

Multikopter im Rettungsdienst

Machbarkeitsstudie zum Einsatzpotenzial von Multikoptern als Notarztzubringer

Ergebnisbericht. München, den 14.10.2020



ADAC

Projektpartner



Gefördert von

ADAC Stiftung

Impressum

Herausgeber:

ADAC Luftrettung gGmbH
Geschäftsführung: Frédéric Bruder
Hansastraße 19
80686 München
T 089 76 76 0
info@luftrettung.adac.de

Rechtsform: gemeinnützige Gesellschaft mit beschränkter Haftung mit Sitz in München,
eingetragen beim Amtsgericht München HRB 7637

DOI: 10.5281/zenodo.4068110

Gestaltung und Lektorat:

online publishing GmbH
Textpur

Druckfehler und Irrtümer vorbehalten.

Alle Rechte, auch die des Nachdrucks, der Wiedergabe in jeder Form und der Übersetzung in andere Sprachen, behält sich mit Ausnahme der in § 53 UrHG ausdrücklich genannten Sonderfälle der Herausgeber vor. Jegliche Veröffentlichung und Präsentation der Machbarkeitsstudie, auch in Auszügen, bedarf der Genehmigung des Herausgebers.

© 2020 ADAC Luftrettung gGmbH München

Im Wesentlichen trugen die folgenden Mitwirkenden maßgeblich zum Erfolg der Studie bei:

ADAC Luftrettung

ADAC Luftrettung

Frédéric Bruder, Geschäftsführer
 Aaron Erd, Projektleitung
 Denis Benk, Projektleitung
 Linus Brütsch, Projektassistenz
 Florian Zöllinger, Flugbetrieb
 Matthias Schwierz, Flugbetrieb
 Eric Houzenga, Flugschule/Training
 Paul Himmelreich, Technik
 Karl-Heinz Maximilian, Safety Management
 Henriette Blume, Erlöse und Ausschreibungen
 Dr. Fritz Hagen, Medizin
 Dr. Daniel Werner, Medizin
 Bernd Neuburger, Infrastruktur
 Christian Sigl, Qualitätsmanagement
 Walter Dengel, Technik
 Helga Buchholzer, Projektcontrolling
 Marcel Meeth, Interessenvertretung

ADAC Stiftung

ADAC Stiftung

Thomas Heinrich, Leiter Forschung

VOLOCOPTER

Volocopter GmbH

Christian Bauer, Chief Commercial Officer
 Ralf Frisch, Business Development
 Artus Rupalla, Executive Assistant CTO
 Florian-Michael Adolf, Autonomous Flight
 Jörn Jaeger, Air Operations & Integration
 Nadja Loeffler, Air Operations & Integration
 Thomas Mager, Business Development
 Helena Treeck, Public Relations
 Marcus Hinkel, Marketing

INM

INM – Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement LMU Klinikum München

Dr. Stephan Prückner, Geschäftsführender Direktor
 Dr. Stefan Groß, Bereichsleitung
 Christian Gehring, Systemanalyse und Prozessoptimierung
 Sven von Küstenfeld, Systemanalyse und Prozessoptimierung
 Alex Gay Cabrera, Systemanalyse und Prozessoptimierung

DLR

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Prof. Dr.-Ing. Christoph Keßler, Stellvertretender Institutsdirektor
 Dr. rer. medic. Thomas Weber, Leiter AG Telemedizin und Telematik
 Dr.-Ing. Klausdieter Pahlke, Forschungsgebietsleiter Drehflügler

ZRF Ansbach Zweckverband für Rettungsdienst und Feuerwehralarmierung Ansbach

ZRF Ansbach

Thomas Müller, Geschäftsleiter
 Dr. Hermann Schröter, Ärztlicher Leiter Rettungsdienst (ÄLRD)

Rheinland-Pfalz MINISTERIUM DES INNERN UND FÜR SPORT

Ministerium des Inneren und für Sport Rheinland-Pfalz

Andreas Hitzges, Referatsleitung
 Benjamin Zurek, Referent für Rettungsdienst und Bevölkerungsschutz

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	9
Abkürzungsverzeichnis	10
Grußwort	13
Vorwort	14
1 Executive Summary	17
2 Ausgangslage und Gegenstand der Machbarkeitsstudie	20
2.1 Aktueller Stand der notärztlichen Versorgung in Deutschland	20
2.2 Aktuelle technische Entwicklungen im Bereich eVTOL	21
2.3 Zielsetzung der Machbarkeitsstudie	23
2.4 Abgrenzung/nicht Teil der Machbarkeitsstudie	23
2.5 Erwarteter Nutzen des Einsatzes von Multikoptern im Rettungsdienst/Thesen	24
2.5.1 Verbesserung der notfallmedizinischen Versorgung	24
2.5.2 Erweiterung von Versorgungsbereichen (knappe Ressource Notarzt)	24
2.5.3 Verbesserung des volkswirtschaftlichen Gesamtnutzens	24
2.5.4 Hohe gesellschaftliche Akzeptanz	24
3 Methodik	25
3.1 Projektorganisation	25
3.2 Projektpartner	25
3.3 Ressourcen	26
3.3.1 Fachexperten der ADAC Luftrettung	26
3.3.2 Austausch mit externen Fachexperten	26
3.3.3 Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Einrichtungen	26
3.3.4 Simulationen	27
3.3.5 Lastenhefte	27
3.3.6 Testbetrieb	27
3.4 Vorgehensweise	27
4 Bedarfsanalyse und notfallmedizinische Motivation	28
4.1 Aktuelle Herausforderungen in der Notfallversorgung	28
4.2 Korrelation von Zeitvorteilen und medizinischem Patientenvorteil	30
4.3 Bedarfsanalyse Multikopter im Rettungsdienst	30
4.3.1 Vorgehensweise	30
4.3.2 Potenzialanalysen (Makrosicht)	31
4.3.2.1 Potenzialanalyse Bayern	31
4.3.2.1.1 Einsatzaufkommen der Notarztstandorte in Bayern	33
4.3.2.1.2 Abhängigkeit des Einsatzradius von Geschwindigkeit und Reichweite der Multikopter	34
4.3.2.1.3 Location-Allocation-Modell	36
4.3.2.1.4 Szenarien Makrosicht Bayern	36
4.3.2.2 Potenzialanalyse Rheinland-Pfalz	38
4.3.2.2.1 Szenarien Makrosicht Rheinland-Pfalz	40
4.3.2.3 Erweitertes „Maximal-Szenario“	41
4.3.2.4 Fazit Potenzialanalyse (Makrosicht)	43
4.3.3 Mikrosicht	43
4.3.3.1 Methodik Mikrosicht: Simulation des Einsatzgeschehens	43
4.3.3.2 Mikrosicht: Szenarien Region Ansbach (Bayern)	44
4.3.3.2.1 Stufenweises Vorgehen bei den Szenarien in der Region Ansbach	44
4.3.3.3 Mikrosicht: Szenarien Region Idar-Oberstein (Rheinland-Pfalz)	48
4.3.3.3.1 Stufenweises Vorgehen bei den Szenarien in der Region Idar-Oberstein	50
4.3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse	54
5 Technische Machbarkeit	56
5.1 Fluggerät	56
5.1.1 Grundlegende technische Darstellung des in der Studie betrachteten „VoloCity“	56

5.1.2	Leistung und Reichweite	56
5.1.2.1	Anforderungen	56
5.1.2.2	Bewertung	57
5.1.3	Wettertauglichkeit und Nachtflugfähigkeit	57
5.1.3.1	Anforderungen	57
5.1.3.2	Bewertung	57
5.1.4	Flugtechnische Ausstattung	58
5.1.4.1	Anforderungen	58
5.1.4.2	Bewertung	59
5.1.5	Antrieb und Energieversorgung	60
5.1.5.1	Anforderungen	60
5.1.5.2	Bewertung	60
5.1.6	Wartung und Instandsetzung	63
5.1.6.1	Vor-/Nachteile gegenüber konventionellen Hubschraubern	63
5.1.6.2	Anforderungen an den Hersteller des Multikopters	65
5.1.6.3	Anforderungen an das Luftfahrzeug	66
5.1.6.4	Anforderungen an den Wartungsbetrieb	66
5.1.6.5	Bewertung der Anforderungen an den Hersteller, das Luftfahrzeug und den Wartungsbetrieb	67
5.1.7	Ersatzgestellung/Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	67
5.1.7.1	Anforderungen	67
5.1.7.2	Bewertung	68
5.2	Infrastruktur	68
5.2.1	Stationsinfrastruktur	68
5.2.1.1	Anforderungen	68
5.2.1.2	Bewertung	69
5.2.2	Energetechnische Versorgung	76
5.2.2.1	Anforderungen	76
5.2.2.2	Bewertung	76
6	Operationale Machbarkeit	77
6.1	Flugverfahren	77
6.1.1	Anforderungen	77
6.1.2	Bewertung	78
6.2	Vorhaltestrategien und Sicherstellung der Verfügbarkeit	80
6.2.1	Tag/Nacht	80
6.2.1.1	Anforderungen	80
6.2.1.2	Bewertung	80
6.2.2	Wetter	82
6.2.2.1	Anforderungen	82
6.2.2.2	Bewertung	82
6.3	Medizinische Ausstattung	83
6.3.1	Anforderungen	83
6.3.1.1	DIN 75079 (Notarzteinsetzfahrzeug) in Verbindung mit DIN 13232 (Notfallausrüstung)	83
6.3.1.2	Rettungsdienstfahrzeuge – Krankenkraftwagen (DIN EN 1789)	85
6.3.2	Bewertung	85
6.4	Crewkonzept	86
6.4.1	Flugbesatzung	86
6.4.1.1	Anforderungen	87
6.4.1.2	Bewertung	87
6.4.2	Medizinische Besatzung	88
6.4.2.1	Anforderungen	88
6.4.2.2	Bewertung	89
6.5	Ausbildung	89
6.5.1	Flugbesatzung	89
6.5.1.1	Anforderungen	89
6.5.1.2	Bewertung	90
6.5.2	Medizinische Besatzung	90
6.5.2.1	Anforderungen	90
6.5.2.2	Bewertung	92

6.6	Safety Management	92
6.6.1	Risikoanalyse	93
6.6.1.1	Anforderungen	93
6.6.1.2	Bewertung	93
6.6.2	Zertifizierung/Zulassung	94
6.6.2.1	Anforderungen	94
6.6.2.2	Bewertung	95
6.6.3	Organisatorische Flugsicherheit	95
6.6.3.1	Anforderungen	95
6.6.3.2	Bewertung	95
6.7	Indikationen und Dispositions-konzept	95
6.7.1	Anforderungen	95
6.7.2	Bewertung	96
7	Rechtliche Machbarkeit	99
7.1	Luftrecht	99
7.1.1	Begriffliche Einordnung des Multikopters	99
7.1.2	Europäische Regularien	100
7.1.2.1	Zulassung des Luftfahrzeugs	100
7.1.2.1.1	Anforderungen	100
7.1.2.1.2	Bewertung	100
7.1.2.2	Lizenzierung der Piloten	101
7.1.2.2.1	Anforderungen	101
7.1.2.2.2	Bewertung	101
7.1.2.3	Einordnung als gewerblicher Luftverkehr	102
7.1.2.3.1	Anforderungen	102
7.1.2.3.2	Bewertung	102
7.1.2.4	Luftfahrzeugleistung und Betriebsbeschränkungen (Teilabschnitt C/CAT.POL der VO (EU) 965/2012)	102
7.1.2.5	Sonderregelungen für medizinische Noteinsätze	104
7.1.2.5.1	Anforderungen	104
7.1.2.5.2	Bewertung	104
7.1.2.6	Sichtflugregeln und Sichtflugmindestbedingungen	104
7.1.2.6.1	Anforderungen	104
7.1.2.6.2	Bewertung	104
7.1.3	Nationale Regularien	105
7.1.3.1	Rechtsgrundlagen der Landung	105
7.1.3.1.1	Landung am Notfallort	106
7.1.3.1.1.1	Anforderungen	106
7.1.3.1.1.2	Bewertung	106
7.1.3.1.2	Landung am Krankenhaus	106
7.1.3.1.2.1	Anforderungen	106
7.1.3.1.2.2	Bewertung	106
7.1.3.1.2.2.1	Genehmigter Landeplatz	106
7.1.3.1.2.2.2	Landestelle im öffentlichen Interesse	107
7.1.3.1.3	Landung am Luftrettungsstandort	108
7.1.3.1.3.1	Anforderungen	108
7.1.3.1.3.2	Bewertung	108
7.2	Rettungsdienstrecht	109
7.2.1	Anforderungen	109
7.2.2	Bewertung	109
7.2.2.1	Bayerisches Rettungsdienstgesetz (BayRDG)	109
7.2.2.1.1	Begriffliche Einordnung des Multikopters	109
7.2.2.1.2	Geeignetheit	109
7.2.2.1.3	Personalqualifikation	109
7.2.2.1.4	Ergebnis	109
7.2.2.2	Rheinland-Pfälzisches Rettungsdienstgesetz (RettdG RLP)	109
7.2.2.2.1	Anwendungsbereich	109
7.2.2.2.2	Personalqualifikation	110
7.2.2.2.3	Ergebnis	110
7.3	Fazit	110

8	Politische/gesellschaftliche Machbarkeit	. . . . .	111
8.1	Wirkungen auf Raumordnung und Städteplanung	. . . . .	111
8.1.1	Anforderungen	. . . . .	111
8.1.2	Bewertung	. . . . .	111
8.2	Lärmwirkung	. . . . .	111
8.2.1	Anforderungen	. . . . .	111
8.2.2	Bewertung	. . . . .	111
8.3	Wirkungen auf die Umwelt	. . . . .	112
8.3.1	Schutzgut Arten und Biotope	. . . . .	112
8.3.1.1	Anforderungen	. . . . .	112
8.3.1.2	Bewertung	. . . . .	112
8.3.2	Schutzgut Wasser und Boden	. . . . .	113
8.3.2.1	Anforderungen	. . . . .	113
8.3.2.2	Bewertung	. . . . .	113
8.3.3	Schutzgut Luftreinheit	. . . . .	113
8.3.3.1	Anforderungen	. . . . .	113
8.3.3.2	Bewertung	. . . . .	113
8.3.4	Schutzgut Klima und natürliche Ressourcen	. . . . .	113
8.3.4.1	Anforderungen	. . . . .	113
8.3.4.2	Bewertung	. . . . .	113
8.4	Vertrauen in den Brandschutz	. . . . .	113
8.4.1	Anforderungen	. . . . .	113
8.4.2	Bewertung	. . . . .	113
8.5	Vertrauen in die flugbetriebliche Sicherheit	. . . . .	114
8.5.1	Anforderungen	. . . . .	114
8.5.2	Bewertung	. . . . .	114
8.6	Fazit: gesamtgesellschaftliche Akzeptanz	. . . . .	114
9	Wirtschaftliche Machbarkeit	. . . . .	115
9.1	Annahmen und Einflussfaktoren	. . . . .	115
9.1.1	Vorhaltung und Betrieb	. . . . .	115
9.1.2	Multikopter und EMS-Ausstattung	. . . . .	115
9.1.3	Energiemanagement	. . . . .	116
9.1.4	Infrastruktur	. . . . .	117
9.1.5	Personaleinsatz und Personalqualifikation	. . . . .	117
9.2	Gesamtkostenbetrachtung und Wirtschaftlichkeitsbenchmark	. . . . .	118
9.2.1	Ausgangsvoraussetzungen	. . . . .	118
9.2.2	Ergebnisse	. . . . .	118
9.2.2.1	Einzelbetrachtung (Makrosicht)	. . . . .	118
9.2.2.2	Systembetrachtung am Beispiel des Rettungsdienstbereichs Ansbach (Mikrosicht)	. . . . .	119
9.2.2.3	Zwischenfazit und Zusatznutzenbetrachtung	. . . . .	120
9.3	Finanzierungsoptionen	. . . . .	121
10	Strategische Machbarkeit	. . . . .	122
10.1	Empfehlungen an die Verantwortungsträger	. . . . .	122
10.1.1	Empfehlungen hinsichtlich der Regulatorik	. . . . .	122
10.1.2	Empfehlungen zur Anschubförderung	. . . . .	123
10.2	Schlusswort	. . . . .	123
11	Literaturverzeichnis	. . . . .	124

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Weitere Umsetzungsschritte (aktueller Planungsstand)	19
Abbildung 4.1:	Entwicklungen im Krankenhaussektor in Deutschland	28
Abbildung 4.2:	Gesamteinsatzzahlen im Zeitraum von 10 Jahren für den Ballungsraum Landeshauptstadt München	29
Abbildung 4.3:	Entwicklung der Einsatzzahlen im Vergleich 2017/2018 für den Ballungsraum Landeshauptstadt München	29
Abbildung 4.4:	Aufteilung der Bedarfsanalyse in Makrosicht und Mikrosicht	30
Abbildung 4.5:	Fahrzeit von NEF/NAW zum Notfallort in Bayern	31
Abbildung 4.6:	Luftliniengeschwindigkeit der NEF/NAW in Bayern	32
Abbildung 4.7:	Summationskurve des mittleren täglichen Einsatzaufkommens der Notarztstandorte in Bayern	33
Abbildung 4.8:	Abdeckung in 20 Minuten Fahrzeit durch gut ausgelastete NEF-Standorte in Bayern.	34
Abbildung 4.9:	Abhängigkeit des Einsatzradius von der Geschwindigkeit	35
Abbildung 4.10:	Abhängigkeit des Einsatzradius von der Reichweite der Multikopter.	35
Abbildung 4.11:	Erforderliche Multikopter-Standorte in Bayern bei Einsatzradius 24 km	36
Abbildung 4.12:	Erforderliche Multikopter-Standorte in Bayern bei Einsatzradius 45 km	37
Abbildung 4.13:	Erforderliche Multikopter-Standorte in Bayern in Abhängigkeit vom Einsatzradius	37
Abbildung 4.14:	Summationskurve des mittleren täglichen Einsatzaufkommens der Notarztstandorte in Rheinland-Pfalz	38
Abbildung 4.15:	Abdeckung in 20 Minuten Fahrzeit durch gut ausgelastete NEF-Standorte in Rheinland-Pfalz.	39
Abbildung 4.16:	Erforderliche Multikopter-Standorte in Rheinland-Pfalz bei Einsatzradius 24 km	40
Abbildung 4.17:	Erforderliche Multikopter-Standorte in Rheinland-Pfalz bei Einsatzradius 45 km	40
Abbildung 4.18:	Erforderliche Multikopter-Standorte in Rheinland-Pfalz in Abhängigkeit vom Einsatzradius	41
Abbildung 4.19:	Maximal-Szenario: 20-Minuten-Abdeckung durch verbleibende NEF in Bayern	41
Abbildung 4.20:	Maximal-Szenario: Multikopter-Standorte bei Einsatzradius 30 km in Bayern	42
Abbildung 4.21:	Notärztliche Versorgungsstrukturen im Rettungsdienstbereich Ansbach.	45
Abbildung 4.22:	Abhängigkeit des Multikopter-Einsatzaufkommens von der Geschwindigkeit in Ansbach	47
Abbildung 4.23:	Abhängigkeit des Multikopter-Einsatzaufkommens von der Reichweite in Ansbach	47
Abbildung 4.24:	Multikopter-Einsatzaufkommen in Stufe 3 bei Multikopter-Geschwindigkeit 180 km/h und Multikopter-Reichweite 200 km in Ansbach	48
Abbildung 4.25:	Notärztliche Versorgungsstrukturen im Mikroszenario Idar-Oberstein	49
Abbildung 4.26:	Abhängigkeit des Multikopter-Einsatzaufkommens von der Multikopter-Geschwindigkeit in Idar-Oberstein.	52
Abbildung 4.27:	Abhängigkeit des Multikopter-Einsatzaufkommens von der Multikopter-Reichweite in Idar-Oberstein	52
Abbildung 4.28:	Multikopter-Einsatzaufkommen in Stufe 2B bei Multikopter-Geschwindigkeit 100 km/h und Multikopter-Reichweite 80 km in Idar-Oberstein.	54
Abbildung 4.29:	Multikopter-Einsatzaufkommen in Stufe 2B bei Multikopter-Geschwindigkeit 180 km/h und Multikopter-Reichweite 200 km in Idar-Oberstein	55
Abbildung 5.1:	VoloCity der Firma Volocopter GmbH	56
Abbildung 5.2:	Sichtverhältnisse nach vorn/nach unten zur Landestelle am Beispiel der BK117 D2 (Quelle: ADAC Luftrettung)	59
Abbildung 5.3:	Zukünftig zu erwartende elektrochemische Energiespeicher (Bildquelle DLR).	60
Abbildung 5.4:	Spezifische Energiedichte verschiedener Energiespeicher bzw. Energieträger	61
Abbildung 5.5:	Verhältnis des OEW zum MTOW am Beispiel VoloCity (Volocopter GmbH) und BK117 D2/H145 (nach Airbus Helicopters).	62
Abbildung 5.6:	Spezifische Energiedichte der Energieträger Batteriechemie, Wasserstoff und Kerosin unter Einbezug des gesamten Antriebssystems (eigene Darstellung, Datenbasis: DLR)	62
Abbildung 5.7:	Standorte der ADAC Luftfahrt Technik GmbH.	67
Abbildung 5.8:	Vergleich der verschiedenen Ausbau-Möglichkeiten einer Multikopterstation.	69
Abbildung 5.9:	Beispiel einer Multikopterstation als Erweiterung bestehender Strukturen (Vorderansicht/Gesamtsicht)	70
Abbildung 5.10:	Beispiel einer Multikopterstation als Erweiterung bestehender Strukturen (Vorderansicht/Detailsicht)	71
Abbildung 5.11:	Beispiel einer Multikopterstation als Erweiterung bestehender Strukturen (Grundriss).	71
Abbildung 5.12:	Beispiel einer Containerstation als flexible Lösung einer Multikopterstation (Vorderansicht)	72
Abbildung 5.13:	Beispiel einer Containerstation als flexible Lösung einer Multikopterstation (Rückansicht)	73
Abbildung 5.14:	Beispiel einer Containerstation als flexible Lösung einer Multikopterstation (Grundriss).	73
Abbildung 5.15:	Beispiel eines Festbaus als langfristige Lösung einer Multikopterstation (Vorderansicht)	74
Abbildung 5.16:	Beispiel eines Festbaus als langfristige Lösung einer Multikopterstation (Seitenansicht).	74
Abbildung 5.17:	Beispiel eines Festbaus als langfristige Lösung einer Multikopterstation (Grundriss Erdgeschoss).	75
Abbildung 5.18:	Beispiel eines Festbaus als langfristige Lösung einer Multikopterstation (Grundriss Obergeschoss).	75
Abbildung 5.19:	Zentrale Funktionen eines intelligenten Batterie-Management-Systems.	76
Abbildung 6.1:	Startprofil eines CAT-A-Verfahrens	77

Abbildung 6.2:	Landeprofil nach CAT-A-Verfahren	78
Abbildung 6.3:	Schematisches Missionsprofil einer Multikopter-EMS-Mission nach heutigem Planungsstand	79
Abbildung 6.4:	Missionsprofile eines Multikopters im Rettungsdienst	79
Abbildung 6.5:	Einhaltung der Sichtflugbedingungen nach JAR-OPS 3 (2-Piloten-Cockpit) am Beispiel Mecklenburg-Vorpommern über 3 Jahre	81
Abbildung 6.6:	Einhaltung der Sichtflugbedingungen anhand der erfassten Daten der ADAC Luftrettung für das Jahr 2019	81
Abbildung 6.7:	Gliederung Konzept Flugsicherheit	92
Abbildung 6.8:	Risikomatrix	93
Abbildung 6.9:	Risikoakzeptanzmatrix	94
Abbildung 6.10:	Klassifizierung entsprechender Ausfallwahrscheinlichkeiten (aus SC-VTOL)	95
Abbildung 9.1:	Containerstation mit Leichtbauhangar	117
Abbildung 9.2:	Kostenbestandteile und Anteile an den Gesamtkosten eines Multikopter-Standortes bei 1.500 Einsätzen mit rd. 95.000 Flugkilometern pro Jahr (Quelle: Berechnung ADAC Luftrettung).	119

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Entwicklung der Eintreffzeiten des bodengebundenen Notarztes in der Bundesrepublik Deutschland von 1994 bis 2017.	20
Tabelle 2.2:	Hauptmerkmale aktueller Konzepte von eVTOLs	22
Tabelle 4.1:	Kennwerte 20-Minuten-Abdeckung durch gut ausgelastete NEF-Standorte in Bayern	34
Tabelle 4.2:	Kennwerte 20-Minuten-Abdeckung durch gut ausgelastete NEF-Standorte in Rheinland-Pfalz	39
Tabelle 4.3:	Kennwerte 20-Minuten-Abdeckung durch NEF im Maximal-Szenario in Bayern.	42
Tabelle 4.4:	Einsatzaufkommen der Multikopter, NEF und RTH in der Region Ansbach.	46
Tabelle 4.5:	Auswirkungen der Multikopter auf die Notfallversorgung in der Region Ansbach.	46
Tabelle 4.6:	Einsatzaufkommen der Multikopter und NEF im Mikroszenario Idar-Oberstein	50
Tabelle 4.7:	Einsatzaufkommen der Multikopter und NEF im Kerngebiet Idar-Oberstein.	51
Tabelle 4.8:	Auswirkungen der Multikopter auf die Notfallversorgung im Mikroszenario Idar-Oberstein.	53
Tabelle 4.9:	Auswirkungen der Multikopter auf die Notfallversorgung im Kerngebiet Idar-Oberstein.	53
Tabelle 5.1:	Vergleich Hubschrauber und Multikopter bezüglich Wartungs- und Instandsetzungskriterien	63
Tabelle 6.1:	Mindestsichtweiten nach EASA Part SPA.HEMS.120 für ein 2-Piloten-Cockpit.	80
Tabelle 6.2:	Mindestsichtweiten nach EASA Part SPA.HEMS.120 für ein 1-Piloten-Cockpit.	81
Tabelle 9.1:	Einsatzgeschehen in der Region Ansbach vor (Null-Szenario) und nach Einführung (Szenario Stufe 3) von Multikoptern im Rettungsdienst (aus INM-Bedarfsanalyse, vgl. u. a. Kap. 4.3.3.2.1	120

Abkürzungsverzeichnis

ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
AGL	<i>Above Ground Level</i> , Höhe über Grund
ALT	ADAC Luftfahrt Technik GmbH
AltMOC	<i>Alternative Means of Compliance</i> , alternative Nachweisverfahren
AMC	<i>Acceptable Means of Compliance</i> , annehmbare Nachweisverfahren
AML	<i>Aircraft Maintenance Licence</i> , Wartungslizenz nach EASA Part-66
AMM	<i>Aircraft Maintenance Manual</i>
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift
BayRDG	Bayerisches Rettungsdienstgesetz
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BOS-Funk	nicht öffentlicher mobiler Landfunkdienst für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
CFK	kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff
CMP	<i>Certified Minimum Performance</i> , zertifizierte Mindestleistung
ConOps	<i>Concept of Operations</i> , Betriebskonzept
CS	<i>Certification Specification</i> , Zulassungsspezifikation, Bauvorschriften
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EASA	Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit
EMS	<i>Emergency Medical Services</i> , Rettungsdienst
ETI	endotracheale Intubation
eVTOL	<i>electric Vertical Take-Off and Landing [Aircraft]</i> , senkrecht startendes und landendes elektrisch angetriebenes Luftfahrzeug
FATO	<i>Final Approach and Take-Off Area</i> , Hubschrauber-Landeplatz
FLM	<i>Flight Manual</i>
GFK	glasfaserverstärkter Kunststoff
GG	Grundgesetz
GM	<i>Guidance Material</i> , Begleitmaterial, Anleitung
GNSS	globales Navigationssatellitensystem
GPS	Globales Positionsbestimmungssystem
HEMS	<i>Helicopter Emergency Medical Services</i> , medizinische Hubschraubernoteinsätze/Luftrettung
HUMS	<i>Health and User Monitoring System</i> , System zur Zustandsüberwachung
IAS	<i>Indicated Airspeed</i> , angezeigte Luftgeschwindigkeit
ICAO	<i>International Civil Aviation Organisation</i> , Internationale Zivilluftfahrtorganisation
IFR	<i>Instrument Flight Rules</i> , Instrumentenflugregeln
INM	Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement
IPC	<i>Illustrated Parts Catalogue</i>
ITH	Intensivtransporthubschrauber
KI	Künstliche Intelligenz
LDP	<i>Landing Decision Point</i>
Lidar	<i>Light Detection and Ranging</i> , lichtbasierte (bzw. laserbasierte) Richtungs- und Entfernungsmessung
LOHC	<i>Liquid Organic Hydrogen Carrier</i> , flüssige organische Wasserstoffträger
LuftVG	Luftverkehrsgesetz
LuftVO	Luftverkehrsordnung
MEL	<i>Minimum Equipment List</i>
MOC	<i>Means of Compliance</i> , Erfüllungsnachweis der SC-VTOL
MRO	<i>Maintenance and Repair Organisation</i> , Wartungsbetrieb/Werft
MSM	<i>Master Servicing Manual</i>
MTO	<i>Maintenance Training Organisation</i>
MTOW	<i>Maximum Take-Off Weight</i> , maximales Startgewicht
NAW	Notarztwagen
NDT	<i>Non Destructive Testing</i> , zerstörungsfreie (Werkstoff-)Prüfung
NEF	Notarzteinsatzfahrzeug
nFl	Nachrichten für Luftfahrer (Amtsblatt für die Luftfahrt)
NVFR	<i>Night Vision Flight Rules</i> , Sichtflugregeln bei Nacht
NVG	<i>Night Vision Goggles</i> , Nachtsichtgerät bzw. binokulare Nachtsichtbrille
NVIS	<i>Night Vision Imaging System</i>
OAT	<i>Outside Air Temperature</i> , örtliche Temperatur

OCM	<i>On Condition Maintenance</i>
OEW	<i>Operating Empty Weight</i> , Betriebsleergewicht
PIS	<i>Public Interest Site</i> , Örtlichkeit von öffentlichem Interesse, Landestelle im öffentlichen Interesse
Radar	<i>Radio Direction and Ranging</i> , funkbasierte Richtungs- und Entfernungsmessung
RDB	Rettungsdienstbereich
ROG	Raumordnungsgesetz
RTH	Rettungshubschrauber
RTW	Rettungswagen
SB	<i>Service Bulletin</i>
SC-VTOL	<i>Special Condition for Small-Category VTOL Aircraft</i> , Zulassungsrahmen für senkrecht startende und landende Luftfahrzeuge der kleinen Kategorie
SERA	<i>Standardised European Rules of the Air</i> , Gemeinsame europäische Luftverkehrsregeln
SGA	<i>Specific Geographical Area</i>
SM	<i>Scheduled Maintenance</i>
SMM	<i>Safety Management Manual</i>
SMS	<i>Safety Management System</i> , Sicherheitsmanagementsystem
Soft Law	weiches Recht, unverbindliche Normen
SRM	<i>Structural Repair Manual</i>
TAS	<i>True Airspeed</i> , wahre Fluggeschwindigkeit
TBO	<i>Time Between Overhaul</i>
TC HEMS	<i>Technical Crew Member HEMS</i>
TCI	<i>Time Change Item</i>
TDP	<i>Take-Off Decision Point</i>
UM	<i>Unscheduled Maintenance</i>
UMS	<i>User Monitoring System</i>
VFR	<i>Visual Flight Rules</i> , Sichtflugregeln
VO	Verordnung
VTOL	<i>Vertical Take-Off and Landing [Aircraft]</i> , senkrecht startendes und landendes Luftfahrzeug
ZRF	Zweckverband für Rettungsdienst und Feuerwehralarmierung



Grußwort

Bei der Abfahrt versagen die Bremsen, der Mountainbiker stürzt und ist bewusstlos. Lebensgefahr! Schnelle Hilfe ist nötig. Aber im unwegsamen Gelände hat der Notarztwagen keine Chance durchzukommen. Einsatz für den Rettungsmultikopter: Er bringt den Arzt zum Unfallort, Leben gerettet.

Heute ein Gedankenspiel, morgen Realität: Flugtaxis ergänzen die Notfallrettung in Deutschland. Wenn derzeit ein Rettungshubschrauber abhebt, ist durchschnittlich in drei Viertel aller Fälle neben der Besatzung lediglich der Notarzt an Bord; nur bei jedem vierten Einsatz fliegen Patienten mit. Das ist aufwändig und teuer. Als Notarztzubringer können Flugtaxis eine ideale Ergänzung sein. Sie sind flexibel und sparen Geld. Außerdem können sie die Anzahl der Luftrettungsstandorte erhöhen und damit die medizinische Hilfe in ländlichen Regionen verbessern.

Bevor es so weit ist, heißt es: erproben, testen, untersuchen. Diese Studie ist ein hilfreicher Beitrag dazu. Sie liefert neue Erkenntnisse, benennt Herausforderungen und zeigt, unter welchen Voraussetzungen Rettungsmultikopter eingesetzt werden könnten. Dafür bin ich sehr dankbar.

Im Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur arbeiten wir intensiv daran, dass Drohnen und Flugtaxis die Labore verlassen und in die Luft gehen können. Zum einen fördern wir konkrete Projekte und Ideen. Zum anderen schaffen wir den Rahmen für den Einsatz: rechtlich, gesellschaftlich, infrastrukturell, umweltbewusst. In unserem Aktionsplan „Unbemannte Luftfahrtssysteme und innovative Luftfahrtkonzepte“ haben wir Maßnahmen definiert, um Drohnen und Flugtaxis den Weg in die Praxis zu ebnen, hohe Sicherheitsstandards zu etablieren und Deutschland zum Leitmarkt zu machen. Außerdem geht es darum, die Menschen mitzunehmen und Antworten auf ihre Fragen, zum Beispiel zum Schutz der Daten, der Privatsphäre und der Umwelt, zu geben. Nur wenn wir dabei überzeugen und eine breite gesellschaftliche Akzeptanz erreichen, werden sich Flugtaxis und Drohnen als neue Verkehrsträger bundesweit etablieren können. Der Rettungsmultikopter hilft uns auf diesem Weg und zeigt, was Flugtaxis leisten können: Leben retten.

Ihr Andreas Scheuer, MdB

Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur



Vorwort

„Die Utopien von heute sind die Realitäten von morgen.“

– Henry Dunant (1828 – 1910)

Vor knapp 50 Jahren begannen Pioniere in Deutschland, erstmalig den Einsatz von Hubschraubern im Rettungsdienst zu erproben. Innerhalb eines Zeitraums von wenigen Jahren wurden in mehreren Regionen Deutschlands Pilotprojekte mit teilweise unterschiedlichen Konzeptideen durchgeführt. Einer dieser Pioniere war der Allgemeine Deutsche Automobil-Club (ADAC). Ein im Jahr 1968 begonnener Probebetrieb führte schließlich zur Eröffnung der ersten offiziellen Luftrettungsstation in Deutschland – Christoph 01 in München. Der Weg hierzu war teilweise steinig. Gab es doch viele Kritiker, die den Einsatz eines Hubschraubers im Rettungsdienst für schlichtweg unmöglich hielten. Dem Durchhaltewillen der Pioniere ist es zu verdanken, dass Deutschland heute eines der modernsten, effektivsten und flächendeckendsten Luftrettungssysteme der Welt besitzt. Über zwei Millionen Luftrettungseinsätze wurden seitdem in Deutschland geflogen. Über eine Million davon allein von der gemeinnützigen ADAC Luftrettung. Viele Menschen verdanken der Luftrettung ihr Leben.

Über 50 Jahre nach der Etablierung des Luftrettungsdienstes findet sich heute ein ausgereiftes System vor. Zwar ist damit zu rechnen, dass durch neue Bedarfsplanungen ein neuer Bedarf an einzelnen Luftrettungsstationen festgestellt wird oder bestehende Luftrettungsstationen in ihren Vorhaltezeiten bzw. ihrem Einsatzauftrag erweitert werden – grundsätzlich lässt sich jedoch kein großflächiges Ausbaupotenzial mehr feststellen.

In den letzten fünf Jahrzehnten hat dieses ergänzende luftgestützte Rettungssystem seine großen Vorteile bewiesen. Nur durch die Luftrettung können in der Fläche äußerst schnelle Eintreffzeiten von qualifizierten Notfallmediziner*innen realisiert und weite Transportstrecken für den Patienten in kurzer Zeit überwunden werden. Kein anderes System ist somit in der Lage, notärztliche Expertise für einen geographisch sehr großen Einsatzbereich verfügbar zu machen. Durch die Kranken- und Unfallkassen in Deutschland hat der Luftrettungsdienst seit jeher große Unterstützung erfahren. Eine schnelle und effektive notfallmedizinische Versorgung – hierin sind sich alle Experten einig – verbessert die Überlebens- und Heilungschancen eines Patienten erheblich und führt damit einhergehend auch zu geringeren Folgekosten.

Nicht nur die zur Verfügung stehenden Technologien haben sich über die Jahre weiterentwickelt, sondern auch die Rolle des Rettungsdienstes im Allgemeinen. Bedingt durch gesellschaftliche, ordnungs- und gesundheitspolitische sowie demographische Veränderungen nimmt der Rettungsdienst heute eine ganz andere Rolle ein als noch vor ein paar Jahren. Krankenhauskonsolidierungen in der Fläche sind hier nur ein Beispiel unter vielen.

Nicht zuletzt aus diesen Gründen steht eine Optimierung der Notfallversorgung aktuell im politischen Fokus. Sowohl auf Bundesebene als auch auf Länderebene werden unterschiedlichste Optimierungsstrategien geprüft und umgesetzt. Dies führte u. a. zur Einführung des neuen Berufsbildes des Notfallsanitäters, zu vielen Bedarfsneufeststellungen, zu Gesetzesänderungen und zur Implementierung vieler innovativer Zukunftsprojekte wie der Einführung des Telenotarztes.

Weiterer Veränderungsbedarf kündigt sich jedoch bereits an. Es darf nicht Halt gemacht werden. Die Einführung der gestuften Notfallversorgung, die Weiterentwicklungen beim Thema Künstliche Intelligenz in der Medizintechnik, der sich verschärfende Mangel an medizinischen Fachkräften sowie zu erwartende gesellschaftliche Veränderungen werden den Rettungsdienst vor neue Herausforderungen stellen. Die Verantwortlichen im Rettungsdienst – die Behörden, Kostenträger und Leistungserbringer – werden sich diesen Herausforderungen stellen müssen. Soll die notfallmedizinische Versorgung der Bevölkerung auf hohem Niveau sichergestellt bleiben, bedarf es weiterer innovativer Ideen und Konzepte. Seit jeher waren es in Deutschland auch die privaten und meist gemeinnützigen Leistungserbringer, die Innovationen – teilweise mit hohem eigenen Kapitaleinsatz und Risiko – vorangetrieben haben.

So wollen auch wir als ADAC Luftrettung erneut dazu beitragen, den Rettungsdienst zukunftsfähig aufzustellen. Dazu soll in der vorliegenden Studie geprüft werden, ob mit elektrischen Multikoptern ein neuer agiler Notarztzubringer im Rettungsdienst etabliert werden kann. Mit solchen innovativen Ideen und Know-how sollen neue Wege aufgezeigt und gegangen werden. Neue Wege sollten jedoch nicht zwingend im Alleingang bewältigt werden. Aus diesem Grund wurde vorliegende Studie in einem großen Gemeinschaftsprojekt realisiert. Es sind hier die Firma Volocopter, das Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM), der Zweckverband für Rettungsdienst und Feuerwehralarmierung Ansbach, das Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz sowie das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) zu nennen. Die ADAC Stiftung hat die Studie gefördert und diese damit erst möglich gemacht. Allen Beteiligten sei an dieser Stelle ein großer Dank ausgesprochen.

Die Studienergebnisse zeigen, dass durch die Etablierung von Multikoptern im Rettungsdienst eine signifikante Systemverbesserung und Weiterentwicklung zum Wohle der Patienten erreicht werden kann. Selbstverständlich bedarf es vor einer flächendeckenden Einführung dieser neuen Technologie im Rettungsdienst noch weiterer technologischer und legislativer Entwicklungen sowie der Ausarbeitung detaillierterer Feinkonzepte.

Ob die Bundesrepublik Deutschland – vielleicht wieder als eines der ersten Länder weltweit – ein flächendeckendes Multikopternetz am Ende der jetzigen oder der folgenden Dekade haben wird, kann nur die Zukunft zeigen. Genau hier sehen wir uns als ADAC Luftrettung in der Verantwortung, den Pioniergeist unserer Organisation auf die Probe zu stellen und die Erfolgsgeschichte einer hochqualifizierten und schnellen notfallmedizinischen Versorgung aus der Luft fortzuführen.

Ich hoffe, die Studie regt Ihre Vorstellungskraft an, die Notfallrettung, insbesondere aus der Luft, zumindest in Teilen neu zu denken, und dient dazu, einen Einblick in eine mögliche Zukunft aufzuzeigen. Ich wünsche Ihnen viel Freude mit unseren Studienergebnissen.

Ihr
Frédéric Bruder
Geschäftsführer der ADAC Luftrettung

1 Executive Summary

Die vorliegende Machbarkeitsstudie untersucht die Einsatzmöglichkeiten von bemannten Multikoptern im Rettungsdienst und beantwortet die Frage, ob der Einsatz von Multikoptern einen Vorteil gegenüber etablierten Systemen bieten kann. Multikopter sind eine gänzlich neue Art von Luftfahrzeugen. Sie sind elektrisch angetrieben, mehrmotorig, senkrechtstartend und weisen einen hohen Grad an Automatisierung auf. Multikopter wurden in erster Linie für einen Einsatz als Flugtaxi im zivilen Bereich entwickelt. Der Einsatz im Rettungsdienst stellt zusätzliche bzw. abweichende Anforderungen an einen Multikopter. Die Untersuchung der technischen Voraussetzungen bildet jedoch nur einen Teil des Studienfokus. Aspekte der bedarfsanalytischen, operationellen, rechtlichen, politisch-gesellschaftlichen sowie der wirtschaftlichen Machbarkeit sind weitere zentrale Elemente der Studie. Die Ergebnisse sollen als Entscheidungsgrundlage für weiterführende Praxistests und Versuchsszenarien mit Multikoptern in der Luftrettung dienen. Eine Einführung von neuen Luftfahrzeugen ist für die ADAC Luftrettung mit ihrer 50-jährigen Historie keine Neuheit. Stetige Neuentwicklungen der Hersteller führten die ADAC Luftrettung immer wieder vor die Herausforderung, neue marktreife Hubschraubermodelle wie z. B. die BK117, MD900, EC135 und BK117 D2 in Dienst zu stellen und zu betreiben. Auf dieser Erfahrung kann grundlegend aufgebaut werden, auch wenn es sich bei Multikoptern im Vergleich zu Hubschraubern um eine differenzierte Technik handelt.

Ausgangslage. Für ein möglichst gutes Outcome eines Notfallpatienten ist das frühzeitige Eintreffen von qualifizierten Rettungskräften essenziell. Statistische Erhebungen zeigen jedoch, dass sich die Notarzt-Eintreffzeit seit 20 Jahren um fast 40 % verlängert und somit verschlechtert hat. Wesentlicher Grund hierfür ist ein stetig steigendes Einsatzaufkommen bei gleichzeitig zunehmenden Bindungszeiten. Diese lassen sich vor allem durch längere Transportstrecken infolge von Zentrenbildung der Kliniken begründen. Damit einhergehend sinkt die Verfügbarkeit der notärztlichen Einsatzkräfte. Neben der höheren Bindung vorhandener Rettungsmittel verschlechtert sich die Situation zusätzlich durch einen sich zuspitzenden Mangel an qualifizierten Notärzten. Die Rettungsdienstträger stehen vermehrt vor der Herausforderung, ihre Notarztstandorte ausreichend personell besetzen zu können. Lösungsstrategien hierfür sind bereits etabliert bzw. befinden sich im Stadium der Erprobung. So soll die Einführung des Berufsbildes des Notfallsanitäters zu einer Entlastung der notärztlichen Kapazitäten führen; die Einführung eines Systems zur telenotärztlichen Konsultation soll ebenfalls zur Sicherung des Systems beitragen. Die Mangelsituation kann jedoch allein durch diese Maßnahmen nicht beseitigt werden. Eine weitere Möglichkeit kann und muss in der Verbesserung der Logistik liegen. Nicht in jedem Fall kann ein Notfallsanitäter oder ein Telenotarzt den Notarzt an der Einsatzstelle ersetzen. Es müssen daher Lösungen gefunden und etabliert werden, um eine geringere Anzahl an Notärzten für größere Versorgungsbereiche verfügbar zu machen. Eine solche Lösungsstrategie ist der Einsatz von Multikoptern im Rettungsdienst. Von Seiten der Bevölkerung ist hierfür eine große Befürwortung zu erwarten. Nach einer repräsentativen Umfrage sprechen sich mehr als 65 % der

Befragten für einen Multikoptereinsatz im Rahmen einer notfallmedizinischen Anwendung aus.

Ziel und Abgrenzung der Studie. Zentraler Fokus der Studie ist die Untersuchung der Einführbarkeit von Multikoptern im Rettungsdienst. Hierfür orientiert sich die Studie an bestehenden und zu erwartenden technischen Entwicklungen bei Multikoptern, die auf eine Marktreife in einem Zeithorizont von zwei bis vier Jahren abzielen. In diesem Zeithorizont werden Multikopter mit hoher Nutzlast noch keine ausreichende Marktreife erreichen können. Daher wird eine (Patienten-)Transportkomponente in der Studie nicht betrachtet, sondern ausschließlich eine taktische Notarztzubringung untersucht, die auf eine Ausweitung der Notarztversorgungsbereiche fokussiert ist. Des Weiteren sollen auch vollautonome Einsatzmöglichkeiten des Luftfahrzeuges nicht betrachtet werden. Autonome Flüge sind im Rahmen eines Flugtaxi-Betriebs in Zukunft zwar zu erwarten – in der Luftrettung jedoch aufgrund hoher Anforderungen an fliegerisches Können in unbekanntem Terrain bzw. Landen an unerkundeten Landstellen als mittelfristig nicht realistisch zu bewerten.

Bedarfsanalyse. Zur Analyse und Bewertung wesentlicher ein- satztaktischer, technischer und konzeptioneller Anforderungen sind vom Projektpartner INM Bedarfsanalysen auf Basis verschiedener Simulationen durchgeführt worden. Diese ergaben ein valides Anforderungsprofil an ein mögliches Multikopterkonzept und zudem Kennwerte für erforderliche Geschwindigkeiten und Reichweiten. In den Simulationen wurden zunächst im Rahmen einer Makroperspektive die Länder Bayern und Rheinland-Pfalz bedarfsanalytisch untersucht. Darauf aufbauend erfolgte im weiteren Schritt eine regionale Analyse (Mikrosicht) für die Modellregionen Ansbach (Bayern) und Idar-Oberstein (Rheinland-Pfalz). Für beide Simulationsperspektiven wurden jeweils Realeinsatzdaten zugrunde gelegt. Aus den Simulationen lassen sich im Wesentlichen zwei Ergebnisse ableiten: Zum einen kann der Einsatz von Multikoptern im Rettungsdienst zur Systemverbesserung und zur Lösung bestehender Herausforderungen beitragen. Die Vergrößerung von Vorhaldebereichen führt dazu, dass notärztliche Vor-Ort-Expertise weiterhin und bei gleichbleibender Versorgungssicherheit verfügbar bleiben kann, auch wenn sich die Situation des Notärztemangels weiter verschlechtern sollte. Zum anderen leiten sich aus den Simulationen wesentliche planerische und technische Kennwerte ab: Der **Einsatzradius** eines Multikopters als systemrelevantes Rettungsmittel sollte idealerweise bei **25 bis 30 km** liegen. Aus diesem Einsatzradius ergibt sich eine optimale **Einsatzgeschwindigkeit** (Fluggeschwindigkeit) des Multikopters von etwa **150 bis 180 km/h** und eine **Mindestreichweite** von etwa **150 km**. Die Analyse der Mikrosicht in den Modellregionen ergab zudem, dass sich bereits mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h (über Grund) und einer Reichweite von 50 km deutliche Verbesserungen der Versorgungssituation zeigen können.

Technische Anforderungen. Die technische Machbarkeit wurde anhand des VoloCity des Projektpartners Volocopter untersucht, da sich dieser Multikopter durch seine Einfachheit im Design auszeichnet und er vor allem eine frühzeitige Marktreife erwar-

ten lässt. Mit 18 festverbauten Propellern weist der VoloCity eine besonders hohe Ausfallsicherheit auf. Für die Machbarkeitsstudie lieferte der VoloCity die nötigen Kennwerte, um das Konzept aus technischer Sicht bewerten zu können. Im Gegensatz zum Flugtaxi bestehen an einen Multikopter als Luftrettungsmittel zusätzliche Anforderungen, die aus dem besonderen operativen Umfeld der Luftrettung resultieren. Dieses schließt unter anderem eine Operabilität bei Nacht und bei besonderen Wetterbedingungen mit ein. Aus technischer Sicht müssen hierzu die entsprechenden Systeme (z. B. NVIS) vorgesehen werden oder zukünftig automatische bzw. assistierende Systeme den Piloten bei Nacht bzw. schlechter Sicht unterstützen (z. B. Lidar, Radar). Nach der Produktspezifikation des VoloCity beläuft sich dessen Reichweite auf 35 km. Dieser Wert beruht auf dem VoloCity als einem „Minimum Viable Product“, mit welchem durchaus ein erster Probetrieb und folgende Pilotphasen möglich sind. Für einen flächendeckenden Betrieb von Multikoptern in der Luftrettung werden Modellvarianten mit alternativen bzw. verbesserten Energiespeicherungs- bzw. Energieumwandlungssystemen sowie höheren Nutzlasten und Reisegeschwindigkeiten benötigt.

