.5	Grundstücke und Gebäude	20
1.8.7	Verkehrsoptimierung aus der Luft	21
1.8.8	Bahnanlagen	21
1.8.9	Luftfahrt – Flughäfen	22
1.8.10	Bergbahnen	22
1.9	Versicherungswirtschaft	23
1.9.1	Schadenslage, Regulierung, Risikobewertung	23
1.9.2	Sachverständigenwesen	23
1.10	Sicherheits- und Ordnungsaufgaben	24
1.10.1	Gefahrenabwehr	24
1.10.1.1	Objektüberwachung	25

1.10.1.2	Überwachung von Veranstaltungen	25
1.10.1.3	Grenzüberwachung	25
1.10.1.4	Seeüberwachung	26
1.10.1.5	Suche nach Personen	26
1.10.2	Verfolgung von Straftaten und Ordnungswidrigkeiten	26
1.10.2.1	Aufklärung und Kontrolle	26
1.10.2.2	Dokumentation und Beweissicherung an Tatorten	27
1.10.2.3	Dokumentation und Beweissicherung an Verkehrsunfallorten	27
1.10.2.4	Verkehrsdelikte	27
1.10.2.5	Bauaufsicht	27
1.10.2.6	Umweltschutz	27
1.10.3	Notfallrettung und Katastrophenhilfe	28
1.10.3.1	Unfallrettung	28
1.10.3.2	Katastrophenschutz und -hilfe	28
1.10.3.3	Brandschutz und Brandbekämpfung	28
1.10.3.4	Wasserrettung	29
1.10.3.5	Bergrettung	30
1.10.3.6	Luftrettung	30
1.11	Lastentransport – Logistik	31
1.11.1	Privatlogistik	31
1.11.2	Industrie- und Lagerlogistik	31
1.11.3	Notfalllogistik	31
1.12	Personentransport – Flugtaxi	32
1.13	Forschung und Beruf	32
1.13.1	Forschung	32
1.13.2	Berufsausbildung	33
2	Luftverkehrsrecht für die unbemannte Luftfahrt	34
2.1	Internationales Luftverkehrsrecht	34
2.1.1	Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt	34
2.1.2	Montrealer Übereinkommen (1999) zur Vereinheitlichung bestimmter Vorschriften über die Beförderung im internationalen Luftverkehr	36
2.2	Supranationales Luftverkehrsrecht der Europäischen Union	36
2.2.1	Primäres Luftverkehrsrecht (EU)	36
2.2.2	Sekundäres Luftverkehrsrecht mit Gesetzescharakter (EU)	37
2.2.3	Sekundäres Luftverkehrsrecht mit Verordnungscharakter (EU)	39
2.2.4	Leitlinien, Empfehlungen und Verfahren (EU)	41

2.3	Nationales Luftverkehrsrecht Bundesrepublik Deutschland	43
2.3.1	Anpassung an das EU-Luftverkehrsrecht für UAS	43
2.3.2	Primäres Luftverkehrsrecht in Deutschland – Grundgesetz	44
2.3.3	Sekundäres Luftverkehrsrecht in Deutschland – Gesetze	44
2.3.4	Tertiäres Luftverkehrsrecht in Deutschland – Verordnungen	45
2.3.5	Verfügungen und Verwaltungsvorschriften – Bekanntmachungen	45
3	Betrieb von Unbemannten Luftfahrzeugsystemen	48
3.1	Ziel dieses Kapitels	48
3.2	Bedeutung der unbemannten Luftfahrt	48
3.2.1	UAS erobern den Markt	48
3.2.2	Begriffsdefinitionen	49
3.2.3	Die rechtliche Ausgangslage im Jahr 2014	51
3.2.3.1	Internationales Recht – ICAO – für den UAS-Betrieb	51
3.2.3.2	Europäisches Recht für den UAS-Betrieb	52
3.2.3.3	Nationales Recht für den UAS-Betrieb	52
3.3	Die neue Basic Regulation – ein Meilenstein	53
3.4	Risikobasiert und Sicherheitsorientiert	54
3.4.1	Sicherheitsorientierung	54
3.4.2	Risikobasierung	55
3.4.3	Betrieb im Mittelpunkt	55
3.5	Betriebskategorien nach Risiko	55
3.5.1	Offene Betriebskategorie	56
3.5.2	Spezielle Betriebskategorie	56
3.5.3	Zulassungspflichtige Betriebskategorie	56
3.6	Die „offene“ Betriebskategorie	57
3.6.1	Aufteilung in drei Unterkategorien	57
3.6.2	Zulässige UAS in den Unterkategorien	59
3.6.2.1	Privat hergestellte Drohnen	59
3.6.2.2	Bestandsdrohnen	59
3.6.2.3	Zertifizierte Drohnen/UAS	59
3.6.2.4	Zulässige UAS ab 1.1.2024	61
3.6.2.4.1	Unterkategorie A1 (Betrieb über Personen)	61
3.6.2.4.2	Unterkategorie A2 (Betrieb nahe an Personen)	62
3.6.2.4.3	Unterkategorie A3 (Betrieb weit entfernt von Personen)	62
3.6.3	Horizontaler Abstand zu unbeteiligten Personen und Überflugverbot von Menschenansammlungen	64