Operationelle Anforderungen. Aus operationeller Sicht stehen die Verfügbarkeit und Sicherheit des Rettungsmittels im Fokus. Einsatzmittel im Rettungsdienst müssen eine höchstmögliche Verfügbarkeit aufweisen, da ein Notfallpatient auf das sichere und schnelle Eintreffen des Notarztes angewiesen ist und dessen Überleben bzw. das Patienten-Outcome bei entsprechendem Notfallbild davon abhängen kann. Es ist daher erforderlich, dass der Multikopter im 24h-Dienst sowie bei Schlechtwetter operieren kann und auch technische Ausfälle auf ein absolutes Minimum reduzierbar sein müssen. Auch bestehen spezielle Anforderungen an die medizinische Ausstattung. Durch den Multikopter wird der Notarzt häufig frühzeitig (oder sogar als erstes Rettungsmittel) an der Notfallstelle ankommen. Dies erfordert eine besondere medizinische Ausstattung, die im Vergleich zum Notarzteinsetzfahrzeug (NEF) beim Multikopter – aufgrund einer deutlich geringeren Nutzlast – gewichtsoptimiert sein muss. Da nur zwei Besatzungsmitglieder an Bord sein sollen, muss nach aktuellen Vorgaben der Notarzt die fliegerischen Aufgaben eines TC HEMS übernehmen. Aktuell verfügt der Fahrer eines NEF über eine notfallmedizinische Ausbildung. Analog müsste beim Multikopterbetrieb der Pilot, welcher über die entsprechende (spezielle) Lizenz, Flugerfahrung und Musterberechtigung verfügen sollte, zusätzlich eine notfallmedizinische Zusatzausbildung durchlaufen. Zur Sicherstellung einer jederzeitigen Verfügbarkeit auch bei widrigsten Wetter- bzw. Sichtbedingungen sollte an jedem Standort ein Fahrzeug als Rückfallebene vorgehalten werden.

Regulatorische Anforderungen. Auf europäischer Ebene bestehen bereits erste Vorschriften für die Zulassung von Multikoptern, und Vorschriften für deren Betrieb befinden sich in Entwicklung. Dabei müssen bereits die spezifischen Erfordernisse des Luftrettungsdienstes Berücksichtigung finden, um eine regulatorische Blockade dieser Anwendung zu vermeiden. Auf nationaler Ebene sind für den Luftrettungsdienst sichere Rechtsgrundlagen der Landung essenziell. Sowohl die Rechtsgrundlagen der Landung auf Landstellen im öffentlichen Interesse

(„Public Interest Site“, PIS) als auch der Genehmigungsumfang von Hubschrauberlandeplätzen müssten nachgebessert werden, um den Einsatz von Multikoptern im Rettungsdienst zu ermöglichen. Die grundsätzliche Einordnung der Multikopter in die Luftfahrzeugklassifikation bedarf der Klärung. Nach dem Rettungsdienstrecht der Länder sind insbesondere die Qualifikationsanforderungen an die Besatzung zu prüfen, da in der Regel der Pilot eine zusätzliche, umfangreiche Ausbildung zum Notfallsanitäter nicht zu leisten vermag, allerdings in Begleitung eines umfassend ausgebildeten Notfallmediziners ggf. auch gar nicht benötigt. Die bundeseinheitliche Durchsetzung dieser neuen luftrechtlichen Regularien erfordert eine ausreichend ausgestattete, performante Luftfahrtverwaltung sowie eine gute Koordination zwischen Bund und Ländern.

Politische und gesellschaftliche Herausforderungen. Multikopter im Rettungsdienst können auf eine hohe Akzeptanz in der Bevölkerung hoffen. Anwohner von Landeplätzen sind von Lärmbelastigungen betroffen, die jedoch bei Multikoptern deutlich geringer sind als solche, die von Hubschraubern ausgehen. Dem Brandschutz an Landeplätzen und Stationen ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Die hohen Anforderungen des Artenschutzes könnten zu besonderen Herausforderungen führen, da innerhalb eines Rettungsdienstbereichs lediglich eingeschränkte Stationierungsmöglichkeiten vorhanden sind und die Wirkungen von Multikoptern auf die Arten nach bisheriger Einschätzung mit den Wirkungen von Hubschraubern vergleichbar sein könnten, was jedoch weiterer Untersuchung bedarf. Ebenso besteht hinsichtlich der Lärmwirkungen von Multikoptern auf den Menschen Abklärungsbedarf. Die Einführung dieser neuen Technologie bedarf eines politischen Änderungsmanagements, welches das Vertrauen in diese noch unbekannt Luftfahrzeuge durch transparente und aktive Kommunikation fördert.

Wirtschaftlichkeit. Werden Multikopter mittelfristig in das System der Notfallrettung in Deutschland integriert, so sind die Kosten im Wesentlichen von den gesetzlichen Kranken- und Unfallkassen zu tragen. Multikopter müssen daher wirtschaftlich betreibbar sein. Dies setzt voraus, dass die Systemgesamtkosten im Idealfall durch die Etablierung eines solchen neuen Rettungsmittels nicht steigen. Die projizierten Gesamtkosten einer Multikopterstation im 24h-Betrieb belaufen sich auf Basis eines heutigen durchschnittlichen NEF-Einsatzaufkommens auf rund 1,35 Mio. € pro Jahr. Diese Kosten sind im Vergleich zum Betrieb einer Rettungshubschrauberstation deutlich günstiger, im Vergleich zum Betrieb einer NEF-Wache aber teurer. Setzt man jedoch voraus, dass zukünftig die Versorgungsbereiche von Multikoptern im Vergleich zu NEFs größer sein werden, relativiert sich der Vergleich zum aktuell bodengebundenen System. Ein kosteneffizienter Betrieb erscheint daher möglich.

Ausblick. Die Verfasser der Studie sind überzeugt, dass der Einsatz von Multikoptern im Rettungsdienst grundsätzlich machbar ist und zur Systemverbesserung beitragen kann. Der EMS-Betrieb kann für das neue Produktsegment Multikopter einer der wesentlichen Treiber sein und auch als Türöffner für andere Märkte dienen. Auch wenn die Technologie des Multikopters im Vergleich zu einem Hubschrauber einfacher zu betreiben sein wird, so darf dies jedoch nicht dazu führen, dass eine zügige In-

novation zulasten der Flug- und Patientensicherheit aufgegeben wird. Es sollte staatlicherseits daher einerseits durch die Bereitstellung entsprechender Gelder Innovation gefördert werden, andererseits sollten die zuständigen staatlichen Institutionen auch dafür Sorge tragen, dass der Einsatz von Multikoptern ausschließlich auf einem ausreichend hohen Sicherheitslevel erfolgt. Die vorliegende Machbarkeitsstudie bildet eine Grundlage für die ADAC Luftrettung und ihre Projektpartner für den Einstieg in die weiterführenden Umsetzungsschritte:



Abbildung 1.1: Weitere Umsetzungsschritte (aktueller Planungsstand)

Fünf zentrale Kernbotschaften der Machbarkeitsstudie

Sinnvolle Ergänzung des bestehenden Systems. Die Studie zeigt, dass der Einsatz von Multikoptern das bestehende Rettungsdienstsystem sinnvoll ergänzen und einen Beitrag zu aktuellen Problemstellungen leisten kann. Der Multikopter kann Versorgungsbereiche der Notärzte erweitern und gleichzeitig für eine schnelle Verfügbarkeit des Notarztes vor Ort sorgen. Das Ziel des Einsatzes von Multikoptern ist es nicht, bestehende Rettungshubschrauber- oder bodengebundene Notarztstandorte weitgehend zu ersetzen. Vielmehr soll das Gesamtsystem optimiert werden. Insgesamt kann von einem Potenzial von bis zu 250 Multikopter-Standorten in Deutschland ausgegangen werden.¹

Technische Weiterentwicklung notwendig – bestehende Technologie ist ausreichend für Testbetrieb. Um Multikopter als systemrelevante Einsatzmittel im Rettungsdienst einsetzen zu können, sind technische Weiterentwicklungen notwendig. Insbesondere muss eine ausreichende Reichweite, Fluggeschwindigkeit, Zuladungskapazität und Verfügbarkeit technisch gewährleistet werden. Die in den kommenden zwei bis vier Jahren zur Verfügung stehenden marktreifen Multikopter (v.a. VoloCity) sind bereits geeignet, erste Pilotbetriebe durchzuführen. Durch frühzeitig etablierte EMS-Pilotprojekte können weitere notwendige Entwicklungen beschleunigt werden.

Umsetzung nur mit versierten Partnern möglich. Die Etablierung von neuen Technologien und Prozessen im Rettungsdienst erfordert ein strukturiertes Vorgehen mit dem Ziel, eine höchstmögliche Flugsicherheit zu gewährleisten und eine optimale Patientenversorgung sicherzustellen. Dies ist nur möglich mit erfahrenen und vorausblickenden Projektpartnern, wie sie in der vorliegenden Studie mitgewirkt haben.

Rechtzeitige Anpassung notwendiger Rahmenbedingungen. Die rettungsdienstlichen und luftrechtlichen Rahmenbedingungen sollten rechtzeitig und damit frühzeitig angepasst werden. Nur so kann gewährleistet werden, dass eine schnelle notfallmedizinische Systemoptimierung durch den Einsatz von Multikoptern möglich wird. Für Innovationsprojekte sollten ausreichende Förder- und Finanzmittel bereitgestellt werden.

Rettungsdienst als Inkubator für weitere Einsatzmöglichkeiten. Neue Technologien in der Luftfahrttechnik können dazu beitragen, den Innovationsstandort Deutschland weiter auszubauen. Der Einsatz von Multikoptern im Rettungsdienst kann als Inkubator für weitere Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie dienen. Zudem können auch Staaten von solchen neuen Technologien profitieren, für die bisher die Vorhaltung von Hubschraubern für den Rettungsdienst zu kostenintensiv war.

¹ Basis: Hochrechnung der Simulationsergebnisse aus Bayern und Rheinland-Pfalz, vgl. Kapitel 4.3

2 Ausgangslage und Gegenstand der Machbarkeitsstudie

2.1 Aktueller Stand der notärztlichen Versorgung in Deutschland

Mit der von Bundesgesundheitsminister Jens Spahn im Jahr 2019 angekündigten und begonnenen Reform der Notfallversorgung soll auch die präklinische Patientenversorgung angepasst und optimiert werden.

„Die Güte eines Gesundheitssystems zeigt sich vor allem im Notfall, wenn Menschen schnelle medizinische Hilfe benötigen [...].“

– Bundesgesundheitsminister Jens Spahn
zur Reform der Notfallversorgung (29.07.2019)

Die Art der Planung, Organisation und Durchführung der präklinischen Notfallversorgung in ihrer heutigen Ausprägung ist das Ergebnis von historischen Entwicklungen, unterschiedlichsten Regelungswerken und unterschiedlichsten Zuständigkeiten.

Als eine wichtige Bemessungsgröße in der notfallmedizinischen Versorgungsplanung gilt die Prähospitalzeit. Sie bildet die Zeit ab, die vom Zeitpunkt des Eingehens des Notrufs bei einer Leitstelle bis zur Übergabe des Patienten² in einer geeigneten Versorgungseinrichtung vergeht. Liegt ein zeitkritisches Verletzungs- oder Krankheitsbild vor, so soll die Prähospitalzeit maxi-

mal 60 Minuten betragen³. Eine weitere zentrale Planungsgröße ist die Hilfsfrist. Sie gibt die Zeit vom Eingehen des Notrufs bis zum Eintreffen der ersten Rettungskräfte am Notfallort an. Sie sollte möglichst nicht überschritten werden. Je nach Bundesland und Landesgesetz existieren verschiedenste Hilfsfristvorgaben. Beispielsweise gilt in Thüringen eine 14-Minuten-Hilfsfrist bzw. eine 17-Minuten-Hilfsfrist in ländlichen Gebieten. In Nordrhein-Westfalen sind 8 Minuten bzw. 12 Minuten in ländlichen Gebieten landesgesetzlich festgelegt.

Sowohl eine Prähospitalzeit von 60 Minuten als auch die Hilfsfrist werden vor allem in ländlichen Gebieten häufig nur erschwert eingehalten. Grund dafür sind teilweise lange Anfahrtswege (sowohl zur Einsatzstelle als auch zum Krankenhaus). Die Lozierung der Notarzt- und Rettungswachenstandorte spielt dabei nur teilweise eine Rolle. Ein stetig steigendes Einsatzaufkommen bei gleichzeitig zunehmenden Transportstrecken zu einem geeigneten Krankenhaus bilden die Hauptursachen für eine geringere Verfügbarkeit und damit längere Bindungs- und Fahrzeiten von Rettungsmitteln. Daneben stehen viele Rettungsdienstträger vor der zunehmenden Herausforderung, bestehende Notarztstandorte überhaupt ausreichend personell besetzen zu können. Sowohl das Problem der Verfügbarkeit von Rettungsmitteln als auch der Mangel an qualifizierten Notärzten wird sich voraussichtlich die kommenden Jahre noch weiter zuspitzen.

Anfahrt mit Sonderrechten	Eintreffzeit							Mittelwert	95-Prozent-Eintreffzeit
	2 Min.	5 Min.	7 Min.	10 Min.	12 Min.	15 Min.	20 Min.		
Eintreffen Notarzt 1994/95	3,0 %	26,3 %	46,3 %	70,7 %	80,6 %	89,7 %	96,1 %	9,0 Min.	18,6 Min.
Eintreffen Notarzt 1996/97	2,2 %	19,7 %	38,9 %	65,1 %	76,7 %	87,8 %	95,5 %	9,8 Min.	19,4 Min.
Eintreffen Notarzt 1998/99	2,3 %	19,4 %	38,9 %	63,4 %	75,0 %	86,2 %	94,8 %	10,0 Min.	20,2 Min.
Eintreffen Notarzt 2000/01	2,6 %	16,8 %	36,0 %	60,8 %	72,5 %	83,8 %	93,3 %	10,5 Min.	21,9 Min.
Eintreffen Notarzt 2004/05	2,1 %	15,3 %	31,7 %	55,7 %	67,2 %	80,2 %	91,3 %	11,2 Min.	23,9 Min.
Eintreffen Notarzt 2008/09	0,8 %	9,3 %	24,4 %	49,7 %	63,0 %	77,0 %	88,7 %	12,3 Min.	26,6 Min.
Eintreffen Notarzt 2012/13	0,9 %	9,0 %	23,2 %	46,5 %	59,2 %	72,8 %	85,1 %	13,0 Min.	28,9 Min.
Eintreffen Notarzt 2016/17	0,4 %	5,8 %	18,1 %	41,5 %	54,8 %	69,3 %	82,5 %	13,9 Min.	30,5 Min.

© FORPLAN DR. SCHMIEDEL 2018

Tabelle 2.1: Entwicklung der Eintreffzeiten des bodengebundenen Notarztes in der Bundesrepublik Deutschland von 1994 bis 2017⁴

² **Disclaimer:** In der Gesamtheit der vorliegenden Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich die männliche Form verwendet. Sie bezieht sich auf Personen beiderlei Geschlechts.

³ Fischer et al., 2016

⁴ Schmiedel et al., 2019, S. 56

Die regelmäßige statistische Erhebung über die rettungsdienstliche Versorgung in Deutschland durch das Bundesamt für Straßenwesen veranschaulicht sehr deutlich die bestehenden Herausforderungen. Aus Tabelle 2.1 wird eine zunehmende Eintreffzeit des Notarztes ersichtlich. Im Vergleich zum Betrachtungszeitraum 1994/95, in dem der Mittelwert der Notarzt-Eintreffzeit noch bei 9 Minuten lag, liegt er im Betrachtungszeitraum 2016/17 bereits bei 13,9 Minuten. Die Eintreffzeit des 95%-Perzentils betrug in 1994/95 18,6 Minuten und in 2016/17 30,5 Minuten – was einer Erhöhung und damit Verschlechterung der Eintreffzeit um 39% entspricht.

Die verantwortlichen Rettungsdienststräger haben diese Herausforderungen erkannt. Unterschiedlichste Lösungsansätze werden diskutiert und umgesetzt. In den letzten zehn Jahren wurden vor allem Rettungsmittelvorhaltungen erhöht – sowohl im bodengebundenen Rettungsdienst als auch im Luftrettungsdienst. Diese Vorhalteeerhöhungen konnten jedoch nur teilweise zur Problemlösung beitragen. Verantwortungsumverteilungen (Einführung des Berufsbildes des Notfallsanitäters) oder Verantwortungszentrierungen (notärztliche telemedizinische Konsultation) bilden ebenfalls Ansätze einer Systemverbesserung. Jedoch kann weder bezogen auf eine einheitliche und weitreichende Kompetenz für die Notfallsanitäter noch bezogen auf die allgemeine Einführung eines „Telenotarztes“ Flächendeckung festgestellt werden.

Deshalb sind mehr denn je innovative Ansätze gefragt. Die „Ressource Notarzt“ wird zunehmend ein knappes Gut. Nicht nur sind die bestehenden Notarztstandorte (v. a. in Ballungszentren) immer höher ausgelastet und daher der einzelne Notarzt immer weniger verfügbar – auch fehlt der Notarznachwuchs gerade auf (scheinbar unattraktiven) Wachen auf dem Land. Auch wenn zukünftig durch die Einführung des Notfallsanitäters und des Telenotarztes weniger notärztliches Einsatzaufkommen zu erwarten ist – auf einen Notarzt als „reale Person“ vor Ort wird bei bestimmten Verletzungs- und Krankheitsbildern nie gänzlich verzichtet werden können. Vielmehr werden jedoch diese Notärzte eine höhere Qualifizierung und Erfahrung haben müssen, sollen sie nur noch für vorselektierte und spezielle Fälle an der Notfallstelle zum Einsatz kommen. Durch die Einführung des Notfallsanitäters und des Telenotarztes werden daher nicht nur Probleme gelöst – es werden auch neue geschaffen. Die ohnehin teilweise schon schlecht ausgelasteten Standorte auf dem Land werden noch weniger Einsätze haben – was die Unattraktivität dieser Standorte weiter steigert. Die Rettungsdienststräger können diese Standorte jedoch nicht einfach streichen – muss doch die Versorgung der Bevölkerung – auch bei sehr geringer Einsatzhäufigkeit – sichergestellt sein. Die Rettungsdienststräger stehen daher vor einem Dilemma.

Ein Ansatz zur Lösung dieses Dilemmas könnte in einer Verbesserung der Rettungsdienst-Logistik liegen. Je mehr die Fahrstrecken steigen, je knapper die Ressource Notarzt wird und je spezialisierter der Notarzt zwangsläufig werden muss, umso mehr spricht für ein Transportmittel, das im Vergleich zu einem Notarzteinsetzfahrzeug (NEF) in kürzerer Zeit eine größere Strecke zurücklegen und damit eine größere Versorgungsfläche abdecken kann.

Eine flächendeckende Etablierung von Multikoptern in der Funktion eines Notarztzubringers könnte Teil einer Optimierungsstrategie der Rettungsdienst-Logistik sein. Durch den Lufttransport des Notarztes an die Einsatzstelle könnte zum einen die Eintreffzeit und damit das gesamte Prähospitalintervall verkürzt werden. Die Einführung von Multikoptern im Rettungsdienst könnte zum anderen aber vor allem dazu beitragen, die knappe Ressource Notarzt deutlich besser verfügbar zu machen. Die vorliegende Machbarkeitsstudie soll hierfür die Grundlagen liefern.

Die Idee eines Transportes des Notarztes per Luftfahrzeug ist dabei nicht neu. Viele Leitstellen setzen Rettungshubschrauber häufig als (reine) Notarztzubringer ein. Eine Zubringung per Hubschrauber ist jedoch die teuerste Möglichkeit und wird daher häufig nur als Ultima Ratio in Erwägung gezogen. Als Alternative wurden in der Vergangenheit Projekte durchgeführt, den Notarzt per (weniger kostenintensiven) Kleinhubschrauber zur Einsatzstelle zu bringen. Dies hat sich jedoch nicht durchgesetzt, da diese Kleinhubschrauber nicht die gesetzlichen Leistungsvorgaben (Flugleistungsstufe 1) einzuhalten in der Lage sind. Mit der Multikopter-Technik ergeben sich im Vergleich dazu zukünftig gänzlich neue Möglichkeiten.

2.2 Aktuelle technische Entwicklungen im Bereich eVTOL

Mit der aktuellen Entwicklung in Batterie- und elektrischen Antriebstechnologien durch den Automotive-Sektor ist die Grundlage für ein elektrisches Mobilitätskonzept in der Luft geschaffen worden. Dieses Mobilitätskonzept der Zukunft wird in verschiedenen Start-ups sowie Großkonzernen der Zivilluftfahrt unterschiedlich interpretiert. Einen Ansatz bilden die sogenannten elektrischen Flugtaxi, welche entscheidende Vorteile gegenüber bestehenden bodengebundenen Mobilitätskonzepten bieten können. Diese Fluggeräte werden auch als eVTOLs bezeichnet. Im Grunde genommen beschreibt die Abkürzung eVTOL (electric Vertical Take-Off and Landing) die Flugeigenschaft eines Flugobjekts, welches elektrisch angetrieben senkrechte Start- und Landeverfahren ausführen kann.

Flugzeuge mit Tragflächen benötigen eine bestimmte Geschwindigkeit (Take-Off Speed), um sicher abzuheben, weil sie ihren Auftrieb rein über die aerodynamische Form der Tragflächen erhalten. Es ist daher immer ein Flugfeld notwendig. eVTOLs dagegen können vertikal starten, benötigen somit wenig Raum und bieten sich als Mobilitätsalternative in Städten an. Sie können auf kleinen Start- und Landeflächen, sogenannten FATO, starten und landen, welche platzsparend in die städtische Raumplanung integriert werden können.

Prinzipiell zählt der Hubschrauber ebenfalls zu der Klasse der VTOLs. Hubschrauber sind in der zivilen Anwendung überwiegend mit einem Hauptrotor und einem Heckrotor angetrieben. Der Hauptrotor erzeugt durch das Drehflügelprinzip dynamischen Auftrieb bzw. Schub. Abhängig vom Anstellwinkel der Rotorblätter wird dabei ein Drehmoment auf den Hubschrauber übertragen. Der Hubschrauber würde aus diesem Grund beginnen, sich um die eigene Rotorachse entgegen der Rotordrehrichtung zu drehen. Um dieses Rotieren zu verhindern, wirkt der Heckrotor durch seine vertikale Anordnung dem Drehmoment mit seinem

geregelten Schub entgegen. Das seitliche Erzeugen von Schub hat auch eine Versetzung des Hubschraubers entgegen dem Luftstrahl des Heckrotors zur Folge. Der Hubschrauberpilot muss dieses seitliche Versetzen des Hubschraubers durch leichtes Rollen ausgleichen, damit der Flugzustand ausgetrimmt ist. Um nun einen Vortrieb zu erzeugen, beeinflusst der Pilot mit seinen Eingaben eine mechanische Taumelscheibe, welche die Anstellung der Rotoren zyklisch ändert, sodass der Schub des Hauptrotors in Flugrichtung gerichtet wird und ein Vortrieb entsteht. Zusätzlich kann über Steuerstangen der Anstellwinkel jedes Rotorblattes um den gleichen Betrag geändert werden, sodass der vertikale Schub dementsprechend angepasst werden kann. Der Schub des Heckrotors kann zur Haltung des Gleichgewichts und der Steuerung ebenfalls variiert werden. Damit ist das Steuerungssystem eines Hubschraubers verhältnismäßig komplex.

Da der Hubschrauber meist einen einzigen Hauptrotor verwendet, besitzt dieser einen großen Rotorkreisdurchmesser von über 10 Metern. Die Rotordrehzahl ergibt sich als Kompromiss zwischen möglichst hohen Schwebeflugleistungen, die eine hohe Drehzahl erfordern, und der Vermeidung von Kompressi-

bilitätseffekten, was eine Blattspitzengeschwindigkeit deutlich unterhalb der Schallgeschwindigkeit bedingt. In der Regel liegt die Blattspitzengeschwindigkeit im Vorwärtsflug bei hohen Fluggeschwindigkeiten knapp unterhalb der Schallgeschwindigkeit. Durch bestimmte Wahl der Blattspitzenform und -dicke wird das Problem des im schnellen Vorwärtsflug relevanten Hochgeschwindigkeitsimpuls-lärms vermieden, sodass die Hauptlärmursache der sich im Landeanflug zeigende Blattwirbelinteraktions-lärm ist.

Das beschriebene Steuerungssystem und das ebenfalls sehr komplexe Antriebssystem (mit Turbinenriebwerken, mechanischem Getriebe, Antrieben der Rotoren) des Hubschraubers stellen hohe Anforderungen an die Fähigkeiten des Piloten. Außerdem bestehen sie aus vielen beweglichen mechanischen Teilen. Diese Gründe verursachen hohe Anschaffungs- und Wartungskosten. Für den Einsatz im Rettungsdienst ist der Hubschrauber jedoch bislang unersetzlich. Es können große Reichweiten bei hohen Nutzlasten erreicht werden.

Die Hersteller von Multikoptern setzen auf unterschiedliche Konzepte, wie Tabelle 2.2 zu entnehmen ist.

Konzept	Skizze	Antriebsart
Multirotor	 5	<ul style="list-style-type: none"> – Auftrieb ausschließlich über Propeller – Propeller sind starr – Keine weitere horizontale Antriebsart
Lift & Cruise	 5	<ul style="list-style-type: none"> – Auftrieb mittels starrer Propeller für Take-off und Landung – Tragflächen für Auftrieb im Reiseflug (und im kontinuierlichen Steigflug) – Horizontaler Propeller für Schub im Reiseflug
Tilt-Konzept	 5	<ul style="list-style-type: none"> – Auftrieb ausschließlich über Propeller – Propeller sind starr – Keine weitere horizontale Antriebsart

Tabelle 2.2: Hauptmerkmale aktueller Konzepte von eVTOLs

Zur technisch einfachsten Umsetzung zählt die **Multirotor**-Konfiguration. Hierbei wird eine Vielzahl an Propellern für den vertikalen Auftrieb fix angeordnet. Sie heben sich in ihren Drehrichtungen auf und erzeugen somit kein resultierendes Drehmoment auf das Flugobjekt, weshalb ein Heckrotor, wie er vom Hubschrauber bekannt ist, überflüssig wird. Die Propeller sind einzeln elektrisch angetrieben. Grundsätzlich ist der primäre Energieträger ein Batteriesystem, jedoch sind auch zukünftige Hybridsysteme für die Energieerzeugung denkbar, beispielsweise Wasserstoffbrennstoffzellen. Auch herkömmliche Gasturbinen (Energieträger z. B. Kerosin), welche über einen Generator die benötigte elektrische Leistung für die Antriebe liefern, sind grundsätzlich umsetzbar und erhöhen die Reichweite gegenüber reinen Batterielösungen um ein Vielfaches.

Die Konfiguration **Lift & Cruise** kombiniert die Multirotor-Konfiguration mit einem Propeller, dessen starre Achse in der Horizontalen liegt. Somit kann ein direkter Schub in Flugrichtung erzeugt werden. Für den Auftrieb im Reiseflug werden Tragflächen genutzt und die vertikalen Propeller werden stillgesetzt oder laufen leistungsreduziert weiter. Gegenüber der Multirotor-Konfiguration sind höhere Reichweiten und Geschwindigkeiten möglich. Allerdings ist die Systemkomplexität höher als beim Multirotor-Konzept.

Das technisch aufwändigste System ist das **Tilt-Konzept**. Hierbei werden die Antriebseinheiten beim vertikalen Take-off senkrecht gestellt. Für den Übergang in den Horizontalflug werden sie dann mechanisch geneigt, um den Schub in die entsprechende Richtung zu erzeugen. So lassen sich die Vorteile eines senkrechten Take-off mit der hohen Effizienz des Flächenfluges vereinen. Man unterscheidet hier Tilt-Flügel-Konzepte, die den gesamten Flügel mit den Antriebseinheiten kippen, von Tilt-Propeller-Konzepten, die nur die Antriebseinheiten mit den Propellern kippen und den Flügel horizontal lassen.

Die Nutzlast von Multikoptern ist im Vergleich zu Hubschraubern in aktuell zur Verfügung stehenden Konzepten geringer, die Reichweite aufgrund der derzeitigen Energieträgerkonzepte eingeschränkt und auch die Geschwindigkeit – vor allem bei Multirotor-Konfigurationen – geringer. Sämtliche Hersteller arbeiten an Konzepten zur Ausweitung von Zuladungskapazitäten, Reichweite und Geschwindigkeit. Jedoch bieten Multikopter im Vergleich zum Hubschrauber bereits jetzt deutliche Vorteile. Multikopter sind im Vergleich zu Hubschraubern technisch sehr viel einfacher. Sie haben kein komplexes mechanisches Steuerungssystem, gegenüber größeren Hubschraubern entfällt die Steuerungshydraulik zur Kraftverstärkung, das sehr schwere und komplexe Hauptgetriebe sowie die Turbinenriebwerke. Die projizierten Kosten des Einsatzes eines Multikopters im Vergleich zum Hubschrauber sind nach einer aktuellen Studie um den Faktor 10 günstiger⁶.

2.3 Zielsetzung der Machbarkeitsstudie

Die Förderung von Wissenschaft und Forschung ist Satzungsauftrag der gemeinnützig tätigen ADAC Luftrettung gGmbH. Die Weiterentwicklung von bestehenden Strukturen im Rettungsdienst bildet die Basis für eine kontinuierliche Verbesserung der präklinischen Notfallversorgung in Deutschland. Die Zielsetzung der Machbarkeitsstudie liegt in der Identifizierung der Möglichkeiten und Voraussetzungen eines sicheren Einsatzes von bemannten Multikoptern in der Funktion eines schnellen Notarztzubringers. Es soll die Frage beantwortet werden, ob der Einsatz von Multikoptern die notfallmedizinische Versorgung verbessern bzw. zukünftige Probleme lösen kann. Dabei sollen auch volkswirtschaftliche Aspekte Beachtung finden. Zur Beantwortung der Fragestellung wurden die Aspekte von möglichen Vorhalte- und Einsatzkonzepten beleuchtet sowie Voraussetzungen in technischer, flugbetrieblicher, infrastruktureller, rechtlicher und wirtschaftlicher Art bewertet.

Dabei wird in Kauf genommen, dass sich die aktuell bestehenden Multikopterkonzepte noch in einem Entwicklungsstadium befinden. Zwar existieren weltweit bereits weit über 100 Konzepte bzw. Fluggeräte. Keines dieser Fluggeräte befindet sich jedoch aktuell in einem komplett ausgereiften und damit kommerziell nutzbaren Entwicklungsstadium. Die Marktreife, die bei den ersten Herstellern in ca. 2 bis 4 Jahren erreicht sein wird, soll bewusst nicht abgewartet werden. Da bereits heute die zukünftigen technischen Möglichkeiten abschätzbar sind, können darauf aufbauend auch plausible Annahmen für einen potenziellen Einsatz im Rettungsdienst getroffen werden. Eine frühe Beschäftigung mit dieser Thematik führt zu schnelleren Umsetzungszeiten.

2.4 Abgrenzung/nicht Teil der Machbarkeitsstudie

Ziel der Machbarkeitsstudie ist die Eruiierung der Fragestellung, ob der Einsatz von Multikoptern zu einer Systemverbesserung im Rettungsdienst beitragen kann. Die gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse aus dieser Eruiierung sollen eine Beurteilung der Machbarkeit zulassen, um perspektivisch in Pilotprojekte einsteigen zu können. Nicht Teil der Studie ist jedoch die Durchführung und Evaluierung dieser Pilotprojekte sowie die Durchführung von Testflügen. Beides erfolgt erst in weiterer zeitlicher Abfolge.

Ebenfalls nicht Teil der Betrachtung der Machbarkeitsstudie sind die Möglichkeiten eines vollautonomen Betriebes des Luftfahrzeugs. Während ein autonomer Betrieb in einer Taxi-Anwendung hohe Relevanz haben kann (Mitnahmemöglichkeit eines weiteren Passagiers), ist dies im Rettungsdienst-Einsatz weniger von Relevanz. Zudem kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund der höchstmöglichen fliegerischen Komplexität im Luftrettungsdienst (Landungen in unbekanntem Gelände) ein vollautonomer Flug äußerst komplexe und zuverlässige technische Einrichtungen benötigt, die weder aktuell zur Verfügung stehen noch mittelfristig zur Verfügung stehen werden. Während im kommerziellen Taxi-Betrieb gerade die Möglichkeiten eines autonomen Fluges von Interesse sind, spielen beim Einsatz im Rettungsdienst vor allem die Aspekte der einfachen Bedienung und des effizienten Betriebs eine zentrale Rolle in Bezug auf die Beschäftigung mit dem Thema. Unter **vollautonomem**

⁶ Porsche Consulting, 2018, S. 10

Betrieb versteht sich hier die Funktion des Multikopters, einem vordefinierten Flugpfad zu folgen, ohne dass ein Pilot/Fernpilot Eingaben in die Flugsteuerung vornehmen kann. Nicht abgegrenzt wird hingegen der **automatische** bzw. **teilautomatische Betrieb**, bei dem der Pilot jederzeit in die Flugsteuerung des Multikopters eingreifen kann. Gleiches gilt für Assistenzfunktionen, die den Piloten sensorgestützt bei der sicheren Führung des Luftfahrzeuges unterstützen. Dank der Fly-by-Wire-Steuerung bei Multikoptern bestehen höhere Möglichkeiten der Integration entsprechender Funktionen als im Hubschrauber. In der vorliegenden Studie soll der Fokus ausdrücklich auf das pilotierte Fliegen durch einen Piloten im Multikopter gesetzt werden.

Limitierende Faktoren sind – wie bereits beschrieben – die Möglichkeiten aktueller Batterietechnik und deren Einfluss auf die Reichweite. Die Entwicklungen in der Batterietechnologie sollen für das Pilotprojekt nicht abgewartet werden, sondern alternative (Zwischen-)Lösungen miteinbezogen werden (z.B. hybride Energiekonzepte). Nicht Teil der Machbarkeitsstudie sind daher explizite Lösungen für EMS-geeignete Batteriekonzepte.

Auf Basis der Erkenntnisse zum Zeitpunkt des Verfassens der Machbarkeitsstudie kann noch nicht davon ausgegangen werden, dass Multikopter mit hohen Zuladekapazitäten (z. B. für die Ermöglichung eines Patiententransports) mittelfristig verfügbar sind. Der Patiententransport wird in der Machbarkeitsstudie grundsätzlich nicht betrachtet, da die Ausweitung der Reichweite des bodengebundenen Notarztendienstes im Mittelpunkt steht. In der Analogie ist das Multikopterkonzept daher mit dem aktuell bestehenden NEF-System – und nicht mit dem Luftrettungsdienst per Rettungshubschrauber (RTH) – zu vergleichen. Auch ein NEF verfügt über keine Transportmöglichkeit. Die Steigerung der Reichweite bodengebundener Einsatzressourcen wird mittels luftgebundener Einsatzmittel erreicht, die grundsätzlich höhere Vektorgeschwindigkeiten ermöglichen. Langfristig wird sich jedoch die Multikopter-Technologie in der Art weiterentwickeln, dass auch Patiententransporte möglich werden. Ist dieser Zeitpunkt erreicht bzw. valide absehbar, ergeben sich wiederum völlig neue Systemveränderungsmöglichkeiten für den Rettungsdienst.

2.5 Erwarteter Nutzen des Einsatzes von Multikoptern im Rettungsdienst/Thesen

Es ist zu erwarten, dass der Multikopter als Erweiterung der Ressourcen in der Notfallversorgung bestimmte Bedarfssituationen decken kann. Zum daraus entstehenden Nutzen für das Gesamtsystem und zur damit einhergehenden Auswirkung auf die notfallmedizinische Versorgung lassen sich Thesen ableiten, die im Folgenden kurz aufgeführt und im Rahmen der Erarbeitung der Machbarkeitsstudie überprüft werden.

2.5.1 Verbesserung der notfallmedizinischen Versorgung

Es ist anzunehmen, dass das Gesamtsystem des Rettungsdienstes durch den Einsatz von Multikoptern effizienter gestaltet werden kann. Die Hilfsfristen werden in der Entwicklung der letzten Jahre bei bodengebundenen Rettungsmitteln immer häufiger überschritten. Dies beruht zum einen auf einer regional auftre-

tenden Mangelsituation an notärztlichem Personal, zum anderen zeigt sich eine Steigerung der Bindungszeiten bodengebundener Rettungsmittel (vgl. Kapitel 2.1). Der Einsatz von Multikoptern ermöglicht eine Verkürzung von Prähospitalzeiten.

2.5.2 Erweiterung von Versorgungsbereichen (knappe Resource Notarzt)

Durch die luftgebundene Notarztzubringung lassen sich Wegstrecken im Vergleich zu bodengebundenen Einsatzfahrzeugen minimieren und höhere Geschwindigkeiten realisieren. Hierdurch werden größere Einsatzradien ermöglicht. Dies hat eine Erweiterung der Versorgungsbereiche zur Folge und ermöglicht damit eine effizientere Nutzung der Personalressource Notarzt.

Grundsätzlich besteht ein Trend zu höher qualifiziertem nicht-ärztlichem Personal und der Weiterentwicklung der telemedizinischen Versorgung. Der Grad der Spezialisierung des Notarztes nimmt in Zukunft aus diesem Grunde zu. Es werden daher im Vergleich zu heute hochspezialisierte Notärzte benötigt, die mit möglichst geringen Eintreffzeiten große Versorgungsbereiche abdecken können.

2.5.3 Verbesserung des volkswirtschaftlichen Gesamtnutzens

Zentraler Aspekt der Studie ist es, das bestehende System bodengebundener Notarzteinsatzfahrzeuge (NEF) um eine luftgebundene Notarztzubringung zu ergänzen. Durch eine höhere Vektorgeschwindigkeit der luftgebundenen Rettungsmittel und damit einhergehende höhere Reichweiten können NEF-Standorte zentralisiert und durch Multikopter-Standorte erweitert werden. Vor allem in schwachbesiedelten Gebieten sind die Auslastungen der NEF gering. Aufgrund der Fixkosten sind die Aufwände für diese Standorte (trotzdem) hoch. Mit einem Multikopter lassen sich die Wegzeiten verringern und somit eine notwendige Flächenabdeckung mit reduzierten Standorten erreichen.

Im Rahmen der Überprüfung der wirtschaftlichen Machbarkeit werden sowohl der aktuelle technologische Fortschritt beleuchtet als auch zukünftige zu erwartende Kosten für eVTOLs berücksichtigt. Die zukünftigen Anschaffungskosten werden als deutlich geringer erwartet, da aufgrund einer hohen Etablierung von eVTOLs in neuen Mobilitätskonzepten geringe Fertigungskosten und geringe Flugbetriebskosten zu erzielen sind.

2.5.4 Hohe gesellschaftliche Akzeptanz

Die gesellschaftliche Akzeptanz von Multikoptern im Rettungsbetrieb ist als hoch einzuschätzen. Die Verbesserungen in der notfallmedizinischen Versorgung kommen direkt der Bevölkerung zugute. Im Vergleich zu Flugtaxi-Konzepten, bei denen die gesellschaftliche Notwendigkeit aktuell noch umstritten ist, dürfte der Einsatz im Rettungsdienst nicht in Frage gestellt werden. Der EMS-Betrieb könnte daher auch als Inkubator für einen weiteren (kommerziellen) Ausbau dienen. Weitere Vorteile wie geringere Lärmemissionen und eine umweltfreundliche Antriebstechnologie (im Vergleich zu einem Hubschrauber) lassen sich ebenfalls aufzählen.

3 Methodik

Zur Erarbeitung der vorliegenden Machbarkeitsstudie wurde eine eigene Projektorganisation aufgebaut. In diesem Kapitel wird diese Projektorganisation erläutert und die Projektpartner werden vorgestellt. Zur Erarbeitung der Ergebnisse wurden verschiedene Methoden angewandt, auf welche ebenfalls eingegangen wird.

3.1 Projektorganisation

Organisatorisch wurde die Erarbeitung der Machbarkeitsstudie in einzelne Arbeitspakete aufgliedert. Diese beinhalteten die folgenden thematischen Schwerpunkte:

- Rettungsdienst:** In diesem Arbeitspaket wurde die rettungsdienstliche Machbarkeit evaluiert und geprüft, inwiefern der Multikopter als Notarztzubringer einsatztaktische Vorteile bieten kann. Dies umfasste u. a. eine Untersuchung der Anforderungen an das Konzept aus notfallmedizinischer und einsatztaktischer Perspektive sowie der Umsetzungsmöglichkeiten. Hieraus wurden Erfordernisse bezüglich des notwendigen Personaleinsatzes, der notwendigen Personalqualifikation und einer bedarfsgerechten medizinischen Ausstattung abgeleitet. Ebenso leiten sich hieraus Empfehlungen zur zukünftigen Einsatzdisposition eines Multikopters im Rettungsdienst ab.
- Flugbetrieb, Technik und Sicherheit:** Innerhalb dieses Themenkomplexes wurden technische und operationale Fragestellungen erörtert. Dabei wurden der operative Flugbetrieb mit allen Anforderungen an Flugverfahren, Verfügbarkeit und Flugsicherheit sowie auch Vorhaltestrategien und personelle Anforderungen an das Konzept beleuchtet. Es wurden technische Anforderungen, die ein Multikopter im Rettungsdienst erfüllen muss, definiert und bewertet.
- Rechtliche und gesellschaftlich-politische Rahmenbedingungen:** Die rechtliche Machbarkeit umfasste die juristische Betrachtung des geltenden Luftrechts und die Anwendbarkeit bestehender und geplanter luftrechtlicher Vorschriften auf den Einsatz von Multikoptern. Berücksichtigt wurden hierbei zudem die Rettungsdienstgesetze und weitere anzuwendende Vorschriften. Außerdem wurden politische Einflussfaktoren und die gesellschaftliche Akzeptanz des Multikopters als Rettungsmittel bewertet.
- Business Case:** Die Betrachtung der zu erwartenden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ist von zentraler Bedeutung für eine Validierung der Durchführbarkeit des Konzepts und erfordert auch die Unterscheidung in verschiedene Konzept-Konfigurationen sowie die Berücksichtigung des Einflusses technologischer Innovationen. Nur wenn sich der Betrieb von Multikoptern im Rettungsdienst auch mittel- bis langfristig auskömmlich finanzieren lässt, wird ein solches neues System seitens der Kostenträger Akzeptanz finden und werden sich umsetzungswillige Leistungserbringer finden lassen. Unabhängig von der Frage der Finanzierung bzw. der Betrachtung des Kostenaspektes ist zu prüfen, ob der Einsatz von Multikoptern auch dann nutzenbringend für das Gesamtsystem sein kann, wenn die Qualität des bestehenden Systems damit verbessert wird (z. B. Verbesserung der Notarztverfügbarkeit in strukturschwachen Regionen).

3.2 Projektpartner

Zu der vorliegenden Studie haben mehrere Projektpartner beigetragen. Hierzu zählen sowohl wissenschaftliche Einrichtungen als auch Partner aus der Industrie und von Seiten der rettungsdienstlichen Aufgabenträger.

VOLOCOPTER

Das Unternehmen Volocopter GmbH mit Sitz in Bruchsal konnte bereits im Jahr 2011 den weltweit ersten bemannten elektrischen Flug eines Multikopters realisieren. Volocopter baut das weltweit erste nachhaltige und skalierbare Urban Air Mobility Business, um erschwingliche Flugtaxi-Services zu etablieren.

Mit der aktuellen Baustufe des Multikopters in Multi-Rotor-Konfiguration mit der Bezeichnung VoloCity setzt Volocopter auf ein Konzept, das sich aufgrund seiner technischen Einfachheit auf einen kurzen Zeithorizont betrachtet umsetzen lässt und für die Zivilluftfahrt zertifiziert werden kann. Die hierdurch frühzeitig zu erreichende Marktreife sowie die auf einer hohen Flugsicherheit fußende Unternehmensphilosophie begründete die Wahl der Firma Volocopter GmbH als technischen Projektpartner.

INM

Das Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM) des Universitätsklinikums München ist ein wissenschaftlicher Projektpartner der Machbarkeitsstudie. Das INM hat langjährige Kompetenzen in der geoinformatischen Prozess- und Strukturanalyse und simuliert aufbauend auf diesen Analysen Optimierungen des Rettungsdienstes. Mit diesen Daten ist eine anwendungsbezogene Bedarfsplanung möglich, die das System des Multikopters als Rettungsmittel berücksichtigt.



Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für die Luft- und Raumfahrt. Zwischen dem DLR und der ADAC Luftrettung gGmbH wurde bereits im Jahr 2018 eine Kooperationsvereinbarung mit der Zielsetzung der gemeinsamen Weiterentwicklung der Luftrettung geschlossen. Seitdem besteht eine enge Zusammenarbeit in den unterschiedlichsten Bezugsfeldern. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie Multikopter wurde ein stetiger Austausch mit verschiedenen Fachexperten des DLR geführt. Zudem bestehen Parallelen und Überschneidungen zum Leitkonzept „Rettungshubschrauber 2030“.



Der Zweckverband für Rettungsdienst und Feuerwehralarmierung Ansbach (ZRF Ansbach) ist Träger des bodengebundenen Rettungsdienstes im Rettungsdienstbereich Ansbach sowie der Luftrettungsstation Dinkelsbühl (Christoph 65). Als Träger des Rettungsdienstes hat der ZRF Ansbach den Rettungsdienst in qualitativer und quantitativer Hinsicht gemäß den Vorgaben des Bayerischen Rettungsdienstgesetzes (BayRDG) sicherzustellen. Die Region ist überwiegend ländlich geprägt. Topographische Besonderheiten im Einzugsgebiet sind die Fränkische Alb und die Frankenhöhe. Als Projektpartner ist der ZRF Ansbach mit seiner trägerspezifischen Fachexpertise eingebunden. Die realen Einsatzdaten aus dem Rettungsdienstbereich bilden die Grundlage für die Simulationen des INM. Zudem bietet sich das Gebiet des ZRF Ansbach als geeignete Region für einen möglichen Pilotbetrieb mit einem Multikopter an.



Das Land Rheinland-Pfalz, vertreten durch das Ministerium des Inneren und für Sport, ist Träger des Luftrettungsdienstes in Rheinland-Pfalz. Mit fünf öffentlich-rechtlichen Luftrettungsstationen ist das Bundesland flächenmäßig versorgt. Es existieren viele ländliche Regionen, die durch Mittelgebirge und teilweise tiefe Taleinschnitte geprägt sind. Für den bodengebundenen Rettungsdienst führt diese Topografie zu einsatztaktischen Herausforderungen. Aus diesem Grund bietet sich das Land Rheinland-Pfalz als weitere Modellregion für einen Pilotstandort an. Als Projektpartner ist das Land Rheinland-Pfalz mit trägerspezifischer Fachexpertise eingebunden. Die realen Einsatzdaten bilden die Grundlage für die Simulationen des INM.

ADAC Stiftung

Die gemeinnützige und mildtätige ADAC Stiftung fördert Forschungs- und Bildungsmaßnahmen zur Vermeidung von Unfällen. Ein Förderschwerpunkt ist die Rettung aus Lebensgefahr. Die ADAC Stiftung ist Fördergeber für die Machbarkeitsstudie. Darüber hinaus war die ADAC Stiftung inhaltlich ins Projekt integriert und wirkte bei der Lenkung des Projektes mit.

3.3 Ressourcen

3.3.1 Fachexperten der ADAC Luftrettung

Da die ADAC Luftrettung gGmbH als bundesweit größter Operator in der Luftrettung tätig ist, besteht eine tiefgreifende Expertise im Betrieb von Hubschraubern. In den vergangenen 50 Jahren wurden durch die ADAC Luftrettung über eine Million Rettungseinsätze durchgeführt. Viele Experten aus den einzelnen Fachbereichen der ADAC Luftrettung wirkten an der Erarbeitung der Machbarkeitsstudie mit. Dabei wurden aus dem Safety Management, aus technischen und flugbetrieblichen Abteilungen Experten, Piloten und Ingenieure hinzugezogen, die die Machbarkeit für ihre jeweiligen Fachthemen beurteilten. Für rettungsdienstliche Belange sind Notärzte und Fachleute des Rettungsdienstes Teil des Projektteams. Die rechtliche Machbarkeit wurde von Juristen des Luftrechts geprüft. Die Berechnungen zum Business Case wurden von Wirtschaftsexperten durchgeführt.

3.3.2 Austausch mit externen Fachexperten

Der Beitrag externer fachlicher Expertise stammt grundsätzlich von den in Kapitel 3.3.1 beschriebenen Projektpartnern.

Für die technische Umsetzung ist eine umfangreiche Marktrecherche zu Herstellern aktueller Multikoptermodelle durchgeführt worden. Aus der Marktrecherche folgte eine Kooperation mit der Firma Volocopter. Für die Machbarkeitsstudie werden die technischen Daten des aktuellen VoloCity zugrunde gelegt und gleichzeitig technische Weiterentwicklungen berücksichtigt. Viele Experten aus den einzelnen Fachbereichen von Volocopter wurden zur Erarbeitung der Machbarkeitsstudie mit herangezogen. Dabei sind Spezialisten aus technischen und flugbetrieblichen Abteilungen wie z. B. Air Operations & Integration, Aerospace Management & Infrastructure oder Airworthiness zu nennen, die die Machbarkeit für ihre jeweiligen Fachthemen beurteilen. Mithilfe dieser Expertise kann die Bewertung der Machbarkeit mit der Erfahrung eines Multikopter-Herstellers gestützt und validiert werden.

Weitere externe Fachexperten kamen von den Projektpartnern aus dem ZRF Ansbach und dem Land Rheinland-Pfalz. Dies sind vor allem die jeweiligen Verantwortlichen aus dem ZRF bzw. dem Ministerium sowie die jeweiligen Ärztlichen Leiter Rettungsdienst. Vor allem im Bereich der Einsatztaktik und Vorhaltungsplanung konnten diese Experten durch ihre operationelle Erfahrung maßgebliches Wissen einbringen und zugleich Einfluss auf die Konzeptumsetzung ausüben.