3.6.3.1	Beteiligte und unbeteiligte Personen	64
3.6.3.1.1	Beteiligte Personen	64
3.6.3.1.2	Unbeteiligte Personen	64
3.6.3.1.3	Kontrollierte Bereiche	65
3.6.3.2	Menschenansammlungen	65
3.6.3.3	Unterkategorie A1 (Betrieb über Personen)	65
3.6.3.4	Unterkategorie A2 (Betrieb nahe an Personen)	66
3.6.3.5	Unterkategorie A3 (Betrieb weit entfernt von Personen)	67
3.6.4	Maximale Flughöhe	68
3.6.4.1	Grundsätzlich 120 Meter über Grund oder Wasser	68
3.6.4.2	Über Hindernissen, die die höher als 105 Meter sind	68
3.6.4.3	Hangflug im Gebirge	69
3.6.4.4	Technische Begrenzungen	69
3.6.5	Flug in Sichtweite (VLOS)	70
3.6.5.1	Pflichten des Fernpiloten	70
3.6.5.2	Berechnung der VLOS-Entfernung	71
3.6.5.3	Unterstützung des Fernpiloten	72
3.6.5.4	Betrieb im „Follow-me-Modus“	72
3.6.6	Personal (UAS-Betreiber, Fernpiloten, sonstige Beteiligte)	73
3.6.6.1	Grundlegende Voraussetzungen	73
3.6.6.2	Definitionen	74
3.6.6.3	UAS-Betreiber	74
3.6.6.4	UAS-Fernpiloten	74
3.6.6.4.1	Eignung	74
3.6.6.4.2	Mindestalter	75
3.6.6.4.3	Kompetenz von Fernpiloten	75
3.6.6.4.4	Dokument (Nachweis oder Zeugnis)	84
3.6.6.5	UAS-Beobachter	85
3.6.6.6	Registrierung	85
3.6.7	Pflichten der UAS-Betreiber und der Fernpiloten	86
3.6.7.1	Pflichten der UAS-Betreiber	87
3.6.7.1.1	Pflichten aus der DVO (EU) 2019/947 und der LuftVO	87
3.6.7.1.2	Betrieb in U-Space-Lufträumen	88
3.6.7.2	Pflichten der Fernpiloten	88
3.6.7.2.1	Flugvorbereitung (vor Aufnahme des UAS-Betriebs)	88
3.6.7.2.2	Flugdurchführung (während des Flugbetriebs)	89
3.6.7.2.3	Flugnachbereitung (nach dem Flugbetrieb)	91
3.6.7.2.4	Betrieb in U-Space-Lufträumen	91

3.6.7.3	Pflichten des unterstützenden Personals (Beobachter unbemannter Luftfahrzeuge)	91
3.6.7.4	Flugdurchführung ohne Risiko für Dritte (Kollisionsvermeidung)	92
3.6.7.4.1	Traditionelle Kollisionsvermeidung durch das Prinzip „See & Avoid“ („sehen und vermeiden“)	92
3.6.7.4.2	Optische Sichtbarkeit	92
3.6.7.4.3	Reaktionszeit und -distanz	93
3.6.7.4.4	Unabdingbare Pflicht für Fernpiloten	93
3.6.7.4.5	Mindestwetterbedingungen	93
3.6.7.5	Geografische Gebiete	94
3.6.7.5.1	Geografische Gebiete in Deutschland	95
3.6.7.5.2	Flugplanung	100
3.6.7.5.3	Zustimmung direkt vor Ort	100
3.6.7.5.4	Genehmigung nach § 21i LuftVO von den Landesluftfahrtbehörden	101
3.6.7.5.5	Schlussbemerkung zu den geografischen Gebieten	101
3.6.8	Besonderheiten	102
3.6.8.1	EASA-Sicherheitsmerkbblätter	102
3.6.8.2	Kein Abwurf von Material während des Fluges	103
3.6.8.3	Kein Transport gefährlicher Güter während des Fluges	103
3.6.8.4	Fernidentifizierung	104
3.6.8.5	Geo-Sensibilisierung	104
3.6.8.6	Beleuchtung	105
3.6.8.7	Versicherungspflicht	105
3.6.8.8	Sicherheitsinformationen und Meldungen	107
3.6.8.8.1	Pflichtmeldungen	108
3.6.8.8.2	Freiwillige Meldungen	109
3.6.8.8.3	Zuständige Behörden	109
3.6.8.8.4	Meldeverfahren	109
3.6.8.8.5	Veröffentlichung von Sicherheitsinformationen	110
3.6.8.9	U-Space	110
3.6.8.10	Modellflug	111
3.6.9	Zusammenfassung „offene“ Betriebskategorie	111
3.7	Die „spezielle“ Betriebskategorie	111
3.7.1	Betriebserklärung – Standardszenario	113
3.7.2	Betriebsgenehmigung als individuelle Genehmigung	114
3.7.2.1	Das Betriebshandbuch	117
3.7.2.2	Die Risikoanalyse und -bewertung	121
3.7.2.2.1	SORA – Specific Operations Risk Assessment	122

3.7.2.2.2	PDRA – Predefined Risk Assessment	130
3.7.2.2.3	Die Nachweisdokumente und Bescheinigungen	133
3.7.2.3	Die Betriebsgenehmigung	134
3.7.2.3.1	Erteilung	134
3.7.2.3.2	Gültigkeit	134
3.7.2.3.3	Bedeutsame Änderungen	134
3.7.2.4	Pflichten von UAS-Betreibern und Fernpiloten	135
3.7.3	Der UAS-Betrieb im Ausland	136
3.7.4	Betreiberzeugniss für Leicht-UAS (LUC – Light UAS operator certificate)	137
3.7.4.1	Beschreibung eines Betreiberzeugnisses für Leicht-UAS (LUC)	137
3.7.4.2	LUC-Beantragung und Verleihung von Rechten	138
3.7.4.3	Gültigkeit von LUC	139
3.7.5	Modellflug	139
3.7.6	Besonderheiten der speziellen Betriebskategorie	141
3.7.6.1	SERA – Standardised Rules of the Air	141
3.7.6.2	Zertifizierung des UAS	143
3.7.6.3	Notfallplan – Emergency Response Plan (ERP)	143
3.7.7	Zusammenfassung zur „speziellen“ Betriebskategorie	144
3.8	Die „zulassungspflichtige“ Betriebskategorie	144
3.8.1	Grundsätzliches	144
3.8.2	Bestimmungen der EU-Verordnungen	145
3.8.3	Nationales Luftverkehrsrecht	147
3.8.4	Fazit „zulassungspflichtige“ Kategorie	147
4	Urban Air Mobility	148
4.1	Bedarf, kooperativer und koordinierter Flugbetrieb	148
4.1.1	Urban Air Mobility – Beförderung von Personen	149
4.1.2	Urban Air Mobility – Beförderung von Waren	151
4.1.3	Aktuelle und zukünftige Situation	152
4.2	Notwendigkeit für Verkehrsmanagement	155
4.2.1	Schutzmaßnahmen in der bemannten Luftfahrt	155
4.2.2	Übertragen des Flugsicherheitssystems auf die unbemannte Luftfahrt	156
4.3	Regelungen auf europäischer und nationaler Ebene	160
4.3.1	Die Rolle der Mitgliedstaaten	161
4.3.2	Adressaten der U-Space-Verordnung	163
4.3.3	Zusammenspiel von bemannter und unbemannter Luftfahrt in einem U-Space-Luftraum	163

4.4	Rollen und Architektur im U-Space	164
4.4.1	Obligatorische und optionale Dienste	165
4.4.2	U-Space und die EU-Verordnung 2019/947	166
4.4.3	UAS-Betrieb im U-Space-Luftraum	167
4.5	Praktische Anforderungen und Infrastruktur	167
4.6	Fazit	172
5	Beachtung geschützter Rechtsgüter beim Drohneneinsatz ...	173
5.1	Schutz vor Eigentums- und Besitzstörungen (insbesondere bei Wohngrundstücken)	174
5.1.1	Szenarien	174
5.1.2	Rechtsgüter und Schutzvorschriften	175
5.1.2.1	Zivilrechtlicher Schutz	175
5.1.2.2	Luftverkehrsrechtlicher Schutz	176
5.1.3	Rechtsverfolgung durch den Eigentümer/Berechtigten	179
5.1.4	Exkurs: Vermietung des Luftraums zum Zwecke der entgeltlichen Einräumung von Überflugrechten?	180
5.2	Schutz der Privatsphäre	181
5.2.1	Szenarien	181
5.2.2	Rechtsgüter und Schutzvorschriften	182
5.2.2.1	Zivilrechtlicher Schutz	182
5.2.2.2	Strafrechtlicher Schutz	183
5.2.2.3	Luftverkehrsrechtlicher Schutz	184
5.2.3	Rechtsverfolgung	186
5.3	Schutz personenbezogener Daten	186
5.3.1	Szenarien	186
5.3.2	Schutzgüter und Rechtsvorschriften	188
5.3.2.1	Grundlagen des europäischen und des deutschen Datenschutzrechts	188
5.3.2.2	Grundsätze der Zulässigkeit	189
5.3.2.3	Insbesondere: Interessen- und Güterabwägung	191
5.3.2.3.1	Überwachung eigener Anlagen und Liegenschaften	191
5.3.2.3.2	Bildliche Erfassung und Dokumentation von Zuständen	193
5.3.2.3.3	Übersichtsaufnahmen von Veranstaltungen	194
5.3.2.4	Informationspflichten	195
5.3.2.5	Beschäftigtendatenschutz	196
5.3.2.5.1	Datenschutz durch Technikgestaltung, Schutz vor Missbrauch der erhobenen Bilddaten	198
5.3.2.6	Datenschutz im Luftverkehrsrecht	199

	Inhalt
5.3.3	Rechtsverfolgung 200
5.4	Schutz von Urheberrechten 202
5.4.1	Szenarien 202
5.4.2	Rechtsgüter und Schutzvorschriften 202
5.4.2.1	Kunsturheberrechtlicher Schutz für Abgebildete 202
5.4.2.2	Urhebergesetzlicher Schutz für Gestalter von Bauwerken 203
5.4.3	Rechtsverfolgung 205
5.5	Schutz vor (Wirtschafts-)Spionage 206
5.5.1	Szenarien 206
5.5.2	Rechtsgüter und Schutzvorschriften 207
5.5.2.1	Geschäftsgeheimnisgesetz 207
5.5.2.2	Sonstiger strafrechtlicher Schutz 209
5.5.2.3	Luftverkehrsrechtlicher Schutz 209
5.5.3	Rechtsverfolgung 210
5.6	Schutz vor Angriffen auf Leib und Leben 210
5.6.1	Szenarien 210
5.6.2	Rechtsgüter und Schutzvorschriften 212
5.6.2.1	Luftverkehrsrechtlicher Schutz 213
5.6.2.2	Richtlinien der Kommission für Anlagensicherheit (KAS) 213
5.6.2.3	Strafrechtlicher Schutz 214
5.6.3	Rechtsverfolgung 214
5.7	Schutz vor illegalen Transporten 215
5.7.1	Szenarien 215
5.7.2	Rechtsgüter und Schutzvorschriften 215
5.7.2.1	Luftverkehrsrecht 215
5.7.2.2	Sonstige Vorschriften 216
5.7.3	Rechtsverfolgung 217
5.8	Schutz des Luftverkehrs 217
5.8.1	Szenarien 217
5.8.2	Rechtsgüter und Schutzvorschriften 219
5.8.2.1	Europäisches Luftverkehrsrecht 219
5.8.2.2	Nationales Luftverkehrsrecht 220
5.8.2.3	Sonstiges Strafrecht 222
5.8.3	Rechtsverfolgung 223
6	Prävention und Abwehr gefährlicher Drohnen 224
6.1	Präventive Überwachung und Aufklärung 228