3.3.3 Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Einrichtungen

Neben der Zusammenarbeit mit den genannten technischen und rettungsdienstlichen Projektpartnern bestehen Kooperationen mit wissenschaftlichen Einrichtungen. Aus dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR e.V.) waren Fachexperten aus dem Institut für Flugsystemtechnik (Hubschrauber), aus der Programmdirektion Luftfahrt sowie aus dem Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin beteiligt.

Des Weiteren ist das INM zentraler Projektpartner, welcher für eine Bedarfsanalyse notwendige Simulationen lieferte. Für die

Bedarfsanalyse der Multikopter im Rettungsdienst wurde ein erfahrenes Team des INM eingesetzt. Die Experten aus den Bereichen Mathematik, Informatik, Geografie, Biologie und Wirtschaftswissenschaften wurden durch Notärzte mit langjähriger Luftrettungserfahrung verstärkt. Das Team konnte auf den Ergebnissen zahlreicher Studien zur Notfallmedizin, Standort- und Ressourcenplanung und Bedarfsplanung aufbauen. Im Rahmen der Weiterentwicklung des am Institut seit mehreren Jahren entwickelten Simulationsmodells wurden die Fähigkeiten der Softwareprogrammierer und Geoinformatiker intensiv genutzt, um die besonderen Anforderungen von Multikoptern als Teil des Rettungsdienstes abbilden zu können.

3.3.4 Simulationen

Für die Evaluierung der Fragestellung, ob der Einsatz von Multikoptern einen einsatztaktischen Vorteil im Rettungsdienst haben kann, wurden Simulationsmodelle genutzt, welche durch das INM eigens für die Studie weiterentwickelt wurden. Auf die Funktionsweise der Simulationsmodelle wird detailliert in Kapitel 4 eingegangen.

3.3.5 Lastenhefte

Für die Formulierung der technischen und operationellen Anforderungen sind Lastenhefte verfasst worden. Diese beinhalten flugbetriebliche, wartungstechnische, infrastrukturelle und sicherheitstechnische Anforderungen an das Flugobjekt. Ebenfalls werden darin die Anforderungen an die medizinische Ausrüstung und deren Umfang beschrieben. Die Inhalte der Lastenhefte werden in der vorliegenden Ausarbeitung erläutert und eine mögliche Umsetzung dargelegt.

3.3.6 Testbetrieb

Die vorliegende Machbarkeitsstudie bildet die spätere Basis für den Testbetrieb eines Multikopters im rettungsdienstlichen Kontext. Im Rahmen eines solchen Testbetriebs sind verschiedene Erprobungsphasen vorgesehen.

Ein primärer **Testbetrieb** sieht Testflüge auf einem abgegrenzten Areal, z. B. auf einem Flugfeld des Multikopter-Entwicklungsbetriebes, vor. Hierfür werden u. a. beispielhafte Testflüge geplant, wie sie in einem rettungsdienstlichen Einsatzumfeld anzutreffen sind. Der Hersteller des Multikopters (Volocopter) führt zusammen mit der ADAC Luftrettung die Testzyklen durch. Die Erkenntnisse fließen unmittelbar in die weitere Umsetzungsplanung ein.

In einer **ersten Pilotphase** wird das zugrunde liegende Konzept im Einsatzumfeld erprobt. Hierzu wird der Multikopter vorerst in simulierten Einsatzszenarien eingesetzt, welche in (mindestens) zwei Modellregionen realisiert werden sollen. Weiterführend soll in einem Doppeleinsatz-Konzept sowohl ein Multikopter als auch ein bodengebundenes Einsatzfahrzeug parallel zum Einsatz kommen. Ziel dieser ersten Pilotphase ist die technische Erprobung des Multikopters. Die Ergebnisse sollen in eine weitere Ausarbeitung der Konzepte einfließen und zudem zur aktiven Mitgestaltung von Regularien dienen.

In der **zweiten Pilotphase** sollen technische Neuerungen in das Testprogramm aufgenommen werden. Des Weiteren soll ein Realbetrieb hergestellt werden, in dem der Multikopter als Notarztzubringer im realen Einsatzbetrieb eingesetzt wird. Während in der ersten Pilotphase die technische Erprobung im Mittelpunkt steht, ist dies bei der zweiten Pilotphase die Frage der rettungsdienstlichen Eignung. Aus diesem Grund wird die zweite Pilotphase ausschließlich mit einem Fluggerät durchgeführt, das sämtliche definierten Anforderungen aus der vorliegenden Machbarkeitsstudie erfüllt – v. a. hinsichtlich Reichweite, Zuladung und Geschwindigkeit.

3.4 Vorgehensweise

Die Vorgehensweise in den folgenden Kapiteln erfolgt in einem einheitlichen Konzept. Im ersten Schritt werden für jedes Themengebiet **Anforderungen** definiert. Diese Anforderungen resultieren zum einen aus den Erfahrungen und der bestehenden Fachexpertise im Betrieb von Rettungshubschraubern, zum anderen aus Simulationen (INM) und konzeptionellen Überlegungen. Im Anschluss werden diese Anforderungen einer **Bewertung** unterzogen. Das Resultat der Bewertung kann sein, dass die Anforderungen bereits unter den aktuellen Gegebenheiten (z. B. rechtlich, technisch, personell) umgesetzt werden können. Können die Anforderungen dagegen aktuell noch nicht bzw. nicht in Gänze erfüllt werden, so erfolgt im Rahmen der Bewertung eine Einschätzung zukünftiger Entwicklungen sowie eine Empfehlung zu weiteren notwendigen Umsetzungsmaßnahmen.

4 Bedarfsanalyse und notfallmedizinische Motivation

4.1 Aktuelle Herausforderungen in der Notfallversorgung

Die notfallmedizinische Versorgungsstruktur in Deutschland unterliegt in den letzten Jahren stetigen Veränderungen. Auf der einen Seite verringert sich die absolute Anzahl an Krankenhäusern und damit die Möglichkeit zur kurzfristigen Einlieferung von Notfallpatienten. Besonders betroffen sind hiervon nach den Daten des Statistischen Bundesamtes (im Vergleich der Jahre 2005 und 2017) Krankenhäuser mit einer Größe zwischen 150 und 399 Betten.⁷

aus. Brigitte Mohn (Vorstand der Bertelsmann Stiftung) wird in dieser Veröffentlichung zitiert: „Wenn ein Schlaganfallpatient die nächstgelegene Klinik nach 30 Minuten erreicht, dort aber keinen entsprechend qualifizierten Arzt und nicht die medizinisch notwendige Fachabteilung vorfindet, wäre er sicher lieber ein paar Minuten länger zu einer gut ausgestatteten Klinik gefahren worden.“

An einer Online-Befragung des Marburger Bundes mit der Fragestellung nach Überlastung beteiligten sich in der Zeit vom

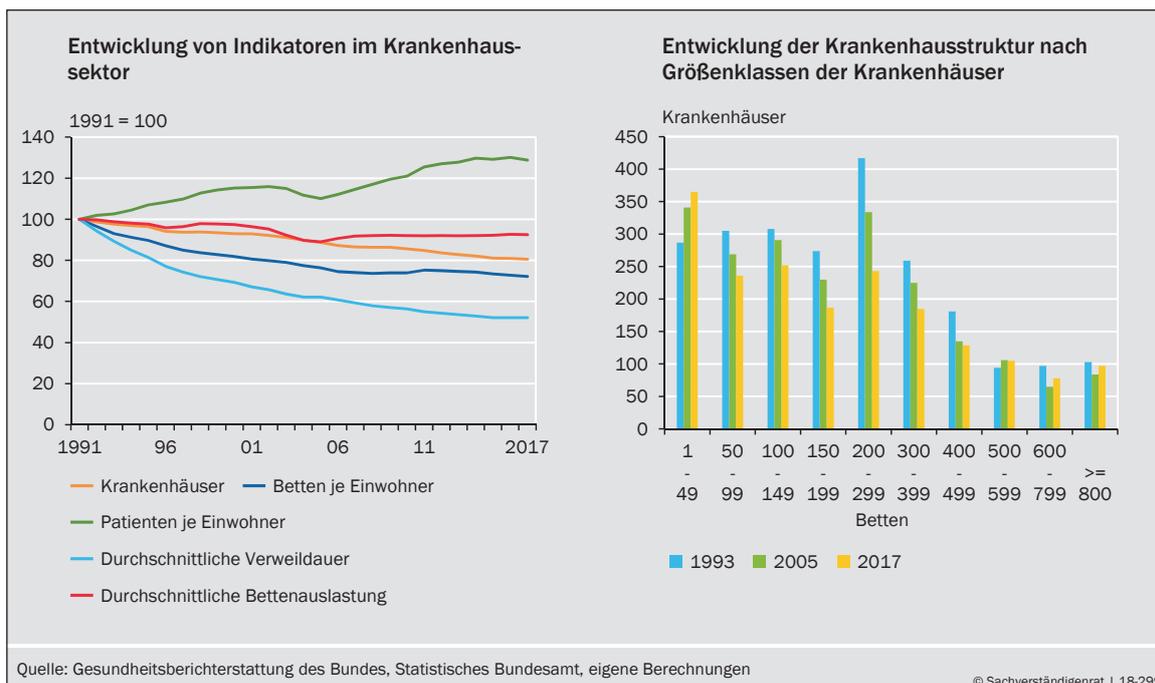


Abbildung 4.1: Entwicklungen im Krankenhaussektor in Deutschland⁷

Auf der anderen Seite verstärkt sich der Fachkräftemangel im ärztlichen Dienst. In einer Umfrage des Deutschen Krankenhausinstituts im Jahr 2019 gaben 76 % der befragten Kliniken an, Probleme bei der Besetzung offener Stellen im ärztlichen Dienst zu haben. Während es 2016 im Schnitt noch drei unbesetzte Vollzeitstellen waren, stieg die Zahl drei Jahre später auf vier Vollzeitstellen. Laut dieser Untersuchung sind vor allem Kliniken mit weniger als 600 Betten von dieser Entwicklung betroffen, während in größeren Klinikzentren die Zahl der unbesetzten Stellen eher rückläufig ist.⁸

Die Bertelsmann Stiftung postuliert in einer Studie aus 2019, dass eine starke Verringerung der Klinikanzahl von aktuell knapp 1.400 auf deutlich unter 600 Häuser die Qualität der Versorgung für Patienten verbessern und bestehende Engpässe bei Ärzten und Pflegepersonal mildern würde.⁹ Die Autoren dieser Studie sprechen sich für eine konsequente Schließung von kleineren Kliniken und die Bildung von größeren medizinischen Kompetenzzentren unter Inkaufnahme verlängerter Transportzeiten

17. September 2019 bis 15. Oktober 2019 bundesweit 6.474 angestellte Ärzte.¹⁰ Bezüglich ihrer Arbeitszeiten gaben 41 % der Befragten an, 49 bis 59 Stunden in der Woche zu arbeiten, mehr als ein Fünftel (22 %) 60 bis 80 Stunden pro Woche. Damit leisten angestellte Ärzte im Durchschnitt 6,7 Überstunden pro Woche. Etwa ein Fünftel (21 %) von ihnen gab an, wöchentlich 10 bis 19 Überstunden zu leisten. Somit werden in Zeiten einer zunehmenden Arbeitsverdichtung der innerklinischen Funktionsträger die Möglichkeiten immer geringer, außerhalb der Kernarbeitszeit Notarztdienste zu übernehmen. Laut einer internen Umfrage des Bayerischen Roten Kreuzes, die auf der Homepage des Ärzteblattes veröffentlicht wurde, waren allein zwischen dem 1. Dezember 2019 und dem 6. Januar 2020 in Bayern mehr als 5.800 Notarzt-Vorhaltestunden nicht besetzt, insbesondere in ländlichen Regionen.¹¹ Bereits 2014 warnte die Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie und die Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie insbesondere in ländlichen Regionen vor einem Notarztmangel.¹²

⁷ Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, 2019

⁸ Dr. Blum et al., 2019

⁹ Dr. Loos et al., 2019

¹⁰ Marburger Bund, 2020

¹¹ Bayerisches Rotes Kreuz, 20. Januar 2020

¹² DGOU & DGU, 2014

Parallel zu der Entwicklung hin zu einer Notarzt-Unterversorgung kam es in den letzten Jahren zu deutlich gesteigerten Qualitätsansprüchen bezüglich der Notarztqualifizierung. Beispielhaft sei hier die Handlungsempfehlung für das präklinische Atemwegsmanagement aufgeführt, die zum Erlernen und sicheren Beherrschen der endotrachealen Intubation (ETI) eine Anzahl von 100 ETI und nachfolgend 10 ETI/Jahr an Patienten unter Aufsicht fordert.¹³

Die sich noch im Dienst befindlichen Notärzte müssen eine seit Jahren kontinuierlich steigende Zahl an Einsätzen abdecken. So weist der Jahresbericht der Branddirektion München 2018¹⁴ exemplarisch für den Ballungsraum Landeshauptstadt München entsprechende Einsatzzahlen in Abbildung 4.2 auf.

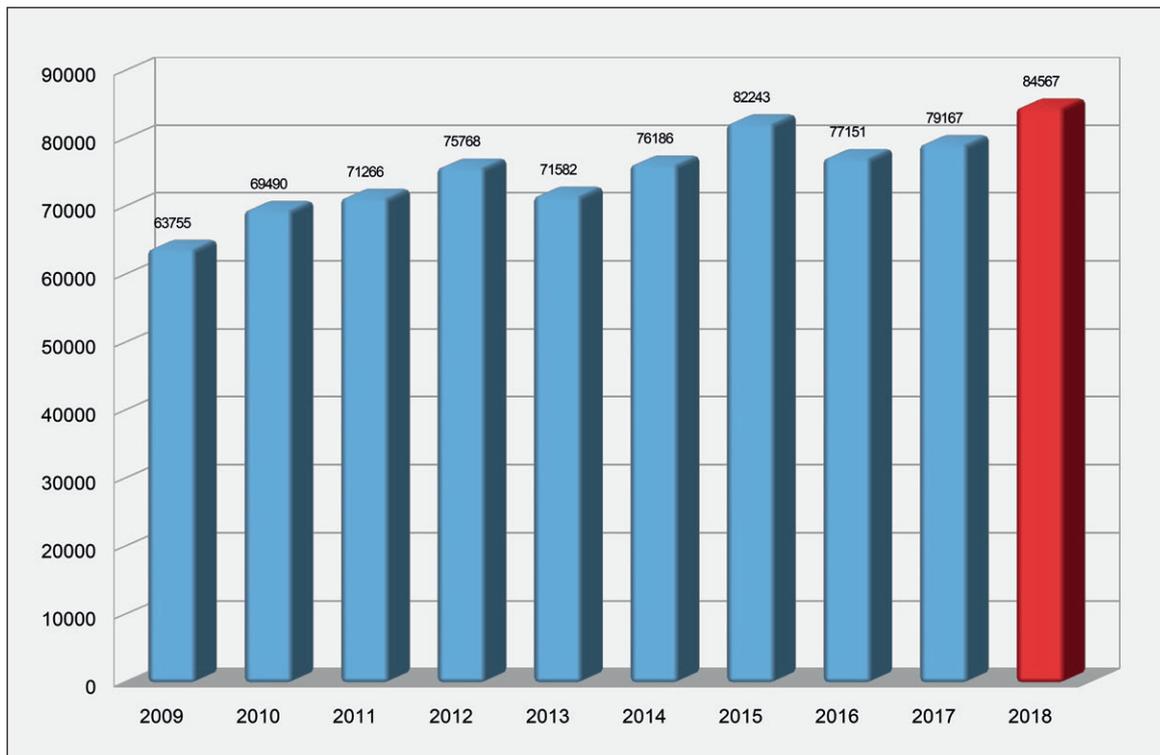


Abbildung 4.2: Gesamteinsatzzahlen im Zeitraum von 10 Jahren für den Ballungsraum Landeshauptstadt München¹⁴

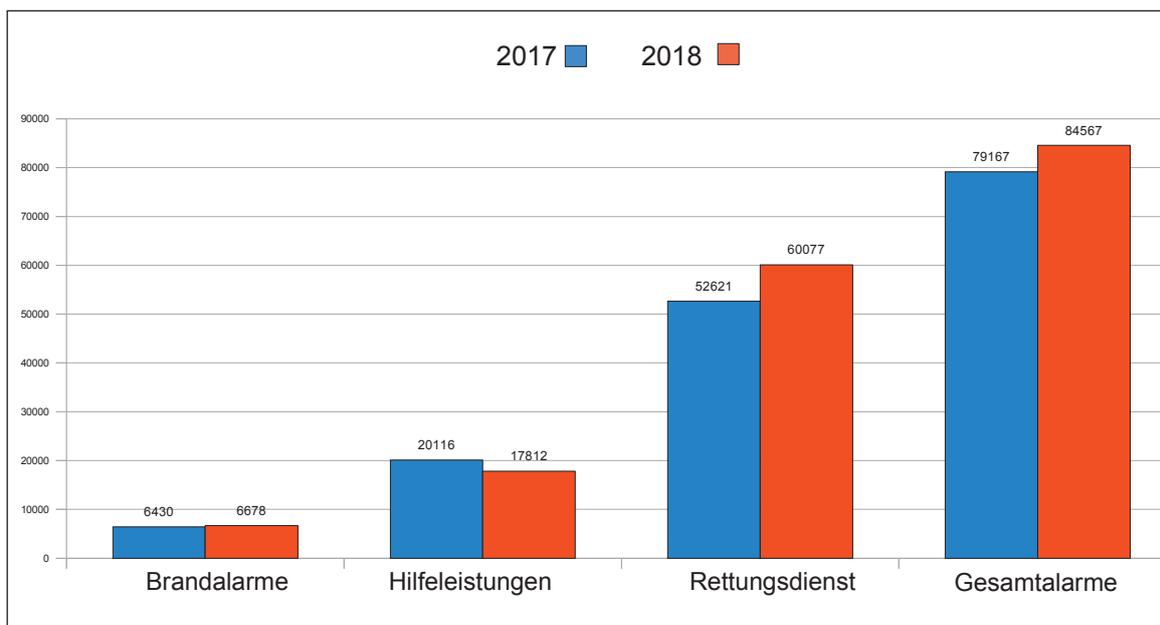


Abbildung 4.3: Entwicklung der Einsatzzahlen im Vergleich 2017/2018 für den Ballungsraum Landeshauptstadt München¹⁴

¹³ Timmermann et al., 2012

¹⁴ Landeshauptstadt München – Branddirektion, 2018

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Schere zwischen Ressourcen und Bedarfen im Bereich der präklinischen ärztlichen Notfallversorgung auseinandergeht. Es lässt sich ein Rückgang der mittelgroßen Krankenhäuser mit einer wachsenden Anzahl an unbesetzten ärztlichen Vollzeitstellen feststellen. Die angestellten Klinikärzte leisten pro Woche z. T. eine erhebliche Zahl an Überstunden auf Kosten der Freizeit. Damit verbleiben kaum Ressourcen, neben der angestellten Tätigkeit einer Arbeit als Notarzt nachzugehen. Dabei müssen sie im Notarzdienst den gestiegenen Qualitätsansprüchen gerecht werden und bei steigenden Einsatzzahlen sowie längeren Transportstrecken eine höhere Arbeitsbelastung hinnehmen.

Auf der anderen Seite steigt die Anzahl an Rettungsdienst-Einsätzen. Durch Schließung von kleinen und mittleren Kliniken und dem Trend zur Zentrumsbildung entstehen längere Transportwege und damit wiederum längere Notarzt-Patienten-Bindungszeiten. Bei einem zweiten Notarzteinsatz im selben Einsatzgebiet kommt es dann zu einer verlängerten Anfahrtszeit des Notarztes aus einem benachbarten Standort. Unbesetzte Notarztstandorte verschärfen diese Situation noch zusätzlich.

4.2 Korrelation von Zeitvorteilen und medizinischem Patientenvorteil

Der Faktor „Zeit“ spielt in der Notfallmedizin eine herausragende Rolle. Folglich sind laut Straßen-Verkehrsordnung § 35 Abs. 5a „Fahrzeuge des Rettungsdienstes von den Vorschriften dieser Verordnung befreit [...], wenn höchste Eile geboten ist, um Menschenleben zu retten oder schwere gesundheitliche Schäden abzuwenden sind.“ Die Rettungsdienstgesetze definieren Hilfsfristen, die festlegen, bis wann ein Rettungsmittel (planerisch) spätestens an der Einsatzstelle ankommen muss.

Aus dem Bereich Notfallmedizin gibt es zahlreiche Studien, die einen direkten Zusammenhang zwischen „Zeit“ und „Patientenwohl“ nachweisen. So gilt zum Beispiel für „Reanimation nach Herz-Kreislauf-Stillstand“, dass ein Überleben mit gutem neurologischen Outcome signifikant mit der Zeit bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes zusammenhängt.¹⁵

Auch für Patienten mit dem Verletzungsmuster „Schweres Schädel-Hirn-Trauma“ ist belegt, dass die Rechtzeitigkeit der Behandlung häufig entscheidend für das Überleben bzw. das Outcome ist.¹⁶ Somit lässt sich festhalten, dass bei einer Reihe von Erkrankungen beziehungsweise Verletzungen die Zeitspanne bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes therapieentscheidend ist. Im Rettungsdienst allgemein gilt die sog. „Golden Hour“ als Maß aller Dinge bei bestimmten Verletzungen bzw. Erkrankungen (Tracer-Diagnosen). Jeder Patient mit einer entsprechenden Diagnose sollte innerhalb von 60 Minuten der Notaufnahme einer geeigneten Klinik zugeführt sein.

Wie unter Punkt 4.1 beschrieben, sind vor allem im ländlichen Bereich wiederkehrend Notarztstandorte unbesetzt. Das bedeutet, dass bei entsprechender Indikation der Notarzt aus einem benachbarten Bereich oder ein weiter entferntes Luftrettungsmittel disponiert werden muss mit den Folgen, dass sich auf der einen Seite das arztfreie Intervall strukturbedingt deutlich ver-

längert und auf der anderen Seite in den Heimatbereichen der fremddisponierten Notarztmittel neue Engpässe entstehen. Erwähnt werden muss an dieser Stelle, dass für den Notarzt in den meisten Bundesländern – anders als für den Rettungsdienst im Allgemeinen – keine eigene gesetzliche Hilfsfrist besteht. Allerdings ist es unstrittig, dass schwersterkrankte oder -verletzte Patienten von einer schnellstmöglichen ärztlichen Hilfe profitieren.

Aus der wissenschaftlich validierten Feststellung, dass ein Zeitvorteil zur Verbesserung des Patienten-Outcomes beiträgt, lässt sich ableiten, dass mit dem Einsatz eines Rettungsmittels, das noch schneller als ein bodengebundenes Fahrzeug ist, das Outcome der Notfallpatienten weiter optimiert werden könnte.

4.3 Bedarfsanalyse Multikopter im Rettungsdienst

Die nachfolgend beschriebene Bedarfsanalyse wurde durch das Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement am LMU Klinikum (INM) auf der Grundlage realer Einsatzdokumentationen der Rettungsleitstellen in Bayern und Rheinland-Pfalz ausgearbeitet. Im Projektverlauf wurden die Zwischenergebnisse kontinuierlich im Rahmen von Workshops mit den Projektpartnern erläutert und die Methoden der Szenarienentwicklung wurden entsprechend angepasst.

Bereits in der Phase der Projektplanung wurde klar, dass der Begriff „Bedarfsanalyse“ hier sowohl die Anforderungen und Bedürfnisse des Rettungsdienstes an ein neuartiges Rettungsmittel umfasst als auch das vorhandene Einsatzpotenzial für ein neuartiges luftgestütztes Rettungsmittel.

4.3.1 Vorgehensweise

Die Bedarfsanalyse wurde auf zwei Ebenen und für die beiden Untersuchungsregionen Bayern und Rheinland-Pfalz ausgearbeitet:

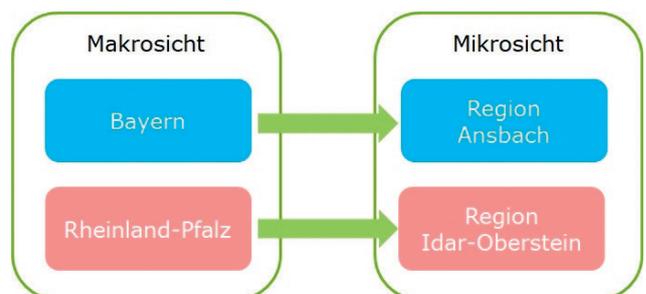


Abbildung 4.4: Aufteilung der Bedarfsanalyse in Makro- und Mikrosicht

Auf der Ebene der Bundesländer („Makroebene“) erfolgte eine Potenzialabschätzung für Multikopter im Rettungsdienst, um daraus wichtige Anforderungen an die Technik ableiten zu können und um abzuschätzen, in welchen Regionen die neuen Rettungsmittel möglicherweise besonders zielführend eingesetzt werden könnten. Eine Grundannahme der Makroebene war, dass zukünftig NEF-Standorte in ländlichen, dünn besiedelten Regionen durch Multikopter ergänzt oder ersetzt werden könnten, wodurch einerseits die Anzahl notwendiger Vorhalteresourcen reduziert würde und andererseits die schnelle Erreichbarkeit der Notfallorte verbessert werden könnte. Hintergrund der Annahmen waren aktuelle Meldungen aus Regionen

¹⁵ Bürger et al., 2018

¹⁶ Firsching et al., 2015

mit geringem Einsatzaufkommen der Notärzte. Aufgrund fehlender Ärzte, die diese Dienste übernehmen, sind einige Notarztstandorte nicht mehr regelhaft zu besetzen, wodurch bereits heute Versorgungslücken bestehen.

Parallel zur Makroebene wurde für zwei ausgewählte Regionen eine vollumfängliche Simulation des notärztlichen Einsatzgeschehens durchgeführt (Mikrosicht): Für die Region Ansbach (Bayern) und die Region Idar-Oberstein (Rheinland-Pfalz) wurden Szenarien entwickelt, bei denen Multikopter die bestehenden Notarztssysteme ergänzen bzw. teilweise auch ersetzen. Die Simulation verwendet dabei das reale, durch die Rettungsleitstellen dokumentierte Notfallaufkommen eines einjährigen Beobachtungszeitraumes. Dadurch kann das Simulationsmodell des INM ein realistisches, räumlich und zeitlich differenziertes Abbild der Einsatzabläufe vom Notrufeingang bis zur Einlieferung der Patienten in geeignete Kliniken liefern. Je nach Ausgestaltung der bodengebundenen und luftgestützten Ressourcen und technischen Voraussetzungen der Multikopter (z. B. Geschwindigkeit und Reichweite) hat dies in den einzelnen Szenarien Auswirkungen auf die notärztliche Versorgung.

Ein Ziel der Simulation des Notfallgeschehens mit Multikoptern auf der Mikroebene ist die Vorbereitung der konkreten Realisierung von ersten Multikopter-Standorten in den genannten Untersuchungsräumen. Die Ergebnisse der Bedarfsanalyse sollen dabei die Umsetzungsplanung in den Pilotregionen unterstüt-

zen und dazu beitragen, die Beteiligten auf die bevorstehenden Herausforderungen und Chancen des Systems Multikopter vorzubereiten.

Die Vorgehensweise sowohl auf der Makroebene als auch auf der Mikroebene wurde so gewählt, dass die verwendete Methodik ohne Weiteres auf andere Regionen in Deutschland übertragen werden könnte.

4.3.2 Potenzialanalysen (Makrosicht)

4.3.2.1 Potenzialanalyse Bayern

Für die Potenzialanalysen auf der räumlichen Ebene der Bundesländer wurden diese zunächst in Hexagone mit einem Innendurchmesser von 2 km aufgeteilt. Durch dieses Vorgehen wird eine standardisierte und auf andere Regionen übertragbare Vorgehensweise sichergestellt, welche unabhängig von oft historisch gewachsenen Verwaltungsgrenzen (Gemeinden und Ortsgrenzen) ist. Auf der anderen Seite sind die Zwei-Kilometer-Hexagone klein genug, um räumliche Effekte und Auswirkungen durch die Multikopter abbilden zu können.

Als Grundlage der Potenzialabschätzung wurden zunächst Auswertungen der bestehenden Strukturen und der zeitlichen Erreichbarkeit durch die bodengebundenen Notarzteinsatzfahrzeuge (NEF) ausgearbeitet. Zu Jahresbeginn 2019 bestanden in Bayern 228 bodengebundene Notarztstandorte, an denen zum

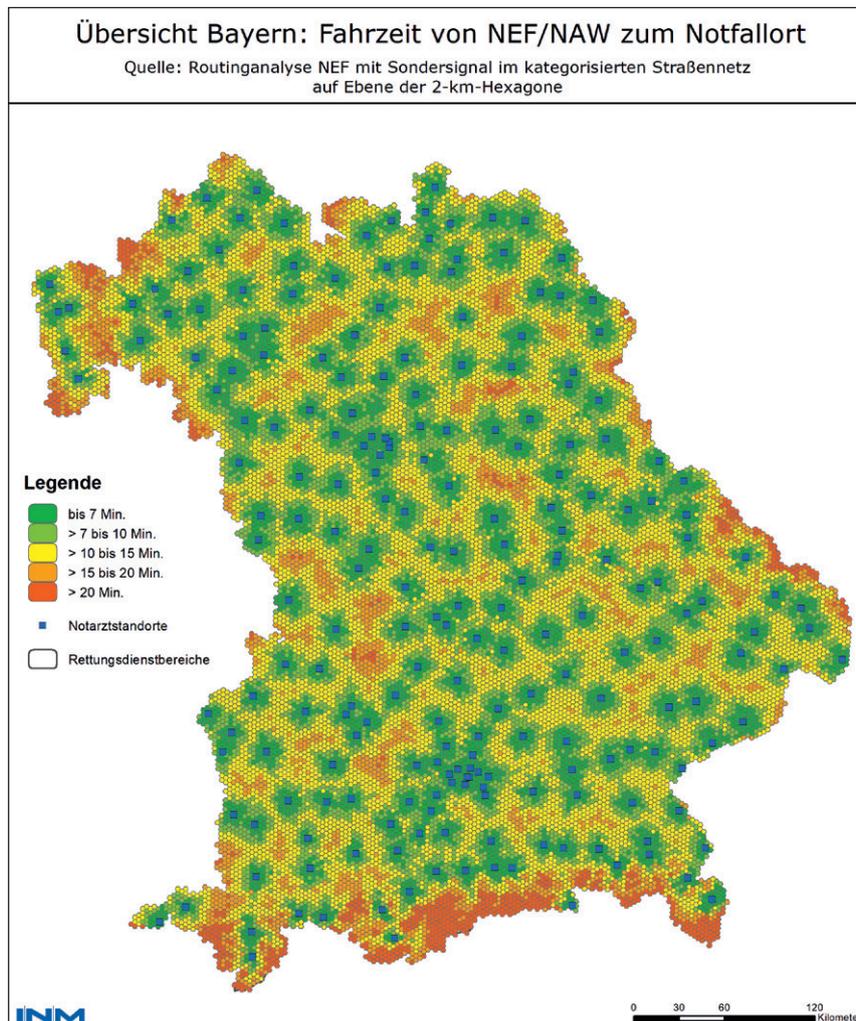


Abbildung 4.5: Fahrzeit von NEF/NAW zum Notfallort in Bayern

größten Teil Notarzteeinsatzfahrzeuge (NEF) und lediglich an einigen Münchener Standorten Notarztwagen (NAW) vorgehalten wurden. Die Vorhaltesituation des Jahres 2019 wurde als Referenz genutzt, da im Jahr 2019 die wesentlichen Simulationen durch das INM durchgeführt wurden. Bei NEF handelt es sich um PKW-ähnliche Einsatzfahrzeuge, die den Notarzt zum Notfallort bringen, ohne dass in den NEF ein Patient transportiert werden kann. Der Patiententransport erfolgt in diesen Fällen durch den parallel alarmierten Rettungswagen (RTW). Die NAW sind hingegen bauartbedingt mit RTW vergleichbar, wobei ein Notarzt die NAW-Besatzung regelhaft ergänzt.

Die Karte in Abbildung 4.5 zeigt die bodengebundenen Notarztstandorte in Bayern sowie die erwarteten Fahrzeiten von diesen Standorten zu den Notfallorten, dargestellt auf der Ebene der Zwei-Kilometer-Hexagone. Lediglich im direkten Umfeld der NEF-Standorte sind Fahrzeiten bis 7 Minuten zu erwarten. Demgegenüber bestehen zwischen den meisten Notarztstandorten Bereiche mit Fahrzeiten von über 10 Minuten und teilweise auch über 15 Minuten. Andererseits zeigt diese Auswertung, dass der Untersuchungsraum Bayern, bei aktueller Standortstruktur und mit Ausnahme einiger Regionen in den Alpen und Mittelgebirgen, nahezu flächendeckend innerhalb von 20 Minuten durch einen bodengebundenen Notarzt erreicht werden kann. Hier ist zu beachten, dass diese Versorgungsstruktur u. a. auf die Umsetzung einer bayernweiten Studie von 2010 zurückzuführen ist.¹⁷

Andere Regionen in Deutschland weisen diesbezüglich möglicherweise andere Vorgaben und Eintreffzeiten auf.

Zusätzlich zur Fahrzeit der bodengebundenen arztbesetzten Rettungsmittel wurde die sogenannte Luftliniengeschwindigkeit dieser Rettungsmittel für die einzelnen Hexagone im Untersuchungsraum mittels Routinganalyse berechnet. Die Luftliniengeschwindigkeit ist dabei jene Geschwindigkeit, mit der sich die Rettungsmittel dem Notfallort nähern, unabhängig von Straßenführung und Umwegen. Die Luftliniengeschwindigkeit ist daher gut geeignet, um mögliche Vorteile von Luftrettungsmitteln aufzuzeigen: Dort, wo sich NEF/NAW dem Ziel nur langsam nähern können, wären die Luftrettungsmittel deutlich schneller am Notfallort.

Die Abbildung 4.6 zeigt, dass die Luftliniengeschwindigkeit in der unmittelbaren Umgebung der Notarztstandorte teilweise unter 30 km/h liegt, da sich hier die Verzögerungen durch Vorfahrtstellen, Kreuzungsbereiche und Umwege durch Bahnlinien oder Flüsse besonders deutlich auswirken. Bei weiteren Anfahrtsstrecken der NEF/NAW beträgt die Luftliniengeschwindigkeit meist zwischen 30 km/h und 70 km/h. Nur wenige Hexagone zeigen Luftliniengeschwindigkeiten von über 70 km/h. Ergänzend zu den hier dargestellten räumlichen Aspekten wurden im Projektverlauf weitere Kennwerte zur notärztlichen Versorgung berechnet.

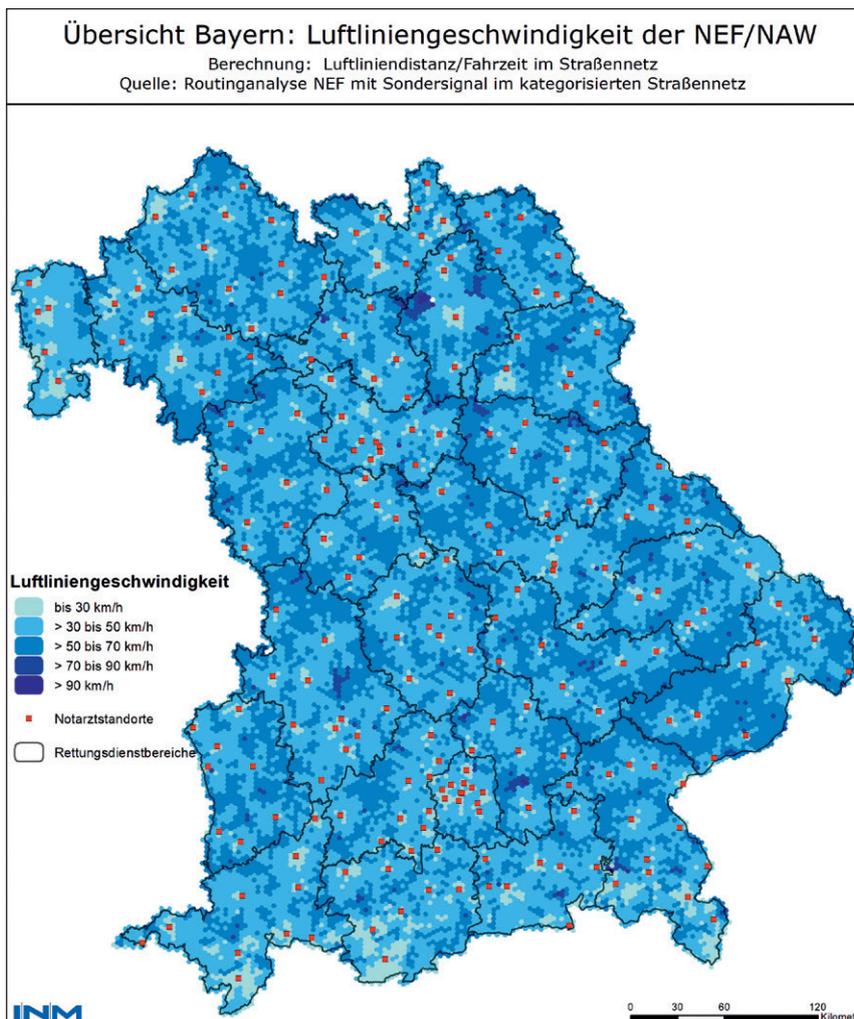


Abbildung 4.6: Luftliniengeschwindigkeit der NEF/NAW in Bayern

¹⁷ Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM), 2010

4.3.2.1.1 Einsatzaufkommen der Notarztstandorte in Bayern

Insbesondere in dünn besiedelten ländlichen Regionen mit geringem Einsatzaufkommen wird es zunehmend schwierig, notärztliches Personal zu finden und die Vorhaltung rund um die Uhr sicherzustellen. In diesem Sinne wurde gemeinsam mit den Projektpartnern beschlossen, für die Potenzialanalysen davon auszugehen, dass Notarztstandorte mit geringem Einsatzaufkommen zukünftig durch Multikopter ersetzt werden. So könnte die Auslastung und Effizienz der Standorte erhöht, die flächendeckende Versorgung sichergestellt und gleichzeitig der Personalbedarf reduziert werden. Die flächendeckende notärztliche Versorgung könnte durch Multikopter nicht nur sichergestellt, sondern mit geringerem Ressourceneinsatz sogar optimiert werden, sofern die technischen Voraussetzungen der Multikopter den notwendigen Anforderungen entsprechen.

Die Abbildung 4.7 zeigt in Form einer Summationskurve das mittlere tägliche Einsatzaufkommen der 228 NEF/NAW-Standorte in Bayern. Alle Standorte haben eine öffentlich-rechtliche Vorhaltung rund um die Uhr. Hintergrunddienste o.Ä. wurden nicht berücksichtigt. Die Mittelwerte variieren dabei zwischen einem Notarztinsatz pro Tag und 19 Notarztseinsätzen pro Tag. Als Schwellenwert für die Kategorisierung in „gut“ und „schlecht“ ausgelastet wurde exemplarisch der Medianwert von vier Notarztseinsätzen pro Tag verwendet. Für das weitere Vorgehen bedeutete dies, dass davon auszugehen war, dass Regionen, welche bislang durch einen schlecht ausgelasteten Notarztstandort versorgt werden (Schwellenwert < 4 Einsätze pro Tag), zukünftig durch Multikopter abzudecken sind.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass nicht davon auszugehen ist, dass alle Notarztstandorte mit weniger als vier Einsätzen pro Tag in Zukunft wegfallen werden, und auch nicht, dass alle Standorte mit mehr als vier Einsätzen unverändert bestehen bleiben. Der angenommene Schwellenwert von 4 Einsätzen pro Tag wurde verwendet, um das im folgenden beschriebene Was-wäre-wenn-Szenario ausarbeiten zu können.

Für die Potenzialanalyse wurde aufgrund der beschriebenen Zwischenergebnisse davon ausgegangen, dass 114 der 228 bodengebundenen Notarztstandorte in Bayern mit durchschnittlich weniger als vier Einsätzen pro Tag durch Multikopter ersetzt werden. Dementsprechend verbleiben 114 NEF/NAW-Standorte, die meist in städtischen Regionen liegen und dort auch ländliche Regionen mitversorgen können.

Abbildung 4.8 zeigt in Form einer Karte die räumliche Verteilung der bodengebundenen Notarztstandorte in Bayern sowie das mittlere tägliche Einsatzaufkommen der NEF/NAW. Rot eingefärbt sind jene Standorte mit einem mittleren täglichen Einsatzaufkommen von weniger als vier Einsätzen.

Hinsichtlich der flächendeckenden Versorgung wurde in Anlehnung an die Notarztstudie Bayern¹⁸ ein Zielwert von 20 Minuten für die (planerische) Fahrzeit zum Notfallort angenommen. Dieser Zielvorgabe entsprechend zeigt die Karte auch jene Gebiete (blau eingefärbt), welche durch die verbleibenden 114 NEF/NAW-Standorte weiterhin abgedeckt werden. Die gelb markierten Regionen müssen im Sinne der Potenzialanalyse hingegen durch Multikopter abgedeckt werden, da die bisher bestehenden NEF/NAW-Standorte wegfallen.

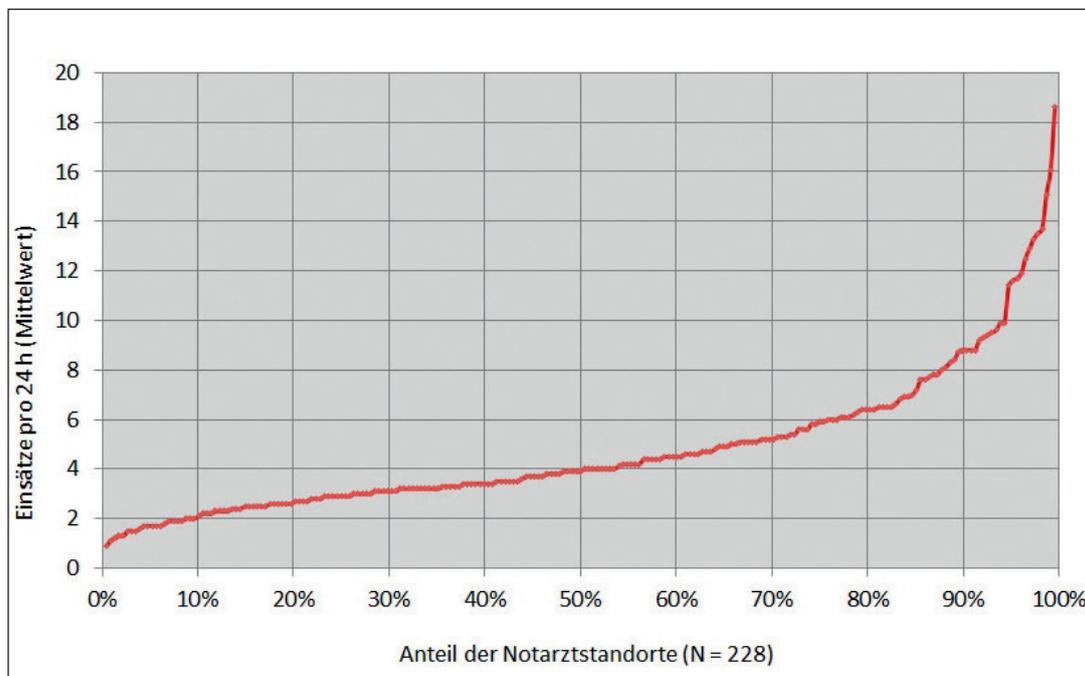


Abbildung 4.7: Summationskurve des mittleren täglichen Einsatzaufkommens der Notarztstandorte in Bayern

¹⁸ Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM), 2010

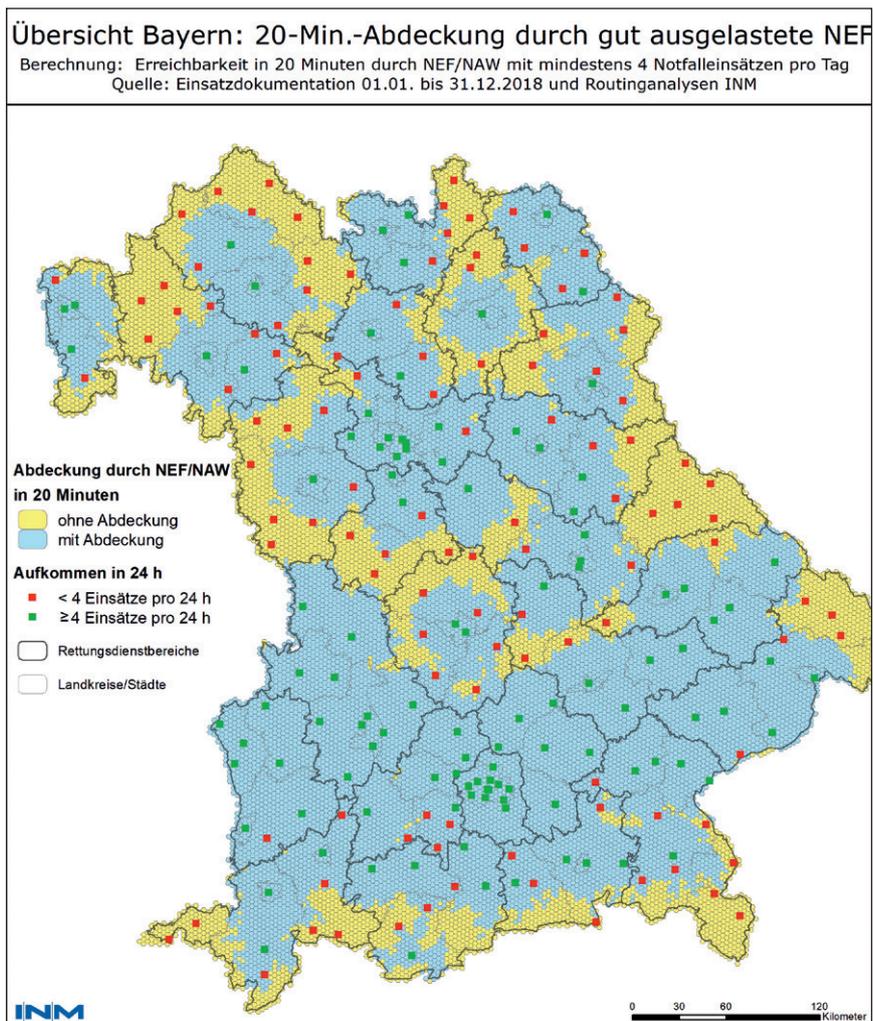


Abbildung 4.8: Abdeckung in 20 Minuten Fahrzeit durch gut ausgelastete NEF-Standorte in Bayern

Ergänzend zur kartografischen Darstellung zeigt die Tabelle 4.1 die Verteilung des Notfallaufkommens sowie der Flächenanteile. Hinsichtlich der Fläche lagen 29% Bayerns in Regionen ohne Abdeckung durch die verbleibenden 114 NEF/NAW-Standorte. In Bezug auf das Notfallaufkommen ist festzustellen, dass von insgesamt 420.023 Notarzteeinsätzen, welche für das Jahr 2018 Berücksichtigung fanden, 47.561 Notarzteeinsätze in Orten lagen, die nicht durch die verbleibenden NEF/NAW in 20 Minuten Fahrzeit erreicht werden. Dies entspricht einem Anteil von 11% des Notarzteeinsatzaufkommens.

Kategorie	Hexagone/Fläche		Notarzteeinsätze	
	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
mit Abdeckung NEF (blau)	14.935	71 %	372.462	89 %
ohne Abdeckung NEF (gelb)	6.159	29 %	47.561	11 %
Gesamt	21.094	100 %	420.023	100 %

Tabelle 4.1: Kennwerte 20-Minuten-Abdeckung durch gut ausgelastete NEF-Standorte in Bayern

4.3.2.1.2 Abhängigkeit des Einsatzradius von Geschwindigkeit und Reichweite der Multikopter

Die Anzahl und Lage der Multikopter-Standorte ist grundsätzlich von der Strecke abhängig, d. h. davon, wie weit das Luftrettungsmittel in 20 Minuten kommt und wie weit die Reichweite des Rettungsmittels ist, um eine regelhafte Versorgung sicherzustellen. Daraus ergeben sich zwei entscheidende technische Parameter der Multikopter:

- Geschwindigkeit und
- Reichweite.

Abbildung 4.9 zeigt zunächst die Abhängigkeit des Einsatzradius von der Geschwindigkeit der Multikopter. Da konkrete Werte für Multikopter noch nicht vorliegen, wurde, in Anlehnung an die Ergebnisse der PrimAIR-Studie und basierend auf den Auswertungen von RTH/ITH-Einsätzen, davon ausgegangen, dass für die Start- und Landephase jeweils eine Minute Verzögerung anzusetzen ist. Dementsprechend verbleiben nach der Startphase 18 Minuten bis zum Beginn der Landephase.¹⁹

Aus dem Diagramm geht der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Einsatzradius hervor. Bei einer angenommenen Geschwindigkeit von 100 km/h können in 20 Minuten Flugdauer und unter Berücksichtigung der Start- und Landeverzögerungen 30 km entfernte Notfallorte erreicht werden. Bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h reduziert sich dieser Einsatz-

¹⁹ Birk et al., 2015

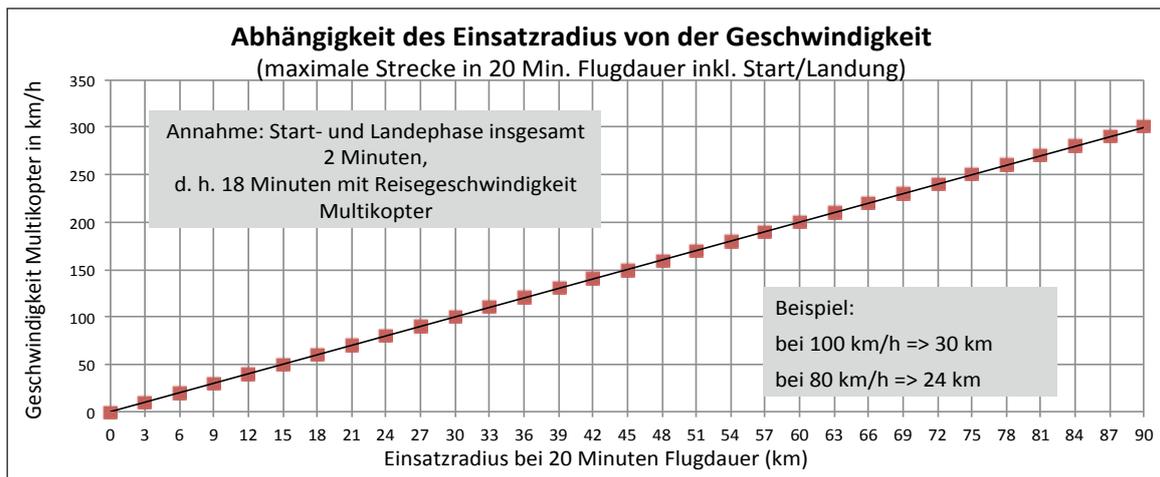


Abbildung 4.9: Abhängigkeit des Einsatzradius von der Geschwindigkeit

radius auf 24 km. Dabei ist anzumerken, dass diese Geschwindigkeiten als die einsatztaktisch entscheidenden Geschwindigkeiten über Grund zu verstehen sind.