6.1.1	Technische Mittel	230
6.1.2	Rechtliche Bewertung	233
6.1.2.1	Funkanlagen	233
6.1.2.2	Datenschutz	233
6.1.2.3	Strafrecht	234
6.2	Abwehrmaßnahmen und Zulässigkeit	235
6.2.1	„Weiche“ Abwehrmaßnahmen	235
6.2.1.1	Eingesetzte Technik	235
6.2.1.2	Rechtliche Würdigung	236
6.2.1.2.1	Unzulässige Frequenznutzung durch Private	236
6.2.1.2.2	Selbsthilfe als Rechtfertigung?	237
6.2.1.2.3	Einsatz durch Private ist nicht zu raten	239
6.2.1.2.4	Einsatz durch Behörden	239
6.2.2	„Harte“ Abwehrmaßnahmen	239
6.2.2.1	Eingesetzte Technik	239
6.2.2.2	Rechtliche Würdigung für den zivilen Bereich	240
6.2.2.2.1	Sachbeschädigung/Kollateralschäden	240
6.2.2.2.2	Gefährdung des Luftverkehrs	241
6.2.2.2.3	Rechtfertigungs- bzw. Entschuldigungsgründe	241
6.2.2.3	Drohnenabwehr durch Sicherheitsbehörden	249
6.2.2.3.1	Abwehrbefugnisse gegenüber dem Angreifer	249
6.2.2.3.2	Rechtfertigung gegenüber geschädigten Dritten	251
6.3	Sonderfall Kritische Infrastrukturen	255
6.3.1	Sicherungspflichten versus Sicherungsmöglichkeiten	255
6.3.1.1	BSI-Gesetz und KRITIS-Dachgesetz	255
6.3.1.2	Störfallverordnung und KAS-Leitfaden	257
6.3.2	Detektion und Abwehr am Beispiel Flughäfen	258
6.3.2.1	Zuständigkeit für die Detektion und Verifikation	260
6.3.2.2	Zuständigkeit für die Abwehr	261
6.3.2.3	Sonstige Zuständigkeiten, auch im Umkreis von Flughäfen	263
6.3.3	Sicherheitspartnerschaften in anderen Kritis-Sektoren?	263
6.4	Zusammenfassung	264
7	Einsatz durch BOS sowie durch sonstige Behörden	266
7.1	Definition BOS und Einsatzbereiche	266
7.1.1	Definition BOS	266
7.1.2	Einsatzbereiche	267
7.1.2.1	Innere Sicherheit	267

7.1.2.2	Nicht-polizeiliche Gefahrenabwehr	270
7.1.2.3	Sonstige Behörden	271
7.2	Luftverkehrsrecht	272
7.2.1	Europäisches Luftverkehrsrecht	272
7.2.2	Deutsches Luftverkehrsrecht	275
7.2.2.1	Luftverkehrsgesetz	276
7.2.2.2	Luftverkehrs-Ordnung (a.F.)	276
7.2.2.3	Neufassung § 21k LuftVO	278
7.2.3	Berücksichtigung der „Sicherheitsziele“ des europäischen Luftrechts	279
7.2.4	Empfehlungen für Gemeinsame Regelungen zum Einsatz von Drohnen im Bevölkerungsschutz	280
7.3	Grundrechte, insbesondere Persönlichkeitsrechte und Datenschutz	281
7.3.1	Rechtsgrundlagen Datenschutz	282
7.3.2	Zulässigkeit	283
7.3.2.1	Erlaubnistatbestände	283
7.3.2.2	Rechtskonforme Anwendung	284
7.4	Drohneneinsatz durch Polizeibehörden	286
7.4.1	Rechtlicher Rahmen	287
7.4.1.1	Betroffene Grundrechte	287
7.4.1.2	Eingriffsnormen	287
7.4.1.2.1	Rechtsstaatliche Standards	287
7.4.1.2.2	Polizeiliche Ermächtigungsgrundlagen	288
7.4.2	Einsatz zu Zwecken der Gefahrenabwehr	289
7.4.2.1	Beobachtung des öffentlichen Raums	289
7.4.2.2	Bei öffentlichen Veranstaltungen	293
7.4.2.3	Bei Versammlungen	294
7.4.2.4	Observation, auch in Wohnungen	298
7.4.2.5	Vorläufiges Fazit	299
7.4.3	Strafverfolgung durch den Einsatz von Drohnen	300
7.4.3.1	Ermittlung und Aufklärung	300
7.4.3.2	Verwendung von Bilddaten zum Zweck der Fahndung	301
7.4.3.3	Observation mit technischen Mitteln	301
7.4.3.4	Feststellung und Verfolgung von Verkehrsverstößen	303
7.5	Normierungsbedarf	303
8	Technische Anforderungen an unbemannte Luftfahrzeuge und Zertifizierung	304
8.1	Lufttüchtigkeit und Zulassung	304

8.1.1	Bemannte Luftfahrt – traditioneller Ansatz mit klassischen Verfahren	304
8.1.2	Unbemannte Luftfahrt – ein disruptiver Ansatz mit neuen Verfahren?	305
8.1.2.1	UAS mit niedrigem Betriebsrisiko	306
8.1.2.2	UAS mit mittlerem Betriebsrisiko	307
8.1.2.3	UAS mit hohem Betriebsrisiko	307
8.1.3	Fazit	307
8.2	Technische Anforderungen und Zertifizierung im Luftverkehrsrecht	308
8.2.1	Europäisches Luftverkehrsrecht	308
8.2.2	Deutsches Luftverkehrsrecht	308
8.2.2.1	Musterzulassung	308
8.2.2.2	Verkehrszulassung	309
8.3	Wirtschaftsakteure	309
8.3.1	Hersteller	309
8.3.2	Bevollmächtigter	309
8.3.3	Einführer	310
8.3.4	Händler	310
8.3.5	Endnutzer (UAS-Betreiber)	310
8.4	Zertifizierungsverfahren	310
8.4.1	EU-Konformitätsbewertung	310
8.4.1.1	Technische Anforderungen	312
8.4.1.1.1	Technische Anforderungen in der Konformitätsprüfung	313
8.4.1.1.2	Technische Anforderungen in der Konformitätsvermutung ..	316
8.4.1.2	Technische Dokumente	317
8.4.1.3	EU-Konformitätsbewertungsverfahren	318
8.4.1.3.1	Modul A – Interne Fertigungskontrolle	319
8.4.1.3.2	Module B und C – EU-Baumusterprüfung und interne Fertigungskontrolle nach Baumuster	319
8.4.1.3.3	Modul H – Umfassende Qualitätssicherung	321
8.4.1.4	Wirtschaftsakteure im EU-Konformitätsbewertungsverfahren	322
8.4.1.4.1	UAS-Hersteller	322
8.4.1.4.2	Bevollmächtigte	323
8.4.1.4.3	UAS-Einführer	324
8.4.1.4.4	UAS-Händler	324
8.4.1.4.5	UAS-Betreiber	325
8.4.1.5	Zertifikat	326
8.4.1.6	UAS-Kennzeichnung	326
8.4.2	Erklärung oder Demonstration bei der nationalen Luftfahrtbehörde	327
8.4.2.1	Obligatorische Zertifizierung	328

8.4.2.1.1	Robustheit	328
8.4.2.1.2	Technische Angaben zum Antrag auf Erteilung einer Betriebsgenehmigung	328
8.4.2.2	Zuständige Behörde	329
8.4.2.3	Optionale Zertifizierung	329
8.4.2.4	Technische Anforderungen	329
8.4.2.4.1	PDRA	330
8.4.2.4.2	SORA	330
8.4.2.4.3	Technische OSOs (nach SORA 2.0)	331
8.4.2.4.4	M2 Risikominderung (Bodenrisiko)	332
8.4.2.4.5	Eingrenzung auf den Betriebsraum („containment“)	332
8.4.2.5	Antragsteller	333
8.4.2.5.1	UAS-Betreiber	333
8.4.2.5.2	UAS-Hersteller	334
8.4.2.6	Zertifikat	334
8.4.3	EASA-Design Verification – Konstruktionsüberprüfung	335
8.4.3.1	Obligatorische Zertifizierung – Konstruktionsüberprüfung	335
8.4.3.2	Luftfahrtbehörde	336
8.4.3.3	Anforderungen	337
8.4.3.4	Antragsteller	337
8.4.3.5	Zertifikat	339
8.4.4	EASA-Musterzulassung (Type Certification) und Verkehrszulassung	340
8.4.4.1	Obligatorische Musterzulassung	341
8.4.4.2	Musterzulassung	342
8.4.4.3	Technische Anforderungen	342
8.4.4.3.1	„Spezielle“ Betriebskategorie SAIL V oder VI	342
8.4.4.3.2	„Zulassungspflichtige“ Betriebskategorie	343
8.4.4.4	Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit	343
8.4.4.4.1	„Spezielle“ Betriebskategorie SAIL V oder VI	343
8.4.4.4.2	„Zulassungspflichtige“ Betriebskategorie	344
8.4.4.5	Antragsteller	344
8.4.4.6	Luftfahrtbehörden	344
8.4.4.7	Zertifikate	344
8.4.4.8	Fazit und Ausblick	345
8.5	Allgemeine Erläuterungen	345
8.5.1	Veröffentlichungen	345
8.5.2	Termine, Fristen und „Bestandsdrohnen“ aus technischer Sicht	346
8.5.2.1	UAS/Drohnen, die neu auf den Markt kommen	346
8.5.2.2	UAS/Drohnen, die sich im Markt befinden	346

9.1.3.1	Typen	363
9.1.3.1.1	Leitwerksbezeichnungen und Ruder	363
9.1.3.1.2	Anzahl der Antriebe	364
9.1.3.1.3	Unterschiedlichen Tragflächenformen und -anordnungen ...	364
9.1.3.2	Material der Konstruktion	366
9.1.3.2.1	Konstruktionswahl folgt der Auslegung	366
9.1.3.2.2	Die Wahl der Konstruktionsprinzipien	367
9.1.3.2.3	Konstruktionen aus Hartschaum	367
9.1.3.2.4	Spanten, Holm- und Rippenbauweise	368
9.1.3.2.5	Kern- und Flächenbeplankung	369
9.1.3.2.6	Composite-Bauweise mit Epoxidharz und Gewebe	370
9.1.3.2.7	Berechnung der Tragflächenkonstruktion	371
9.1.3.2.8	Optimierung der Torsionssteifigkeit	372
9.1.3.3	Antriebsart	372
9.1.3.4	Veränderungen der Nutzlast	373
9.1.3.5	Steuerung um die Achsen	373
9.1.3.6	Knüppelbewegungen an der Fernsteuerung	373
9.1.3.7	Flugeigenschaften	375
9.1.3.7.1	Der Auftrieb	375
9.1.3.7.2	Das negative Wendemoment	377
9.1.3.8	Einsatzgebiet	377
9.1.3.9	Fliegerische Anforderungen	378
9.1.4	Tiltrotor- und Tiltwing-Drohnen	378
9.1.4.1	Typen	378
9.1.4.2	Material der Konstruktion	379
9.1.4.3	Antriebsart	379
9.1.4.4	Veränderungen der Nutzlast	379
9.1.4.5	Steuerung um die Achsen	380
9.1.4.6	Knüppelbewegungen an der Fernsteuerung	380
9.1.4.7	Flugeigenschaften	380
9.1.4.7.1	Flugeigenschaften Tiltrotor	381
9.1.4.7.2	Flugeigenschaften Tiltwing	381
9.1.4.8	Einsatzgebiet	382
9.1.4.9	Fliegerische Anforderungen	382
9.1.4.10	Tiltwing versus Tiltrotor	382
9.1.5	VTOL – Vertikales Starten und Landen und horizontales Fliegen	382
9.1.5.1	Unterschiedliche VTOL-UAS Konzepte	382
9.1.6	Helikopter-Drohne	383
9.1.6.1	Typen	383