Der Einsatzradius der Multikopter ist neben der Geschwindigkeit auch von der Reichweite der Multikopter abhängig. Darüber hinaus muss beachtet werden, mit welcher Sicherheitsreserve für Rückflüge, für Flüge zum Transportziel (Klinik) und für Folgeeinsätze zu rechnen ist. Hierzu wurden Annahmen getroffen: Die Reichweite müsste mindestens das Zweieinhalbfache des Einsatzradius betragen, um überhaupt Einsätze durchführen zu können und um zurück zum Standort fliegen zu können. Für eine regelhafte rettungsdienstliche Versorgung wäre dies jedoch noch nicht ausreichend. Deutlich realistischer ist hier ein Faktor des Vierfachen des Einsatzradius, um den Notarzt vom Transportziel (Klinik) abholen zu können und um ggf. Folgeeinsätze zu übernehmen. Besser wäre hier der sechsfache Einsatzradius, um entsprechende Sicherheiten für eine Regelversorgung in der Notfallrettung zu gewährleisten.

Der Zusammenhang zwischen Multikopter-Reichweite und Einsatzradius geht aus Abbildung 4.10 hervor. Sie zeigt, dass bei einem geplanten Einsatzradius von 30 km eine Reichweite von 120 km erforderlich ist, um eine ausreichende Sicherstellung der Einsatzmöglichkeiten zu gewährleisten. Deutlich besser wäre hier eine Reichweite von 180 km.

Für die nachfolgend dargestellten Szenarien wurde von dem erläuterten Faktor 4 für das Verhältnis Einsatzradius und Reichweite ausgegangen, um einen bedarfsgerechten Rettungsmiteinsatz und ausreichende Sicherheitsreserven zu gewährleisten. Schließlich muss beachtet werden, dass sowohl die NEF/NAW als auch die RTH/ITH eine Reichweite von etwa dem Zehnfachen des regelhaften Einsatzradius aufweisen (ca. 650 km Reichweite).²⁰ Langfristig sollte dementsprechend auch die technische Entwicklung der Multikopter so ausgerichtet sein, dass mehrere Einsätze nacheinander durchgeführt werden können.

Zusammenfassend ist zu beachten, dass eine Substitution bestehender, schwer zu besetzender NEF/NAW-Standorte nur dann möglich ist, wenn Multikopter über eine bedarfsgerechte Geschwindigkeit und Reichweite verfügen, um das regelhafte Notfallaufkommen im geplanten Einsatzradius abdecken zu können.²¹ Der Einsatzradius ist somit eine planerische Größe, um die dem Rettungsmittel zugeordneten Gebiete definieren zu können. Der planerische Einsatzradius ist nicht gleichzusetzen mit den Einsatzstrecken, die der Multikopter im einzelnen Einsatz zurücklegen muss.

In den nachfolgenden Szenarien wird aufgezeigt, wie viele Multikopter-Standorte benötigt werden, um die Vorgabe einer flächendeckenden Erreichbarkeit zu erfüllen, unter der Annahme, dass 29% der Fläche nicht mehr durch NEF/NAW abgedeckt werden und 47.561 Notarzteeinsätze dementsprechend durch Multikopter übernommen werden müssen.

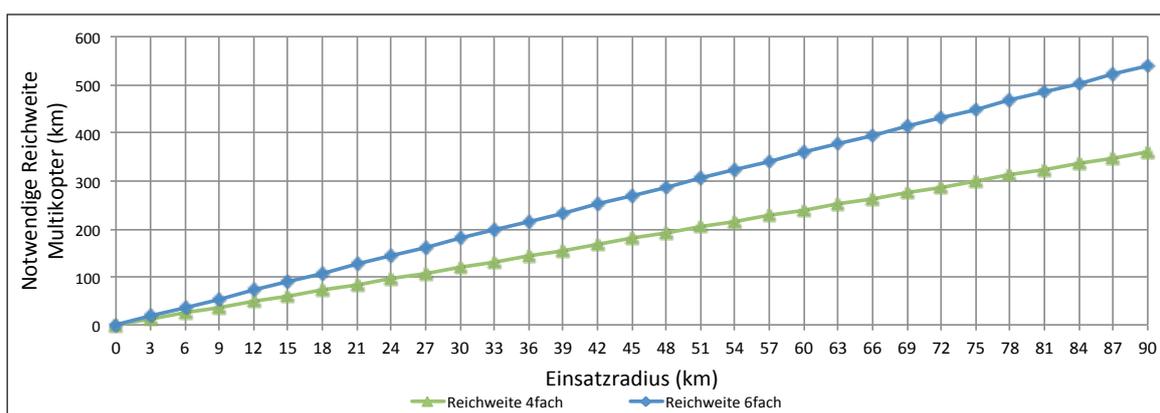


Abbildung 4.10: Abhängigkeit des Einsatzradius von der Reichweite der Multikopter

²⁰ ADAC Luftrettung gGmbH

²¹ Neben einer ausreichenden Geschwindigkeit und Reichweite sind auch andere Parameter zu beachten, die ausführlich in Kapitel 5 und 6 erläutert werden.

4.3.2.1.3 Location-Allocation-Modell

Die Aufgabe des nun folgenden Arbeitsschrittes der Potenzialanalyse bestand darin, zu ermitteln, wie viele Multikopter-Standorte bzw. wie viele Multikopter benötigt werden, um die nicht mehr durch NEF/NAW innerhalb der vorgegebenen Fahrzeit von 20 Minuten erreichten Gebiete vollständig abzudecken. Dabei war nicht nur die Anzahl der mindestens notwendigen Standorte in Abhängigkeit vom Einsatzradius zu berechnen, sondern auch die Lage der Multikopter-Standorte.

Um dieses Problem zu lösen, wurde ein sogenanntes Location-Allocation-Modell angewendet, welches Teil des am INM vorgehaltenen Geoinformationssystems ist.

Das mathematisch-geographische Modell, welches hier zur Anwendung kam, hat die Aufgabe, für eine vorgegebene Menge potenzieller Notfallorte (hier die Mittelpunkte der 2-km-Hexagone) die minimale Zahl an Standorten und deren Lage zu berechnen, die notwendig sind, um eine flächendeckende Versorgung sicherzustellen. Als weiterer Parameter wurde hierbei der anzunehmende Einsatzradius benötigt, welcher, wie vorhergehend erläutert, von der Geschwindigkeit der Multikopter und deren Reichweite abhängt.²²

Das beschriebene Location-Allocation-Modell wurde mehrfach mit unterschiedlichen Einsatzradien wiederholt. Die entsprechenden Abbildungen zeigen die Auswirkungen ausgewählter Radien auf die Anzahl der benötigten Multikopter-Standorte.

4.3.2.1.4 Szenarien Makrosicht Bayern

Im ersten Beispiel (vgl. Abbildung 4.11) wurde von einer Multikopter-Geschwindigkeit von 80 km/h ausgegangen und einer Reichweite von mindestens 96 km. Daraus ergab sich ein planerischer Einsatzradius von 24 km um potenzielle Standorte. Um eine flächendeckende Erreichbarkeit der Gebiete ohne Erreichbarkeit durch NEF/NAW (in der Karte gelb eingefärbt) sicherzustellen, werden mindestens 43 Multikopter-Standorte benötigt. In diesem Szenario könnten also 114 bodengebundene Standorte mit geringer Auslastung durch 43 Multikopter-Standorte ersetzt werden. Zu beachten ist dabei, dass im Modell davon auszugehen ist, dass an jedem Multikopter-Standort ein Multikopter rund um die Uhr einsatzbereit ist und dass die Multikopter auch die regelhafte Versorgung in den Nachtstunden übernehmen können.

Im zweiten Szenario (vgl. Abbildung 4.12) wurde von einer hohen Geschwindigkeit (150 km/h) und einer großen Reichweite der Multikopter (mindestens 180 km) ausgegangen, woraus ein 20-Minuten-Radius von 45 km resultierte. Hier konnte die Anzahl benötig-

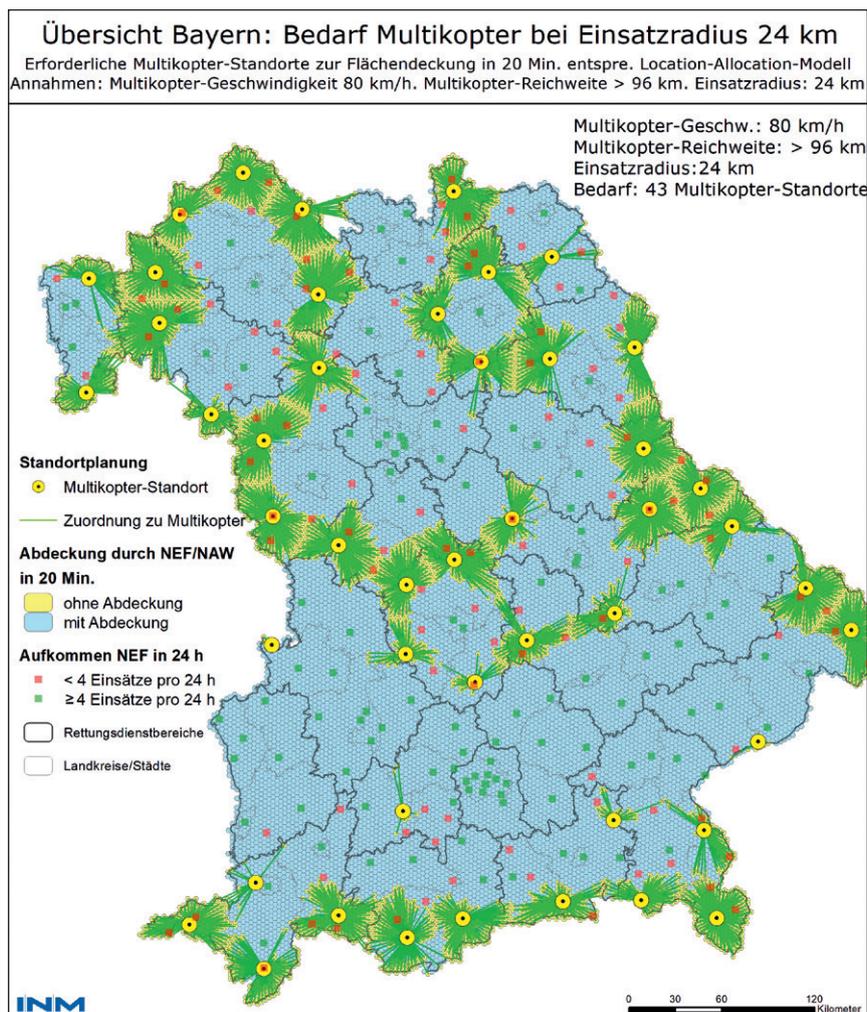


Abbildung 4.11: Erforderliche Multikopter-Standorte in Bayern bei Einsatzradius 24 km²³

²² Detaillierte Informationen zu den verschiedenen Berechnungsmodellen und den Algorithmen sind den Seiten der Firma ESRI zu entnehmen:

https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/extensions/network-analyst/location-allocation.htm#ESRI_SECTION1_F8182D9F421E4EA4AEE11E7B360E1340

²³ Bei der Standortplanung ist vorgesehen, dass die Multikopter auch Einsätze in den blau eingefärbten angrenzenden Gebieten innerhalb des Einsatzradius durchführen.

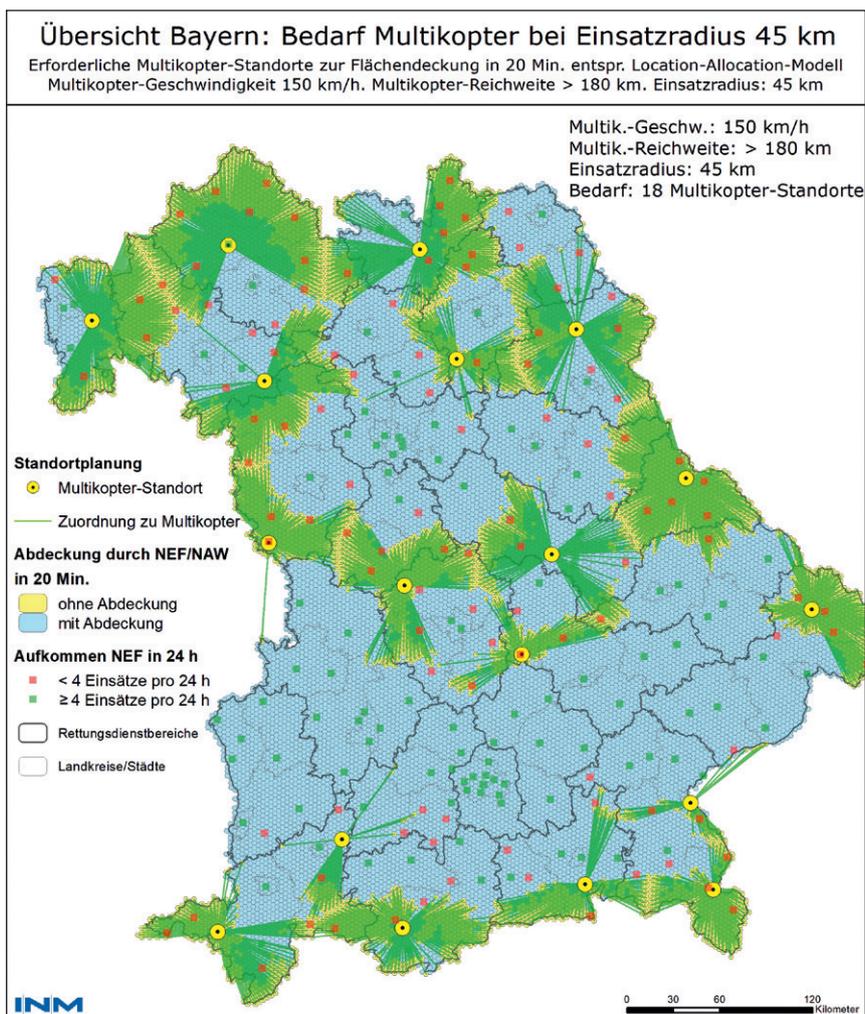


Abbildung 4.12: Erforderliche Multikopter-Standorte in Bayern bei Einsatzradius 45 km²³

ter Standorte auf 18 reduziert werden. Allerdings steigt dabei das erwartete Einsatzaufkommen stark an, sodass an vier Standorten zwei Multikopter vorzuhalten wären.²⁴ Insgesamt könnte in diesem Szenario eine Flächendeckung innerhalb von 20 Minuten durch 18 Multikopter-Standorte mit 22 Multikoptern erreicht werden.

Insgesamt wurden die Auswirkungen verschiedener Geschwindigkeit-Reichweite-Kombinationen berechnet. Die Abbildung 4.13

zeigt den Zusammenhang zwischen planerischem Einsatzradius und erforderlichen Multikopter-Standorten in Bayern.

Der Kurvenverlauf zeigt, dass bei Einsatzradien unter 20 km praktisch kein planerischer Nutzen in Bezug auf die vorzuhaltenden Ressourcen erzielt werden kann. Sofern 114 NEF/NAW-Standorte ersetzt werden sollen, muss die Anzahl der Multikopter deutlich unter dieser Zahl liegen (vgl. hierzu auch Kapitel 9).

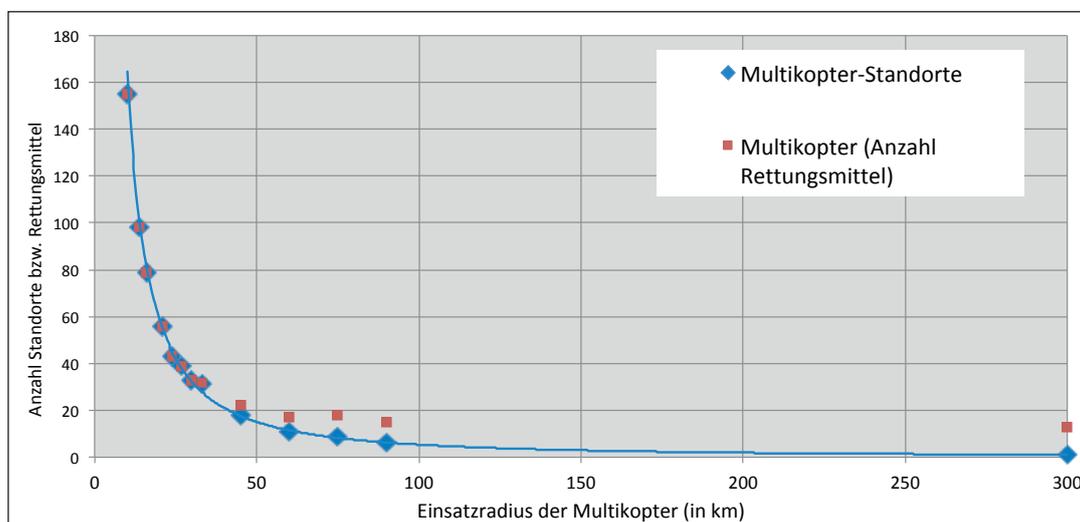


Abbildung 4.13: Erforderliche Multikopter-Standorte in Bayern in Abhängigkeit vom Einsatzradius

²⁴ Aufgrund noch fehlender Kennwerte zu den Ladezeiten und technischen Voraussetzungen für Akkutausch oder Schnellladung wurde vereinfacht davon ausgegangen, dass ein Multikopter an einem Standort maximal 4.000 Notfalleinsätze pro Jahr absolvieren kann. Bei mehr als 4.000 Einsätzen an einem Standort wurde von der Vorhaltung eines weiteren Multikopters ausgegangen.

Positive Effekte entstehen erst ab etwa einem planerischen Radius von 21 km, da dann mit 56 erforderlichen Multikopter-Standorten die Zahl der Standorte reduziert werden kann. Deutlich besser ist die Situation bei einem planerischen Einsatzradius von 30 km, wodurch noch 33 Multikopter-Standorte benötigt werden.

Zu beachten ist, dass ab einem planerischen Einsatzradius von knapp 50 km und mehr die Zahl der Standorte weiter reduziert werden könnte. Allerdings würden dann an mehreren Standorten jeweils mehrere Multikopter benötigt, um das hohe Einsatzaufkommen zu bewältigen. Im Extremfall, mit sehr hohen Geschwindigkeiten, könnte Bayern durch einen einzigen Standort zwar flächendeckend in 20 Minuten erreicht werden. Allerdings müssten an diesem Standort dann aufgrund des hohen Einsatzaufkommens 13 Multikopter vorgehalten werden.

Abschließend ist in Bezug auf diese Ergebnisse zu beachten, dass sich daraus ableiten lässt, dass Multikopter-Einsatzradien von etwa 25 km bereits ausreichend wären, um jeweils mehrere schlecht ausgelastete NEF-Standorte zu ersetzen. Hierfür wäre einerseits eine Multikopter-Geschwindigkeit von mindestens 80 km/h notwendig. Andererseits müsste eine Multikopter-Reichweite von mindestens 100 km, besser noch von 150 km sichergestellt werden.

4.3.2.2 Potenzialanalyse Rheinland-Pfalz

Für die Potenzialanalyse bzw. die Makrosicht Rheinland-Pfalz wurde analog zu der beschriebenen Potenzialanalyse Bayern vorgegangen.

Obwohl Rheinland-Pfalz nur etwa ein Drittel der Fläche und der Einwohner Bayerns aufweist, sind die regionalen Strukturen mit dem Wechsel aus städtischen und ländlich-peripheren Regionen doch vergleichbar. Auch das Notarzteinsatzaufkommen pro Einwohner ist in beiden Untersuchungsräumen ähnlich mit 26 (Rheinland-Pfalz) bzw. 32 Notarzteinsätzen (Bayern) pro 1.000 Einwohner und Jahr.

Das mittlere tägliche Einsatzaufkommen der 67 bodengebundenen Notarztstandorte in Rheinland-Pfalz ist in Abbildung 4.14 in Form einer Summationskurve dargestellt. Die Werte variieren dabei zwischen einem Einsatz pro 24 Stunden und etwa 10 Einsätzen pro 24 Stunden. Der Medianwert des täglichen Einsatzaufkommens der NEF-Standorte beträgt – wie auch in Bayern – etwa 4 Einsätze pro 24 Stunden.

Auch für Rheinland-Pfalz wurde ein Schwellenwert von vier Notarzteinsätzen pro Standort und 24 Stunden gewählt, um die Notarztstandorte in gut und schlecht ausgelastete Standorte aufzuteilen. Bei Anwendung dieses Schwellenwertes ergibt sich für die 67 Notarztstandorte in Rheinland-Pfalz, dass 35 NEF-Standorte mit durchschnittlich weniger als 4 Notarzteinsätzen pro 24 Stunden wegfallen würden und 32 NEF-Standorte mit durchschnittlich mindestens 4 Notarzteinsätzen weiterbeständen.

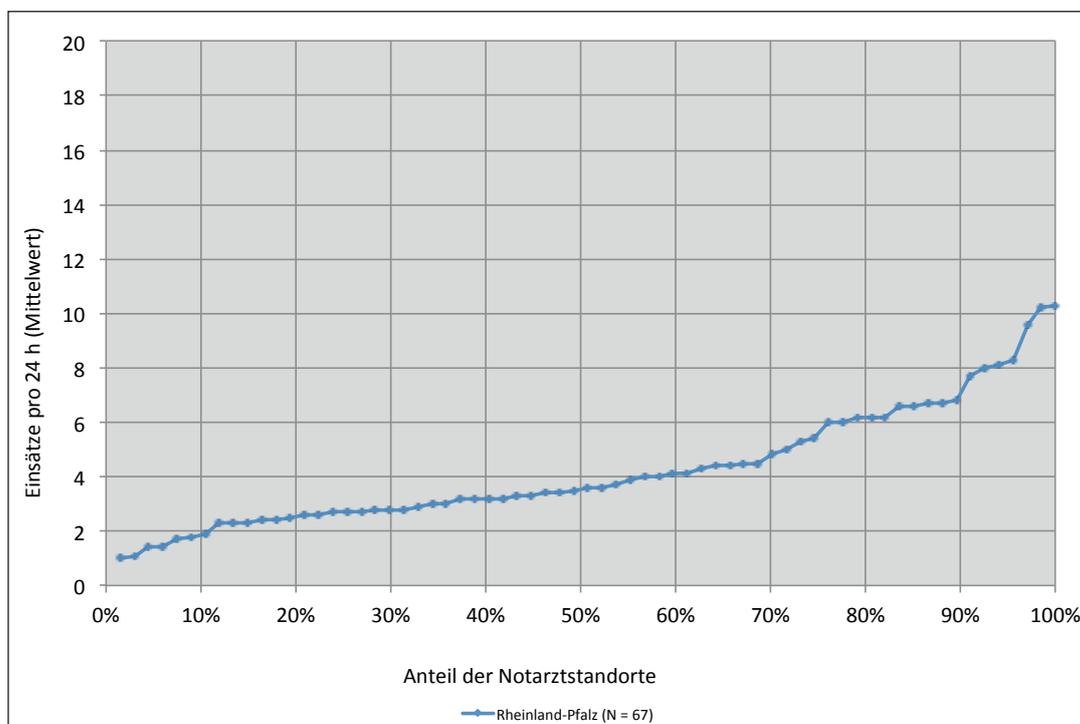


Abbildung 4.14: Summationskurve des mittleren täglichen Einsatzaufkommens der Notarztstandorte in Rheinland-Pfalz

Die räumliche Verteilung der gut bzw. schlecht ausgelasteten Notarztstandorte geht aus der Abbildung 4.15 hervor. Es wird im Folgenden davon ausgegangen, dass die Standorte mit weniger als durchschnittlich 4 Notarzteinsätzen wegfallen, sodass die Versorgung durch die 32 verbleibenden Standorte übernommen werden muss. Analog zu Bayern wurde darauf aufbauend die 20-Minuten-Vorgabe für die Fahrzeit zum Notfallort als flächendeckender Zielparameter übernommen. Die Abbildung zeigt dementsprechend in Gelb eingefärbt jene Regionen, welche nicht mehr durch die verbleibenden NEF-Standorte in 20 Minuten abgedeckt werden.

Ergänzend zu der räumlichen Verteilung zeigt Tabelle 4.2 einige Kennwerte zur Abdeckung durch bestehende Notarztstandorte in 20 Minuten Fahrzeit: 38 % der Fläche von Rheinland-Pfalz liegen in Regionen ohne Abdeckung durch gut ausgelastete NEF. Die zu lozierenden Multikopter müssen diese Regionen flächendeckend in 20 Minuten erreichen können. Das Notarzteinsatzaufkommen in den gelb hinterlegten Regionen beträgt 16.491 Einsätze bzw. 16 % des Notarzteinsatzaufkommens in diesem Bundesland (Jahr 2018). Im Vergleich zu Bayern handelt es sich dementsprechend um (noch) größere Potenziale für Multikopter.

Kategorie	Hexagone/Fläche		Notarzteinsätze	
	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
mit Abdeckung NEF (blau)	3.763	62 %	88.703	84 %
ohne Abdeckung NEF (gelb)	2.292	38 %	16.491	16 %
Gesamt	6.055	100 %	105.194	100 %

Tabelle 4.2: Kennwerte 20-Minuten-Abdeckung durch gut ausgelastete NEF-Standorte in Rheinland-Pfalz

Hinsichtlich der grundsätzlichen Abhängigkeit des planerischen Einsatzradius von der Geschwindigkeit und Reichweite der Multikopter sei auf die Erläuterungen zur Makrosicht Bayern verwiesen (Kapitel 4.3.2.1). Es gelten die gleichen Grundvoraussetzungen.

Für Rheinland-Pfalz wurde im weiteren Arbeitsschritt ebenfalls ein Location-Allocation-Modell angewendet, um zu ermitteln, wie viele Multikopter-Standorte mindestens benötigt werden, um eine flächendeckende Versorgung in 20 Minuten Fahrzeit/Flugdauer sicherzustellen.

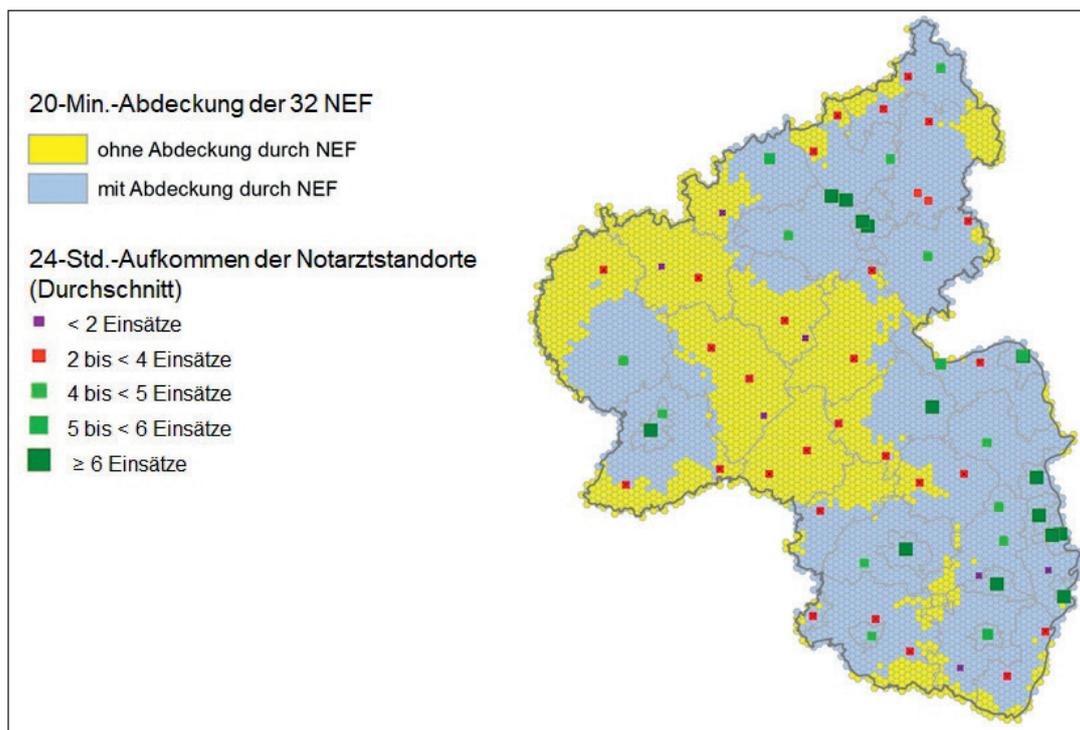


Abbildung 4.15: Abdeckung in 20 Minuten Fahrzeit durch gut ausgelastete NEF-Standorte in Rheinland-Pfalz

4.3.2.2.1 Szenarien Makrosicht Rheinland-Pfalz

Im ersten Szenario wurde von einer Multikopter-Geschwindigkeit von 80 km/h in Verbindung mit einer Reichweite von mindestens 96 km ausgegangen. Daraus resultiert ein planerischer Einsatzradius von 24 km. Für diese Eingangsparameter errechnete das Location-Allocation-Modell einen Bedarf von 15 Multikopter-Standorten, die erforderlich sind, um 35 NEF-Standorte zu ersetzen (Abbildung 4.16).

Im zweiten in dieser Ergebniszusammenfassung dargestellten Szenario für Rheinland-Pfalz wurde von einer Multikopter-Geschwindigkeit von 150 km/h und einer Mindestreichweite von 180 km ausgegangen, woraus sich ein planerischer Einsatzradius der Multikopter von 45 km ergab. In diesem Szenario werden lediglich sechs Multikopter-Standorte benötigt, wobei an einem Standort aufgrund des hohen Einsatzaufkommens zwei Multikopter erforderlich sind (Abbildung 4.17).

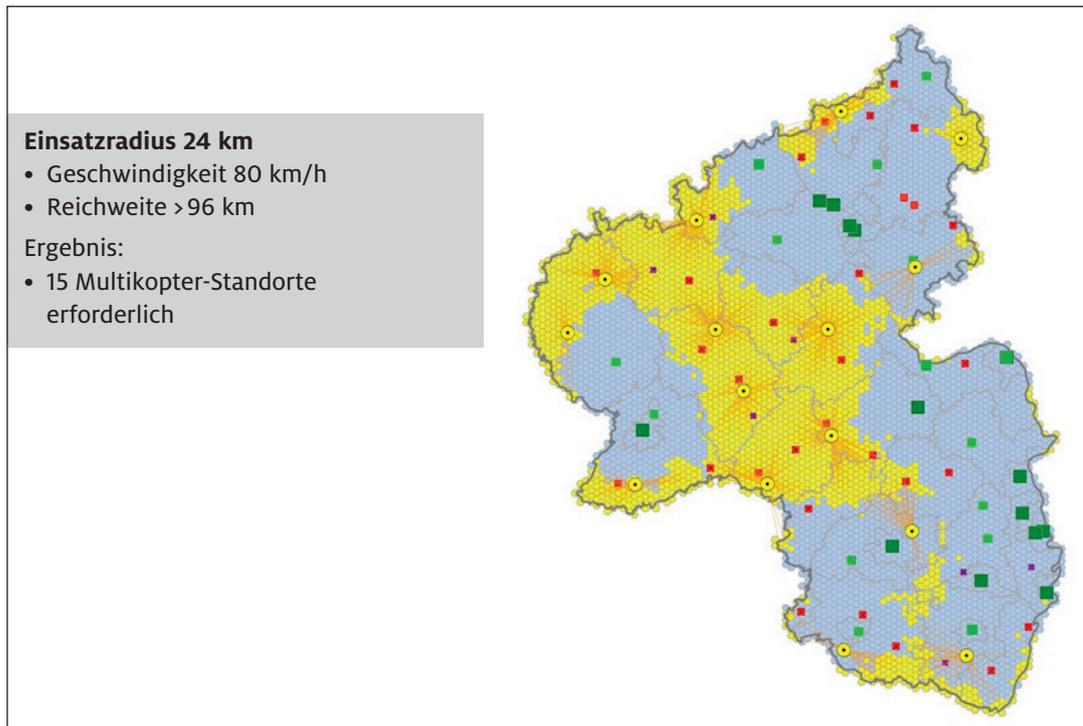


Abbildung 4.16: Erforderliche Multikopter-Standorte in Rheinland-Pfalz bei Einsatzradius 24 km²⁵

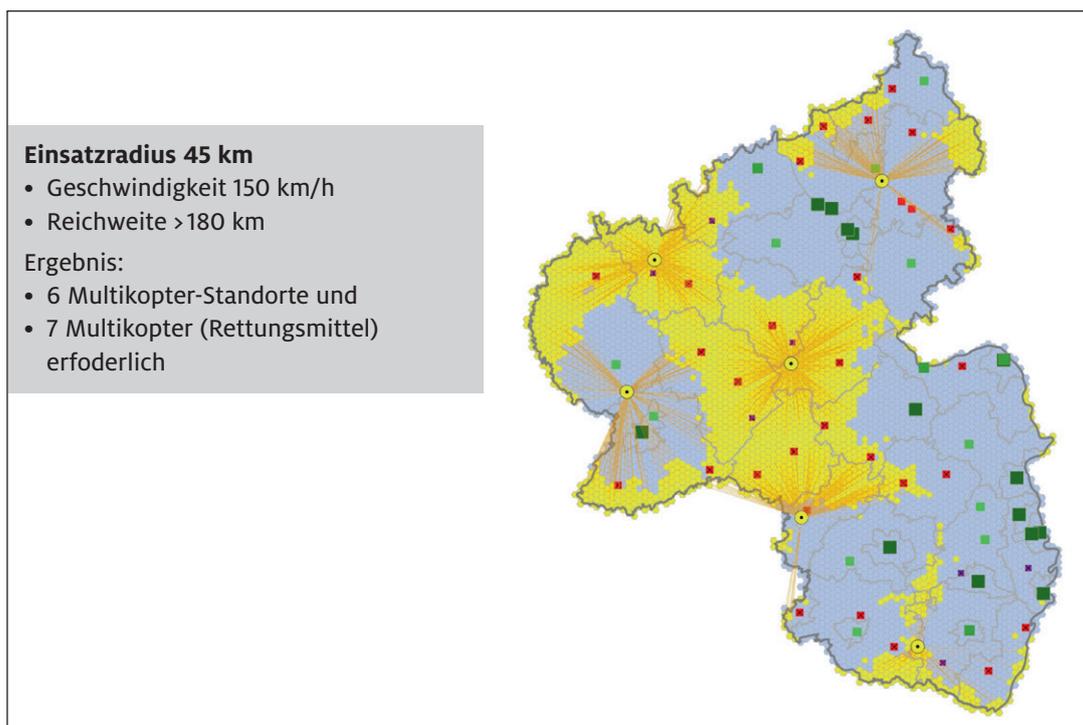


Abbildung 4.17: Erforderliche Multikopter-Standorte in Rheinland-Pfalz bei Einsatzradius 45 km

²⁵ Bei der Standortplanung ist vorgesehen, dass die Multikopter auch Einsätze in den blau eingefärbten angrenzenden Gebieten innerhalb des Einsatzradius durchführen.

Insgesamt wurden die Auswirkungen verschiedener Geschwindigkeit-Reichweite-Kombinationen wie für Bayern auch für Rheinland-Pfalz berechnet. Die Abbildung 4.18 zeigt den Zusammenhang zwischen planerischem Einsatzradius und erforderlichen Multikopter-Standorten in Rheinland-Pfalz. Die Kurve zeigt einen sehr ähnlichen Verlauf wie die zuvor dargestellte Kurve für Bayern: Ab etwa 25 km planerischem Einsatzradius könnte die Anzahl der Standorte gegenüber den 35 zu ersetzenden NEF-Standorten deutlich reduziert werden. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen für Bayern zeigt sich, dass Multikopter eine größere Anzahl bodengebundener Standorte ersetzen können, wenn sie eine Geschwindigkeit von mindestens 80 km/h und eine Reichweite von mindestens 100 bis 150 km anbieten.

4.3.2.3 Erweitertes „Maximal-Szenario“

Die im Rahmen der Potenzialanalyse vorgestellten Szenarien gingen davon aus, dass gering ausgelastete Notarztstandorte durch Multikopter ersetzt werden, wenn die Standorte im Mittel weniger als 4 Notarzteinsätze pro Tag aufweisen. Im Rahmen der Projekt-Workshops entstand die Überlegung, zu prüfen, wie es sich auswirken würde, wenn auch jene Standorte mit höherer Auslastung, aber mit längeren Fahrstrecken durch Multikopter ersetzt würden. Das sogenannte „Maximal-Szenario“ wurde für Bayern ausgearbeitet und die nachfolgende Tabelle zeigt die Grundannahmen des Maximal-Szenarios im Vergleich zu den „Standard-Szenarien“.

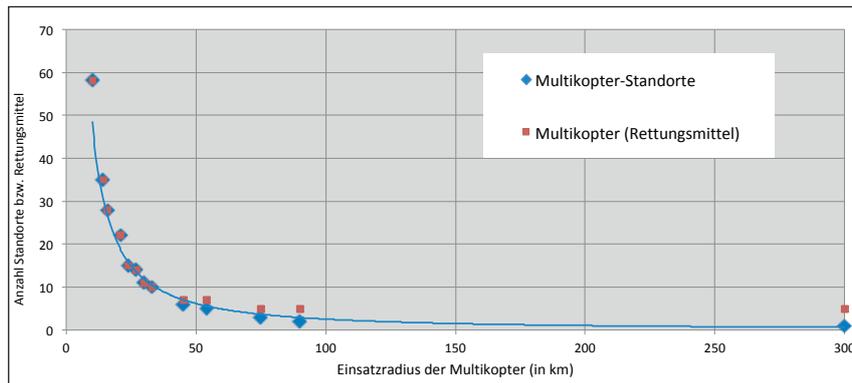


Abbildung 4.18: Erforderliche Multikopter-Standorte in Rheinland-Pfalz in Abhängigkeit vom Einsatzradius

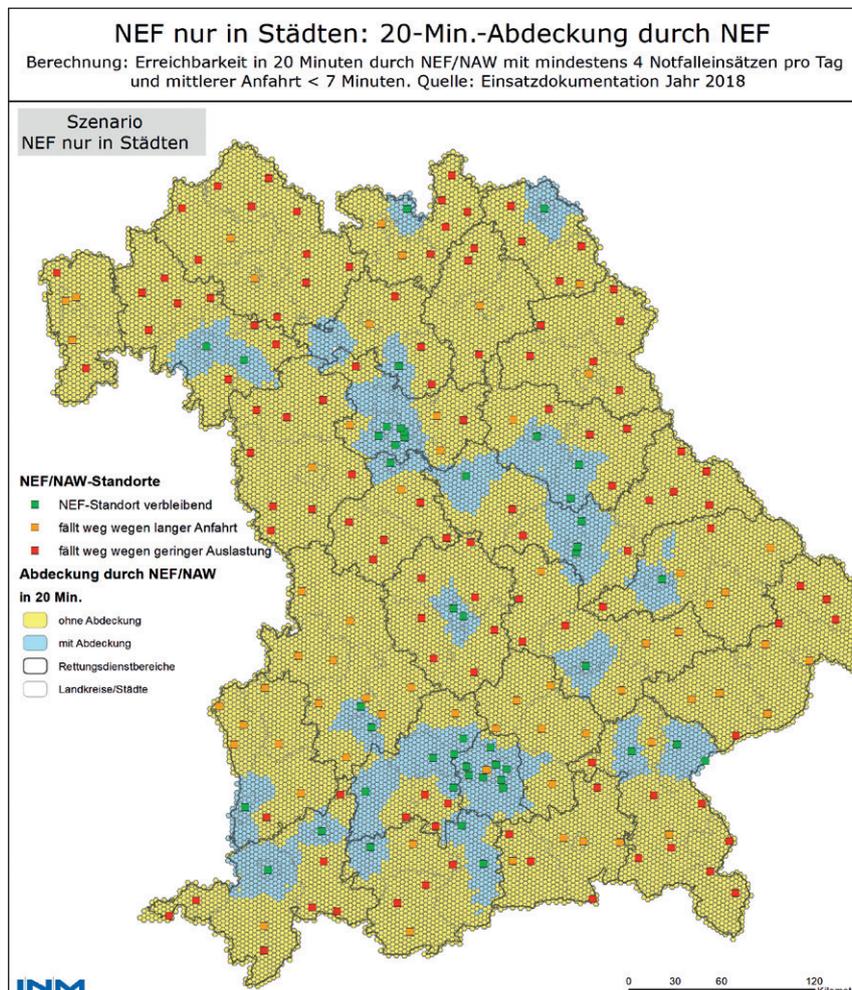


Abbildung 4.19: Maximal-Szenario: 20-Minuten-Abdeckung durch verbleibende NEF in Bayern

Als zusätzlicher Schwellenwert wurde im Maximal-Szenario der Medianwert der Fahrzeiten pro Standort verwendet. Bayernweit liegt der Medianwert der Fahrzeiten von NEF bei Notfalleinsätzen bei 7 Minuten. Unter Anwendung dieses Wertes wurden die betroffenen Standorte durch Multikopter ersetzt oder ergänzt, falls der Medianwert pro Standort länger als 7 Minuten war.

Abbildung 4.19 zeigt die Notarztstandorte in Bayern sowie die Regionen, welche durch die verbleibenden bodengebundenen Notarztstandorte in 20 Minuten Fahrzeit erreicht werden können. Entsprechend der deutlich erweiterten Definition der zu ersetzenden oder zu ergänzenden NEF/NAW-Standorte verbleiben deutlich weniger Standorte als im Standard-Szenario:

- 52 NEF-Standorte mit guter Auslastung und kurzen Fahrzeiten bleiben bestehen,
- 62 NEF-Standorte mit guter Auslastung, aber langen Fahrzeiten werden durch Multikopter ersetzt oder ergänzt (je nach Einsatzaufkommen) und
- 114 NEF-Standorte mit geringer Auslastung werden durch Multikopter ersetzt.

Kategorie	Hexagone/Fläche		Notarzteinsätze	
	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
mit Abdeckung NEF (blau)	3.333	16 %	163.193	39 %
ohne Abdeckung NEF (gelb)	17.761	84 %	256.830	61 %
Gesamt	21.094	100 %	420.023	100 %

Tabelle 4.3: Kennwerte 20-Minuten-Abdeckung durch NEF im Maximal-Szenario in Bayern

Tabelle 4.3 zeigt die Kennwerte zur Abdeckung durch die verbleibenden NEF/NAW-Standorte. Im Maximal-Szenario müssen 84 % der Fläche Bayerns und 61 % des Notarzteinsatzaufkommens (256.830 Notarzteinsätze) bewältigt werden.

Für das Maximal-Szenario (Abbildung 4.20) wurde exemplarisch von einem Einsatzradius von 30 km ausgegangen. Zugrunde gelegt wurde dabei eine Geschwindigkeit von 100 km/h und eine Reichweite von mindestens 120 km. Als Ergebnis des Location-Allocation-Modells wurden 46 Multikopter-Standorte berechnet mit 51 Multikoptern und zusätzlichen NEF an 37 der 46 Multikopter-Standorte. Insgesamt müssen somit im Szenario 51 Multikopter und 89 NEF vorgehalten werden, sodass die Anzahl der insgesamt vorzuhaltenden arztbesetzten Rettungsmittel von 228 NEF/NAW auf 140 NEF/Multikopter reduziert werden könnte. Hinsichtlich der Anzahl der Gesamtstandorte verringern sich diese von 228 auf nunmehr 98.

Abschließend ist zum Maximal-Szenario festzuhalten, dass es durchaus sinnvoll sein kann, zukünftig auch in Regionen mit hohem Einsatzaufkommen zusätzlich zu den NEF auch Multikopter vorzuhalten. So könnte die Notfallversorgung hinsichtlich Effizienz und Geschwindigkeit verbessert werden. Andererseits ist das Einsparpotenzial, bezogen auf die Anzahl der Standorte, durch Multikopter in städtischen Regionen deutlich geringer als in dünn besiedelten ländlichen Regionen.

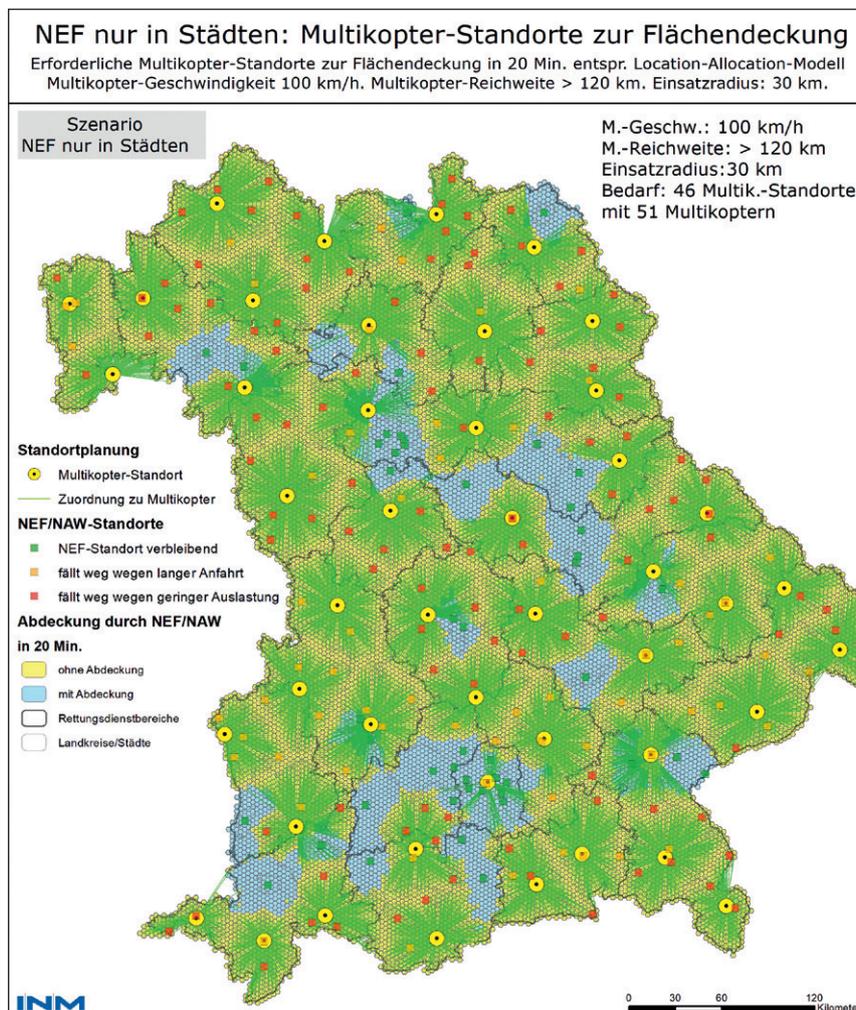


Abbildung 4.20: Maximal-Szenario: Multikopter-Standorte bei Einsatzradius 30 km in Bayern

4.3.2.4 Fazit Potenzialanalyse (Makrosicht)

Die Grundüberlegung der Potenzialanalysen für Bayern und Rheinland-Pfalz war die Frage, inwieweit Multikopter in Zukunft schlecht ausgelastete bodengebundene Notarztstandorte ersetzen könnten. Dadurch müsste einerseits die Versorgungssicherheit der Bevölkerung flächendeckend sichergestellt werden und andererseits könnten bestehende, schlecht ausgelastete Ressourcen durch zentrale Multikopter-Standorte ersetzt werden. Entsprechend der Grundannahme, dass die Multikopter an die Stelle der bodengebundenen Notarztstandorte treten, wurden die Anforderungen an die Multikopter hinsichtlich Geschwindigkeit und Reichweite definiert.

Etwa die Hälfte der bestehenden bodengebundenen Notarztstandorte in Bayern und Rheinland-Pfalz weist im Mittel weniger als vier Einsätze pro Tag auf und wurde im Sinne der Makrosicht als „schlecht ausgelastet“ kategorisiert. Zunächst wurde berechnet, welche Regionen nicht mehr in 20 Minuten Fahrzeit erreicht werden könnten, wenn die schlecht ausgelasteten Standorte wegfielen. In verschiedenen Szenarien wurde dann berechnet, wie viele und an welchen Orten Multikopter positioniert werden müssten, um eine flächendeckende Erreichbarkeit in 20 Minuten sicherzustellen.

Entscheidend für Anzahl und Standortwahl der Multikopter ist der für die Planung anzunehmende Einsatzradius der Multikopter. Dieser wiederum hängt neben der Geschwindigkeit auch von der Reichweite der Multikopter ab. Für die Standortplanung wurde davon ausgegangen, dass die Reichweite der Multikopter mindestens das Vierfache, besser das Sechsfache des Einsatzradius betragen muss, um neben dem Rückflug zum Standort auch den Flug in die Klinik sowie potenzielle Folgeeinsätze zu bewältigen.

Als Ergebnisse der Potenzialanalysen für beide Untersuchungsräume zeigte sich, dass der planerische Einsatzradius der Multikopter als systemrelevante Rettungsmittel bei 25 bis 30 km liegen sollte, damit jeder Multikopter etwa zwei bis drei bodengebundene, schlecht ausgelastete und damit schwer zu besetzende Notarztstandorte ersetzen könnte. Aus diesem Einsatzradius ergibt sich eine erforderliche Mindestgeschwindigkeit der Multikopter von etwa 100 km/h und eine Mindestreichweite von etwa 150 km. Die exakten Anforderungen an Geschwindigkeit und Reichweite sind dabei immer im Hinblick auf die Bedingungen vor Ort anzupassen.

Unabhängig von Geschwindigkeit und Reichweite der Multikopter wurde davon ausgegangen, dass die Multikopter zwar Notfalleinsätze bei Dunkelheit durchführen können, dass jedoch schwierige Wetterbedingungen oder spezifische Landeplatzsituationen den Einsatz der Multikopter unmöglich machen. Für diese Fälle sind als Rückfallebene sogenannte „Kombi-Standorte“ vorzusehen, bei denen die Multikopterbesatzung bodengebundene Fahrzeuge (NEF) nutzen kann.

4.3.3 Mikrosicht

4.3.3.1 Methodik Mikrosicht: Simulation des Einsatzgeschehens

Während im Rahmen der Potenzialanalysen auf der Ebene der Bundesländer (Makrosicht) die Substitution von gering ausgelasteten NEF/NAW-Standorten durch Multikopter und eine Abschätzung der notwendigen Multikopter-Standorte bzw. der möglicherweise zu ersetzenden NEF/NAW-Standorte im Vordergrund standen, erfolgte im Rahmen der Mikrosicht eine detaillierte und vollumfängliche Simulation des Notfallgeschehens. Hierbei wurde das real dokumentierte Notarzteinsatzaufkommen in seiner räumlichen und zeitlichen Ausprägung vom Notrufeingang in den Leitstellen bis zur Einlieferung der Patienten in die Kliniken simuliert. Die Mikrosicht umfasste verschiedene Szenarien, bei denen unterschiedliche Notarztstrukturen und verschiedene technische Voraussetzungen der Multikopter simuliert wurden.

Für die Ausarbeitung der verschiedenen Szenarien wurde das am INM seit mehreren Jahren bestehende und in verschiedenen Studien, auch zur Luftrettung, erfolgreich eingesetzte Simulationsmodell weiterentwickelt und um die spezifischen Aspekte der Multikopter ergänzt.²⁶

Für jedes Szenario wurde das in den Rettungsleitstellen dokumentierte Notarzteinsatzgeschehen des Jahres 2018 mit dem Zeitpunkt des Notrufeingangs, dem Notfallort und der Art des Notfalls verwendet. Aus Datenschutzgründen wurden die Ergebnisdarstellungen entsprechend den vorher genannten Hexagonen mit Zwei-Kilometer-Innenkreisdurchmesser aggregiert.

Für die Entwicklung der Szenarien und die Validierung des Modells wurde jeweils ein Vergleich mit dem sogenannten Null-Szenario durchgeführt. Beim Null-Szenario erfolgte die Simulation des Notfallgeschehens mit den bestehenden notärztlichen Strukturen und ohne Multikopter. Sowohl im Null-Szenario als auch in den Szenarien mit Multikopter(n) wurde davon ausgegangen, dass die NEF, RTH und Multikopter entsprechend ihren Vorhaltungszeiten dienstbereit sind. Insofern handelte es sich bei den Szenarien um idealisierte Rettungslandschaften, bei denen bspw. krankheitsbedingte oder technisch bedingte Ausfälle nicht enthalten sind.

In den simulierten Szenarien werden die Multikopter unter verschiedenen Einsatzbedingungen entsprechend einem an Multikopter angepassten Dispositionsalgorithmus alarmiert. Die Parameter des Dispositionsalgorithmus sind grundsätzlich variabel. Die hierbei erforderlichen Festlegungen wurden mit den Projektpartnern abgestimmt und in den Szenarien einheitlich angewendet.

²⁶ Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM), 2009

Rettungshubschrauber versus Multikopter (nur Region Ansbach)

In den Szenarien der Region Ansbach wurde auch der RTH Christoph 65 Dinkelsbühl berücksichtigt. Für die Simulation des Notfallgeschehens und die Dispositionsentscheidung wurde dann ein RTH anstelle eines Multikopters alarmiert, wenn der Rettungshubschrauber den Einsatzort mehr als fünf Minuten schneller als der Multikopter erreichen konnte und wenn, insbesondere bei Notfällen mit Tracerdiagnose²⁷, ein längerer Transport in die nächste geeignete Klinik durchzuführen war.

Für die Region Ansbach wurden die RTH, unabhängig von Geschwindigkeit und Reichweite der Multikopter, insbesondere dann disponiert, wenn Transporte in Kliniken mit Maximalversorgung nach Nürnberg oder Würzburg notwendig wurden. Für die Region Idar-Oberstein wurde das Notfallgeschehen ohne Rettungshubschrauber simuliert.

Für beide Pilotregionen wurde ein mehrstufiges Vorgehen bei der Simulation von Szenarien mit Multikoptern gewählt, was möglicherweise dem weiteren Projektverlauf und den ersten realen Standort- und Einsatzbedingungen von Multikoptern in den gewählten Pilotregionen entsprechen könnte. Im Rahmen der Durchführung der Pilotprojekte sollen dann die Ergebnisse der Simulationen weiter validiert werden, um so die optimalen Einsatzparameter bestimmen zu können.

Die Simulation des Notfallgeschehens erfolgte für alle Stufen iterativ, mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und unterschiedlichen Reichweiten der Multikopter. Es wurde bei allen Szenarien das identische Notfallaufkommen eines Jahres simuliert.

4.3.3.2 Mikrosicht: Szenarien Region Ansbach (Bayern)

Für die Mikrosicht in Bayern wurde seitens des Auftraggebers der vorliegenden Studie der Rettungsdienstbereich Ansbach ausgewählt. Der Rettungsdienstbereich Ansbach, im Folgenden Region Ansbach genannt, besteht neben der kreisfreien Stadt Ansbach aus den Landkreisen Ansbach und Neustadt an der Aisch-Bad Windsheim. In der Region leben etwa 320.000 Einwohner, wobei die Stadt Ansbach den Bevölkerungsschwerpunkt der Region darstellt. Abgesehen von Ansbach handelt es sich um eine ländlich geprägte Region mit einigen Mittelzentren und entsprechenden Einrichtungen der Notfall- und Gesundheitsversorgung.

Die rettungsdienstliche Versorgung der Region Ansbach erfolgt durch 11 Rettungswachen, 3 Rettungsdienst-Stellplätze (nachts nicht besetzt), 9 Notarztstandorte mit NEF sowie dem bei Dinkelsbühl stationierten RTH Christoph 65 der ADAC Luftrettung.

Durch den Projektpartner ZRF Ansbach wurden die Einsatzdokumentationen der Notarzteinsätze in der Region für das gesamte Jahr 2018 zur Verfügung gestellt. Dementsprechend umfassten die Szenarien 11.783 Notarzteinsätze.

Alle nachfolgend beschriebenen Szenarien umfassten das vollständige Notarzteinsatzaufkommen des Jahres 2018, unabhängig davon, ob die Einsätze tagsüber oder in den Nachtstunden

durchgeführt wurden. Die Transportziele der Notarzteinsätze in der Region Ansbach wurden aus den Leitstellendokumentationen übernommen, sodass auch Transporte in weiter entfernte Kliniken (bspw. nach Nürnberg oder Würzburg) mit enthalten sind.

Die Abbildung 4.21 zeigt die rettungsdienstlichen Strukturen des Untersuchungsraumes sowie die räumliche Verteilung des Notarzteinsatzaufkommens auf der Ebene der Hexagone. Die Karte zeigt zum einen die Verteilung der Notarztstandorte sowie die für die Simulation geplanten Multikopter-Standorte in Dinkelsbühl und Uffenheim. Die beiden Multikopter-Standorte wurden nicht mittels Standortplanungsverfahren, sondern im Rahmen der Projektworkshops nach Sichtung der Ist-Stand-Auswertungen durch die Projektpartner ausgewählt. Hierbei spielten bestehende Infrastruktureinrichtungen am Standort des Rettungshubschraubers (Dinkelsbühl) sowie ein geringes Notfallaufkommen und Besetzungsschwierigkeiten (Uffenheim) eine wichtige Rolle. Die Expertise und die Empfehlungen stammen im Wesentlichen von den Beteiligten des ZRF Ansbach.

Kennwerte zur Behandlungsdauer am Notfallort sowie zur Übergabedauer der Patienten am Zielkrankenhaus wurden für die Region Ansbach aus der realen Einsatzdokumentation der Integrierten Leitstelle Ansbach übernommen. Aufgrund fehlender vorhandener Einsatzdokumentationen von Multikoptereinsätzen wurden für diese Rettungsmittel die Kennwerte der RTH/ITH bei Primäreinsätzen übernommen.

4.3.3.2.1 Stufenweises Vorgehen bei den Szenarien in der Region Ansbach

Für die Region Ansbach wurden die Szenarien mit variierenden Geschwindigkeiten und Reichweiten der Multikopter sukzessive in drei Stufen entwickelt:

Stufe 1: zwei Multikopter in Dinkelsbühl und Uffenheim als zusätzliche Rettungsmittel

In der ersten Stufe wurde davon ausgegangen, dass an zwei Standorten, in Dinkelsbühl und in Uffenheim, Multikopter-Standorte entstehen. Die Multikopter werden rund um die Uhr einsatzbereit sein. Die Multikopterbesatzung kann als Rückfallebene bei schlechtem Wetter oder fehlenden Landemöglichkeiten ein bereitgestelltes NEF nutzen. Alle bestehenden NEF-Standorte der Region sowie der RTH Christoph 65 bleiben weiterhin dienstbereit bestehen.

Stufe 2: zwei Multikopter in Dinkelsbühl und Uffenheim und Wegfall des NEF Bechhofen

In der zweiten Stufe für die Region Ansbach wurden ebenfalls die beiden Multikopter-Standorte in Dinkelsbühl und Uffenheim simuliert, wobei nun jedoch der NEF-Standort Bechhofen wegfiel. Insbesondere der im südlichen Landkreis Ansbach gelegene Multikopter-Standort in Dinkelsbühl musste in diesen Szenarien das Notfallaufkommen im Bereich Bechhofen mit übernehmen. Der Standort Bechhofen wurde als ersetzender Notarztstandort in Abstimmung mit den Projektpartnern aus der Region festgelegt.

²⁷ Fischer et al., 2016

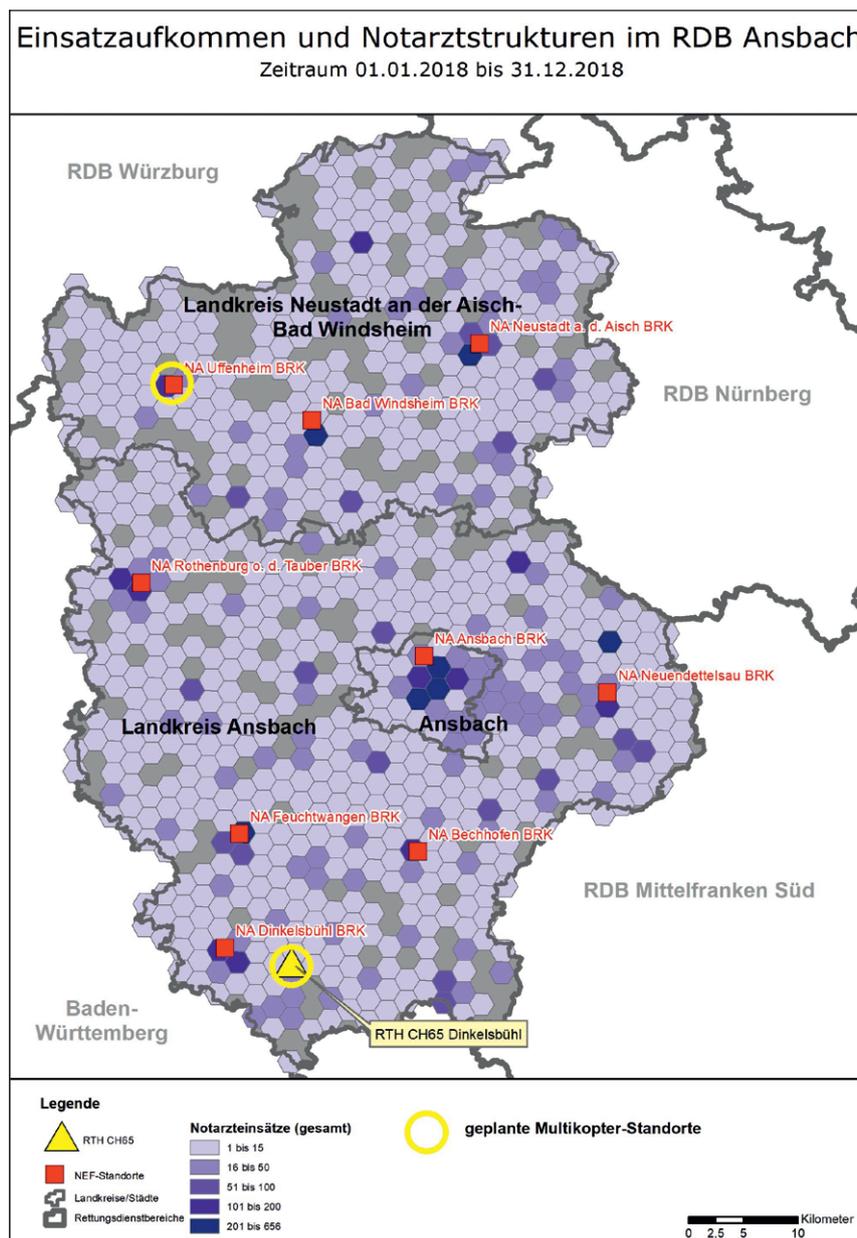


Abbildung 4.21: Notärztliche Versorgungsstrukturen im Rettungsdienstbereich Ansbach

Stufe 3: Wegfall mehrerer NEF-Standorte und Multikopter in Dinkelsbühl und Uffenheim

Eine weitere, fiktive Ausbaustufe einer Rettungslandschaft mit Multikoptern wurde in Stufe 3 ausgearbeitet. In Anlehnung an die Vorgehensweise in der Makrosicht wurde davon ausgegangen, dass gering ausgelastete NEF-Standorte durch Multikopter ersetzt werden. Hier wurden zunächst Szenarien mit verschiedenen Standortvarianten durchgerechnet. Aufgrund der Ortskenntnisse der Partner aus der Region wurde anschließend definiert, dass die bestehenden Notarztstandorte in Rothenburg ob der Tauber und Dinkelsbühl neben den NEF-Standorten in Ansbach und Neustadt an der Aisch in Stufe 3 weiterbestehen. Gleichzeitig fielen in Stufe 3 die NEF-Standorte in Feuchtwangen, Bechhofen, Neuendettelsau, Uffenheim und Bad Windsheim weg. Der RTH Christoph 65 bleibt auch in Stufe 3 weiter bestehen und übernimmt insbesondere die Notarzteinsätze mit langen Transportstrecken in geeignete Schwerpunktklinken.

Nachfolgend werden die Szenarien der unterschiedlichen Stufen beschrieben. Auf jeder Stufe wurden in den Szenarien die Multikopter-Geschwindigkeit und Multikopter-Reichweite variiert. Die Auswertungen zeigen neben dem zu erwartenden Einsatzaufkommen der Multikopter auch die Auswirkungen auf die Notfallversorgung und auf das Einsatzaufkommen der anderen arztbesetzten Rettungsmittel (NEF und RTH). Darüber hinaus wird die räumliche Verteilung des Notfallaufkommens der Multikopter für ausgewählte Szenarien gezeigt.

Tabelle 4.4 zeigt das Einsatzaufkommen der verschiedenen Rettungsmitteltypen in ausgewählten Szenarien der drei Stufen mit Multikoptern in Dinkelsbühl und Uffenheim. In allen Szenarien wurden 11.783 Notarzteinsätze mit Notfallort im Rettungsdienstbereich Ansbach simuliert.

STUFE	Multikopter-Geschwindigkeit (km/h)	Multikopter-Reichweite (km)	Notarzteinätze				
			Gesamt	NEF	RTH	Multikopter	Multikopter-Anteil
Null-Szenario	ohne Multikopter		11.783	11.019	764	–	–
Stufe 1: Multikopter zusätzlich in Dinkelsbühl und Uffenheim	100	50	11.783	10.119	689	975	8,3 %
	100	200	11.783	9.673	555	1.555	13,2 %
	150	50	11.783	9.815	646	1.322	11,2 %
	150	80	11.783	8.806	324	2.653	22,5 %
	150	150	11.783	8.698	243	2.842	24,1 %
	150	200	11.783	8.687	248	2.848	24,2 %
	150	300	11.783	8.689	245	2.849	24,2 %
	180	80	11.783	8.410	319	3.054	25,9 %
Stufe 2: wie Stufe 1; NA Bechhofen fällt weg	180	200	11.783	8.197	186	3.400	28,9 %
	100	80	11.783	9.193	740	1.850	15,7 %
	100	200	11.783	9.122	698	1.963	16,7 %
Stufe 3: nur noch NEF in Ansbach, Neustadt, Dinkelsbühl und Rothenburg; 5 NEF fallen weg	180	80	11.783	8.073	335	3.375	28,6 %
	ohne Multikopter		11.783	10.088	1.695	0	0,0 %
	100	80	11.783	7.267	1.228	3.288	27,9 %
	100	200	11.783	7.173	1.130	3.480	29,5 %
	180	80	11.783	6.604	594	4.585	38,9 %
	180	200	11.783	6.116	184	5.483	46,5 %

Tabelle 4.4: Einsatzaufkommen der Multikopter, NEF und RTH in der Region Ansbach

STUFE	Multikopter-Geschwindigkeit (km/h)	Multikopter-Reichweite (km)	Alarmierung bis Ankunft		
			Median [mm:ss]	Anteil bis 20 Min.	Anzahl > 20 Min
Null-Szenario	ohne Multikopter		11:24	86,4 %	1.607
Stufe 1: Multikopter zusätzlich in Dinkelsbühl und Uffenheim	100	50	11:00	88,3 %	1.380
	100	200	10:48	89,1 %	1.289
	150	50	10:30	88,9 %	1.309
	150	80	10:24	92,5 %	886
	150	150	10:24	92,5 %	885
	150	200	10:24	92,4 %	899
	150	300	10:24	92,5 %	879
	180	80	10:06	93,4 %	772
Stufe 2: wie Stufe 1; NA Bechhofen fällt weg	180	200	10:00	93,7 %	740
	100	80	11:30	86,2 %	1.629
	100	200	11:36	85,8 %	1.673
Stufe 3: nur noch NEF in Ansbach, Neustadt, Dinkelsbühl und Rothenburg	180	80	10:30	91,0 %	1.055
	ohne Multikopter		16:00	67,5 %	3.833
	100	80	14:30	72,5 %	3.239
	100	200	14:42	71,0 %	3.419
	180	80	12:30	82,6 %	2.046
	180	200	13:00	80,8 %	2.262

Tabelle 4.5: Auswirkungen der Multikopter auf die Notfallversorgung in der Region Ansbach

Für die Einsätze von RTH ist zu beachten, dass nur Primäreinsätze des RTH Christoph 65 mit Notfallort im Rettungsdienstbereich Ansbach berücksichtigt sind. Einsätze in benachbarten Rettungsdienstbereichen und in Baden-Württemberg sowie Sekundärtransporte durch RTH waren nicht Bestandteil der Szenarien.

Bereits in Stufe 1 wurden für die beiden Multikopter in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Reichweite zwischen 975 und 3.400 Notarzteinätze simuliert. Sofern NEF-Standorte entfallen, müssen die verbleibenden Rettungsmittel deren Notfallaufkommen mit übernehmen, sodass Multikopter und RTH in diesen Szenarien deutlich mehr Einsätze übernehmen würden.

Die Werte der Tabelle zeigen auch deutlich den Zusammenhang zwischen Einsatzaufkommen der Multikopter einerseits und Geschwindigkeit sowie Reichweite andererseits. Der Multikopter-Anteil variiert dabei bspw. in Stufe 1 zwischen 8,3% und 28,9%.

Ergänzend zur tabellarischen Darstellung zeigen Abbildung 4.22 und Abbildung 4.23 den Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit, Reichweite und Einsatzaufkommen der Multikopter. Die Auswertungen gehen von der Standortstruktur in Stufe 3 aus. Aus Abbildung 4.22 geht hervor, dass erst ab Geschwindigkeiten von 60 km/h ein relevantes Einsatzaufkommen für Multikopter realisiert werden könnte. Nach einem deutlichen Anstieg der Kurven bis etwa 150 km/h ist dann nahezu eine Sättigung des Anstiegs erreicht. Noch höhere Geschwindigkeiten würden lediglich zu geringen Effekten auf das Einsatzaufkommen der Multikopter führen.

Ein ähnliches Bild zeigt die Auswertung des Einsatzaufkommens in Abhängigkeit von der Multikopter-Reichweite (Abbildung 4.23): Bei Reichweiten unter 20 km kann kein relevantes Einsatzaufkommen realisiert werden. Der Anstieg der Kurve endet bei etwa 80–100 km Reichweite der Multikopter. Hierbei ist jedoch

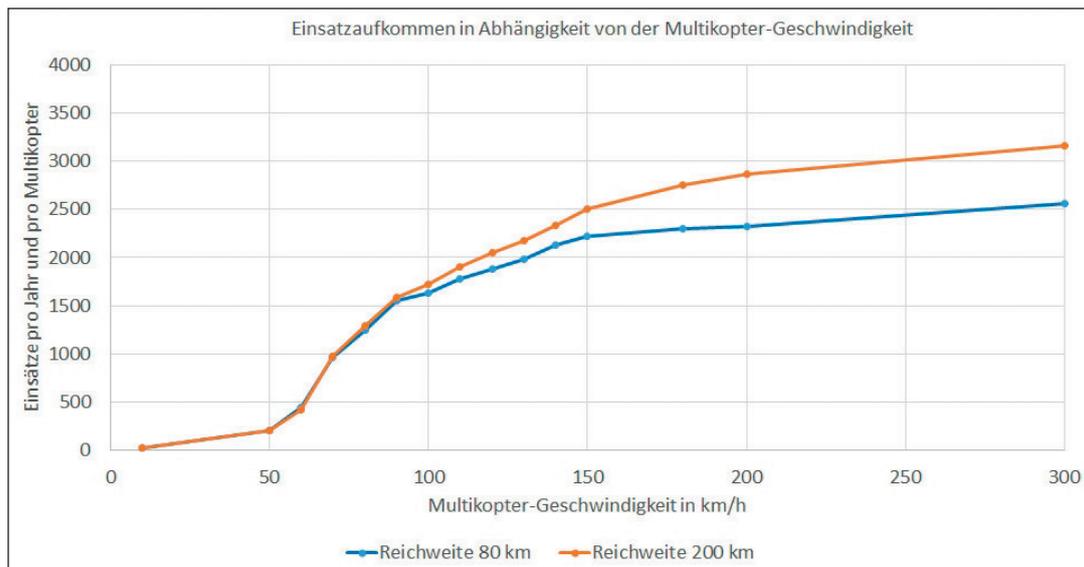


Abbildung 4.22: Abhängigkeit des Multikopter-Einsatzaufkommens von der Geschwindigkeit in Ansbach

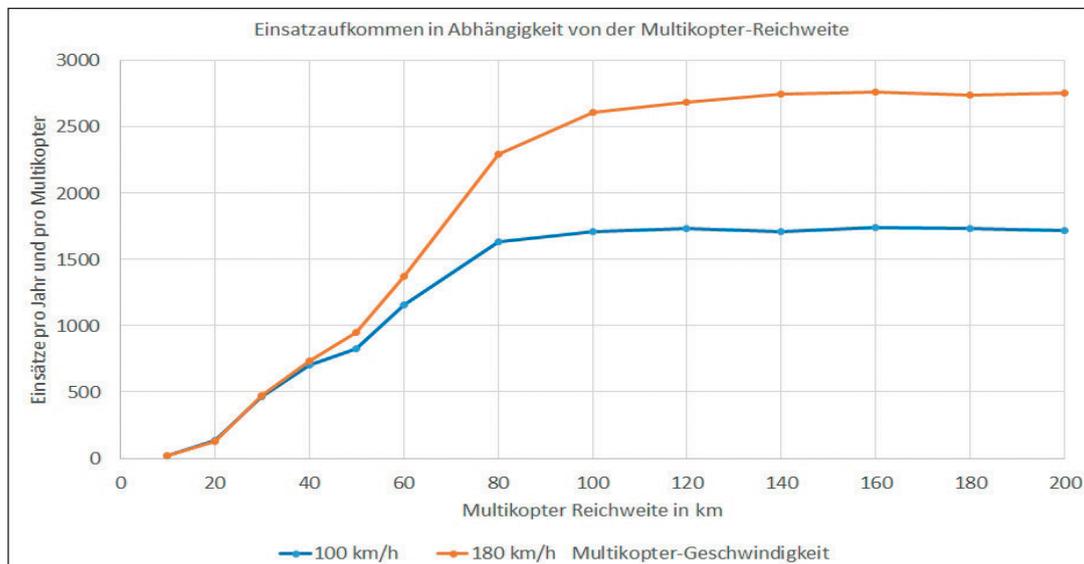


Abbildung 4.23: Abhängigkeit des Multikopter-Einsatzaufkommens von der Reichweite in Ansbach

zu beachten, dass die Szenarien nur das Notfallaufkommen im Rettungsdienstbereich Ansbach enthalten und dementsprechend weiter entfernte potenzielle Notfallorte nicht in die Simulationen einfließen. Daher ist dieser Wert nur eine Indikation der notwendigen Mindestreichweite für die hier analysierte Pilotregion Ansbach.

Die Auswirkungen der Multikopter bzw. der Strukturveränderungen im Notarztendienst gehen aus Tabelle 4.5 hervor. Als Kennwert wurde das Intervall von der Alarmierung der Rettungsmittel bis zu deren Ankunft am Notfallort herangezogen. Als Schwellenwert der Darstellung wurde, in Anlehnung an die Vorgaben der Notarztstudie Bayern (2010), exemplarisch ein Intervall von 20 Minuten verwendet.²⁸

Die Auswertung zeigt die messbaren positiven Effekte der Multikopter auf die notärztliche Versorgung. In Stufe 1 mit zwei ergänzenden Multikoptern kann die Anzahl der Notfälle mit Überschreitung der 20-Minuten-Vorgabe bei einer Multikopter-Geschwindigkeit von 150 km/h bereits in etwa halbiert werden. Allerdings zeigt die Auswertung auch die Limitierung der Mög-

lichkeiten von zwei Multikoptern: Bei dem in Stufe 3 simulierten Wegfall von fünf NEF-Standorten steigt die Anzahl der Notfälle mit Intervallen >20 Minuten deutlich an. Es ist aufgrund dieser Ergebnisse davon auszugehen, dass die in Stufe 3 angenommene Vorgehensweise mit dem Wegfall von fünf NEF-Standorten und der Implementierung von zwei Multikoptern für diese Region nicht bedarfsgerecht wäre. Die Zeitintervalle bis zur Ankunft der Notärzte am Notfallort wären in dieser Variante zu lange.

Hinsichtlich des Null-Szenarios sowie der Szenarien mit Multikoptern ist zu beachten, dass davon ausgegangen wurde, dass alle Notarztstandorte entsprechend ihren geplanten Vorhaltungszeiten einsatzbereit besetzt sind. Etwaige Ausfallzeiten durch Krankheit oder Technikausfall wurden nicht berücksichtigt. In der Realität ist durchaus davon auszugehen, dass die entsprechenden Intervalle durch die genannten Ausfallzeiten etwas länger dauern können.

Die Karte in Abbildung 4.24 zeigt exemplarisch die räumliche Verteilung des Einsatzaufkommens der Multikopter in einem Szenario aus Stufe 3.

²⁸ Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM), 2010

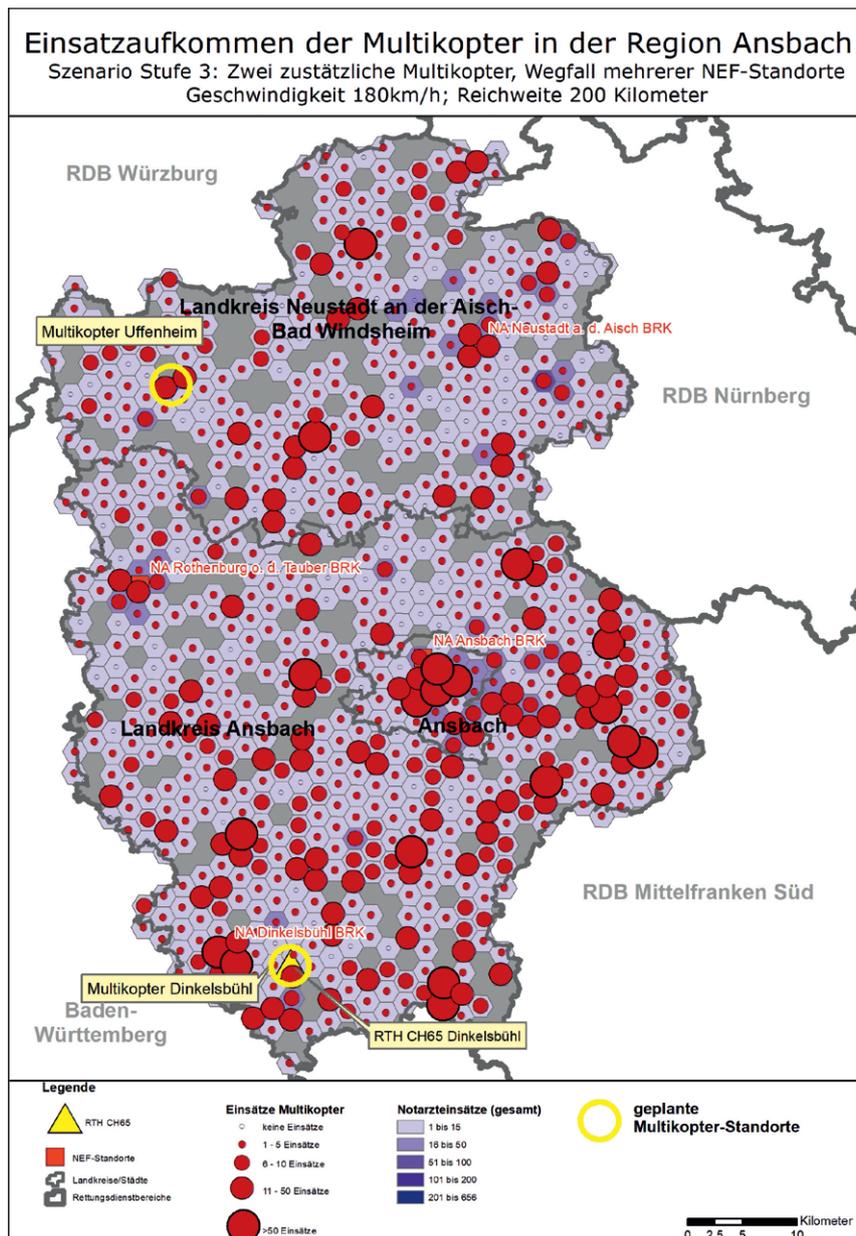


Abbildung 4.24: Multikopter-Einsatzaufkommen in Stufe 3 bei Multikopter-Geschwindigkeit 180 km/h und Multikopter-Reichweite 200 km in Ansbach

4.3.3.3 Mikrosicht: Szenarien Region Idar-Oberstein (Rheinland-Pfalz)

Für die Mikrosicht in Rheinland-Pfalz wurde durch den Projektpartner Ministerium des Innern und für Sport des Landes Rheinland-Pfalz die Region Idar-Oberstein als Pilotregion für den Einsatz von Multikoptern in der Notfallrettung ausgewählt. Der Fokus der Betrachtung liegt hierbei auf einem Kerngebiet, welches neben den Gemeinden Idar-Oberstein und Kirn sowie Teilen der Verbandsgemeinde Birkenfeld einige weitere Gemeinden sowie Verbandsgemeinden in der Region umfasst (vgl. Abbildung 4.25). Die Kernregion ist, mit Ausnahme der Mittelzentren Idar-Oberstein und Kirn, ländlich geprägt und wird im Nordwesten vom Mittelgebirge Hunsrück und im Südosten vom Nordpfälzer Bergland eingerahmt. Die Erreichbarkeit durch bodengebundene Rettungsmittel ist dementsprechend schwierig. Die Einrichtungen der Notfall- und Gesundheitsversorgung finden sich überwiegend in den Mittelzentren der Region. Um ein möglichst realisti-

ches Einsatzgeschehen des Multikopters simulieren zu können, wurde in der Simulation das gesamte bodengebundene Notarzteinsatzaufkommen der Landkreise Bad Kreuznach, Bernkastel-Wittlich, Birkenfeld, Kusel und Rhein-Hunsrück-Kreis berücksichtigt. In Abstimmung mit den Projektpartnern und abweichend vom Mikroszenario der Region Ansbach war die bestehende Luftrettung durch RTH/ITH nicht Bestandteil des Mikroszenarios Idar-Oberstein.

Durch den Projektpartner Land Rheinland-Pfalz wurden die Einsatzdokumentationen der Notarzteinsätze in der Untersuchungsregion für das gesamte Jahr 2018 zur Verfügung gestellt. Dementsprechend umfassten die Szenarien 14.238 Notarzteinsätze. Darüber hinaus wurden alle elf NEF-Standorte sowie die wesentlichen Einrichtungen zur klinischen Notfallversorgung innerhalb des Untersuchungsraumes für die Simulation des Einsatzgeschehens herangezogen.

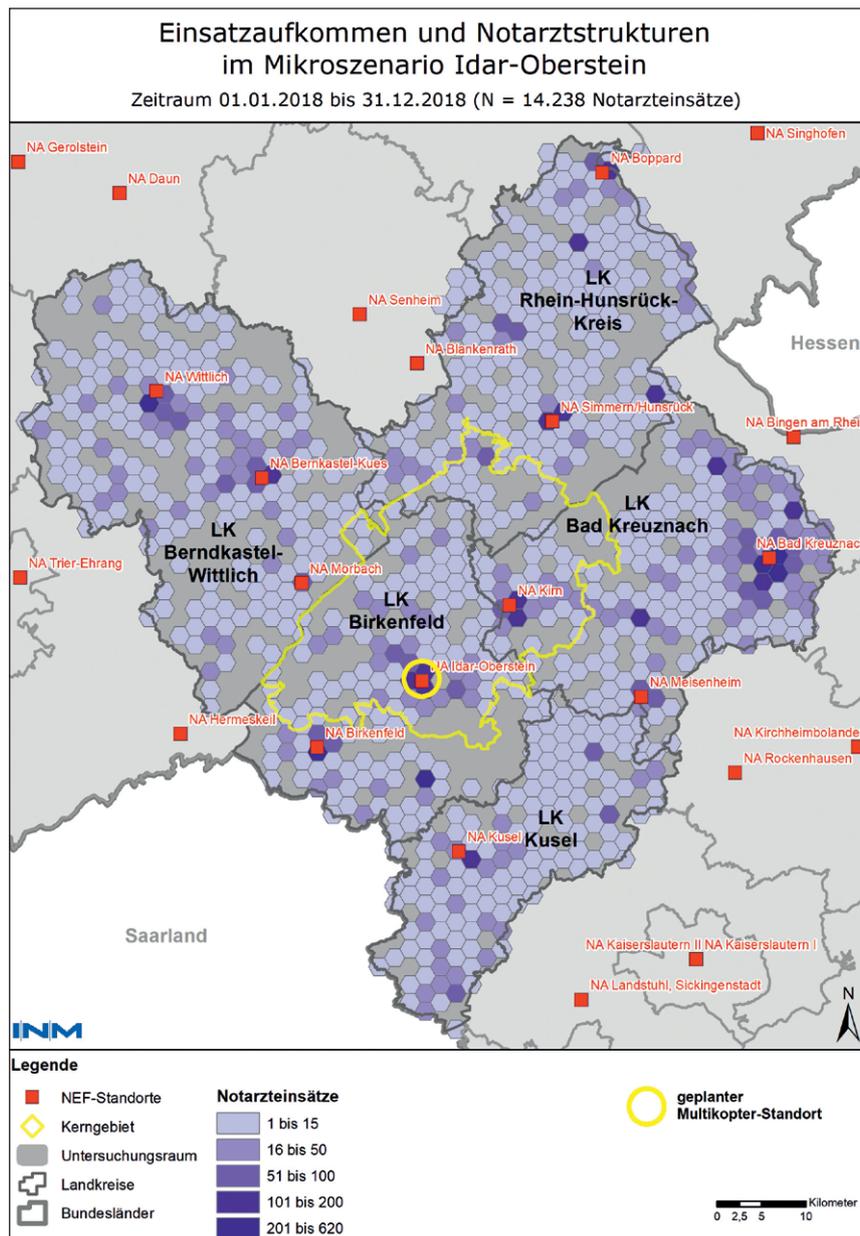


Abbildung 4.25: Notärztliche Versorgungsstrukturen im Mikroszenario Idar-Oberstein

Die Szenarien umfassten das vollständige Notarzteinsatzaufkommen des Jahres 2018, unabhängig davon, ob die Einsätze tagsüber oder in den Nachtstunden durchgeführt wurden. Die Einsatzorte in der Untersuchungsregion wurden aus den Leitstellendokumentationen übernommen und anhand der Geokoordinaten in der Simulation hinterlegt. Dies gewährleistet eine realistische Einsatzmodellierung, da die Notfallorte mit ihrem exakten Standort in die Simulation des Einsatzgeschehens eingehen. Da derzeit keine rechtlichen Grundlagen für den Einsatz von Multikoptern in der Notfallrettung vorliegen, wurden eingeschränkte Überflugrechte für Teile militärisch genutzter Flächen nicht berücksichtigt. Dies betrifft insbesondere den Truppenübungsplatz Baumholder, der südlich an die Kernregion angrenzt.

Die Abbildung 4.25 zeigt die rettungsdienstlichen Strukturen des Untersuchungsraumes sowie die räumliche Verteilung des Notarzteinsatzaufkommens auf der Ebene der Hexagone. Die Karte zeigt zum einen die Verteilung der Notarztstandorte sowie den

(fiktiv) geplanten Multikopter-Standort am Flugplatz Idar-Oberstein. Der Multikopter-Standort wurde nicht mittels Standortplanungsverfahren, sondern im Rahmen der Projektworkshops nach Sichtung der Ist-Stand-Auswertungen durch die Projektpartner ausgewählt. Hierbei spielten bestehende Infrastruktureinrichtungen sowie ein geringes Notfallaufkommen und Besetzungsschwierigkeiten an den Notarztstandorten Kirn und Birkenfeld eine wichtige Rolle. Die Expertise und die Empfehlungen stammen im Wesentlichen von den Beteiligten des Innenministeriums Rheinland-Pfalz.

Kennwerte zur Behandlungsdauer am Notfallort sowie zur Übergabedauer der Patienten am Zielkrankenhaus wurden für das Mikroszenario Idar-Oberstein aus der realen Einsatzdokumentation der Leitstellen abgeleitet. Aufgrund fehlender vorhandener Einsatzdokumentationen von Multikoptern wurden für dieses Rettungsmittel die Kennwerte der RTH/ITH bei Primäreinsätzen übernommen.

4.3.3.3.1 Stufenweises Vorgehen bei den Szenarien in der Region Idar-Oberstein

Für die Region Idar-Oberstein wurden die Szenarien mit variierenden Geschwindigkeiten und Reichweiten des Multikopters sukzessive in drei Stufen entwickelt:

Stufe 1: ein Multikopter in Idar-Oberstein als zusätzliches Rettungsmittel

In der ersten Stufe wurde davon ausgegangen, dass am Flugplatz Idar-Oberstein ein Multikopter-Standort entsteht. Der Multikopter wird rund um die Uhr einsatzbereit und mit einem Notarzt besetzt sein. Alle bestehenden NEF-Standorte der Region bleiben weiterhin dienstbereit bestehen.

Stufe 2A: ein Multikopter in Idar-Oberstein und Wegfall des NEF Kirn

In der Stufe 2A wurde für die Region Idar-Oberstein ebenfalls ein neuer Multikopter-Standort am Flugplatz Idar-Oberstein simuliert (analog Stufe 1), wobei zusätzlich der NEF-Standort Kirn wegfiel. In diesem Szenario mussten die verbliebenen arztbesetzten Rettungsmittel den Wegfall des NEF-Standes Kirn kompensieren. Der Standort Kirn wurde als zu ersetzender Notarztstandort in Abstimmung mit den Projektpartnern aus der Region festgelegt.

Stufe 2B: ein Multikopter in Idar-Oberstein und Wegfall der NEF Kirn und Birkenfeld

In der Stufe 2B wurde für die Region Idar-Oberstein ebenfalls ein neuer Multikopter-Standort am Flugplatz Idar-Oberstein simuliert (analog Stufe 1), wobei neben dem NEF-Standort Kirn auch der NEF-Standort Birkenfeld entfiel. In diesem Szenario mussten die verbliebenen Notarztstandorte NEF Idar-Oberstein und Multikopter Idar-Oberstein den Wegfall von zwei NEF-Standorten ausgleichen. Der zweite zu ersetzende Notarztstandort Birkenfeld wurde ebenfalls in Abstimmung mit den Projektpartnern festgelegt.

Stufe 3: ein Multikopter-Standort in Idar-Oberstein und Wegfall der NEF-Standorte Kirn, Birkenfeld und Idar-Oberstein

Eine weitere fiktive Ausbaustufe einer Rettungslandschaft mit Multikoptern wurde in Stufe 3 ausgearbeitet. In Anlehnung an die Vorgehensweise in der Makrosicht wurde davon ausgegangen, dass gering ausgelastete NEF-Standorte durch Multikopter ersetzt werden. Aufgrund der Ortskenntnisse der Partner aus der Region wurde anschließend definiert, dass die Notarztstandorte in Kirn, Birkenfeld sowie Idar-Oberstein wegfallen und durch einen Multikopter-Standort in Idar-Oberstein ersetzt werden. Der Multikopter-Standort verfügt neben einem Arzt rund um die Uhr und den Multikopter über ein NEF, das als Rückfallebene fungiert und immer, wenn die Nutzung des Multikopters nicht möglich ist, zum Einsatz kommt.

STUFE	Multikopter-Geschwindigkeit (km/h)	Multikopter-Reichweite (km)	Notarzteinsätze			
			Gesamt	NEF	Multikopter	Multikopter-Anteil
Null-Szenario	ohne Multikopter		14.238	14.238	–	–
Stufe 1: Multikopter zusätzlich in Idar-Oberstein	100	50	14.238	12.827	1.411	9,9 %
	100	80	14.238	12.706	1.532	10,8 %
	100	200	14.238	12.706	1.532	10,8 %
	150	50	14.238	12.334	1.904	13,4 %
	150	80	14.238	11.776	2.462	17,3 %
	150	200	14.238	11.673	2.565	18,0 %
	180	200	14.238	11.432	2.806	19,7 %
Stufe 2A: wie Stufe 1; NA Kirn fällt weg	180	200	14.238	11.246	2.992	21,0 %
	100	80	14.238	12.348	1.890	13,3 %
	100	200	14.238	12.360	1.878	13,2 %
	180	80	14.238	11.228	3.010	21,1 %
Stufe 2B: wie Stufe 1; NA Kirn und Birkenfeld fallen weg	180	200	14.238	11.084	3.154	22,2 %
	100	80	14.238	12.041	2.197	15,4 %
	100	200	14.238	12.043	2.195	15,4 %
	180	80	14.238	11.044	3.194	22,4 %
Stufe 3: wie Stufe 2B; zusätzliches NEF am Multikopter-Standort; NA Idar-Oberstein fällt weg	180	200	14.238	10.893	3.345	23,5 %
	100	200	14.238	12.005	2.233	15,7 %
	180	200	14.238	10.867	3.371	23,7 %

Tabelle 4.6: Einsatzaufkommen des Multikopters und der NEF im Mikroszenario Idar-Oberstein

Nachfolgend werden ausgewählte Szenarien der unterschiedlichen Stufen beschrieben. Auf jeder Stufe wurden in den Szenarien die Multikopter-Geschwindigkeit und Multikopter-Reichweite variiert. Die Auswertungen zeigen neben dem zu erwartenden Einsatzaufkommen des Multikopters auch die Auswirkungen auf die Notfallversorgung und auf das Einsatzaufkommen der anderen arztbesetzten Rettungsmittel (NEF). Darüber hinaus wird die räumliche Verteilung des Multikopter-Notfallaufkommens für ausgewählte Szenarien gezeigt.

Die Tabelle 4.6 und Tabelle 4.7 zeigen das Einsatzaufkommen der verschiedenen Rettungsmitteltypen in ausgewählten Szenarien der drei Stufen für die gesamte Untersuchungsregion sowie für das Kerngebiet. In allen Szenarien wurden 14.238 Notarztsätze im Untersuchungsraum simuliert. Für das Kerngebiet wurden die dortigen 2.637 Notarztsätze gesondert ausgewertet.

Bereits in Stufe 1 wurden für den Multikopter in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Reichweite zwischen 1.411 und 2.992 Notarztsätze simuliert. Da in dieser Stufe noch kein bestehender NEF-Standort entfällt, ist das Einsatzaufkommen in erster Linie auf den Geschwindigkeitsvorteil gegenüber bodengebundenen Rettungsmitteln zurückzuführen. Sofern NEF-Standorte entfallen, müssen die verbleibenden Rettungsmittel deren Notfallaufkommen mit übernehmen, sodass der Multikopter in diesen Szenarien mehr Einsätze übernimmt.

Die Werte der Tabelle zeigen auch deutlich den Zusammenhang zwischen Einsatzaufkommen des Multikopters einerseits und Geschwindigkeit sowie Reichweite andererseits. Der Multikopter-Anteil variiert dabei in der gesamten Region bspw. in Stufe 1 zwischen 9,9% und 21,0%. In dem Kerngebiet fällt dieser Anteil mit 32,1% bis 42,3% aufgrund der räumlichen Nähe der Einsatzorte zum Multikopter-Standort Idar-Oberstein deutlich höher aus, da hier der Geschwindigkeitsvorteil des Multikopters gegenüber dem NEF stärker zum Tragen kommt.

Ergänzend zur tabellarischen Darstellung zeigen Abbildung 4.26 und Abbildung 4.27 den Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit, Reichweite und Einsatzaufkommen des Multikopters. Die Auswertungen gehen von der Standortstruktur in Stufe 2B aus. Aus Abbildung 4.26 geht hervor, dass erst ab Geschwindigkeiten von 50 km/h ein relevantes Einsatzaufkommen von mindestens 500 Einsätzen für den Multikopter realisiert werden könnte. Nach einem deutlichen Anstieg der Kurven bis etwa 150 km/h ist dann eine leichte Abflachung des Anstieges zu erkennen.