9.1.6.2	Material der Konstruktion	384
9.1.6.3	Antriebsart und Rotoren	384
9.1.6.4	Veränderungen der Nutzlast	384
9.1.6.5	Steuerung um die Achsen	384
9.1.6.6	Knüppelbewegungen an der Fernsteuerung	385
9.1.6.7	Flugeigenschaften	386
9.1.6.8	Einsatzgebiet	386
9.1.6.9	Fliegerische Anforderungen	387
9.1.6.10	Heli vs. Multikopter	387
9.1.7	Luftschiff-Drohnen	387
9.1.7.1	Typen	388
9.1.7.2	Material der Konstruktion	388
9.1.7.3	Antriebsart	388
9.1.7.4	Veränderungen der Nutzlast	389
9.1.7.5	Steuerung um die Achsen	389
9.1.7.6	Knüppelbewegungen an der Fernsteuerung	390
9.1.7.7	Flugeigenschaften	390
9.1.7.8	Einsatzgebiet	390
9.1.7.9	Fliegerische Anforderungen	391
9.2	Fernsteuerung	391
9.2.1	2,4-GHz-Frequenzband	391
9.2.2	RC-Sender, Bodenstation	392
9.2.3	Empfänger	393
9.2.4	Telemetrie und Liveübertragung von großen Datenmengen	393
9.2.4.1	Die Telemetrie	393
9.2.4.2	Große Datenströme, Datenlink	394
9.2.4.3	Antennen und Verlegung	394
9.2.4.3.1	Polarisation	394
9.2.4.3.2	Die Stabantenne/Litzenantenne	395
9.2.4.3.3	Patch-Antenne	396
9.2.4.3.4	Helix-Antenne	396
9.2.4.3.5	Kleeblattantenne	396
9.2.4.4	Varianten der Stromversorgung in der Drohne	397
9.2.4.4.1	Variante A	397
9.2.4.4.2	Variante B	397
9.2.4.4.3	Variante C	397
9.2.4.4.4	Variante D	397
9.2.4.4.5	Variante E	397
9.2.4.5	Stromversorgung Avionik	398

9.3	Die Flugsteuerung (Hardware)	398
9.3.1	Die Flugsteuerung und der Autopilot	398
9.3.2	Gyro- und Beschleunigungssensoren der Flugsteuerung	398
9.3.3	Einbindung der GPS- und Telemetrie-Sensoren	399
9.3.4	Einbindung von Sensorik, Servos und Reglern in den Autopiloten	399
9.3.5	Eigenentwicklung der Autopilot-Software und Open Source	399
9.4	Der Servo	401
9.4.1	Der richtige Servo	401
9.4.2	Servo-Betriebsspannung	401
9.4.3	Servo-Programmierung	402
9.4.4	Servo-Dimension und Mechanik	402
9.4.5	Analog-Servo	403
9.4.6	Digital-Servo	403
9.5	Elektromotor und Regler	403
9.5.1	Brushless-Elektromotor	403
9.5.2	Regler	405
9.5.3	Fehler und Ausfälle	405
9.5.3.1	Verlängerung der Akkukabel	405
9.5.3.2	Mangelnde Kühlung und Querlüftung	406
9.5.3.3	Korrodierte Kontakte	406
9.6	Sensoren für die Flugsteuerung und die Telemetrie	406
9.6.1	Allgemeines zu Sensoren	406
9.6.2	Sensortypen und Fähigkeiten	407
9.6.2.1	Barometrischer Drucksensor – Höhe [m]	407
9.6.2.2	Barometrischer Drucksensor – Variometer [m/s]	407
9.6.2.3	Drehzahlmessung [U/min]	407
9.6.2.4	Durchflussmesser – Kraftstoff [l/min]	407
9.6.2.5	Durchflussmesser – Flüssigkeit [l/min]	408
9.6.2.6	ECU-Jet-Turbine und Telemetrie	408
9.6.2.7	Füllstandssensor des Tanks	408
9.6.2.8	Kompass [Kurs in Grad zur Himmelsrichtung]	408
9.6.2.9	Magnetischer Kompass	408
9.6.2.10	Kompass – Flugrichtung aus den GPS-Daten	409
9.6.2.11	Kapazitätssensor [mAh]	409
9.6.2.12	Spannungssensor [V]	409
9.6.2.13	Spannungssensor für Einzelzellen [Volt je Zelle]	409
9.6.2.14	Optischer Drehzahlsensor [U/min, RPM]	409