STUFE	Multikopter-Geschwindigkeit (km/h)	Multikopter-Reichweite (km)	Notarztsätze			
			Gesamt	NEF	Multikopter	Multikopter-Anteil
Null-Szenario	ohne Multikopter		2.637	2.637	–	–
Stufe 1: Multikopter zusätzlich in Idar-Oberstein	100	50	2.637	1.776	861	32,7 %
	100	80	2.637	1.791	846	32,1 %
	100	200	2.637	1.791	846	32,1 %
	150	50	2.637	1.522	1.115	42,3 %
	150	80	2.637	1.631	1.006	38,1 %
	150	200	2.637	1.635	1.002	38,0 %
	180	80	2.637	1.610	1.027	38,9 %
Stufe 2A: wie Stufe 1; NA Kirn fällt weg	180	200	2.637	1.643	994	37,7 %
	100	80	2.637	1.437	1.200	45,5 %
	100	200	2.637	1.453	1.184	44,9 %
	180	80	2.637	1.391	1.246	47,3 %
Stufe 2B: wie Stufe 1; NA Kirn und Birkenfeld fallen weg	180	200	2.637	1.428	1.209	45,8 %
	100	80	2.637	1.469	1.168	44,3 %
	100	200	2.637	1.467	1.170	44,4 %
	180	80	2.637	1.433	1.204	45,7 %
Stufe 3: wie Stufe 2B; zusätzliches NEF am Multikopter-Standort; NA Idar-Oberstein fällt weg	180	200	2.637	1.464	1.173	44,5 %
	100	200	2.637	1.406	1.231	46,7 %
	180	200	2.637	1.400	1.237	46,9 %

Tabelle 4.7: Einsatzaufkommen des Multikopter und der NEF im Kerngebiet Idar-Oberstein

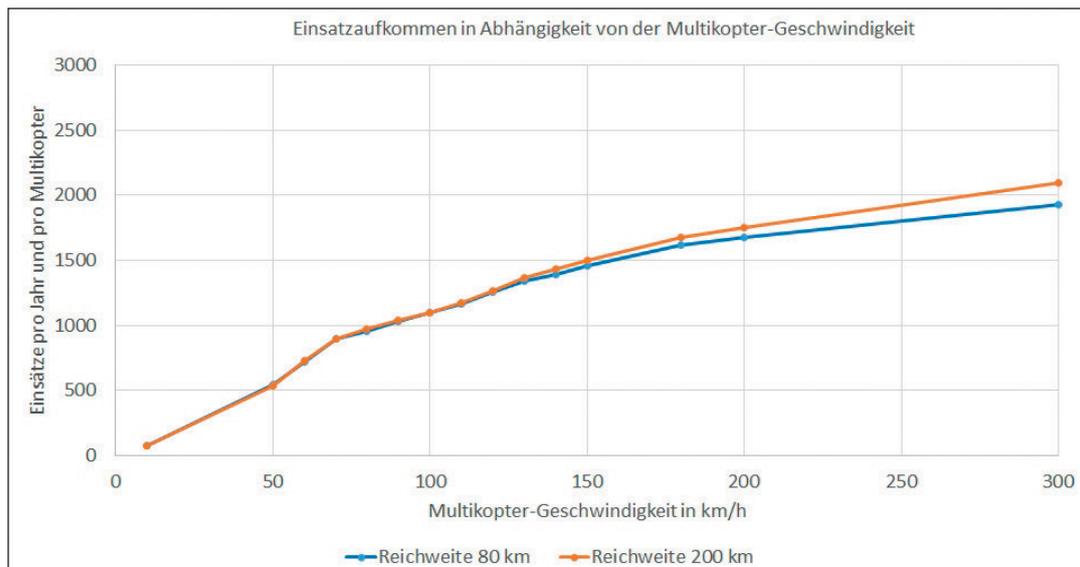


Abbildung 4.26: Abhängigkeit des Multikopter-Einsatzaufkommens von der Multikopter-Geschwindigkeit in Idar-Oberstein

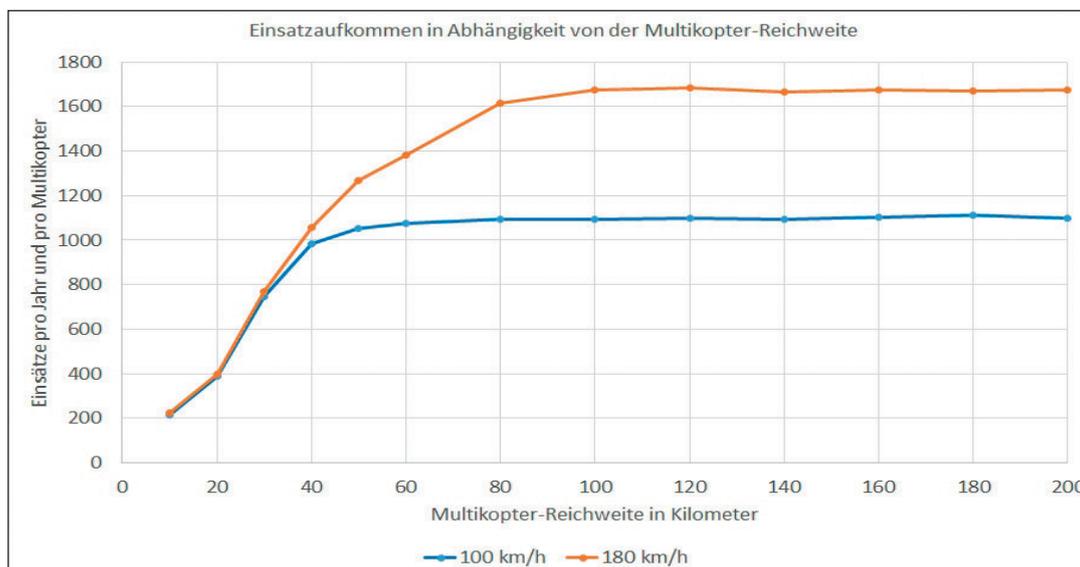


Abbildung 4.27: Abhängigkeit des Multikopter-Einsatzaufkommens von der Multikopter-Reichweite in Idar-Oberstein

Die Auswirkungen des Multikopters bzw. der Strukturveränderungen im Notarztdienst gehen aus Tabelle 4.8 und Tabelle 4.9 hervor. Als Kennwert wurde das Intervall von der Alarmierung der Rettungsmittel bis zu deren Ankunft am Notfallort herangezogen. Als Schwellenwert der Darstellung wurde, in Anlehnung an die Vorgaben der Notarztstudie²⁹, exemplarisch ein Intervall von 20 Minuten verwendet.

Die Auswertung zeigt die messbaren positiven Effekte des Multikopters auf die notärztliche Versorgung. In Stufe 2B mit einem ergänzenden Multikopter und dem Wegfall der NEF-Standorte Kirn und Birkenfeld kann die Anzahl der Notfälle im Untersuchungsraum mit Überschreitung der 20-Minuten-Vorgabe bei einer Multikopter-Geschwindigkeit von 180 km/h bereits deutlich reduziert werden. Die Auswertung zeigt aber auch, dass in den gleichen Szenarien in dem Kerngebiet eine leichte Verschlechterung der Notfallversorgung zu verzeichnen war. Dieser auf den

ersten Blick überraschende Effekt liegt an einer reduzierten Verfügbarkeit des Multikopters in dem Kerngebiet, da mit steigender Geschwindigkeit und Reichweite zwar die Einsatzorte potenziell schneller erreicht werden, aber auch der Multikopter vermehrt außerhalb seines primären Einsatzgebietes disponiert wird (beispielsweise bei Duplizitätsfällen³⁰). Die Auswertung zeigt zudem die Limitierung der Möglichkeiten eines Multikopters: Bei dem in Stufe 3 simulierten Wegfall von drei NEF-Standorten steigt die Anzahl der Notfälle mit Intervallen > 20 Minuten in dem Kerngebiet Idar-Oberstein deutlich an. Im gesamten Untersuchungsraum kann jedoch selbst in diesem Szenario bei einer Geschwindigkeit von 180 km/h und einer Reichweite von 200 km das Niveau der rettungsdienstlichen Versorgung gehalten werden. Man kann allerdings davon ausgehen, dass der negative Effekt für das Kerngebiet bei einem dichteren „Multikopternetz“ deutlich gemindert werden würde, da sich die Multikopter im Verbund gegenseitig ergänzen könnten.

²⁹ Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM), 2010

³⁰ Unter Duplizitätsfällen sind solche Einsätze zu verstehen, bei denen es zu zeitgleichen Einsätzen im Versorgungsbereich eines Notarztes kommt. Dies hat zur Folge, dass ein Notarzt aus einem benachbarten Bereich alarmiert werden muss.

STUFE	Multikopter-Geschwindigkeit (km/h)	Multikopter-Reichweite (km)	Alarmierung bis Ankunft		
			Median [mm:ss]	Anteil bis 20 Min.	Anzahl > 20 Min
Null-Szenario	ohne Multikopter		10:54	85,4 %	2.083
Stufe 1: Multikopter zusätzlich in Idar-Oberstein	100	50	10:54	88,3 %	1.659
	100	80	11:54	87,8 %	1.737
	100	200	10:30	88,0 %	1.709
	150	50	10:24	88,5 %	1.644
	150	80	10:54	90,5 %	1.353
	150	200	10:18	90,9 %	1.289
	180	80	10:30	91,7 %	1.182
Stufe 2: wie Stufe 1; NA Kirn fällt weg	180	200	11:30	92,4 %	1.077
	100	80	10:18	87,4 %	1.801
	100	200	10:36	87,2 %	1.817
Stufe 2B: wie Stufe 1; NA Kirn und Birkenfeld fallen weg	180	80	11:18	90,3 %	1.374
	180	200	12:00	91,2 %	1.250
	100	80	9:36	86,2 %	1.958
Stufe 3: wie Stufe 2B; zusätzliches NEF am Multikopter-Standort; NA Idar-Oberstein fällt weg	100	200	11:00	86,2 %	1.967
	180	80	12:00	89,0 %	1.568
	180	200	11:00	89,5 %	1.499
Stufe 3: wie Stufe 2B; zusätzliches NEF am Multikopter-Standort; NA Idar-Oberstein fällt weg	100	200	12:24	82,7 %	2.460
	180	200	11:18	85,5 %	2.063

Tabelle 4.8: Auswirkungen des Multikopters auf die Notfallversorgung im Mikroszenario Idar-Oberstein

STUFE	Multikopter-Geschwindigkeit (km/h)	Multikopter-Reichweite (km)	Alarmierung bis Ankunft		
			Median [mm:ss]	Anteil bis 20 Min.	Anzahl > 20 Min
Null-Szenario	ohne Multikopter		8:48	90,5 %	251
Stufe 1: Multikopter zusätzlich in Idar-Oberstein	100	50	8:54	97,3 %	72
	100	80	11:36	96,3 %	97
	100	200	8:36	96,4 %	94
	150	50	8:12	97,6 %	64
	150	80	8:48	97,1 %	76
	150	200	8:18	97,5 %	67
	180	80	8:36	97,0 %	79
Stufe 2A: wie Stufe 1; NA Kirn fällt weg	180	200	10:42	97,2 %	73
	100	80	8:18	93,2 %	180
	100	200	9:18	92,7 %	192
Stufe 2B: wie Stufe 1; NA Kirn und Birkenfeld fallen weg	180	80	10:36	91,4 %	228
	180	200	10:54	91,5 %	224
	100	80	8:18	90,7 %	245
Stufe 3: wie Stufe 2B; zusätzliches NEF am Multikopter-Standort; NA Idar-Oberstein fällt weg	100	200	9:30	90,3 %	255
	180	80	10:48	88,7 %	298
	180	200	9:24	89,0 %	289
Stufe 3: wie Stufe 2B; zusätzliches NEF am Multikopter-Standort; NA Idar-Oberstein fällt weg	100	200	12:18	77,4 %	597
	180	200	10:42	71,9 %	740

Tabelle 4.9: Auswirkungen des Multikopters auf die Notfallversorgung im Kerngebiet Idar-Oberstein

Im Vergleich der beiden Pilotregionen Idar-Oberstein und Ansbach ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass die Szenarien durchaus regionale Unterschiede hinsichtlich Einsatzmöglichkeiten und Einsatzpotenzialen aufzeigen. Die negativen Effekte in der Region Ansbach bei Wegfall von fünf NEF-Standorten, welche durch zwei Multikopter substituiert werden, sind beispielsweise deutlich größer als die Effekte in Stufe 3 in der Region Idar-Oberstein. Hier wiederum ist zu unterscheiden zwischen der Sichtweite des gesamten Untersuchungsraumes Idar-Oberstein und dem Kerngebiet.

Die zwei Karten (Abbildung 4.28, Abbildung 4.29) zeigen die räumliche Verteilung des Einsatzaufkommens des Multikopters

in zwei exemplarischen Szenarien aus Stufe 2B mit einer Multikopter-Geschwindigkeit von 100 km/h und einer Reichweite von 80 km (Abbildung 4.28) sowie einer Geschwindigkeit von 180 km/h und einer Reichweite von 200 km (Abbildung 4.29). Während die Einsatzschwerpunkte des Multikopters im ersten Beispielszenario mit einer Reichweite von 80 km noch deutlich begrenzter um den Multikopter-Standort liegen, zeigt die weitere Karte, dass bei einer erhöhten Geschwindigkeit und einer Reichweite von 200 km bereits alle Einsatzschwerpunkte im Untersuchungsgebiet durch den Multikopter erreicht wurden und der Multikopter Idar-Oberstein vermehrt außerhalb des Kerngebietes zum Einsatz kam.

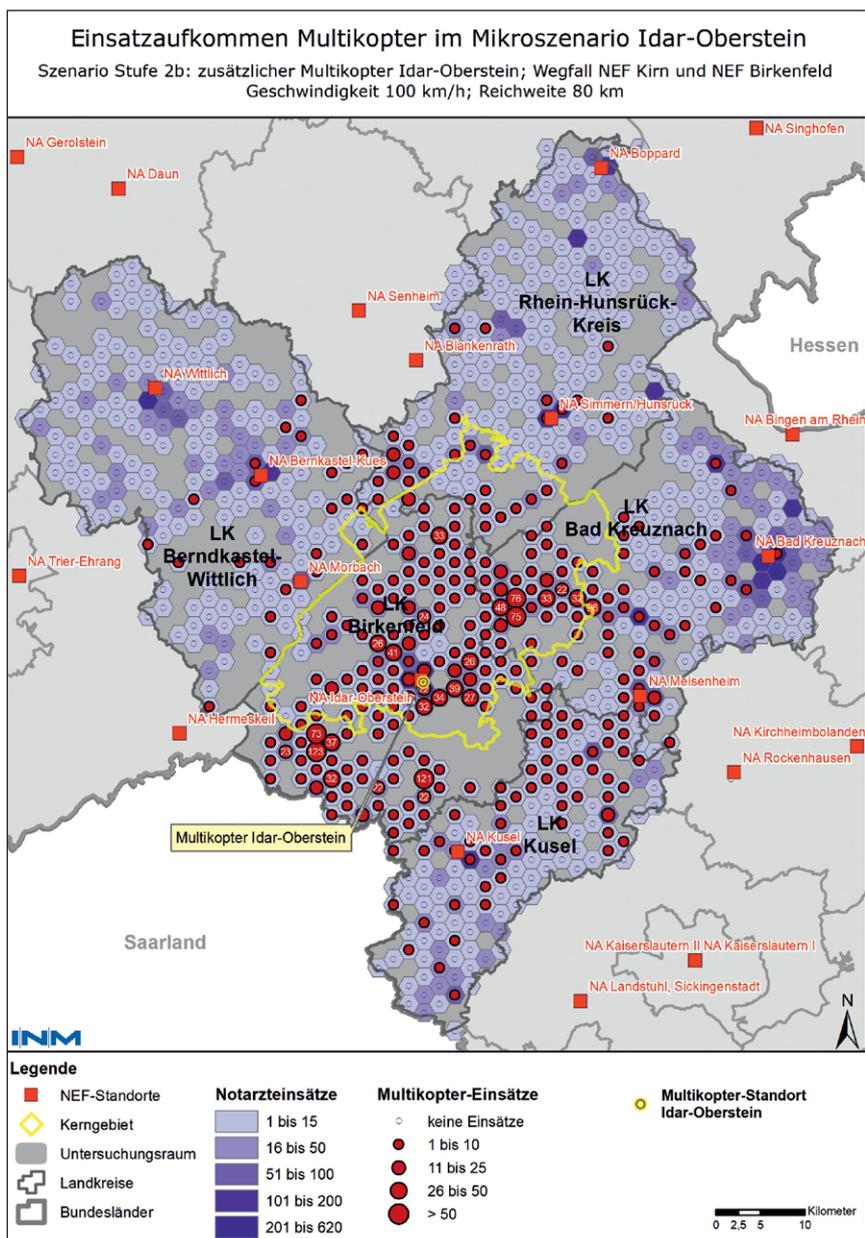


Abbildung 4.28: Multikopter-Einsatzaufkommen in Stufe 2B bei Multikopter-Geschwindigkeit 100 km/h und Multikopter-Reichweite 80 km in Idar-Oberstein

4.3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Auswertungen der Makrosicht, also Potenzialberechnungen zur Substitution von schlecht ausgelasteten NEF-Standorten, zeigten, dass die Multikopter jeweils zwei bis drei schlecht ausgelastete bodengebundene Standorte ersetzen können, sofern ein planerischer Einsatzradius von mindestens 25 km erreicht wird. Um in 20 Minuten flächendeckend am Notfallort zu sein, ist hierfür eine Geschwindigkeit von mindestens 100 km/h sowie eine Mindestreichweite der Multikopter von etwa 150 km erforderlich. Dessen ungeachtet müssen an den Multikopter-Standorten zusätzliche bodengebundene Fahrzeuge (NEF) bereitgestellt werden, die bei schlechten Wetterbedingungen oder fehlender Landemöglichkeit als Rückfallebene genutzt werden können. Die exakten Anforderungen an Geschwindigkeit und Reichweite der Multikopter sind dabei immer im Hinblick auf die Bedingungen vor Ort anzupassen.

Die Simulation des Notfallgeschehens einer kleineren, abgegrenzten Pilotregion erfolgte für Bayern anhand des Rettungsdienstbereiches Ansbach und für Rheinland-Pfalz anhand der Region Idar-Oberstein. Das notärztliche Einsatzgeschehen eines einjährigen Beobachtungszeitraumes wurde in verschiedenen Szenarien mit unterschiedlichen technischen Voraussetzungen (Geschwindigkeit und Reichweite) simuliert. Hierbei wurden die Dispositionsentscheidungen der Leitstellendisponenten anhand eines mehrstufigen Algorithmus simuliert, sodass die Wechselwirkungen zwischen Multikoptern, NEF/NAW und „normalen“ Rettungshubschraubern abgeschätzt werden konnten.

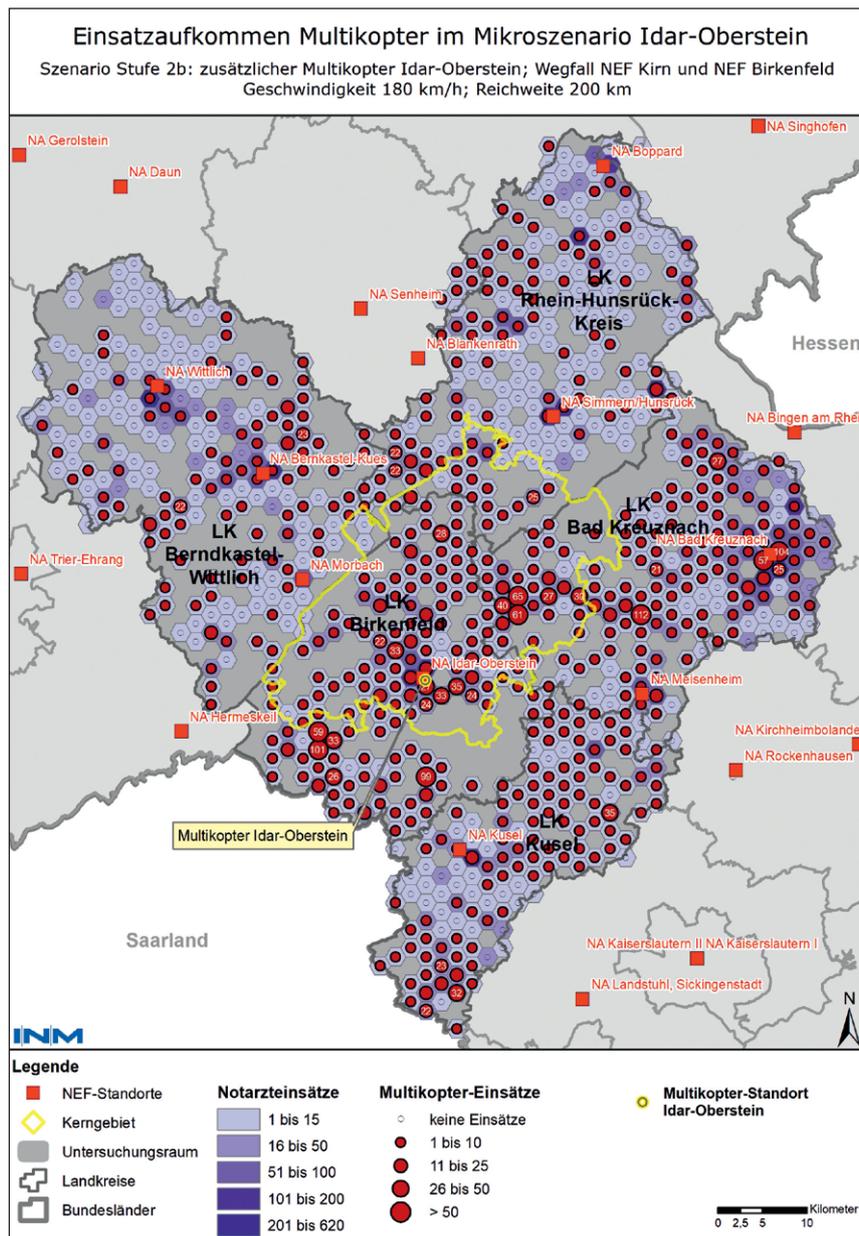


Abbildung 4.29: Multikopter-Einsatzaufkommen in Stufe 2B bei Multikopter-Geschwindigkeit 180 km/h und Multikopter-Reichweite 200 km in Idar-Oberstein

Die Mikrosicht für beide Pilotregionen zeigte, dass Multikopter als ergänzende arztbesetzte Rettungsmittel bereits mit Geschwindigkeiten von etwa 80 km/h und 50 km Reichweite eine deutliche Verbesserung der Versorgungssituation ermöglichen können. Allerdings nur, sofern die meisten bodengebundenen arztbesetzten Rettungsmittel weiterhin vorgehalten werden. Bei Wegfall mehrerer schlecht ausgelasteter bodengebundener Standorte (was einer zukünftigen Bedarfsplanung eher entsprechen würde) müsste die Reichweite der Multikopter deutlich erhöht werden (auf etwa 150 km Mindestreichweite), damit durch einen Multikopter-Standort mehrere NEF-Standorte kompensiert werden könnten. Darüber hinaus müsste die Einsatzbereitschaft der Multikopter auch bei schlechtem Wetter und Dunkelheit sichergestellt sein. Wenn diese Voraussetzungen erfüllt waren, zeigten die Simulationen positive Effekte auf die notärztliche Versorgung. Dessen ungeachtet sollten auch dann bodengebundene Fahrzeuge als Rückfallebene bereitgestellt werden.

Abschließend ist festzuhalten, dass Multikopter eine sinnvolle Ergänzung des Systems Rettungsdienst sein können – sofern sie die im Rahmen der vorliegenden Bedarfsanalyse festgestellten Anforderungen an die Geschwindigkeit und Reichweite erfüllen.

5 Technische Machbarkeit

5.1 Fluggerät



Abbildung 5.1: VoloCity der Firma Volocopter GmbH³¹

5.1.1 Grundlegende technische Darstellung des in der Studie betrachteten „VoloCity“

Das Unternehmen Volocopter GmbH entwickelt seit 2011 Luftfahrzeuge im Bereich ziviler eVTOLs für ein zukunftssträchtiges Mobilitätssystem. Die Firma Volocopter ist eine nach EASA Part-21J zertifizierte Design-Organisation und produziert nach EASA Part-21G sowie gemäß den Richtlinien der SC-VTOL. Die Entwicklung des VoloCity fand über mehrere Evolutionsstufen statt. Das technische Konzept des VoloCity kennzeichnet sich vor allem durch seine Einfachheit im Design und lässt daher eine frühzeitige Marktreife erwarten. Damit könnte der VoloCity nach heutigen Erwartungen das erste EASA-zugelassene serienreife eVTOL auf dem europäischen Markt werden. Der VoloCity bildet daher die technische Basis für die Kooperation zwischen den beiden Unternehmen Volocopter und ADAC Luftrettung. Der VoloCity ist als Multirotorkonfiguration (vgl. Kapitel 2.2) ausgeführt und besitzt einen Propellerkranz mit 18 Propellern. Diese Vielzahl an Propellern bietet einige Vorteile im Bereich der Flugregelung des Multikopters, ermöglicht einen hohen Grad der Redundanz und Ausfallsicherheit des Antriebs³², eine niedrige (aerodynamische) Flächenbelastung (Disk Loading [Aerodyn.]) und eine daraus resultierende hohe Effizienz im Schwebeflug sowie geringe Lärmemissionen³³. Eine Studie der Hochschule Stuttgart mit über 1.000 Teilnehmern hat ergeben, dass die Lärmemissionen des VoloCity geringer als erwartet ausfallen und ein großflächiger städtischer Einsatz als Flugtaxi die Lärmbelastung durch die Reduktion des Verkehrs am Boden verbessern würde³⁴. Der VoloCity ist als Zweisitzer ausgelegt.

5.1.2 Leistung und Reichweite

Ob ein Multikopter im Rettungsdienst einsatztaktisch sinnvoll eingesetzt werden kann, entscheidet sich vor allem an den Parametern Geschwindigkeit, Reichweite und Zuladung. Die Fragestellungen, welche Fluggeschwindigkeit ein Multikopter

mindestens aufweisen muss und welchen Einsatzradius er abdecken sollte, war ein wesentlicher Teil des Forschungsauftrages an das INM. Die technischen Anforderungen leiten sich unmittelbar aus den Ergebnissen der umfangreichen Simulationen ab, die im Detail in Kapitel 4.3 dargestellt werden. Daneben leiten sich die Anforderungen an die Zuladungskapazität unmittelbar wiederum aus den Ergebnissen aus den Kapiteln 5 und 6 ab, in welchen die Anforderungen an Personal und Equipment hergeleitet werden.

5.1.2.1 Anforderungen

Aus der in Kapitel 4 ermittelten notwendigen Reichweite und Geschwindigkeit ergeben sich folgende Anforderungen:

Um Multikopter als Ergänzung eines bestehenden Systems bodengebundener Notarzteinsatzfahrzeuge zu nutzen, sollte ihre **Reichweite** mindestens 80 km betragen. Für ein etabliertes Multikoptersystem, das schlecht ausgelastete NEF-Standorte ersetzt, sollte die effektive Reichweite mindestens 150 km betragen.

Neben der Reichweite ist die notwendige **Geschwindigkeit** des Multikopters ein weiteres wichtiges Studienergebnis aus Kapitel 4.3. Damit eine Erreichbarkeit von allen Notfallorten innerhalb von 20 Minuten gegeben ist, sollte eine Geschwindigkeit von mindestens 100 km/h realisiert werden. Aufgrund der auf die Einsatztaktik bezogenen Geschwindigkeit über Grund muss die Geschwindigkeit relativ zur Luftmasse (TAS, True Airspeed) entsprechend gegenüber dem Wind angepasst sein. D. h., bei den in Kapitel 4.3 ermittelten Geschwindigkeiten handelt es sich nicht um die optimale Maximalgeschwindigkeit, die ein Multikopter erreichen können sollte, sondern um die Mindestgeschwindigkeit auch bei Gegenwind. Damit sollte die erforderliche Fluggeschwindigkeit (TAS) mind. 150 km/h – 180 km/h betragen.

Aktuelle Hubschraubermodelle können unter definierten **thermischen Bedingungen** operieren, die sich sowohl auf die Flugleistung als auch auf mechanische Baugruppen auswirken können. In der Regel gilt für Hubschrauber ein Temperaturbereich

³¹ Volocopter GmbH, 2020

³² Volocopter GmbH, 2019

³³ Volocopter GmbH, 2019, S. 16 ff.

³⁴ Prof. Dr. Planing et al., 2019

zwischen -20°C und $+50^{\circ}\text{C}$ (OAT, Outside Air Temperature). Multikopter sollten möglichst in vergleichbaren thermischen Bedingungen einsatzfähig sein, mindestens sollten sie jedoch in europäischen Breiten unter den Randbedingungen von -20°C bis $+40^{\circ}\text{C}$ operieren können. Die erforderlichen Flugleistungen müssen auch unter den genannten thermischen Bedingungen erreichbar sein. Dabei ist nicht nur die OAT entscheidend, auch die Strahlungswärme auf sämtlichen Bauteilen muss hierbei berücksichtigt werden.

5.1.2.2 Bewertung

Die starre Multitrotorkonfiguration des VoloCity bietet im Schwebflug eine hohe Effizienz³⁵. Weil der Schubvektor der Propeller nur durch Kippen des gesamten Multikopters und nicht wie bei Hubschraubern durch Kippen der Rotorkreisscheibe in Flugrichtung geneigt werden kann, ist diese Möglichkeit gegenüber Hubschraubern und damit die erreichbare Fluggeschwindigkeit eingeschränkt. Dieser Typ des Multikopters eignet sich daher eher für Flüge mit geringen Entfernungen sowie geringen bis mittleren Geschwindigkeiten. Der VoloCity erreicht nach aktueller Spezifikation³⁶ eine maximale Indicated Air Speed (IAS) von 110 km/h sowie eine Reichweite von 35 km. Für hohe Geschwindigkeiten und weitere Entfernungen empfiehlt sich ein Lift&Cruise- bzw. ein Tilt-Konzept (vgl. Kapitel 2.2) mit horizontal gerichtetem Schub. Ein Proof of Concept des Multikopters als Notarztzubringer ist jedoch auch mit dem VoloCity umsetzbar. Für ein großflächiges Ausrollen im Rettungsdienst muss aufgrund der geringen Horizontalgeschwindigkeit deshalb mittelfristig auf Multikopter zurückgegriffen werden, deren Konzepte einen zusätzlichen Horizontalschub aufweisen. Zum aktuellen Zeitpunkt verfügen solche Konzepte noch nicht über eine ausreichende Marktreife. Diese ist in zwei bis drei Jahren zu erwarten.

In Bezug auf den Temperaturbereich kann angenommen werden, dass diese Anforderung vom Hersteller ausnahmslos umgesetzt wird. Multikopter sollen weltweit im Flugtaxi-Betrieb einsetzbar sein. Daher ist zu erwarten, dass die Luftfahrzeuge für Temperaturlimits zugelassen werden, die aktuellen Hubschraubermodellen entsprechen.

5.1.3 Wettertauglichkeit und Nachtflugfähigkeit

Der Multikopter soll die Aufgabe eines luftgebundenen Notarztzubringers erfüllen. Das Ziel besteht daher darin, mittels geeigneter technischer Einrichtungen eine möglichst hohe Verfügbarkeit gewährleisten zu können.

5.1.3.1 Anforderungen

Die Vorhalteverfügbarkeit kann sowohl durch Sicht- als auch durch Wetterbedingungen eingeschränkt sein. Hierunter sind sowohl bestimmte Wettersituationen wie starker Regen, Schnee, Gewitter, Starkwind etc. als auch Einschränkungen durch verminderte Sichtweiten (wie z. B. bei Nacht) zusammenzufassen. In Kapitel 6.2 wird hierauf im Rahmen einer Prüfung der operationalen Machbarkeit dezidiert eingegangen.

Ein Multikopter muss folglich technisch in der Lage sein, sowohl bei den beschriebenen Wettersituationen als auch in der Nacht Flüge zu absolvieren. Hieraus leiten sich im Wesentlichen konstruktionsbedingte Voraussetzungen ab, die der Hersteller schaffen muss. Die aktuell im Luftrettungsdienst eingesetzten Hubschrauber erfüllen diese Voraussetzungen (mit wenigen Ausnahmen, z. B. Flugfähigkeit in Known Icing Conditions). Allerdings können auch technische Unterstützungssysteme, die der Betreiber selbst vorhält, die Vorhalteverfügbarkeit verbessern und die Flugsicherheit erhöhen. Auf ein solches System für Flüge bei Nacht wird im Folgenden (beispielhaft) eingegangen.

Damit nächtliche Landungen in unbekanntem Gebiet sicher absolviert werden können, wäre unter anderem ein Night Vision Imaging System (NVIS) erforderlich. Dieses System beinhaltet Night Vision Goggles (NVG), eine binokulare Helmbrille, welche das Umgebungslicht künstlich verstärkt. Die weiteren bautechnischen Vorschriften für den Nachtflug nach Night Vision Flight Rules (NVFR) müssen am Luftfahrzeug berücksichtigt bzw. implementiert werden. Für die Nachtflugfähigkeit ist eine dimmbare Cockpitbeleuchtung nach NVFR vorzusehen. Zusätzlich müssen alle Lichtquellen kompatibel mit dem Einsatz von NVG sein und unter anderem ein beschränktes Lichtspektrum aufweisen. Für eine Landung auf nichtausgeleuchteten Landezonen ist ein helles, schwenkbares Landelicht zu integrieren. Bevorzugt wird zudem eine Propellerspitzen-Beleuchtung, um die Propeller des Multikopters bei hoher Drehzahl nachts sichtbar zu machen und so die Unfallgefahr zusätzlich zu senken.

5.1.3.2 Bewertung

Nach aktuellem Stand der Entwicklung marktreifer eVTOLs ist eine definitive Aussage zur Wettertauglichkeit nur begrenzt möglich. Allgemein wird technisch vorgesehen, sowohl bei schlechtem Wetter als auch bei Nacht eine Operation von Multikoptern zu ermöglichen. Bis zu einer bestimmten Niederschlagsmenge ist es bereits möglich (Beispiel VoloCity), mit einem Multikopter zu fliegen. Weiterreichende Anforderungen wie Starkregen, gefrierender Niederschlag (Icing Condition) sowie Flugfähigkeit bei schlechter Sicht sind derzeit technisch nur teilweise umgesetzt, wären jedoch für einen Multikopter als Notarztzubringer einsatztaktisch relevant. Bei der Umsetzung energieaufwändiger Systeme (z. B. Anti-Ice) müssen die erforderlichen Leistungsdaten aus Kapitel 5.1.2.1 weiterhin erfüllt sein, was bei rein elektrischen Antriebssystemen aufgrund des hohen Energiebedarfs technisch sehr herausfordernd ist.

Mit zukünftigen technischen Entwicklungen und der Integration von automatischen bzw. autonomen Systemen im Luftfahrzeug werden gewisse Operationen unter den genannten Bedingungen jedoch zunehmend besser umsetzbar. Derzeit in Entwicklung befindliche Multikopter zielen jedoch auf eine geringe Time-to-Market ab und weisen daher eine eher geringe Ausstattung an assistierenden Systemen auf – entsprechend einem „Minimum Viable Product“. Gleichermaßen ist von Zertifizierungen innerhalb einer VFR-Day-Zulassung auszugehen; VFR-Night- bzw. IFR-Zulassungen (Instrument Flight Rules) werden vorerst am Beispiel des VoloCity nicht zertifiziert, sind jedoch in naher Zukunft zu erwarten.

³⁵ Volocopter GmbH, 2019, S. 18

³⁶ Volocopter GmbH, 2019, S. 1

Systeme, die unterstützende oder autonome Funktionen einnehmen, können die Einsatzbereitschaft des Multikopters unter den genannten Bedingungen erweitern. Hierzu erreichen aktuell Technologien vermehrt Marktreife, die auf laserbasierter Richtungs- und Entfernungsmessung (Lidar – Light Detection and Ranging) basieren. Diese Technologien finden zunehmend Anwendung in autonomen Systemen (z. B. pilotiertes/autonomes Fliegen, autonomes Fliegen) und könnten in zukünftigen zivilen Multikoptern eingesetzt werden. Auch Systeme, die funkbasierte Richtungs- und Entfernungsmessungen (Radar – Radio Direction and Ranging) durchführen, sind einsetzbar, soweit ein wirtschaftlicher Einsatz im zivilen Bereich möglich ist (kostenintensive Systeme). Mit entsprechender Anbindung an eine Künstliche Intelligenz (KI) könnten diese Technologien bei der automatischen Hinderniserkennung, bei der Landstellenerkundung bis hin zu kompletten autonomen Flugverfahren bei Nacht oder bei bestimmten Wetterbedingungen zum Einsatz kommen.

5.1.4 Flugtechnische Ausstattung

Damit ein Multikopter im EMS-Betrieb (Emergency Medical Services) eingesetzt werden kann, müssen auch hinsichtlich der Integration von flugtechnischer Ausstattung bestimmte spezifische Anforderungen erfüllt werden. Hierzu zählen zum einen die Hardwarekomponenten, welche einen sicheren EMS-Flugbetrieb des Multikopters erst ermöglichen. Darüber hinaus zählen hierzu auch kommunikationstechnische Schnittstellen zu EMS-spezifischen Systemen im Rettungsflugbetrieb. Diese Anforderungen werden im Folgenden aufgezählt und erläutert sowie im Anschluss bewertet.

5.1.4.1 Anforderungen

Das **Landegestell** des Multikopters muss eine sichere Landung und ein sicheres Abstellen (Kurz- und Langzeitparken) des Luftfahrzeugs ermöglichen. Für die Bodenabfertigung ist das Vorhandensein eines adaptierbaren Fahrwerks für ein manuelles Verschieben des Multikopters vorteilhaft. Grundsätzlich werden aktuelle Multikopter für ein Landen auf befestigten Landeplattformen ausgelegt. Im EMS-Betrieb hingegen muss auf unterschiedlichsten künstlichen Belägen (z. B. Straßenbelag, unbefestigte Flächen) sowie auf natürlichen Böden – ggf. mit eisbedecktem Untergrund – sicher gelandet und geparkt werden können. Ein Einsinkschutz und ggf. Schneebretter sind notwendig, um dies ebenfalls ohne ein zu tiefes Einsinken auf weichem Untergrund zu gewährleisten.

Neben unterschiedlichen Bodenbeschaffenheiten ist es erforderlich, auch bei bestimmten Neigungen des Untergrundes sicher landen zu können. Bei Hubschraubern sind in der Regel Landungen bei Winkeln von bis zu $10^\circ \pm 4^\circ$ zu jeder Seite möglich. Für einen Multikopter ist es im EMS-Betrieb notwendig, vergleichbare Hanglandungen durchführen zu können.

Zur weiteren flugtechnischen Ausstattung gehören behördliche **Digitalfunkgeräte** (BOS-Funk), um eine Kommunikation mit der Leitstelle und den Rettungskräften an der Einsatzstelle sicherzustellen. Neben der Absprache per Funk dient das System **Rescue-**

Track (Firma Convexis GmbH) als deutschlandweiter Standard zur Disposition von Ressourcen in der Notfallversorgung. Mit RescueTrack wird eine optimale Disposition der Rettungsmittel durch die Leitstelle möglich, indem u. a. GPS-Koordinaten der anzufliegenden Einsatzstelle verschickt und der Einsatzstatus in Echtzeit eingesehen werden kann. Eine Implementierung eines RescueTrack-Bildschirms sollte im Multikopter daher ebenfalls vorgesehen werden. Alternativ kann die RescueTrack-Anzeige ein integraler Teil eines Moving-Map-Systems sein. Im EMS-Betrieb ist zudem eine Vielzahl an unterschiedlichen **Karten** notwendig, die in der allgemeinen kommerziellen Luftfahrt nicht erforderlich sind. Hierzu zählen Luftfahrtkarten mit einer Hindernisdatenbank, topographische Karten, Satellitenbilder und Karten mit Straßen- und Hausnummern-Verzeichnis, um Einsatzorte schnellstmöglich zu lokalisieren.

Collision-Avoidance-Systeme haben sich in der bemannten Luftfahrt über die letzten Jahrzehnte stetig weiterentwickelt. Während für Verkehrsflugzeuge das TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) entwickelt wurde, benutzen mittlerweile viele Segel- und Leichtflugzeuge das FLARM-System. Das System TCAS berechnet transpondergestützt kontinuierlich die Trajektorien (Bewegungspfade) der anderen Teilnehmer im umliegenden Luftverkehr und warnt vor etwaigen Kollisionskursen. Zusätzlich geben die Systeme an beide betroffenen Luftverkehrsteilnehmer Hinweise und Empfehlungen zu Ausweichmanövern, üblicherweise in Form eines Sink- bzw. Steigfluges. Mit dem System FLARM werden GPS-Positionen und Flugvektoren mittels Datenübertragung über Funk ausgetauscht und so eine Verkehrs- bzw. Kollisionswarnung erzeugt. Ausweichempfehlungen wie beim TCAS werden dem Piloten hier jedoch nicht angezeigt. An Bord von modernen Privatflugzeugen findet sich hin und wieder ein TAS (Traffic Advisory System), welches ähnlich wie das TCAS eines Airliners Transpondersignale auswertet, jedoch wie beim FLARM den Piloten lediglich ein Verkehrslagebild samt eventuellen Kollisionswarnungen anzeigt, ihm aber keine Ausweichempfehlung gibt. Da beim EMS-Flugbetrieb größtenteils im unkontrollierten Luftraum operiert wird, ist eine transpondergestützte See-and-Avoid-Kollisionsverhinderung von besonderer Relevanz. Durch Weiterentwicklungen in der Sensorik und der Künstlichen Intelligenz sollte zukünftig ein Sense-and-Avoid implementiert werden, welches alle Teilnehmer im Luftraum berücksichtigt. Hierzu sollte auch auf die ADS-B-Technologie zurückgegriffen und so auf den zunehmenden Verkehr im unkontrollierten Luftraum reagiert werden. Zukünftig muss eine Eingliederung des Multikopters in ein umfängliches Traffic-Management (ATM/UTM) stattfinden, welches auch UAVs (unbemannte „Drohnen“) miteinbezieht und zugleich auf den EMS-Betrieb ausgelegt ist (z. B. Bildung eines Geofence³⁷ um EMS-Sites bei Landung des Multikopters).

Die notwendigen **Zuladungskapazitäten** für einen Multikopter unterscheiden sich maßgeblich von denen eines Rettungshubschraubers. Denn es bestehen keine Notwendigkeiten für den Transport eines Patienten und daher auch keine Anforderungen an Tragevorrichtungen, da der Multikopter eine Erweiterung der Notarzt-Einsatzfahrzeug-Struktur darstellt und das bestehende System nur ergänzen soll. Der Abtransport des Patienten ge-

³⁷ Geofence: Mittels Geofencing kann ein geographischer Raum oder eine Zone errichtet werden, in der der Einflug anderer Teilnehmer (z. B. UAVs) über deren Flugsteuerung verhindert wird oder diese über einen Warnhinweis zum Verlassen des Bereiches aufgefordert werden.



Abbildung 5.2: Sichtverhältnisse nach vorn/nach unten zur Landestelle am Beispiel der BK117 D2 (Quelle: ADAC Luftrettung)

schiebt nach wie vor rein bodengebunden. Der Multikopter muss jedoch eine zu einem NEF vergleichbare medizinische Ausrüstung befördern können. Das Gesamtgewicht dieser möglichen mitzuführenden Ausrüstung hängt von der zulässigen Nutzlast ab. Für die Auswahl eines für den Einsatz im Rettungsdienst geeigneten Luftfahrzeuges müssen daher u. a. die medizintechnischen Anforderungen definiert und zugrunde gelegt werden. Der Multikopter dient hierbei als Plattform, um dem rettungsdienstlichen Auftrag nachzukommen. Die rettungsdienstliche Ausrüstung muss praxistauglich und sicher im Multikopter untergebracht werden können. Ein Zugang zu sämtlichen Arbeitsmitteln muss innerhalb kürzester Zeit und mit einem Griff möglich sein. Dafür müssen geeignete Frachträume bzw. Ablagemöglichkeiten und Halterungen zur Verfügung stehen.

Für sichere Start- und Landemanöver ist eine optimale **Sicht** nach vorn, nach beiden Seiten, nach oben und nach unten essentiell. Vor allem die Sicht nach unten ist von besonderer Relevanz, wenn eine Landung an einer unbekanntem Landestelle vollzogen werden soll. Im EMS-Betrieb kommen diese Landungen regelmäßig vor – eine ausreichende Sicht nach unten ist daher eine wichtige Anforderung. Deren Umsetzung kann sowohl durch Fenster bzw. Aussparungen in der Struktur (vgl. Abbildung 5.2) als auch mittels optischer Bildgebung (z. B. Kameras) erfolgen.

Pilot und Crew-Mitglied (Notarzt) müssen eine **ergonomische Sitzposition** sowohl beim Blick in die Umgebung als auch während des Ablesens der Instrumente und des Führens des Luftfahrzeugs einnehmen können.

Der Betrieb von Rettungsmitteln unterliegt strengen Hygienevorschriften. Eine regelmäßige **Reinigung und Desinfektion** sind vorgeschrieben. Die Oberflächen müssen im Interieur und in den Frachträumen des Luftfahrzeuges daher desinfizierbar sein. Einige Kunststoffe und Kunstharze sowie verschiedene Farben und Lacke sind allerdings nicht oder nur schlecht gegen ethanol-, propanol- oder chloridhaltige Desinfektionsmittel beständig oder zeigen Korrosionsversagen bei Kontakt mit diesen Mitteln. Vor allem bei Strukturbauteilen aus GFK/CFK kann dies

ein Sicherheitsrisiko hervorrufen, wenn der Matrix-Kunststoff angegriffen wird und das Bauteil gegebenenfalls an Festigkeit verliert. Daher ist die chemische Beständigkeit gegen Desinfektionsmittel von essenzieller Bedeutung. Dies bezieht sich auf alle Bedienelemente, Interieur-Bauteile, offene Strukturbauteile und Anbauteile, die unbehandelt, lackiert oder beschichtet sind.

Multikopter sollen im Rettungsdienst bei möglichst allen Wetterbedingungen zum Einsatz kommen können. Um bei wechselnden meteorologischen (Umwelt-)Bedingungen (z. B. durch ein Einsteigen mit nasser/feuchter Einsatzkleidung) einen sicheren Einsatz zu gewährleisten, müssen **Defogging-Systeme** integriert werden, um ein Beschlagen von Sichtflächen wie Fensterscheiben, Cockpit-Anzeigen und Cockpit-Bildschirmen zu verhindern. Die Transparenz und Sichtbarkeit bzw. Lesbarkeit der Oberflächen muss zu jedem Zeitpunkt in vollem Umfang gegeben sein. Hierzu können elektrisch beheizbare Cockpit-Scheiben, elektrische Thermoelemente oder Lüftungssysteme integriert werden. Bei Ausfall eines Defogging-Systems muss ein manuelles Entfernen der Kondensation auf den Interieur-Oberflächen möglich sein (somit z. B. keine doppelte Verglasung bei Instrumenten).

5.1.4.2 Bewertung

Aus technischer Sicht sind die genannten Anforderungen bereits zum aktuellen Stand der Technik größtenteils umsetzbar und werden in Luftfahrzeugen serienmäßig eingesetzt. Von einer hohen Adaptivität beim Multikopter kann daher ausgegangen werden. Aufgrund einer geringeren Energiemenge, die im rein elektrisch betriebenen Multikopter mitgeführt werden kann, müssen Systeme energiesparend ausgelegt werden. Eine Klimatisierung oder Belüftungssysteme zum Beispiel haben in der Regel eine hohe Leistungsaufnahme und müssen daher in manchen Flugmanövern abgeschaltet werden. Der Hersteller des Multikopters muss dies nach den entsprechenden Anforderungen des Operators berücksichtigen. Für die Integration der spezifischen EMS-Ausstattung muss bestehende Erfahrung aus dem HEMS³⁸-Betrieb eingebracht und beachtet werden. Hierfür ist eine enge Abstimmung zwischen Operator und Hersteller notwendig.

³⁸ HEMS: Helicopter Emergency Medical Services

Innerhalb der ADAC Luftrettung und ihres Safety Management Systems existiert ein Safety Committee, die SAG (Safety Action Group), die sich intensiv mit dem Thema Collision Avoidance auseinandersetzt. Bei Sense-and-Avoid-Systemen ist eine stetige Weiterentwicklung notwendig, um auf den zunehmenden Luftverkehr im unteren Luftraum – auch durch UAVs – zu reagieren. Mittels Integration des konventionellen Air-Traffic-Managements (ATM) und eines UAS-Traffic-Managements (UTM) in den Multikopter ist die Vermeidung von gefährlichen Annäherungen bzw. Kollisionen von Luftfahrzeugen auch in Zukunft umsetzbar.

5.1.5 Antrieb und Energieversorgung

5.1.5.1 Anforderungen

Für aktuelle Flugmissionen mit Rettungshubschraubern ist ein Betrieb in Performance Class 1 (zugelassen nach CAT-A) vorgeschrieben. Performance Classes (bzw. vergleichbare Vorgaben), die für Multikopter gelten, existieren aktuell noch nicht (für detaillierte Ausführungen wird auf Kapitel 6.1 und auf Kapitel 7 verwiesen). Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Sicherheitsanforderungen an die Antriebssysteme und Energiespeicher des Multikopters den Anforderungen der Performance Class 1 (oder höher) entsprechen werden müssen, um ein solches Fluggerät im Luftrettungsdienst einsetzen zu dürfen. Bezogen auf die Energieträger bzw. auf die Technologien zur Energieversorgung der Antriebe lässt dies mehrere Möglichkeiten zu (chemisch, elektrochemisch, Kraftstoffverbrennung oder hybride Energiespeicherung), solange eine Operation in Performance Class 1 (oder vergleichbar) realisierbar ist.

Für eine EMS-Mission ist eine Energieversorgung notwendig, die so ausgelegt ist, dass sie – neben der eben dargestellten hohen Sicherheit – die notwendige Reichweite gewährleisten kann. Aktuell bestehen verschiedenste Lösungsansätze von Energiespeicher- und Energieversorgungssystemen bei der Entwicklung von Multikoptern. Verschiedene Hersteller setzen auf unterschiedlichste Technologien. Das Produkt VoloCity soll im ersten Schritt zunächst mit einer reinen Batteriespeicherlösung

auskommen. Damit beträgt die Reichweite des Luftfahrzeuges 35 km. Diese Reichweite kann für eine Taxi-Mission völlig ausreichend sein, für einen Einsatz im EMS-Flugbetrieb ist dies jedoch deutlich zu gering. Wie bereits in Kapitel 5.1.2 dargestellt, ist eine Mindestreichweite von 80 bis 150 km notwendig. Es muss daher eine Energieversorgungslösung bereitgestellt werden, die diese Anforderungen erfüllen kann.

5.1.5.2 Bewertung

Grundsätzlich liegt ein großer Vorteil von Multikoptern in ihrem elektrischen Antrieb. Dieser elektrische Antrieb lässt sich mittels moderner Regeltechnik hochpräzise ansteuern. Gegenüber Hubschraubern kann zudem mittels verteilter Antriebe eine deutliche Reduktion in der mechanisch-hydraulischen Komplexität des Fluggerätes erreicht werden.

Die grundsätzliche Frage der Energieversorgung muss hiervon abgekoppelt werden. Diese muss nicht zwangsläufig über Batterien erfolgen. Aus der Sicht einer technischen Machbarkeit sind grundsätzlich verschiedene Konzepte für die Energieversorgung der Antriebe im Multikopter umsetzbar. Diese werden im ersten Schritt kurz vorgestellt und im Anschluss z. T. näher ausgeführt:

- **Elektrochemische Energiespeicherung:** Eine rein elektrochemische Energieversorgung erfordert hohe Speicherkapazitäten der verbauten Akkusysteme. Weil die derzeit speicherbare Energiedichte in galvanischen Zellen relativ niedrig ist, sind entsprechend große Mengen an elektrochemischen Speichermedien notwendig, aus denen ein hohes Gewicht resultiert. Die Reichweite des Multikopters wird durch das Gewicht der Speichermedien limitiert. Die technische Entwicklung, motiviert durch die aufstrebende Elektromobilität, erreicht stetig höhere Energiedichten in elektrochemischen Energiespeichern. Für zukünftige Energiespeicher können daher höhere Energiedichten erwartet werden. Dies wirkt sich vor allem in geringeren Baugrößen (auf der y-Achse Wh/L) als auch im geringeren Gewicht (auf der x-Achse Wh/kg) der Energiespeicher aus (vgl. Abbildung 5.3).

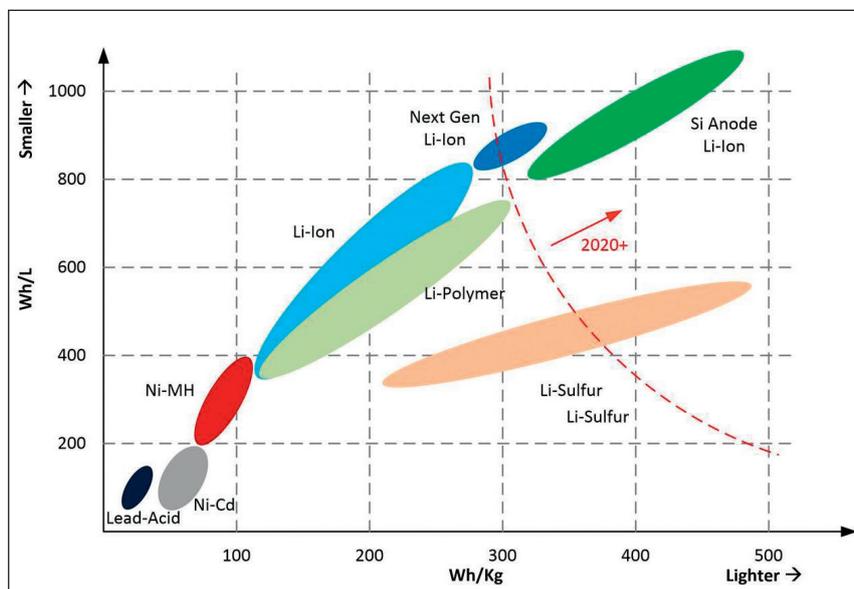


Abbildung 5.3: Zukünftig zu erwartende elektrochemische Energiespeicher (Bildquelle DLR)

• **Elektrochemische Energieumwandlung (Brennstoffzelle):**

Eine weitere mögliche Lösung ist die Energieversorgung mittels Brennstoffzelle. Grundsätzlich lassen sich Brennstoffzellen mit verschiedenen Energieträgern wie z. B. Methanol, Erdgas oder Wasserstoff betreiben. Hierbei wird mittels galvanischer Reaktionen zwischen Anode und Kathode Strom erzeugt. Der Strom, der von Anode zu Kathode fließt, kann zum Antrieb genutzt werden oder einen Zwischenspeicher aufladen. Brennstoffzellen-Technologien stehen vor allem in der Luftfahrtanwendung noch nicht in marktreifem Zustand zur Verfügung. Eine Anwendung in zukünftigen Multikoptern ist trotzdem als erwartbar zu bewerten. Große Vorteile sind hier in der hohen Energiedichte der Brennstoffe (vor allem des Wasserstoffs) zu erwarten.

• **Kraftstoff-Verbrennung:** Die klassische Kraftstoffverbrennung zur Energieerzeugung mittels Turbine oder Kolbenmaschine ist im Multikopter ebenfalls umsetzbar. Die Turbine speist hierbei einen Generator, der wiederum die notwendige elektrische Energie für die Versorgung der Elektromotoren produziert. Für aktuelle Flugtaxi-Konzepte verzichten jedoch viele Hersteller auf eine Kraftstoff-Verbrennung, da auf alternative und beim unmittelbaren Betrieb (z. B. in Städten) schadstofffreie Energieträger gesetzt wird. Für den Einsatz im EMS-Betrieb wäre jedoch auch eine solche Lösung, aufgrund hoher Reichweiten mit hohen Energiedichten, technisch denkbar. Bei der Verwendung von synthetischen Kraftstoffen könnte hierbei nahezu CO₂-neutrale Energie erzeugt werden³⁹. Für den Fall, dass als Energieträger Kerosin verwendet werden sollte, könnte sogar vorhandene Infrastruktur (z. B. Tankstellen an Krankenhäusern und Flugplätzen) weiter genutzt werden.

• **Hybridlösung:** Eine Hybridlösung kann Vorteile verschiedener Konzepte vereinen. So fungiert ein Akku mit reduzierter Kapazität ggf. nur als Zwischenspeicher, wobei Gewicht gespart werden könnte. Die benötigte Energie im Flug wird durch Energieumwandlung beispielsweise in einer Brennstoffzelle oder einer Turbinen-Generator-Kombination bereitgestellt. Es könnten damit durch hohe Energiedichten Vorteile hinsichtlich der effektiven Reichweite erreicht werden. Die Betrachtung des Wirkungsgrades des Gesamtsystems gilt es hierbei jedoch zu berücksichtigen.

Mit Lithium-Ionen-Akkus kann zum aktuellen technischen Stand eine verlässliche und technologisch fortgeschrittene Technologie als mobiler Energiespeicher eingesetzt werden. Für die Fahrzeugtechnik hat diese Technologie Zukunftspotenzial. In der Luftfahrttechnik spielt zusätzlich die effiziente Nutzung der Massenverhältnisse und die damit einhergehende möglichst hohe Energiedichte eine zentrale Rolle. Bei einer solchen Betrachtung wird deutlich, dass die Energiedichte in einem Energiespeicher wie dem Lithium-Ionen-Akku geringer ist als bei der chemischen Umwandlung von Wasserstoff oder Kohlenwasserstoffen wie Flugzeugkerosin und Propangas. Kohlenwasserstoffe überzeugen mit einer hohen Energiedichte und eignen sich daher grundsätzlich gut als Treibstoff für Luftfahrzeuge. Zunehmend Bedeutung gewinnt aufgrund seiner sehr hohen Energiedichte zudem der Energieträger Wasserstoff. Aktuelle technische Entwicklungen für die Luftfahrt verfügen allerdings nicht über eine notwendige Marktreife. Zudem befindet sich eine sichere und leckagefreie Speicherung noch in der Erforschung – unter anderem spielen hier Carrier-Stoffe, d. h. flüssige organische Wasserstoffträger (LOHC)⁴⁰, eine zentrale Rolle. Sie werten allerdings die spezifische Energiedichte des Wasserstoffs ab, weil sie als Trägerstoff zurückbleiben. In der Bilanz ist die Energiedichte von LOHC-gebundenem Wasserstoff bereits um das 14fache höher als bei Lithium-Ionen-Akkus. Entgegeng gehalten werden kann der niedrigere Wirkungsgrad bei der Umwandlung des Wasserstoffs.

Aufgrund der hohen Masse mit einem elektrischen Batteriesystem ist das Verhältnis von Leergewicht (OEW – Operating Empty Weight) zu maximalem Abfluggewicht (MTOW – Maximum Take-Off Weight) beim Multikopter relativ hoch. Demzufolge hat der Multikopter im Verhältnis zum Leergewicht (OEW) eine eher geringe Nutzlast. Grund dafür ist die geringe Baugröße und das höhere Gewicht der Lithium-Ionen-Batterietechnologie (Energiedichte ca. 0,25 kWh/kg). Im Vergleich hierzu liegt die Energiedichte des Flugzeugkerosins Jet A1 bei ca. 11,9 kWh/kg, also nahezu um das 60fache höher. Der Wirkungsgrad von elektrochemischen Batteriespeichern ist allerdings höher als bei der Verbrennung von Kraftstoffen, da bei der Verbrennung von Kraftstoffen ein großer Teil der Energie in Abwärme umgewandelt wird (thermischer Wirkungsgrad). Vorteilhaft bei der Kraft-

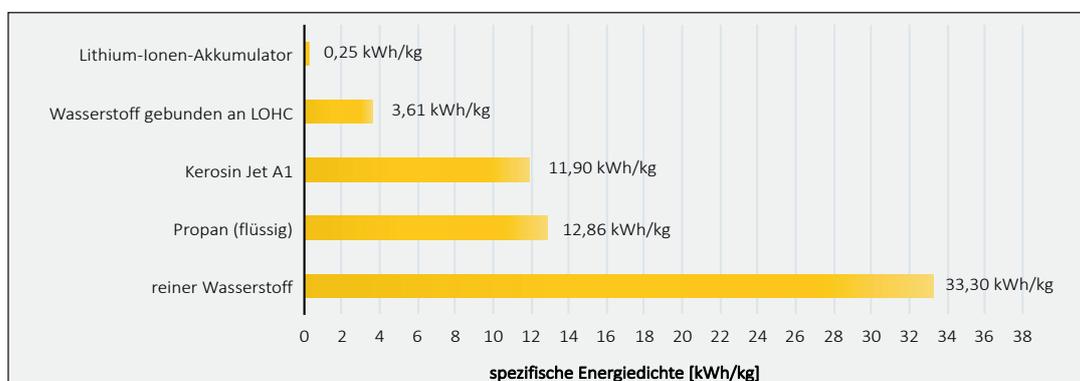


Abbildung 5.4: Spezifische Energiedichte verschiedener Energiespeicher bzw. Energieträger⁴¹

³⁹ Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2017

⁴⁰ Linde Gas GmbH, 2013

⁴¹ Datenquellen: Lithium-Ionen-Akku Porsche Consulting, 2018, Propangas VITOGAZ Switzerland AG, Kerosin Jet A1 Marquard & Bahls AG, reiner Wasserstoff Linde Gas GmbH, 2013, LOHC-gebundener Wasserstoff Niermann et al., 2019

stoffverbrennung ist wiederum, dass während einer Kraftstoffverbrennung das Gewicht des Luftfahrzeuges kontinuierlich abnimmt. Während des Flugs wird Kerosin verbraucht, sodass die Gesamtmasse kontinuierlich sinkt. Dieser Effekt bewirkt eine positive Rückkopplung, weil durch den Kerosinverbrauch der tatsächliche Kerosinverbrauch über die Flugdauer abnimmt. Beim rein über Batterietechnologie angetriebenen Multikopter bleibt das Abfluggewicht über die Flugdauer hingegen konstant, was energetisch einen Nachteil auf Kosten der Reichweite darstellt. Außerdem kann beim Batteriekonzept nicht der Vorteil eines variablen Treibstoffgewichtes genutzt werden, da auch für kurze Flugstrecken das volle Abfluggewicht einzukalkulieren ist. Beim Energieträger Treibstoff kann hingegen eine variable Teilbetankung vorgenommen werden, z. B. für Kurzstrecken, bei warmem Wetter oder um höhere Nutzlasten zu erreichen. Das Verhältnis des Leergewichtes (OEW) zum maximalen Abfluggewicht (MTOW) liegt beim VoloCity bei ca. 78 % (Angaben Volocopter⁴²). Um einen Vergleichswert zu erhalten, muss zum Leergewicht eines Hubschraubers – am Beispiel einer BK117 D2 – eine 400 kg schwere Tankfüllung addiert werden (Annahme für Flüge in Performance Class 1). So betrachtet beträgt das Verhältnis „Leer-

gewicht mit 400 kg Treibstoff“ zum maximalen Abfluggewicht (MTOW) ca. 61%. Es wird hierdurch deutlich, dass der Multikopter aufgrund seiner schweren Batteriesysteme über eine geringere Nutzlast verfügt, weshalb das Thema einer leichten und zugleich effizienten Energiespeicherung – gerade beim Einsatz im Luftrettungsdienst – zentrale Relevanz besitzt.

Beim Einsatz von Lithium-Ionen-Akkueinheiten ist im Betriebskonzept zudem das spezifische Handling zu beachten. Die Einheiten müssen in ihrer Masse und ihren Maßen einer handhabbaren Größe entsprechen, sodass sie nach einem Einsatz schnell ausgetauscht werden können. Der Austausch darf hierbei nicht länger dauern, als dies beim Wiederherstellen der Einsatzbereitschaft bei bestehenden Systemen der Fall ist (z. B. Betankung eines Hubschraubers bzw. NEF). Hierbei sind die grundlegenden Arbeitsvorschriften für Lasten und deren Handhabung (entsprechend der Lastenhandhabungsverordnung) zu beachten, denn die Masse der Batteriesysteme kann leicht mehrere hundert Kilogramm betragen. Entsprechende Hebe- bzw. Transfervorrichtungen sind in der Multikopterstation vorzusehen (z. B. könnte dies in der Endausbaustufe durch einen einfachen Roboterarm automatisch erfolgen).

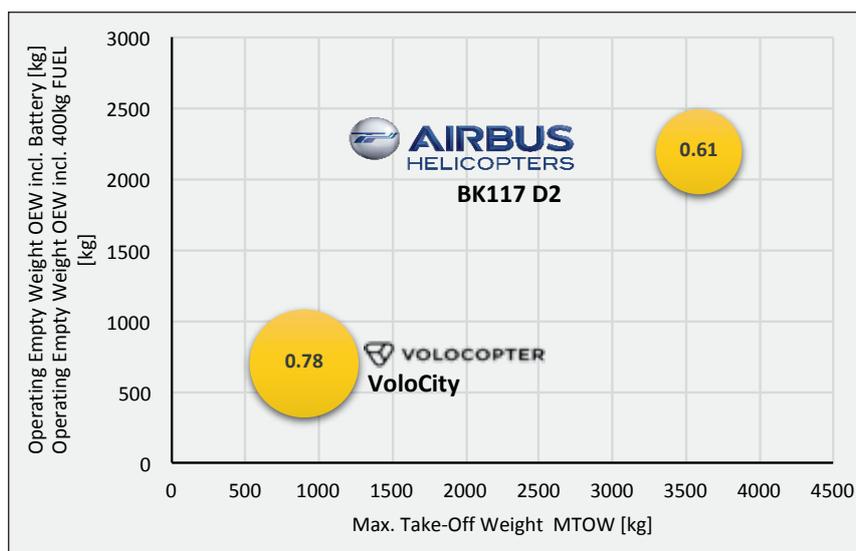


Abbildung 5.5: Verhältnis des OEW zum MTOW am Beispiel VoloCity (Volocopter GmbH) und BK117 D2/H145 (nach Airbus Helicopters)

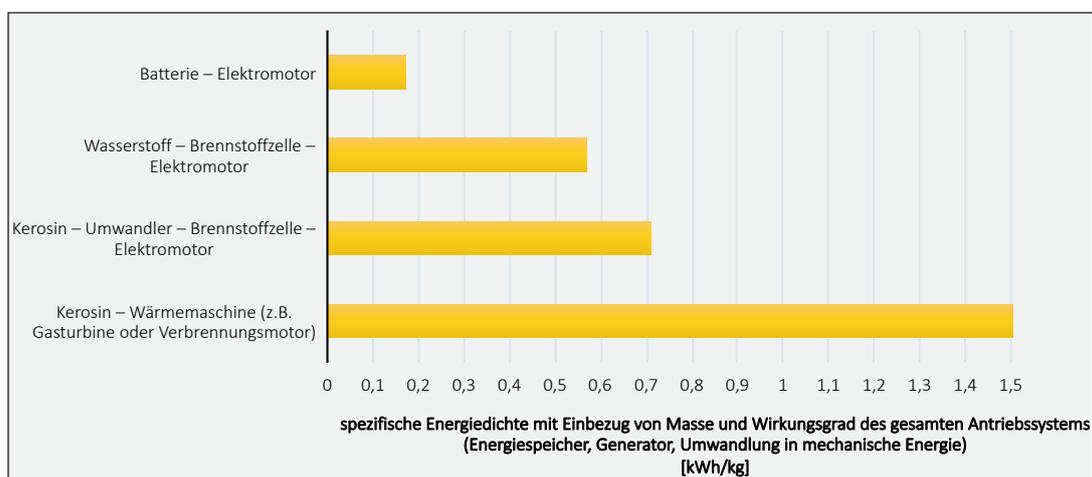


Abbildung 5.6: Spezifische Energiedichte der Energieträger Batteriechemie, Wasserstoff und Kerosin unter Einbezug des gesamten Antriebssystems (eigene Darstellung, Datenbasis: DLR⁴³)

⁴² Volocopter GmbH, 2019

⁴³ Hepperle, 2012

Für den Betrieb im Multikopter ist in naher Zukunft ein Einsatz von Lithium-Ionen-Akkus als realistisch zu bewerten. Diese Konzepte lassen derzeit jedoch mit bestehenden Akkutechnologien nur begrenzte Reichweiten zu, welche hinter treibstoffbasierten Systemen zurückbleiben.

Um höhere Reichweiten für Multikopter für den Rettungsdienst-Einsatz zu erreichen, muss auf ein effizienteres Energieversorgungskonzept zurückgegriffen werden. Hierzu ist eine Steigerung der Energiedichte der Energiespeicher notwendig – bei gleichem oder besserem Wirkungsgrad bestehender Energieversorgungen. Dies kann zum einen durch technische Fortschritte in der Akku-Technologie erfolgen oder zum anderen durch den zukünftigen Einsatz geeigneter Hybridkonzepte (vgl. Abbildung 5.6).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Frage der Energieversorgung eine zentrale Bedeutung für einen Einsatz im Rettungsdienst zukommt. Sofern über einen mittelfristigen Zeithorizont betrachtet die Energiedichte von Batteriespeichern nicht deutlich zunehmen wird, kommen für den Einsatz im Rettungsdienst nur solche Systeme in Frage, die auf eine hybride Technologie zurückgreifen. Hierfür existieren bereits vielfache Ansätze (z. B. Bell Nexus 6HX⁴⁴ oder Moog/Workhorse SureFly⁴⁵). Zudem findet im Bereich elektrischer (Klein-)Turbinen/Generatoren für Luftfahrzeuge aktuell ein großer Entwicklungsschub statt. Namhafte Hersteller, z. B. Safran⁴⁶, Rolls Royce⁴⁷, Honeywell⁴⁸ und weitere, arbeiten an solchen Lösungen, um sie in zeitnaher Zukunft marktreif in Multikoptern zum Einsatz bringen zu können. Für den Einsatz im Multikopter als Notarztzubringer sollte weiterführend untersucht werden, inwiefern unter hybrider Verwendung elektrischer (Klein-)Turbinen/Generatoren die erforderlichen Flugleistungsklassen sichergestellt werden können.

5.1.6 Wartung und Instandsetzung

5.1.6.1 Vor-/Nachteile gegenüber konventionellen Hubschraubern

Multikopter unterscheiden sich von Hubschraubern technisch in vielerlei Aspekten. Hervorzuheben ist hier insbesondere die Antriebsart, aber auch der Grad der Automatisierung der Flug-

steuerung. Bei der Wartung und Instandsetzung von Multikoptern sind diese Besonderheiten umfassend zu beachten. Während bei einem Hubschrauber sehr viele mechanische Bauteile gewartet werden müssen, tritt bei Multikoptern v. a. die Wartung elektrischer und elektronischer Bauteile bzw. der Software (z. B. Regelungssoftware) in den Vordergrund. Um die Besonderheiten zu beleuchten, sollen daher im ersten Schritt der Betrachtung die Unterschiede bei der Wartung und Instandsetzung von Hubschraubern und Multikoptern herausgearbeitet werden, um im Anschluss Anforderungen abzuleiten, die wiederum einer Bewertung unterzogen werden (vgl. Tabelle 5.1).

Komplexität der technischen Lösung. Grundsätzlich ist die Komplexität der technischen Lösung bei Multirotorkonfigurationen gering. Die dynamischen Baugruppen beschränken sich auf Propeller und deren elektrischen Direktantrieb. Es werden kaum mechanisch aufwändige Baugruppen verwendet. Getriebe, Freilauf, Kupplungen, zyklische Blattverstellungen – wie sie beim Hubschrauber benötigt werden – entfallen. Ein Hubschrauber mit nur einem Hauptrotor benötigt zudem einen Heckrotor zum Ausgleich des Drehmomentes, das aufgrund des Drehimpulses des Hauptrotors entsteht. Ein Drehmoment-Ausgleich ist beim Multikopter nicht notwendig, da die Propeller gegenläufig angeordnet sind. Vor dem Hinblick der Wartung und Instandsetzung ist diese Einfachheit ein essenzieller Vorteil. Zudem können die Baugruppen in der Regel modular gewechselt werden (z. B. einzelne Elektromotoren), was zusätzlich Wartungsaufwände minimiert. Aufgrund des geringen Umfangs der mechanischen Baugruppen können Verbrauchsstoffe (Schmiermittel, Kühlmittel) eingespart und so der Wartungsaufwand zusätzlich verringert werden. Die Hersteller von Multikoptern zielen sogar darauf ab, bestimmte Baugruppen im Plug-and-Play-Verfahren modular austauschbar zu machen. Dies könnte dazu führen, dass Piloten bestimmte Bauteile in Zukunft selbst auf der Station austauschen können – bei einem Hubschrauber dürfen dies Piloten aktuell nur in sehr begrenztem Maße. Ein solches modulares Verfahren könnte die Verfügbarkeit eines Multikopters gegenüber einem Hubschrauber deutlich erhöhen.

	 sehr vorteilhaft	 vorteilhaft	 neutral	 unvorteilhaft	 sehr unvorteilhaft
Kriterium	Hubschrauber		Multikopter		
Komplexität der technischen Lösung					
Personalanforderungen					
Gesamtgewicht					
Wartungsaufwand pro Flugstunde					
Lebensdauer					
Monitoring					
Kosten					
Kompatibilität der Line-Maintenance					

Tabelle 5.1: Vergleich Hubschrauber und Multikopter bezüglich Wartungs- und Instandsetzungskriterien

⁴⁴ Werwitzke, 2019

⁴⁵ Warwick, 2017

⁴⁶ SAFRAN Group, 2018

⁴⁷ Gubisch, 2019

⁴⁸ Siebenmark, 2019

Bei der Umsetzung alternativer Energieversorgungskonzepte – wie in Kapitel 5.1.5 beschrieben – sind diese Aussagen etwas zu relativieren. Ein Hybridkonzept mit Turbine und elektrischem Generator weist mehr mechanische Bauteile auf als ein reines Konzept über Batterien. Es ist anzunehmen, dass ein Hybridkonzept daher zu einem etwas höheren Wartungsaufwand führt.

Personalanforderungen. Grundsätzlich ist von einer Verlagerung der allgemeinen personellen Anforderungen im Instandhaltungsbetrieb im Vergleich zu einer Hubschrauberwartung auszugehen. Der Multikopter enthält weniger mechanische Baugruppen, bei denen eine besondere Wartungsexpertise benötigt wird. Als Beispiel kann die Wartung eines Triebwerkes eines Hubschraubers angeführt werden, welche komplexe Wartungsprozeduren und somit entsprechendes speziell ausgebildetes Personal erfordert.

Wenn an einem Luftfahrzeug Instandhaltungstätigkeiten durchgeführt werden, kann die Freigabe dieser Arbeiten in der Regel nur durch lizenziertes Personal durchgeführt werden. Das „Certifying Staff“ bzw. das freigabeberechtigte Personal ist nach EASA Part-66 geregelt. Diese Regelungen sind grundsätzlich auf alle Wartungsorganisationen nach Part-145 anwendbar. Die folgenden Lizenzierungen des Certifying Staff sind gültig⁴⁹:

- Kategorie A
- Kategorie B1/B2/B3
- Kategorie C

Die Freigabe kann nicht ausschließlich durch das Certifying Staff durchgeführt werden, auch der Instandhaltungsbetrieb muss über entsprechende Genehmigungen verfügen. Für die aufgeführten Kategorien existieren Unterkategorien, die Tätigkeiten auf bestimmte Luftfahrzeugtypen nach Triebwerkstyp unterscheiden.

Die Wartungslizenz EASA Part-66 (Aircraft Maintenance Licence, AML) liefert für Certifying Staff derzeit nur unzureichende Informationen, die die Personalanforderungen an (elektrisch betriebene) Multikopter definieren. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein bereits geschultes und zertifiziertes Certifying Staff für Multikopter umgeschult werden muss und ggf. neue Lizenzierungen eingeführt werden. Diese Schulungsaufgaben sind in der Regel an eine MTO (Maintenance Training Organisation) angegliedert, welche entsprechende Luftfahrzeugmusterlehrgänge anbietet. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die Anforderungen an das Wartungspersonal hinsichtlich zunehmender elektronischer Wartung steigen werden. Dies umfasst das Erkennen und Auslesen von Fehlern, die Instandhaltung von elektronischen Bauteilen sowie Hochleistungsenergiespeichern und die Wartung im Bereich Verkabelung und Mechatronik.

Gesamtgewicht. Als Kriterium für die Instandhaltung ist das Gewicht des Multikopters als vorteilhaft zu bewerten. Das geringe Gesamtgewicht des Luftfahrzeuges ermöglicht ein flexibles Umsetzen und Transferieren am Boden. Auch bezogen auf die Einzelteile besitzen die Bauteile bzw. Baugruppen, die wartungsanfällig sind, geringe Gewichte. Hierzu zählen die Propeller, die elektrischen Antriebe und sonstige Anbauteile. Für die Instandhaltung dieser Baugruppen wird dies als vorteilhaft bewertet. Die Strukturbauteile des Multikopters sind ebenfalls leicht und ohne

aufwändige Hangar-Infrastruktur, wie z. B. Kräne oder andere Hebezeuge, wechselbar. Aufgrund der elektrischen Antriebstechnologie sind modulare Wechselmechanismen zu erwarten.

Wartungsaufwand pro Flugstunde. Der Gesamtwartungsaufwand wird aufgrund der niedrigen Komplexität des Systems als gering eingeschätzt. Während ein Hubschrauber über Getriebe, Gasturbine, Heckrotor und verstellbare Rotorblätter verfügt, existieren im Multikopter vergleichsweise wenige mechanische Baugruppen. Generell wird für einen Hubschrauber von einem Wartungsaufwand von 4 bis 5 Stunden pro Flugstunde ausgegangen (Erfahrungswerte ADAC Luftrettung). Dies bedeutet, dass der Hubschrauber für eine Stunde Flug letztlich 4 bis 5 Stunden gewartet werden muss. Für einen Multikopter sind 0,5 Wartungsstunden pro Flugstunde (Angaben Volocopter GmbH) zugrunde zu legen. Dies führt zu einem um den Faktor 10 geringeren Wartungsaufwand.

Lebensdauer. Lithium-Ionen-Batteriesysteme weisen aufgrund von Verschleiß und Abnutzung sowie Leistungsverlusten eine Lebensdauer von ca. 700–800 Ladezyklen, zukünftige Entwicklungen lassen auch 1.000–1.200 Ladezyklen⁵⁰ erwarten. Ein Ladezyklus ist dabei als vollständige Aufladung und Entladung zu verstehen. Für elektrische Propellerantriebe geben unterschiedliche Hersteller eine Lebensdauer von ca. 5.000–10.000 Betriebsstunden an. Die Gesamtstruktur des Volocopters wird größtenteils in Faserverbundbauweise hergestellt. Bei Faserverbundbauweisen kommt es zu einer Feuchtigkeitsaufnahme der Matrix, des Verbundharzes der Fasern. Bei diesem durch Diffusion begünstigten Effekt wird die Struktur auf längere Sicht geschwächt und ist dann nicht mehr zum Flugbetrieb geeignet. Üblicherweise wird hierbei eine Lebensdauer von ca. 10 Jahren für die Gesamtstruktur veranschlagt. In der Luftfahrt bildet die Lebensdauer der Struktur auch ein Kriterium für die Gesamtlebensdauer des Luftfahrzeuges, da eine Instandsetzung der Primärstruktur sehr aufwändig ist. Die zu erwartende Lebensdauer ist daher geringer als bei einem Hubschrauber.

Monitoring. Sowohl im Hubschrauber als auch im Multikopter lassen sich Monitoringsysteme einfach umsetzen. Da ein Multikopter eine vollständige Fly-by-Wire-Architektur besitzt (bzw. am Beispiel Volocopter Fly-by-Light), liegen alle Sensordaten, technischen Fehler- und Ereignismeldungen sowie Daten zum Flugzustand im Flight-Computer jederzeit vor. Es ist technisch wenig aufwändig, diese Daten mit einer digitalen Datenübertragung an ein sog. Health and User Monitoring System (HUMS) zu senden. Aufgrund der elektrischen Infrastruktur ist jedoch die Schadensanalyse komplexer als bei einem Hubschrauber. Beim Hubschrauber lassen sich unter anderem an mechanischen Bauteilen aufgrund von Vibration, Temperatur, Drehzahl und Drehmoment der Turbinen und vielen weiteren Zustandsdaten Fehlerquellen entdecken. Dies muss beim Multikopter größtenteils softwareseitig geschehen. Hierfür geben Elektromotoren bauartbedingt Zustandsdaten aus (Zusammenhang von Spannung, Strom, elektrischem Feld mit Drehzahl und Moment). Weiterführend birgt der Multikopter aufgrund seiner umfangreichen Regelungstechnik auch Potenzial für Fehler bzw. Systemausfälle aufgrund fehlerhafter Eingangssignale in der Regelstrecke. Diese können unter anderem durch fehlerhafte Sensorik

⁴⁹ Luftfahrt-Bundesamt – Referat T2 – Sachgebiet T22 – Technisches Personal, 2017

⁵⁰ Dipl.-Ing. Univ. Keil, 2017

induziert werden. Resultierend lässt sich das Monitoring beim Multikopter einfacher und umfangreicher als beim Hubschrauber umsetzen. Dies bringt hohes Potenzial für Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben mit sich.

Kosten. Die Anschaffungs- und Ersatzteilkosten für einen Multikopter sind (im Verhältnis zu einem Hubschrauber) als gering zu erwarten. Durch geplante hohe Produktionszahlen werden die Produktionskosten und damit die Anschaffungs- und Bauteilkosten sinken. Zusätzlich lässt die Einfachheit der technischen Umsetzung deutlich weniger Fehlerquellen zu, für die Wartungs- und Reparaturaufwand entstehen könnte.

Kompatibilität der Line-Maintenance. Grundsätzlich ist Multikoptern aufgrund der geringen Komplexität der Baugruppen eine hohe Kompatibilität zur Line-Maintenance zuzuschreiben. Im Vergleich zum Hubschrauber ist der Großteil der Ersatzteile beim Multikopter eher klein und leicht. Dies ermöglicht agile Prozesse hinsichtlich Logistik und Lagerhaltung und ermöglicht damit eine hohe Verfügbarkeit vor Ort.

5.1.6.2 Anforderungen an den Hersteller des Multikopters

Zu jedem Luftfahrzeug muss eine hinreichende Dokumentation geliefert werden, damit Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben nach allen Richtlinien und im Rahmen der Gesetzgebung durchgeführt werden können. Um dies sicherzustellen, müssen die folgenden Dokumente bereitgestellt und regelmäßig revidiert sowie für jede Konfiguration des Luftfahrzeuges angepasst werden. Sie dienen für einen Operator wie die ADAC Luftrettung als Grundlage, um die Lufttüchtigkeit des Luftfahrzeugs sicherzustellen. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass eine mangelhafte oder lückenhafte Dokumentation Probleme bei der Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit des Luftfahrzeugs bereitet bzw. lange Standzeiten und Wartungsintervalle zur Folge hat. Dies kann insbesondere bei im Rettungsdienst betriebenen Luftfahrzeugen deutlich negative Folgen haben. Daher ist eine lückenlose und stichhaltige Dokumentation wichtig, damit wiederum ein effizienter Betrieb des Luftfahrzeuges sichergestellt ist. Die folgend beschriebenen Dokumente entsprechen den AIRBUS-Bezeichnungen und können bei anderen Herstellern (z.B. Volocopter) mitunter abweichen. Um einen Multikopterbetrieb im Rettungsdienst starten zu können, müssen diese Dokumente dem Betreiber vollständig vorliegen.

- **Master Servicing Manual (MSM).** Im Master Servicing Manual (MSM) werden grundlegende Wartungsaufgaben definiert. Dies umfasst alle Überprüfungen sowie alle Wechsel und Einstellungen, die durchgeführt werden müssen. Im MSM werden unter anderem die Time Change Item (TCI) und die Time Between Overhaul (TBO) festgelegt. Für Bauteile, welche mit TCI gelistet sind, besteht aufgrund ihrer Materialermüdung eine fest definierte Lebensdauer. Sobald diese Lebensdauer erreicht ist, kann keine Lufttüchtigkeit des Luftfahrzeuges mehr bestätigt werden. Das Bauteil muss zwingend gewechselt und darf nicht weiterverwendet werden. Ebenfalls sind im MSM die TBOs definiert, die angeben, welche Zeit ein Bauteil im Luftfahrzeug in Betrieb sein darf, bis ein Ausbau, eine Wartung und eine Überholung des Bauteils notwendig werden.

- **Aircraft Maintenance Manual (AMM).** Im Aircraft Maintenance Manual (AMM) sind alle Wartungsarbeiten, Überprüfungen, Wechsel und Einstellungen aufgeführt, die auf der Plattform oder in der Wartungshalle durchgeführt werden.

- **Illustrated Parts Catalogue (IPC).** Der Illustrated Parts Catalogue (IPC) ist eine Aufführung aller Geräte, Bauteile, Verbindungselemente, Leitungen, Kabel, Dichtungen sowie Schrauben und Nieten inklusive sämtlicher Part-Nummern. Dieser Katalog ist wichtig für eine effiziente Ersatzteilbeschaffung und lückenlose Dokumentation im Wartungs- und Instandhaltungsbetrieb und ein wichtiges Zusatzdokument zum AMM, welches als autoritäres Dokument dem IPC übergeordnet ist.

- **Structural Repair Manual (SRM).** Das Structural Repair Manual (SRM) beschreibt alle Reparaturen an Strukturbauteilen. Darin sind die anwendbaren Reparaturverfahren und damit einhergehende und durchzuführende Inspektionsmethoden beschrieben.

- **Flight Manual (FLM).** Das Flight Manual (FLM) ist ein zentrales Dokument, das mit der Lufttüchtigkeit verbunden ist. In diesem werden Beschränkungen definiert, innerhalb welcher das Luftfahrzeug sicher (nach ICAO, International Civil Aviation Organization) betrieben werden kann. Die Anweisungen und Informationen beziehen sich auf Beschränkungen, die vom Hersteller im Flugversuch getestet werden müssen und von den Besatzungsmitgliedern daher als Richtlinien für Notverfahren und Standardflugmanöver zu beachten sind.

- **Minimum Equipment List (MEL).** Die Minimum Equipment List (MEL) ist als zentrales Dokument vor allem für die Piloten relevant. Die Auflistung enthält Vorgaben, nach denen anhand von Beschreibungen zu Fehlermeldungen entschieden werden kann, ob eine Lufttüchtigkeit (noch) gegeben ist. Je nach Einfluss eines Fehlers kann der MEL entnommen werden, ob der Fehler einen Flug unmöglich macht bzw. in welchem Rahmen ein Flugbetrieb noch erlaubt ist und der Fehler behoben sein muss. Grundsätzlich wird vom Hersteller eine Master Minimum Equipment List (MMEL) geliefert. Der Operator, z.B. die ADAC Luftrettung, erstellt daraus eine eigene MEL.

- **Service Bulletin (SB).** Es gibt verschiedene Arten des Service Bulletins (SB):

- Emergency Alert Service Bulletin
- Alert Service Bulletin
- Mandatory Service Bulletin
- Recommended Service Bulletin
- Optional Service Bulletin

Die Service Bulletins werden vom Hersteller ausgestellt und an den Operator gerichtet, um eine Beschreibung zu liefern, wie vorhandene Sicherheitsrisiken zu beheben sind. Sie umfassen Informationen zu Änderungen am Fluggerät sowie Änderungen zu Verfahren, Bauteilen, Strukturen und Systemen. Die unterschiedliche Relevanz der Bulletins wird mit verschiedenen Klassifizierungen der Bulletins mitgeteilt – hoch relevante und dringende Bulletins innerhalb des Emergency Alert Service Bulletins bis hin zu optionalen oder rein informativen Änderungen innerhalb des Optional Service Bulletins.

Neben den erwähnten Anforderungen an die Dokumentation und allgemeine Organisation der Wartung und Instandsetzung muss auch ein möglichst kosteneffizientes Wartungskonzept anwendbar sein. Hierzu können drei verschiedene Methoden unterschieden werden:

- **SM (Scheduled Maintenance).** Beim Scheduled Maintenance werden geplante Wartungsintervalle für die einzelnen Bauteile festgesetzt. Dies bedeutet, dass vom Hersteller ein festgesetzter Zeitpunkt oder eine festgesetzte Betriebsdauer für die Wartung einzelner Komponenten definiert wird. Der tatsächliche Zustand des Bauteils bleibt hierbei unbeachtet, was zur Folge hat, dass Bauteile teilweise nicht effizient genutzt werden und ggf. selbst wenig verschlissene Bauteile zwingend ersetzt werden müssen. Als Operator besteht das Interesse, diese Wartungsintervalle möglichst auszudehnen bzw. ein On Condition Maintenance anzuwenden.
- **UM (Unscheduled Maintenance).** Unscheduled Maintenance bezeichnet ein Wartungsverfahren, nachdem ein Bauteil einen Fehler bzw. ein Materialversagen aufgewiesen hat. Dieses Verfahren lässt sich meist nur auf Bauteile anwenden, die in der Regel keiner Scheduled Maintenance unterliegen (z. B. Leuchtmittel) und unerwartet ausfallen.
- **OCM (On Condition Maintenance).** Die effizienteste Wartungsmethodik ist das On-Condition-Maintenance-Verfahren. Hierzu wird ein Condition Monitoring benötigt, ein Überwachungssystem, welches das Erreichen der Lebensdauer einer Komponente frühzeitig erkennt. Dies kann bei bewegten Bauteilen anhand von Vibrationen, von Temperaturdaten, Geräusch- und Schallpegeln und weiteren messbaren Monitoringdaten realisiert werden. Das On-Condition-Maintenance-Verfahren sieht eine Wartung erst dann vor, wenn das On Condition Monitoring eine Wartung für notwendig detektiert. Die Bauteile werden hierbei bis ans Ende der Lebensdauer verwendet, was einen äußerst effizienten Betrieb des Luftfahrzeuges ermöglicht. Diese Wartungs- und Instandhaltungsmethode ist v. a. von Seiten des Operators wünschenswert.

5.1.6.3 Anforderungen an das Luftfahrzeug

Zur Überwachung des Zustands des Luftfahrzeugs müssen geeignete Monitoring-Systeme zur Verfügung stehen, welche sowohl im Flug als auch am Boden aktiv sind und die notwendigen Datenströme liefern. Die grundsätzliche Administration dieser Systeme liegt in der Zuständigkeit des Herstellers. Es müssen jedoch zwangsläufig Schnittstellen zur Einsicht und Überwachung dieser Monitoringdaten vorgesehen und ermöglicht werden. Ein User Monitoring System (UMS) soll im Flug und am Boden per LTE-Verbindung Zugriff erlauben, um die UMS-Daten abzurufen. Diese Daten umfassen beispielsweise:

- aktuelle Position und Zeitpunkt der Position im globalen Navigations satellitensystem (GNSS)
- Beschleunigungswerte in allen Achsen
- Geschwindigkeit als Indicated Air Speed (IAS)
- Geschwindigkeit über Grund

- Höhe über Grund
- Höhe über Meeresspiegel
- Winkel der Raumlage
- Batterieladelevel
- Temperatur
- technisches Logbuch über alle Ereignisse/Fehlermeldungen

Ein Health and Usage Monitoring System (HUMS) wird benötigt, wenn ein On-Condition-Wartungskonzept angewandt wird. Bei einem On-Condition-Konzept müssen besonders belastete Bauteile (Propeller, Lager, Elektromotoren, Verschleißteile) je nach Inspektionsergebnis gewartet werden. Die Inspektionsintervalle müssen hierzu von der zuständigen CAMO-Abteilung (Continuous Airworthiness Management Organization) festgelegt bzw. nach Herstellerangaben durchgeführt werden. Eine Wartung wird beim On-Condition-Ansatz erst bei Eintreten eines nicht akzeptablen Zustandes des Bauteils veranlasst. Neben den Erkenntnissen aus den visuellen bzw. NDT-Inspektionen (Non Destructive Testing) dienen zusätzlich die UMS-Daten zur Beurteilung des Zustandes der Baugruppen.

5.1.6.4 Anforderungen an den Wartungsbetrieb

Das Maintenance-System für Luftfahrzeuge umfasst Konzepte für Line- und Base-Maintenance-Maßnahmen.

Line-Maintenance. Nach EASA Part-145 umfasst das Line-Maintenance sämtliche Wartungsaufgaben, die vor einem Flug notwendig sind, um sicherzustellen, dass das Flugzeug für den beabsichtigten Flug geeignet ist. Dies umfasst grundsätzliches Troubleshooting, einen Walkaround, sogenannte Z-Checks, Komponentenwechsel mit Test von externem Testequipment falls notwendig und eine einfache visuelle Inspektion, um offensichtliche Fehler zu erkennen. Diese Inspektion kann eine Inspektion der innenliegenden Struktur sowie der Systeme und Antriebskomponenten umfassen, welche durch Wartungsklappen und Tore zu erreichen sind. Es können kleine Reparaturen durchgeführt werden, die keine aufwändige Demontage von Baugruppen erfordern und grundsätzlich einfach durchgeführt werden können. Die Wartungsintervalle des Line-Maintenance sind sehr kurz: Der Walkaround und Sichtprüfungen finden vor jedem Flug statt, Z-Checks und Service-Checks in täglichen bis maximal wöchentlichen Intervallen. A-Checks und B-Checks finden in der Regel nach einer bestimmten Anzahl an Flugstunden statt.

Base-Maintenance. Alle Arbeiten, die nicht innerhalb des Line-Maintenance durchgeführt werden können, fallen unter die Klassifizierung des Base-Maintenance. Sie werden in der Regel bei einer Maintenance and Repair Organisation (MRO) durchgeführt. Die ADAC Luftrettung greift auf eigene Betriebsstätten der ADAC Luftfahrt Technik GmbH (ALT) zurück. Für einen Multikopterbetrieb ist die Zulassung dieser Betriebsstätten für MRO-Aufgaben an Multikoptern vorzusehen.

5.1.6.5 Bewertung der Anforderungen an den Hersteller, das Luftfahrzeug und den Wartungsbetrieb

Die Bereitstellung der vorher beschriebenen Unterlagen und der UMS-Technik ist Aufgabe des Herstellers des Multikopters. Jeder Betreiber eines Luftfahrzeugs muss entweder einen eigenen wartungstechnischen Betrieb (EASA Part-145) vorhalten oder sich diese Dienstleistung bei einem anderen Unternehmen einkaufen. Für die Durchführung von Wartungsarbeiten gelten strenge Vorgaben. Diese werden sich zwar inhaltlich, aber nicht dem Grunde nach von bestehenden Vorgaben und Prozessen unterscheiden. Jeder Operator, der bisher in seiner Flotte Luftfahrzeuge betrieben hat, ist in der Lage, die Lufttüchtigkeit von Multikoptern aufrechtzuerhalten. Insofern bestehen bezüglich der Themen Wartung und Instandsetzung keine spezifischen Herausforderungen.

Bezogen auf die Themen der Wartung und Instandsetzung sollte von Anfang an eine enge Verknüpfung des Operators mit dem Hersteller bestehen – vor allem da das Luftfahrzeug eine neue Entwicklung am Markt und der Produkt-Lebenszyklus somit noch jung ist. Es wird eine hohe Änderungsrate in den ersten Jahren der Marktreife des neuen Luftfahrzeuges geben. Daher sollte im Rahmen von Reliability Boards auf Erfahrungen und notwendige Anpassungen am Luftfahrzeug eingegangen werden. Bei diesen Reliability Boards muss der Operator sowie der Hersteller vertreten sein. Die Reliability Boards können dabei direkt auf die Zuverlässigkeit des Luftfahrzeuges in nachhaltiger Weise einwirken und so den kontinuierlichen Verbesserungsprozess sowohl beim Operator als auch beim Hersteller sicherstellen.

Neben den Reliability Boards sind Reviews bzw. Rückmeldesysteme vorzusehen, um die aufkommenden Wartungen im Bereich Unscheduled Maintenance an den Hersteller im Rahmen des Life Cycle Cost Managements zu kommunizieren. Hierzu muss die Unscheduled Maintenance ausgewertet werden, um eine verlässliche Supply Chain sicherzustellen. Es muss sichergestellt werden, dass die Ersatzteile über die Supply Chain zeitnah zugestellt werden können. Hierzu muss der Hersteller eine hinreichende Lagerhaltung der Ersatzteile vorsehen, welche hinsichtlich der Unscheduled-Maintenance-Auswertungen ausgelegt ist.

5.1.7 Ersatzgestellung/Sicherstellung der Einsatzbereitschaft

5.1.7.1 Anforderungen

Der Multikopter als Einsatzressource im Rettungsdienst muss eine hohe Verfügbarkeit aufweisen. Daher muss im Rahmen der Planung und Prozessgestaltung der Ersatzgestellung eine möglichst lückenlose Sicherstellung der Einsatzbereitschaft berücksichtigt werden. Die aktuellen Verträge im Luftrettungsdienst sehen in der Regel nur ein äußerst geringes Zeitfenster (z. B. 3 Stunden) bis zur Wiederherstellung der Einsatzbereitschaft nach einem ungeplanten Ausfall vor. Dies führt dazu, dass jeder Operator für eine zügige Wiederherstellung der Einsatzbereitschaft bei ungeplanten Ausfällen sowohl über eine Sofortbereitschaft von Wartungsteams als auch über eine ausreichend große Ersatzgeräteflotte verfügen muss.

Sollte die Flugfähigkeit des Multikopters nicht mehr gegeben sein – beispielsweise durch einen technischen Defekt oder eine unklare Lufttüchtigkeit – so muss das Luftfahrzeug vom (letzten)

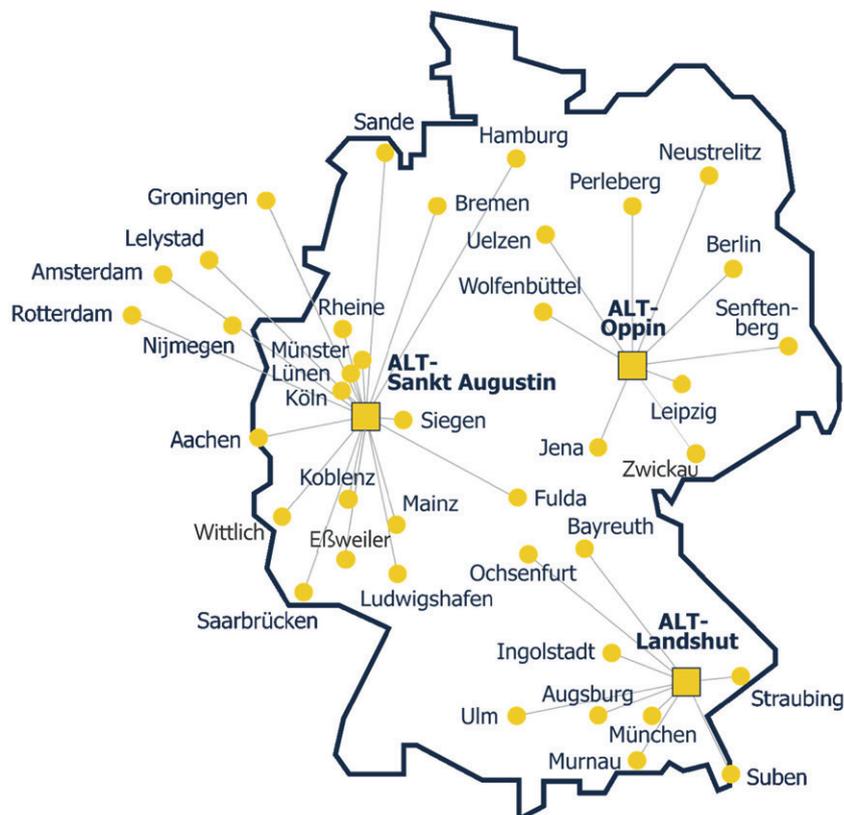


Abbildung 5.7: Standorte der ADAC Luftfahrt Technik GmbH

Landeplatz zurückgebracht werden. Dies könnte durch das geringe Gewicht eines Multikopters sehr einfach durch einen bodengebundenen Transport erfolgen. Hierzu muss jedoch die Maximalbreite für Straßentransporte beachtet werden, was v. a. für die Propellerbaugruppe von Relevanz sein dürfte. Die Ausmaße der Propellerbaugruppe müssten mechanisch verringert werden können, z. B. durch Einklappen oder Demontage. Diese Modularität sollte am Luftfahrzeug vorgesehen werden.

Für eine zügige Durchführung von Wartungs- und Reparaturarbeiten ist ein ausreichendes Netz an Werftstandorten nötig. So sind – beispielhaft – die derzeitigen Wartungsstandorte der ADAC Luftfahrt Technik GmbH an drei Standorten in Deutschland angesiedelt: Halle-Oppin, Landshut und Sankt Augustin-Hangelar (vgl. Abbildung 5.7).

Für die Zukunft muss berücksichtigt werden, dass die Anzahl der Wartungsstandorte mit der flächendeckenden Ausbreitung von Multikoptern zunehmen muss. Es ist zu erwarten, dass zukünftig eine deutlich größere Anzahl an Multikoptern (im Vergleich zur Anzahl der heute betriebenen Hubschrauber) zugelassen ist, welche regelmäßig gewartet und instand gesetzt werden müssen. Hierzu muss die Anzahl an Wartungsdocks und damit die Anzahl an Werften deutlich anwachsen.

5.1.7.2 Bewertung

Etablierte und bewährte Prozesse für die Bereitstellung von Ersatzgeräten sind bereits im Luftrettungsdienst vorhanden. Diese können auf den Betrieb von Multikoptern im Wesentlichen übertragen werden. Wesentliche Unterschiede zum Betrieb von Hubschraubern bestehen nicht. Straßentransporte von Hubschraubern finden in notwendigen Fällen bereits heute statt. Aufgrund der geringeren Ausmaße von Multikoptern dürften solche Transporte im Vergleich eher einfacher durchzuführen sein.