9.6.2.15	Magnetischer Drehzahlsensor [U/min, RPM]	410
9.6.2.16	Staudrucksensor [km/h oder m/sec]	410
9.6.2.17	Ultraschallsensor, Sonar [m Entfernung]	410
9.6.2.18	Optical-Flow-Sensor	410
9.6.2.19	Radar	411
9.6.2.20	Tabelle: Sensoren, Verwendung, Avionik	411
9.7	Satellitenavigation	413
9.7.1	Grenzen der Satellitenavigation	413
9.8	Autopilot und Navigationssoftware	414
9.8.1	Betriebsdaten der Drohne	414
9.8.2	Startort, Waypoint, Ort/Gebiet von Interesse und Landeort	414
9.9	Akkus	415
9.9.1	Akku – Aufbau einer LiPo-Zelle	415
9.9.2	Akkutypen	416
9.9.2.1	Bedeutung der Akku-Bezeichnung	417
9.9.2.2	Parallelschaltung der Akkus	417
9.9.2.3	Reihenschaltung der Akkus	418
9.9.2.4	Der Spannungseinbruch	418
9.9.2.5	Akku-C-Rate	419
9.9.3	Akkuweichen und redundante Stromversorgung	420
9.9.4	Stromversorgung mit konstanter Spannung und BEC	420
9.9.5	System-Akkus	420
9.9.6	Sinnvolles Zubehör	421
9.9.6.1	LiPo-Checker und Multimeter	421
9.9.6.2	Füllstandsmarker	421
9.9.6.3	Beheizter Transportkoffer	421
9.9.6.4	LiPo – Sicherer Transport und Lagerung	421
9.9.6.5	LiPo-Decoupler	422
9.9.6.6	Antiblitzz	422
9.9.6.7	Balancer-Anschluss (HP/PQ; TP/FP; XH; EH)	422
9.9.6.8	Akkugehäuse im 3D-Druck	422
9.9.7	Zusammenfassende Merkliste: Akkupflege und Gebrauch	423
9.10	Ladetechnik	424
9.10.1	Netzteil, Autobatterie, Solar Akku-Packs	424
9.10.2	Ladegeräte	424
9.10.3	Stecker, Buchsen, Kabelquerschnitte	425
9.10.4	Sicherer Ladeort, Überwachung der Ladung, „Ladebuch“ führen	425

9.10.5	Schaden am Akku	426
9.10.6	Aufladen, Storage Ladung, Lagerung	426
9.10.6.1	Bestandsliste (Musterliste)	426
9.10.6.2	Ladebuch (Muster)	426
9.10.6.3	Checkliste zum Ladevorgang	427
9.10.7	Drohnen kontaktlos im Flug aufladen	427
9.11	Gimbal und Sensorik-Trägersysteme	428
9.11.1	Gimbal 3-Achs Brushless und Servo	428
9.11.2	Trägersysteme für Kameras	428
9.11.3	Wechselrahmen für unterschiedliche Anwendungen	429
9.11.4	Probenahme mit Greifarm	429
9.11.5	Trägersysteme an 3D-Druck und CNC anpassen	429
9.12	Kameratypen	429
9.13	Wartung und Pflege der Drohne	430
9.13.1	Propeller auswuchten	430
9.13.2	Motorenpflege	430
9.13.2.1	Verbrennungsmotor	430
9.13.2.2	Elektromotoren	430
9.13.2.3	Gleitmittel anstatt Öl oder Fett	431
9.13.3	Pflege, Wartung und Lagerung der Drohne	431
9.14	Rettungssysteme	431
9.14.1	Rettungsschirm	432
9.14.2	Schwimmweste/Boje	432
10	Kameras und Sensoren – Technik, Datenerfassung und -verarbeitung	433
10.1	Videokamera	433
10.1.1	Technik und Verwendung	433
10.1.2	Datenerfassung	434
10.1.3	Datenverarbeitung beim Videoschnitt	435
10.1.3.1	Codec-Management und Qualitätsverlust	435
10.1.3.2	Workflow und Synchronisation	435
10.1.3.3	Hardwareanforderungen	435
10.1.3.4	Erweiterungen und Plugins	436
10.2	Fotokamera, 5-Linsen-Kamera und 3D-Kamera	436
10.2.1	Technik und Verwendung	436
10.2.2	Datenerfassung	437

10.2.3	Datenverarbeitung	438
10.2.3.1	Panoramafotos, Stitching	438
10.2.3.2	Gigapixel-Aufnahmen	440
10.2.3.2.1	Der Weg zum Gigapixel-Panorama	440
10.2.3.2.2	Anwendungsmöglichkeiten	441
10.2.3.3	Fotovermessung, Fotogrammetrie	441
10.2.3.3.1	Vermessung von Fassaden und Gebäuden	441
10.2.3.3.2	Vermessung von Gelände	443
10.2.3.3.3	Vermessen von Dachflächen	446
10.3	360°-Kamera: Foto und Video	449
10.3.1	Technik und Verwendung	449
10.3.2	Datenerfassung	449
10.3.3	Datenverarbeitung	450
10.4	Wärmebildkamera, Infrarot (IR)-Kamera	450
10.4.1	Technik und Verwendung	450
10.4.2	Datenerfassung	451
10.4.3	Datenverarbeitung	451
10.5	Spektralkamera/Multispektralkamera	452
10.5.1	Technik und Verwendung	452
10.5.2	Datenerfassung	453
10.5.3	Datenverarbeitung	453
10.6	LIDAR (Light Detection and Ranging)	453
10.6.1	Technik und Verwendung	453
10.6.2	Datenerfassung	454
10.6.3	Datenverarbeitung	455
10.7	Besondere Kameras und Bildverwendungen	456
10.7.1	Hochspannung, Korona-Messung von Leiterseilen	456
10.7.2	BIM Re-Engineering von Gebäuden und Liegenschaften	456
10.7.2.1	Die Definition von BIM	456
10.7.2.2	Drohnendaten und BIM	456
10.8	Fernbedienung	457
10.8.1	Externe Fernbedienung der Kamera	457
10.8.2	Fernauslöser	457
10.8.3	Fernbedienung für Zoom und Blende	457
10.8.4	IR-Fernbedienung	457
10.9	Datenübertragung	457
10.9.1	Funkübertragung Livedaten, Data link	457

10.9.2	Video-Übertragung Digital-/Analog-Wandler	458
10.9.3	Funk-Relaisstation	458
10.9.4	Datenübertragung Laser, Laserlink	459
10.10	Software und Hardware	459
10.10.1	Lokale Software und Speicher oder Cloud Computing	459
10.10.2	Satellitenposition an Daten koppeln	460
10.10.3	VFX-Effekte und 3D-Welten	461
10.10.4	Verschlüsselung von Daten	461
10.10.5	Schnittstellen Kompatibilität und Kongruenzprüfung	463
10.10.6	Hardware	463
10.10.6.1	Rechner für die PointCloud und Videobearbeitung	463
10.10.6.2	Monitor	464
10.10.6.3	3D-Monitor, 3D-Stereo-Monitor	464
10.10.6.4	Speichermedien	465
11	Praktisch-technischer UAS-Flugbetrieb	466
11.1	Meteorologie	467
11.1.1	Kleine Wetterkunde	467
11.1.1.1	Wie entsteht unser Wetter	467
11.1.1.2	Stabile und labile Wetterlagen	468
11.1.1.3	Frontensystem	468
11.1.1.4	Wind (horizontal) und Turbulenzen	470
11.1.1.5	Thermik und Turbulenzen	475
11.1.1.6	Signifikante Wettererscheinungen	476
11.1.1.7	Wetterfaktoren für den Flugbetrieb	476
11.1.1.8	Wetterberatung	478
11.2	Checks am UAS (Grundsatz)	478
11.2.1	Benutzung von Checklisten	478
11.2.2	Prinzip von Checks am Luftfahrzeug am Boden	479
11.2.3	Musterchecklisten	479
11.3	Übung mit Simulator	482
11.4	Dokumentationen	483
11.5	Flugvorbereitung	484
11.5.1	Informationsquellen – Wo findet man was?	484
11.5.2	Auftragsvorbereitung	489
11.5.2.1	Workflow	490
11.5.2.2	Betriebskonzept und Genehmigungen	490

11.5.2.3	Weitere Genehmigungen und Zustimmungen	494
11.5.2.4	Befreiung von Genehmigungen	496
11.5.3	Weitere Vorbereitung	497
11.5.4	Vortag-/Vorabend-Check	497
11.5.5	Vorbereitung vor Ort	500
11.6	Flugdurchführung	501
11.6.1	Multikopter	502
11.6.1.1	Start- und Landestelle	503
11.6.1.2	Vorflugcheck	503
11.6.1.3	Startvorgang	503
11.6.1.4	Steigflug und Mission	503
11.6.1.5	Landeanflug und Landung	504
11.6.2	Paraschirm-Drohne	504
11.6.2.1	Start- und Landestelle	504
11.6.2.2	Vorflugcheck	505
11.6.2.3	Startvorgang	505
11.6.2.4	Steigflug und Mission	505
11.6.2.5	Landeanflug und Landung	505
11.6.3	Starrflügler-Drohne	506
11.6.3.1	Start- und Landestelle	506
11.6.3.2	Vorflugcheck	506
11.6.3.3	Startvorgang	507
11.6.3.4	Landeanflug und Landung	508
11.6.4	Tiltrotor- und Tiltwing-Drohne	509
11.6.4.1	Start- und Landestelle	509
11.6.4.2	Vorflugcheck	509
11.6.4.3	Startvorgang	509
11.6.4.4	Steigflug und Mission	510
11.6.4.5	Landeanflug und Landung	510
11.6.5	Helikopter-Drohne	511
11.6.5.1	Start- und Landestelle	511
11.6.5.2	Vorflugcheck	511
11.6.5.3	Startvorgang	511
11.6.5.4	Steigflug und Mission	512
11.6.5.5	Landeanflug und Landung	512
11.6.5.6	Der Downwash, Vortex Wirbelringstadium	512
11.6.6	Luftschiff-Drohne	513
11.6.6.1	Start- und Landestelle	513

11.6.6.2	Vorflugcheck	514
11.6.6.3	Startvorgang	514
11.6.6.4	Steigflug und Mission	514
11.6.6.5	Landeanflug und Landung	514
11.6.7	Besondere Flugverfahren	515
11.6.7.1	Verhalten in besonderen Fällen	515
11.6.7.2	Fliegen vor Hochhäusern, Kühltürmen, Industrieanlagen und Schornsteinen	517
11.6.7.3	Fliegen im Tagebaugebiet	518
11.7	Flugnachbereitung	518
11.7.1	Dokumentation	519
11.7.2	Meldungen	519
11.7.3	Akkus	519
11.7.4	Einsatzklare Drohne	519
11.7.4.1	Wartung an der Drohne	520
11.7.4.1.1	Auswuchten der Propeller	520
11.7.4.1.2	Pflege von Verbrennungsmotoren	520
11.7.4.1.3	Wartung von Elektromotoren	520
11.7.4.1.4	Lagerung und Pflege der Drohne	520
11.7.4.2	Instandhaltung	521
11.7.4.3	Masse und Schwerpunkt	521
11.7.4.3.1	Berechnung der Schwerpunktlage an Starrflüglern	522
11.7.4.3.1	Berechnung der Schwerpunktlage am Multikopter	523
11.7.4.3.3	Schwerpunkteinstellung beim Helikopter	524
11.7.4.3.4	Einstellen des Schwerpunktes beim Starrflügler	525
11.7.4.4	Trimmflug und Testflug	525
11.7.4.4.1	Multikopter	525
11.7.4.4.2	Paraschirm-Drohne	526
11.7.4.4.3	Starrflügler-Drohne	527
11.7.4.4.4	Tiltrotor- und Tiltwing-Drohne	527
11.7.4.4.5	Helikopter-Drohne	528
11.7.4.5	Werkzeuge/Ausrüstung	529
11.7.4.5.1	EWD-Waage	530
11.7.4.5.2	Pitcheinstelllehre Heli	530
11.7.4.5.3	Gewichtsmessung	530
11.7.4.5.4	Auswuchtwaage für Propeller	531
11.7.4.5.5	Rotorblattwaage Heli	531

Inhalt

12

Anhang

.....

532

12.1

Rechtsvorschriften

.....

532

12.2

Arbeitshilfen

.....

539

12.2.1

Flugbuch, Logbuch, Ladebuch

.....

539

12.2.2

Ereignismeldungen

.....

542

Stichwortverzeichnis

.....

552