Eine wesentliche Fragestellung, die sich aus heutiger Erkenntnis noch nicht beantworten lässt, ist der Gesichtspunkt der Ersatzquote. Diese gibt das Verhältnis zwischen in Betrieb befindlichen Geräten (Stationsmaschinen im Rettungsdienst) und nicht in Betrieb befindlichen Geräten (Ersatzgeräte und Geräte in Wartung) an. Die Ersatzquote bei Rettungshubschraubern beträgt in der Regel 3:1. Dies bedeutet, dass rechnerisch für drei Stationen ein Ersatzhubschrauber als Backup zur Verfügung steht. Die Ersatzquote für einen Multikoptereinsatz dürfte nach heutiger Erkenntnis geringer sein. Dies liegt zum einen daran, dass aufgrund einer geringeren Anzahl an mechanischen Teilen längere Wartungsintervalle zu erwarten sind und damit die Uptime auf der Station höher ausfällt. Zugleich dürften die Wartungsmaßnahmen selbst im Vergleich zu einem Hubschrauber weniger intensiv ausfallen, sodass in Wartung bzw. Reparatur befindliche Geräte relativ schnell wieder für den Rettungsdiensteinsatz zur Verfügung stehen werden. In welchem Verhältnis Ersatzgeräte vorgehalten werden müssen, wird sich erst im Pilotbetrieb valide festlegen lassen. Für den Ansatz zur Betrachtung der Gesamtkosten wird in Kapitel 9.1.2 eine Ersatzquote von 1:5 angenommen.

5.2 Infrastruktur

5.2.1 Stationsinfrastruktur

Im bestehenden Rettungsdienstsystem sind die Besatzungen auf Luftrettungsstationen bzw. Rettungswachen stationiert. Im Falle eines Alarms wird von dort ausgerückt. Nach dem Einsatz kehren die Besatzungen auf die Wachen zurück. Die vorzuhaltende Infrastruktur muss zwei Funktionen erfüllen: Zum einen dient sie der Vorhaltung, Lagerung und Aufbereitung des notwendigen Materials (Fahrzeuge, Medizingeräte, Verbrauchsmaterial), zum anderen dient sie als Unterkunft für die Besatzungen. Die Funktion und damit die Konzeption einer Multikopter-Rettungswache werden sich nicht zu sehr von bestehenden Konzepten unterscheiden. Allerdings sind spezifische Anforderungen (z. B. energietechnische Versorgung und luftrechtliche Vorgaben) zu beachten.

5.2.1.1 Anforderungen

Die Konzeption und Ausstattung einer Multikopterstation muss sich am Personal- und Einsatzkonzept orientieren. Wie dargelegt soll der Multikopter in Funktion eines Notarzt-Zubringers fungieren. Er ist besetzt mit einem Piloten und einem Notarzt. Er erfüllt keine Transportfunktion. Daher ist die medizinische Ausstattung weniger umfangreich als z. B. in einem Rettungstransportwagen oder einem Rettungstransporthubschrauber. Für eine komplette Bedarfsabdeckung müssen die Multikopterstationen so konzipiert sein, dass ein 24-Stunden-Betrieb möglich ist. Dies hat insbesondere Auswirkungen auf die Räumlichkeiten, die laut luftrechtlichen Vorgaben vorgeschrieben sind (z. B. Ruheräume). Daneben müssen technische, ergonomische wie auch gesetzliche Vorgaben für Arbeitsstätten berücksichtigt werden. In jedem Fall müssen die folgenden Einheiten vorgesehen werden:

- Büro für 2 Personen
- Aufenthaltsräumlichkeiten und Küche für 2 Personen
- WCs und Umkleiden, separiert nach Damen und Herren mit je 8 Spinden
- 2 Ruheräume mit Nasszelle (WC und Dusche)
- Hygiene-Raum mit Waschmaschine und Trockner (zur Aufbereitung von Medizinprodukten und Wäsche)
- Medizinisches Lager
- Technisches Lager
- Hangar mit Landeplattform
- Landeplatz (FATO)
- Energieversorgungseinheit (z. B. Lade-Container, Notstrom-Versorgung, ggf. Betankungsanlage bei Hybrid-Betrieb)

Insbesondere der Punkt „Energieversorgungseinheit“ unterscheidet eine Multikopterstation von einer Luftrettungsstation. Hubschrauber werden mit Kerosin betankt. Für die Betankung mit Kerosin wird eine Tankanlage inkl. flüssigkeitsdichter Fläche benötigt. Multikopter dagegen sind, wie an anderer Stelle bereits ausführlich erläutert, grundsätzlich elektrisch angetrieben. Jedoch lässt sich die Energieversorgung für diesen elektrischen Antrieb über verschiedene Energiespeicherkonzepte realisieren. Da aus heutiger Perspektive noch nicht abschätzbar ist, bis wann vollelektrische Antriebe über Batteriespeicher möglich sind, werden mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Beginn hybride

Konzepte zur Erreichung der nötigen Reichweite für den Einsatz im Rettungsdienst Anwendung finden. Für die Stationsinfrastruktur bedeutet dies, dass – zumindest in den Anfangsjahren nach der Implementierung von Multikoptern im Rettungsdienst – zwei Energieversorgungssysteme vorhanden sein müssen: zum einen Lademöglichkeiten für Großakkus und zum anderen Tankstellen für flüssige bzw. gasförmige Energieträger wie Kerosin oder Wasserstoff. Doch auch selbst nach Realisierung eines voll-elektrischen Antriebs über Batterien wird eine alternative Backup-Lösung (z.B. Notstrom-Aggregat mit ausreichend großem Tankvolumen für den Fall eines Stromausfalles) zur jederzeitigen Sicherstellung des Rettungsdienstes notwendig bleiben. Weitere Ausführungen zur energietechnischen Versorgung finden sich in Kapitel 5.2.2.

5.2.1.2 Bewertung

Für die Umsetzung der genannten Anforderungen und Räumlichkeiten gibt es unterschiedliche Ansätze, welche alle grundlegend als machbar zu benennen sind. Alle diese Konzepte kommen bereits im Luftrettungsdienst zur Anwendung und müssen daher nur adaptiert werden.

Im Folgenden werden die Vor- und Nachteile möglicher Infrastruktur-Modelle bewertet. Die Beurteilung rührt aus der Erfahrung der ADAC Luftrettung bezüglich Hubschrauber-Stationen im HEMS-Betrieb.

Grundlegend werden drei mögliche Ansätze unterschieden: Anbau an bestehende (rettungsdienstliche) Strukturen, Containerstationen und Festbaustationen.

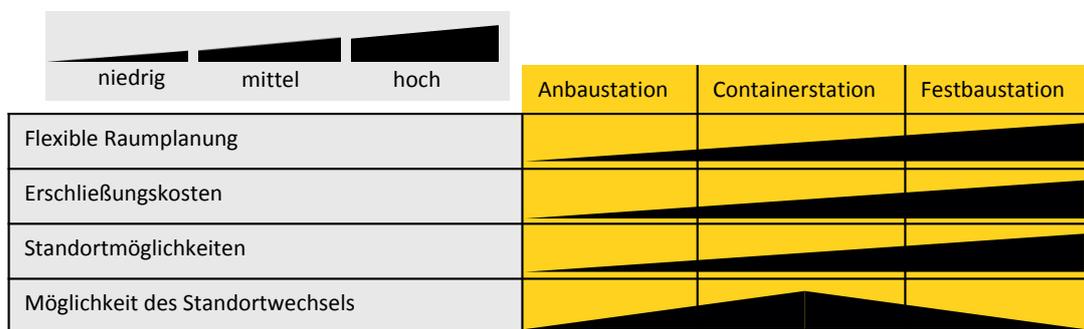


Abbildung 5.8: Vergleich der verschiedenen Ausbau-Möglichkeiten einer Multikopterstation

Anbau an bestehende Strukturen. Diese Variante ermöglicht eine kostengünstige Umsetzung, da auf bereits bestehende Strukturen (z. B. Feuerwachen, Rettungswachen, Krankenhäuser) zurückgegriffen werden kann. Insbesondere bereits bestehende Notarztstandorte könnten ergänzt und zu Multikopter-Standorten umgewandelt werden. Der Nachteil dieser Lösung liegt in zu erwartenden aufwändigen Genehmigungsverfahren, da der Landeplatz bzw. die FATO meist in bebautem Gelände liegen wird. Neuanlagen von Landeplätzen unterliegen strengen Restriktionen des Luftraums, des Lärmschutzes und des Umweltschutzes. Die Anzahl der möglichen Standorte ist daher als eingeschränkt zu bewerten. Außerdem ist die Planungsflexibilität bei diesen bestehenden Strukturen eingeschränkt, da die vorhandenen bauphysikalischen und räumlichen Rahmenbedingungen beachtet werden müssen. Die Räumlichkeiten lassen sich daher meist nicht individuell planen bzw. nur geringfügig anpassen. Eine solche Lösung bietet sich am ehesten dort an, wo sich bestehende Strukturen am Rande oder außerhalb bebauten Gebiets befinden bzw. wo bereits genehmigte Landeplätze vorhanden sind (v. a. Krankenhäuser).

Die zu erwartenden Errichtungskosten für eine Anbaulösung betragen zwischen 1,35 und 1,6 Mio. €. Ortsindividuelle Kosten für den Erwerb und die Erschließung eines nötigen Grundstücks sowie Kosten für Genehmigungen bzw. die Umsetzung von Genehmigungsaufgaben sind hierbei nicht enthalten und müssen noch hinzugerechnet werden.



Abbildung 5.9: Beispiel einer Multikopterstation als Erweiterung bestehender Strukturen (Vorderansicht/Gesamtsicht)



Abbildung 5.10: Beispiel einer Multikopterstation als Erweiterung bestehender Strukturen (Vorderansicht/Detailsicht)



Abbildung 5.11: Beispiel einer Multikopterstation als Erweiterung bestehender Strukturen (Grundriss)

Containerstationen. Containerlösungen sind grundsätzlich sehr flexible Lösungen. Containerbauten können umgezogen oder modular erweitert bzw. verändert werden. Es bedarf lediglich einer geeigneten Fundamentierung und eines Medienanschlusses (Wasser, Abwasser, Strom, Telekom). Gerade in den Anfangsjahren des Einsatzes von Multikoptern im Rettungsdienst können flexible Bauten dazu beitragen, das System sehr flexibel gestaltbar zu machen. Sollte sich z. B. herausstellen, dass eine Anpassung der Größe von Einsatzgebieten nötig ist, lässt sich dies durch eine Verlagerung des Containerbaus schnell und kostengünstig realisieren. Da Container in Modulbauweise ausgewählt und errichtet werden, ist allerdings die Raumplanung eingeschränkt. Sie ist abhängig von den Container-Maßen und den verfügbaren Modulen. Die Nutzungsdauer einer Containerstation ist außerdem geringer als bei einem Festbau. Trotz der Flexibilität sind auch für die Umsetzung von Containerbauten Genehmigungsverfahren (baurechtlich, luftrechtlich, umweltrechtlich) zu durchlaufen. Sofern die Containeranlage nicht an bestehende flugbetriebliche Strukturen (z. B. Landeplätze an Krankenhäusern, Flugplätze) angedockt werden kann, ist ein eigener Landeplatz nötig.

Die zu erwartenden Errichtungskosten für eine Containerlösung betragen zwischen 700.000 und 850.000 €. Ortsindividuelle Kosten für den Erwerb und die Erschließung eines nötigen Grundstücks sowie Kosten für Genehmigungen bzw. die Umsetzung von Genehmigungsauflagen sind hierbei nicht enthalten und müssen noch hinzugerechnet werden.



Abbildung 5.12: Beispiel einer Containerstation als flexible Lösung einer Multikopterstation (Vorderansicht)



Abbildung 5.13: Beispiel einer Containerstation als flexible Lösung einer Multikopterstation (Rückansicht)



Abbildung 5.14: Beispiel einer Containerstation als flexible Lösung einer Multikopterstation (Grundriss)



Freistehende Station bzw. Festbau. Ein Festbau wird inklusive des notwendigen Landeplatzes innerhalb einer zu erschließenden bzw. erschlossenen Freifläche errichtet. Grundsätzlich bietet der Festbau eine sehr lange Nutzungsdauer. Aufgrund des Neubaus kann eine Raumplanung realisiert werden, welche nahezu frei gestaltet werden kann. Ebenfalls ist eine optimale Standortfestlegung in Bezug auf die notwendigerweise einzuleitenden Genehmigungsverfahren möglich. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Station und deren Landeplatz besser geschützt und abgegrenzt werden können als bei den bereits beschriebenen Ansätzen. Die Arbeitsbedingungen für die Besatzungen in einer Festbaulösung sind im Vergleich zu anderen Konzepten als die

besten zu bezeichnen. Von den beschriebenen Konzepten ist hier die Umsetzung jedoch am kostenintensivsten. Die Bauzeit dieser Lösung ist länger, zudem ist der Standort für längere Zeit festgelegt und daher nicht flexibel. Als Variante kann auch eine Festbaulösung an bestehende Landeplatzinfrastrukturen (z. B. an Krankenhäuser oder Flugplätze) angeschlossen werden.

Die zu erwartenden Errichtungskosten für eine Festbaulösung betragen zwischen 1,75 und 2 Mio. €. Ortsindividuelle Kosten für den Erwerb und die Erschließung eines nötigen Grundstücks sowie Kosten für Genehmigungen bzw. die Umsetzung von Genehmigungsauflagen sind hierbei nicht enthalten und müssen noch hinzugerechnet werden.



Abbildung 5.15: Beispiel eines Festbaus als langfristige Lösung einer Multikopterstation (Vorderansicht)



Abbildung 5.16: Beispiel eines Festbaus als langfristige Lösung einer Multikopterstation (Seitenansicht)



Abbildung 5.17: Beispiel eines Festbaus als langfristige Lösung einer Multikopterstation (Grundriss Erdgeschoss)



Abbildung 5.18: Beispiel eines Festbaus als langfristige Lösung einer Multikopterstation (Grundriss Obergeschoss)

5.2.2 Energietechnische Versorgung

5.2.2.1 Anforderungen

Der dauerhafte Betrieb eines Multikopters benötigt eine Vorhaltung mehrerer Batterieeinheiten. Diese müssen nach jeder Mission geladen werden, damit für jeden neuen Einsatz wiederum die maximale Reichweite verfügbar ist. Hierzu muss eine Ladeinfrastruktur vorgesehen werden und ebenso ein intelligentes Batterie-Management-System.

Das Batterie-Management-System hat dafür zu sorgen, dass nach jedem Einsatz des Multikopters, unabhängig von der Dauer des geflogenen Einsatzes, eine vollgeladene Batterie für den nächsten Einsatz zur Verfügung steht. Dies kann mittels intelligenter Anpassung der Ladeleistung realisiert werden. Bei einer Ladung mit hohen Ladeleistungen erreicht man sehr geringe Ladedauern der Akkus. Allerdings nimmt die Lebensdauer der Batterie aufgrund der Wärmeentwicklung und der hohen Beanspruchung bei hohen Ladeleistungen ab. Daher sollte möglichst schonend und mit niedrigen Ladeleistungen geladen werden. Außerdem sollte die Batterie erst kurz vor der nächsten Verwendung auf 100 % der Batteriekapazität aufgeladen und nicht vollgeladen gelagert werden. Das intelligente Ladesystem stellt eine Priorisierung der Akkuladungen auf. Dabei spielen verschiedene Faktoren eine Rolle:

- **Status des Multikopters und resultierende Dringlichkeit eines Akku-Wechsels:** Befindet sich der Multikopter aktuell in einem Einsatz, steigt die Dringlichkeit, damit bei seiner Rückkehr eine vollgeladene Batterie zur Verfügung steht. Eine Informationsübertragung zwischen Fluggerät und Ladestation sollte möglich sein.
- **Tageszeitabhängiges Einsatzaufkommen:** Der Bedarf an Akkukapazitäten ist innerhalb der Tages- und Nachtzeiten verschieden. Nachts ist das Einsatzaufkommen geringer als am Tag. Eine Künstliche Intelligenz kann diese Zusammenhänge bei den Ladezyklen berücksichtigen, um maximale Lebensdauern der Batterien zu erreichen.
- **Zustand der Batterie:** Wird eine Batterie aus dem Multikopter entnommen, welcher kurz zuvor einen Flug absolvierte, muss die Batterie gekühlt werden, bevor sie beim Laden wieder Wärme aufnehmen kann. Neben dem Temperaturzustand müssen auch Wartungszustand und Verschleiß der Batterie bereits beim Laden bzw. bei der Lagerung der Batterie überwacht und der Zeitpunkt einer Wartungs-/Austauschmaßnahme angezeigt werden. Hierzu sollte eine Batterielebenszeitakte angelegt werden, die sämtliche Maßnahmen und Ereignisse zum Zustand der Batterie dokumentiert.

Innerhalb der Stationsinfrastruktur muss für die Batterieladung eine eigene Einrichtung vorgesehen werden. Diese muss für die notwendigen Ladeströme ausgelegt sein. Dies betrifft sowohl die elektrotechnische Leistungsauslegung als auch die Kühlung sowie die Sicherheitseinrichtungen für den Schutz von Mensch und Technik vor Hochspannung. Ein Feuerschutz muss ausreichend sichergestellt sein. Es bietet sich hierzu ein eigener Container an, der mit ausreichend Abstand zum Hangar platziert wird und der über entsprechende Brandschutzeinrichtungen verfügt.

Unter Berücksichtigung einer stetigen Verfügbarkeit des Multikopters muss eine intelligente Strategie für das Aufladen der Akkus umgesetzt werden. Mit den statistischen Werten des Verbrauchs im EMS-Betrieb und einer intelligenten Steuerung der Ladesysteme ist dies umsetzbar. Es muss eine solche ausreichende Anzahl an Akkus auf der Station zur Verfügung stehen, damit sämtliche Missionen bedient und gleichzeitig eine schonende Ladung stattfinden kann.

Am Beispiel des VoloCity wird von einer Notwendigkeit von vier Akkusystemen ausgegangen. Davon befinden sich für Lagerung und Kühlung je drei Einheiten im Ladesystem, eine Einheit ist im Luftfahrzeug in Betrieb. Die Ladeleistungen werden so geregelt, dass stets eine volle Batterie für den darauffolgenden Flug zur Verfügung steht; die Ladeleistungen müssen vor diesem Hintergrund entsprechend geregelt werden. Für das gesamte Ladesystem muss eine ausreichende Starkstromversorgung mit entsprechender Absicherung sichergestellt werden. Auch wenn das Ladesystem die Ladeleistungen für die einzelnen Akkusysteme intelligent regelt, müssen auch Spitzenleistungen abgedeckt werden. Zusätzlich muss aufgrund von Wirkungsgradverlusten von einer etwa 10 % höheren Netzbelastung ausgegangen werden.

Neben der üblichen Netzversorgung können die Ladeströme aus Akkueinheiten gespeist werden, die ihre Lebensdauer im Luftfahrzeug überschritten haben. Diese Energiespeicher könnten innerhalb eines „Second Life Cycle“ Energie (z. B. aus Solarenergie vom Dach der Station bzw. Nachtstrom) speichern und bei Bedarf an die Ladesysteme abgeben.

5.2.2.2 Bewertung

Mit den vorher beschriebenen Maßnahmen lässt sich die Energieversorgung zum Betrieb eines Multikopters im Rettungsdienst managen. Die nötigen Batterie-Management-Systeme befinden sich bereits für den Flugtaxi-Betrieb in der Entwicklung. Diese können für einen Einsatz auf einer Luftrettungsstation adaptiert werden. Die nötigen infrastrukturellen Einrichtungen müssen bei der Planung und beim Bau einer Multikopterstation berücksichtigt werden, stellen jedoch kein Hindernis dar.

Batterie-Management-System:

- Intelligente Anpassung der Ladeleistungen nach Bedarf, Zustand und Benutzungsprofil
- Wartungs- und Zustandsüberwachung
- Kühlung und Lagerhaltung



Abbildung 5.19: Zentrale Funktionen eines intelligenten Batterie-Management-Systems

6 Operationale Machbarkeit

Neben der technischen Machbarkeit, die im vorhergehenden Kapitel evaluiert worden ist, spielt die Frage der operationalen Machbarkeit eine maßgebliche Rolle für den potenziellen Einsatz eines Multikopters im Rettungsdienst. Vor allem aus der Sicht eines EMS-Operators wie der ADAC Luftrettung ergeben sich spezielle Anforderungen, die den Flugbetrieb eines Multikopters betreffen und die sich von einer kommerziellen Flugtaxi-Anwendung teilweise deutlich unterscheiden. Die flugbetrieblichen, personellen und medizinischen Anforderungen werden im folgenden Kapitel beleuchtet. Es wird hierbei sowohl der flugbetriebliche Bedarf hinsichtlich Flugverfahren und Vorhaltestrategien definiert als auch auf Indikationsstellungen, die Einsatzdisposition und die notwendige medizinische Ausstattung eingegangen. Zudem erfolgt eine Betrachtung der Anforderungen an das Einsatzpersonal sowie an das Safety Management.

6.1 Flugverfahren

Für jedes Luftfahrzeug existieren bestimmte Beschränkungen, innerhalb derer ein sicherer Betrieb gewährleistet ist. Diesen Betriebsbereich muss der Hersteller des Multikopters in Flugversuchen definieren, testen und nachweisen. Im Rahmen dessen werden Flugverfahren festgelegt, welche zu jedem Zeitpunkt des Fluges die größtmögliche Sicherheit garantieren und während sämtlicher Situationen eine Gefährdung der Besatzung minimieren. Im Folgenden werden einige aktuell bestehende und angewendete Flugverfahren im Luftrettungsdienst vereinfacht dargestellt sowie die Anwendbarkeit und Übertragbarkeit dieser Flugverfahren für Multikopter bewertet.

6.1.1 Anforderungen

Grundsätzlich wird für Luftfahrzeuge von Seiten des Herstellers ein Flight Manual bereitgestellt. In diesem sind sämtliche Flugprofile definiert, die im Flugbetrieb einzuhalten und durchzuführen sind. Das Flight Manual gilt daher als Vorgabe für den Piloten, um innerhalb des zugelassenen Betriebsbereiches zu operieren.

Bei Flügen mit EMS-Operation kommen sogenannte CAT-A (Category A)-Flugprofile zur Anwendung. Diese Flugprofile bieten – unter Einhaltung der Performance Class 1 – die höchstmögliche Sicherheit für eine Hubschrauber-Operation und ermöglichen auch bei Ausfall eines Triebwerks eine sichere Landung oder einen sicheren Weiterflug in den einzelnen Flugmanövern. Im Folgenden wird auf einige standardmäßige, im HEMS-Betrieb nach CAT-A durchgeführte Start- und Landeverfahren eingegangen.

Beim CAT-A-Take-Off wird ein Startprofil verwendet, welches zu jedem Zeitpunkt eine uneingeschränkte Sicht auf die Landezone zulässt. Die uneingeschränkte Sicht ist wichtig, damit bei einem Abbruch des Startverfahrens direkt und mit vollem Situationsbewusstsein zur Landestelle zurückgekehrt werden kann, ohne dass der Landeplatz gesondert inspiziert werden muss. Bei Bedarf ist so jederzeit eine Rückkehr zur Landestelle möglich. In Abbildung 6.1 ist das Flugprofil schematisch dargestellt, das nach CAT-A rückwärts – mit Blickrichtung zur Landestelle – abgeflogen wird (Rearward Take-Off). Sobald der sogenannte Take-Off Decision Point (TDP) erreicht ist, gilt das Startverfahren als beendet und der generelle Reiseflug beginnt mit den Steigraten und horizontalen Geschwindigkeiten, die durch das Flight Manual zugelassen sind. Der Take-Off Decision Point liegt abhängig vom Typ des Hubschraubers bei ca. 40 m über der Landefläche. Die Höhe ist typspezifisch, weil die Höhenverluste bei einem technischen Defekt bzw. Triebwerksausfall je nach Hubschrauber variieren.

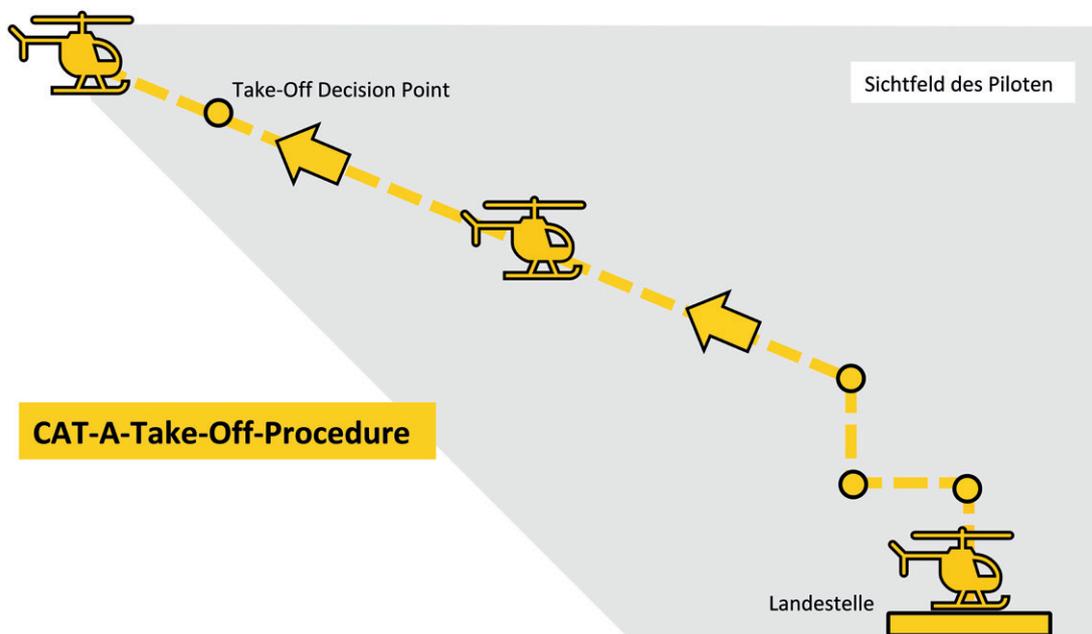


Abbildung 6.1: Startprofil eines CAT-A-Verfahrens

Analog zur CAT-A-Take-Off-Procedure wird auch bei der CAT-A-Landing-Procedure (vgl. Abbildung 6.2) ein entsprechendes CAT-A-Landeverfahren angewendet. Hierbei wird, ähnlich dem TDP, ein Landing Decision Point (LDP) festgelegt. Wird der LDP beim Landeanflug passiert, entscheidet man sich auf Basis der zur Verfügung stehenden Triebwerksleistung entweder für eine Landung oder für ein Durchstarten. Beim CAT-A-Flugprofil wird die Landestelle frontal in einem bestimmten Winkel angefliegen, sodass die Landezone jederzeit im Sichtfeld des Piloten liegt. Die Höhe und der Abstand des LDP zur Landestelle ist – wie auch der TDP – im Flight Manual des jeweiligen Hubschraubers vorgeschrieben. Fällt beispielsweise ein Triebwerk vor Erreichen des LDP aus, so sieht die Prozedur einen Abbruch des Landeverfahrens, ein Aufnehmen von Geschwindigkeit durch Sinkflug und ein Durchstarten vor. Fällt das Triebwerk jedoch nach Passieren des LDP aus, so wird die Landung nach Prozedurvorgaben durchgeführt oder es wird wie im Handbuch beschrieben durchgestartet.

6.1.2 Bewertung

Grundsätzlich ist anzunehmen, dass entsprechende Normalverfahren und Notverfahren – vergleichbar den CAT-A-Verfahren – für Multikopter verfügbar sein müssen und im Flight Manual definiert werden. Diese Verfahren werden zum aktuellen Stand durch die Hersteller noch erarbeitet und werden ggf. anders aussehen, jedoch vergleichbar sicher sein.

Multikopter besitzen durch die Vielzahl an Propellern ein Redundanzprinzip in ihrem Antriebssystem. Redundant sind in der Luftfahrt Systeme, bei denen bei einem Systemausfall ein zusätzliches System die Funktion übernehmen und den Ausfall des Gesamtsystems verhindern kann. Bei einer Multirotor-Konfiguration, wie am Beispiel des „VoloCity“, könnten mehrere Propeller (bzw. deren Antriebe) ausfallen und trotzdem ein Weiterflug und eine sichere Landung gewährleistet bleiben (vgl. Continued Safe Flight and Landing nach EASA SC VTOL).

Dies bedeutet, dass das Antriebssystem des Multikopters so ausgelegt sein muss, dass ein Gesamtausfall und somit ein unmöglicher Weiterflug statistisch nahezu ausgeschlossen ist (vgl. Kapitel 6.6.2). Durch mehrere Triebwerke können Hubschrauber der Kategorie A zwar redundante Antriebssysteme niedriger Ordnung gewährleisten, trotzdem müssen die beschriebenen Leistungsklassen bzw. CAT-A-Kriterien eingehalten werden, um eine sichere Landung bzw. einen sicheren Weiterflug zu gewährleisten. Es ist zu erwarten, dass auch Hersteller von Multikoptern sämtliche Flugverfahren in Flugversuchen mit dem Fluggerät erproben und diese im Flight Manual festschreiben. Denn auch im Multikopter muss dem Piloten ein Notverfahren zur Verfügung stehen, in dem Vorgaben definiert sind, wenn kein Weiterflug möglich und ein Höhenverlust unvermeidbar ist. Diese Vorgaben sind zudem für eine Zertifizierung und Zulassung des Fluggerätes unumgänglich.

Prinzipiell muss eine Multikopter-EMS-Mission unter Einhaltung der typspezifischen Vorgaben erfolgen. Dabei soll die Mission jedoch eine möglichst hohe Geschwindigkeit über Grund (Ground Speed) aufweisen, damit die Flugzeit zum Einsatzort gering ist und der Patient frühestmöglich die qualifizierte Erstversorgung durch den Notarzt erhält. Hierfür sind verschiedene Vorgaben für die unterschiedlichen Phasen der Mission zu beachten. Diese werden im Missionsprofil in Abbildung 6.3 dargestellt und erläutert.

Der **Take-off** sollte wie beschrieben nach einer der Performance Class 1 entsprechenden oder vergleichbaren gültigen Vorgabe ausgeführt werden. Performance Class 1 ist für den HEMS-Betrieb definiert⁵¹. Falls übertragbar, müssen für einen Multikopterbetrieb vergleichbare Vorgaben angewendet werden (vgl. Kap. 7). Aufgrund bestimmter Randbedingungen (Bebauung, thermische Bedingungen o.Ä.) ist eine Operation nach Performance Class 1 nicht immer gegeben. Es ist davon auszugehen, dass in einem solchen Fall auch alternativ in Performance Class 2 (oder nach einer vergleichbaren anwendbaren Vorgabe für Multikopter)

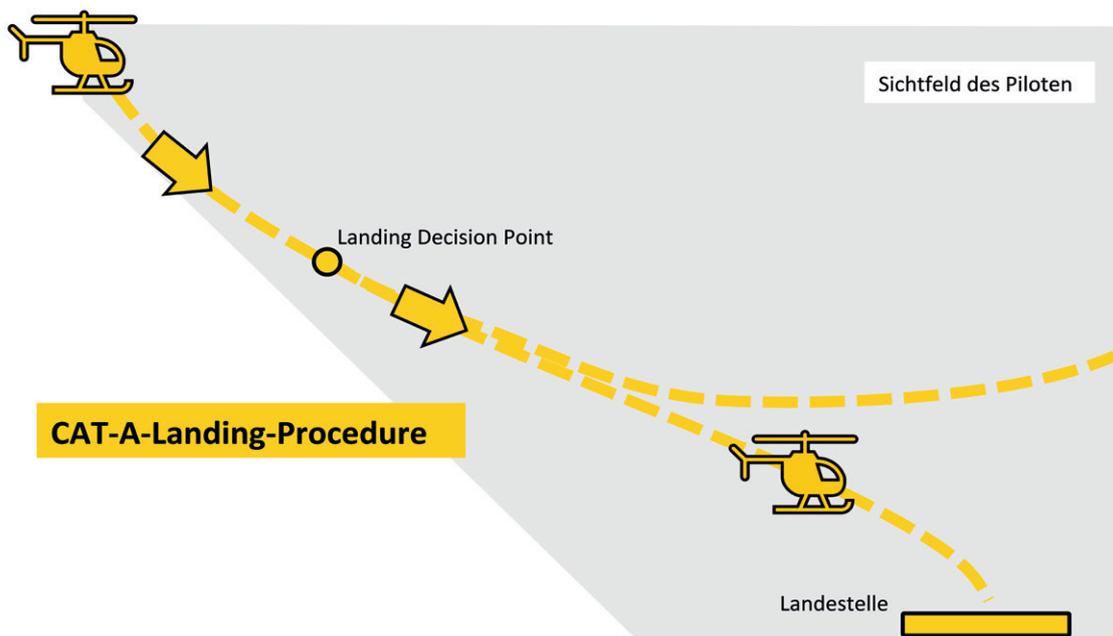


Abbildung 6.2: Landeprofil nach CAT-A-Verfahren

⁵¹ Art. 2 der VERORDNUNG (EU) Nr. 965/2012 DER KOMMISSION vom 5. Oktober 2012

operiert werden darf. Gemäß den aktuellen Vorgaben der Rettungsdienstträger muss der Take-off spätestens 2 min nach Eingang des Alarms erfolgen.

Für die **Climb (Steig-)Phase** sollte der Steigflug mit maximaler Propellerleistung erfolgen, und dies bis zu einer Höhe von 500 – 1.000 ft.

Der **Sinkflug** sollte wiederum bei maximaler Fluggeschwindigkeit erfolgen. Für eine **Landung in unbekanntem** Gebiet, wie es bei EMS-Landungen häufig der Fall ist, ist meist eine Erkundung der Landestelle notwendig. Hierzu wird in 360°-Kreisen um die Landestelle geflogen, damit Hindernisse und Gefahren aus verschiedenen Blickrichtungen beurteilt und die Verhältnisse an der Landestelle richtig eingeschätzt werden können. Nachdem die Crew die Landezone als sicher eingestuft hat, wird möglichst nach einer der Performance Class 1 entsprechenden oder vergleichbaren gültigen Vorgabe gelandet. Hierfür ist eine hohe Agilität des Luftfahrzeuges erforderlich, um kurzfristige Ausweichmanöver und Korrekturen zu ermöglichen. Außerdem sollten die Abmessungen eines Multikopters die von üblichen Rettungshubschraubern (EC 135, BK 117 D2) nicht überschreiten, um die Auswahl der Landemöglichkeiten nicht weiter einzuschränken. Zukünftig sollten dem Piloten auch technische Unterstützungssysteme (z. B. Hinderniserkennungsgeräte wie Lidar, Radar) zur Verfügung stehen, um ihn bei der Landung zu unterstützen.

Es existieren verschiedene mögliche Missionsprofile eines Multikoptereinsatzes. Diese sind in Abbildung 6.4 mit ihrer erwarteten Häufigkeitsverteilung aufgeführt. Das häufigste Missionsprofil ist der Flug von der Multikopterstation zum Einsatzort. Vom Einsatzort aus kann ein Weiterflug zum Zielkrankenhaus des Patienten notwendig werden, falls der Notarzt den Transport bodengebun-

den begleitet und vom Krankenhaus wieder abgeholt werden muss. Andernfalls fliegt der Notarzt wieder direkt zurück zur Multikopterstation. In manchen Fällen sind Folgeeinsätze notwendig. Folgeeinsätze können direkt von der Einsatzstelle oder vom Zielkrankenhaus (nach Wiederaufnahme des Notarztes) aus stattfinden. Eine nähere und ausführlichere Betrachtung der operativen Konzepte ist Teil eines Concept of Operations (ConOps), welches nicht in der vorliegenden Machbarkeitsstudie enthalten ist, aber im Anschluss an diese angefertigt wird.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass sich die Flugverfahren von Multikoptern im Vergleich zu Hubschraubern teilweise unterscheiden werden. Grundsätzlich können aber in Bezugnahme auf die Implementierung von Multikoptern im Rettungsdienst bestehende Verfahren adaptiert werden. Die Durchführung eines sicheren Flugbetriebs im Luftrettungsdienst ist möglich. Die Hersteller der Multikopter sind gefordert, dies durch entsprechende Vorgaben in den Flight Manuals umsetzbar zu machen.

Missionsprofile des Multikopters		nach		
		Einsatzort	Krankenhaus	Multikopterstation
von	Multikopterstation	●●●●	●	●
	Krankenhaus	●●	●	●●●
	Einsatzort	●●	●●●	●●●

●●●●	überwiegend
●●●	oft
●●	gelegentlich
●	sehr selten

Abbildung 6.4: Missionsprofile eines Multikopters im Rettungsdienst

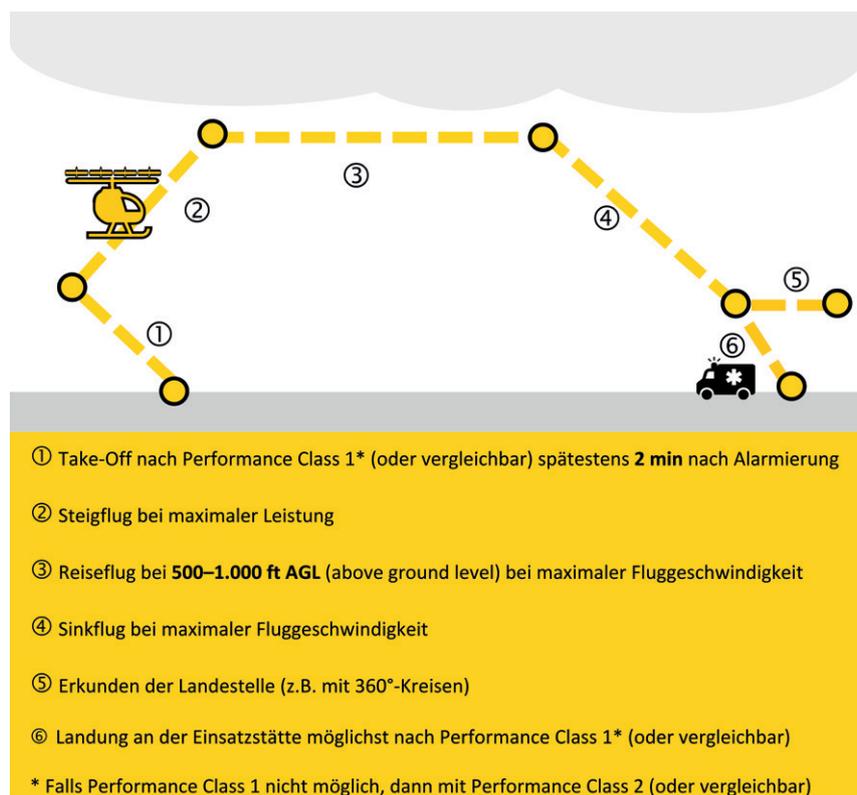


Abbildung 6.3: Schematisches Missionsprofil einer Multikopter-EMS-Mission nach heutigem Planungsstand

6.2 Vorhaltestrategien und Sicherstellung der Verfügbarkeit

Einsatzmittel im Rettungsdienst müssen eine höchstmögliche Verfügbarkeit aufweisen. Daher sind Vorhaltestrategien zu definieren, die eine entsprechend hohe Verfügbarkeit sicherstellen. Im Notfall ist der Patient auf ein sicheres und schnelles Eintreffen des Notarztes angewiesen. Daher werden im Folgenden die Anforderungen an den Multikopter definiert und bewertet, welche die Vorhaltung des Multikopters als Einsatzressource im Rettungsdienst betreffen.

6.2.1 Tag/Nacht

Da der Multikopter als agiler Notarztzubringer Versorgungsbereiche erweitern und die Zeit bis zum Eintreffen des Notarztes verringern soll, muss die Einsatzbereitschaft zu Tages- und Nachtzeiten möglich sein. Aktuell wird im Luftrettungsdienst die überwiegende Anzahl an RTH-Stationen nur tagsüber befliegen. Dies lässt sich ausschließlich als historisch gewachsen begründen. Einsatztaktisch ist dies zu hinterfragen. Beim Neuaufbau eines Multikoptersystems sollten ausschließlich einsatzbezogene Bedarfe von Relevanz sein.

6.2.1.1 Anforderungen

Um den Bedarfen im Rettungsdienst gerecht zu werden, muss ein Multikopter sowohl am Tag als auch in der Nacht betrieben werden können. Je nach regionalen Voraussetzungen kann dies eine Verfügbarkeit des Betriebs von bis zu 24 Stunden bedeuten. Bezogen auf das Luftfahrzeug und das Flugpersonal muss daher eine Nachtflugfähigkeit mit den entsprechenden Unterstützungssystemen (z. B. NVIS, Radar, Lidar o. Ä.), die in Kapitel 5.1.3.2 erwähnt worden sind, gewährleistet werden können.

Grundsätzlich gilt nach der Europäischen Flugbetriebsverordnung⁵² Annex V (Part-SPA) die Tabelle 6.1 für HEMS-Flüge,

welche die minimalen Sichtweiten für VFR-Flüge (Visual Flight Rules) definiert. Dabei werden unterschiedliche Sichtminima für die Flugsicht vorgeschrieben, welche bei Tag und Nacht bei bestimmten Hauptwolkenuntergrenzen (Höhe der deckenden Wolkenschicht) einzuhalten sind. Aktuell wird an Luftrettungsstationen in Deutschland in der Nacht überwiegend mit zwei Piloten geflogen. Teilweise kommen optische Unterstützungssysteme (z. B. Night Vision Goggles) zum Einsatz. Die Tabelle 6.1 gilt daher exemplarisch für die Hubschrauber-Operation mit einem 2-Piloten-Cockpit.

Bei aktuellen Vorhaltesystemen wird nach der Beurteilung des Wetters durch den jeweiligen im Dienst befindlichen Piloten ein Flug abgesagt, sollten die minimalen Bedingungen nicht erfüllt sein. In diesem Fall wird der Hubschrauber in der Leitstelle als nicht verfügbar gekennzeichnet und kann für den Flug nicht ausgewählt werden. Alternative Ressourcen kommen in diesem Fall zum Einsatz.

6.2.1.2 Bewertung

Aktuell bestehen (noch) keine rechtlichen Vorgaben für Sichtweiten für eine Multikopter-Operation im Rettungsdienst bei Nacht bzw. bei schlechtem Wetter entsprechend der SPA.HEMS bei Hubschraubern. Im Vergleich zum Betrieb eines Rettungshubschraubers ist der Betrieb eines Multikopters in der Bauart des VoloCity mit zwei Piloten ausgeschlossen, da lediglich zwei Sitzplätze (Pilot + Passagier) zur Verfügung stehen. Da die Intention der Hersteller von eVTOL langfristig betrachtet in der Durchführung von autonomen Flügen liegt, sind auch andere Multikopterkonzepte nicht auf einen Betrieb mit zwei Piloten ausgelegt. Es ist daher ausschließlich ein Single-Pilot-Betrieb (mit der Unterstützung eines zum TC HEMS fortgebildeten Notarztes) möglich und zu betrachten. Es ist anzunehmen, dass unter Beachtung aktueller rechtlicher Regelungen daher die Vorgaben der SPA.HEMS.120 für ein Single-Pilot-Cockpit anwendbar wären (vgl. Tabelle 6.2).

Cockpit mit 2 Piloten		
Tageszeit	Hauptwolkenuntergrenze*	Minimale Sichtweite
Tag	499–400 ft (152–122 m)	1.000 m
Tag	399–300 ft (121–91 m)	2.000 m
Nacht	1.200 ft (366 m)**	2.500 m

* Entsprechend der Bezeichnung „Ceiling“ nach SPA.HEMS.120
 ** Bezogen auf die Wolkenuntergrenze „Cloud Base“ nach SPA.HEMS.120

Tabelle 6.1: Mindestsichtweiten nach EASA Part SPA.HEMS.120 für ein 2-Piloten-Cockpit

⁵² VERORDNUNG (EU) Nr. 965/2012 DER KOMMISSION vom 5. Oktober 2012

Cockpit mit 1 Piloten		
Tageszeit	Hauptwolkenuntergrenze*	Minimale Sichtweite
Tag	499–400 ft (152–122 m)	2.000 m
Tag	399–300 ft (121–91 m)	3.000 m
Nacht	1.200 ft (366 m)**	3.000 m

* Entsprechend der Bezeichnung „Ceiling“ nach SPA.HEMS.120

** Bezogen auf die Wolkenuntergrenze „Cloud Base“ nach SPA.HEMS.120

Tabelle 6.2: Mindestsichtweiten nach EASA Part SPA.HEMS.120 für ein 1-Piloten-Cockpit

Für den Betrieb von Multikoptern im Rettungsdienst bestehen wie beschrieben gegenwärtig noch keine spezifischen regulatorischen Vorgaben. Es ist unter Betrachtung der aktuellen Rahmenbedingungen im HEMS-Betrieb davon auszugehen, dass im ersten Schritt die Regelungen der EASA OPS Annex V (Part-SPA) in ähnlicher Art und Weise für Multikopter übertragen werden könnten, da dem Piloten dieselben kognitiven Fähigkeiten sowie dieselbe Situational Awareness abverlangt werden. Eine detaillierte Betrachtung der regulatorischen Vorgaben und Zusammenhänge findet im Kapitel 7 statt.

Da ein Betrieb mit zwei Piloten in der Nacht nicht möglich ist, würde dies im Vergleich zur heutigen Situation zu Einschränkungen führen. Vergleicht man die Sichtvorgaben zwischen 2- und 1-Piloten-Cockpit, so fällt auf, dass mit einem 2-Piloten-Cockpit noch bei geringeren Sichtweiten operiert werden kann. Bodengebundene Fahrzeuge unterliegen diesen Vorgaben nicht und haben daher in der Nacht grundsätzlich eine höhere Verfügbarkeit als ein Fluggerät.

Statistisch ist die Nichteinhaltung der Sichtminima eine der zentralen Ursachen für die Abmeldung eines Fluges. In einer Analyse⁵³ ist für Mecklenburg-Vorpommern über einen Beobachtungszeitraum von 3 Jahren eine 92,7%-Einhaltung der geforderten Sichtflugbedingungen nachgewiesen worden. Dabei fallen die Monate November (19,3%), Dezember (15,4%) und Januar (13,5%) mit den häufigsten Nichterfüllungen der Sichtflugbedingungen ins Gewicht (vgl. Abbildung 6.5). Anzumerken ist hier, dass diese Zahlen auf den Sichtflugbedingungen für ein 2-Piloten-Cockpit beruhen.

Nach eigenen Datenerhebungen der ADAC Luftrettung fallen die Ausfallzeiten geringer aus (vgl. Abbildung 6.6). Die dargestellten Einhaltungen beziehen sich auf die deutschlandweiten Flüge im Jahr 2019. Zur Beurteilung der wetterabhängigen Verfügbarkeit ist eine großflächige Datenerhebung wichtig, weil Wetter- und Sichtbedingungen regionale Unterschiede aufweisen können. Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse muss jedoch angemerkt wer-

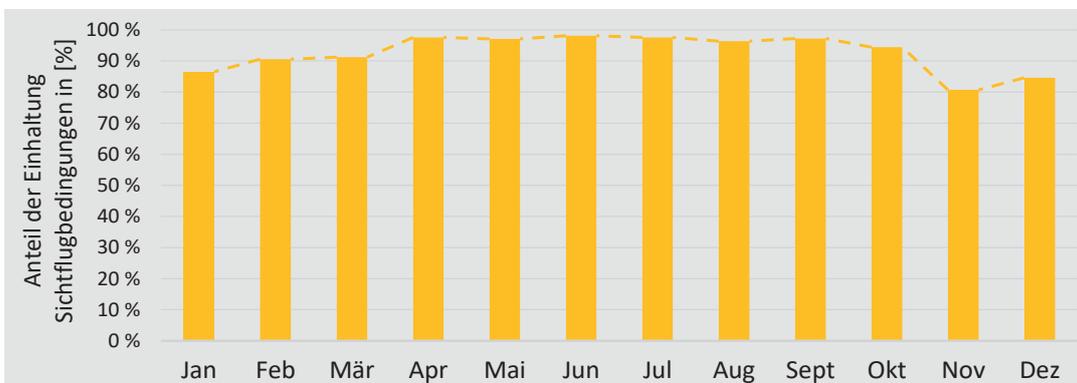


Abbildung 6.5: Einhaltung der Sichtflugbedingungen nach JAR-OPS 3 (2-Piloten-Cockpit) am Beispiel Mecklenburg-Vorpommern über 3 Jahre⁵⁴

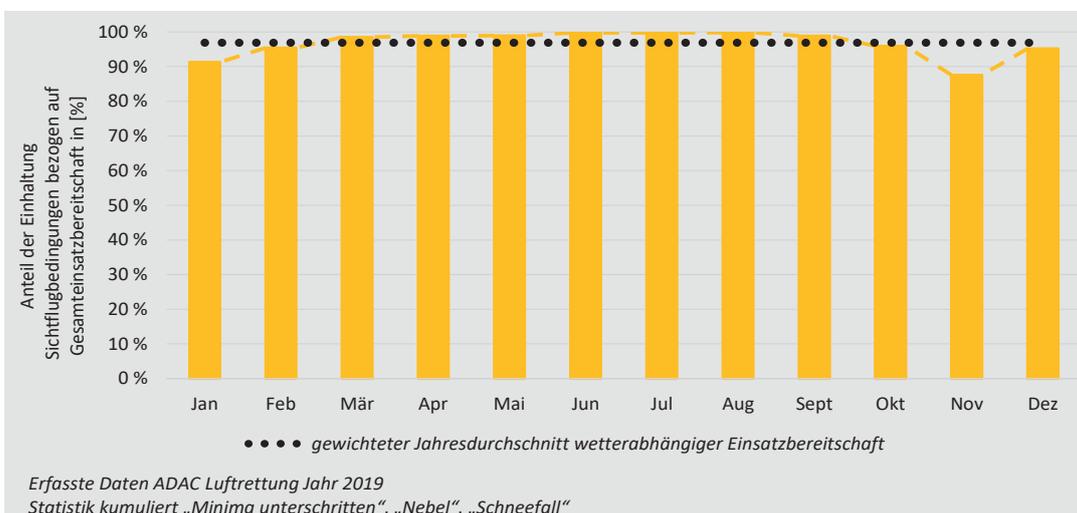


Abbildung 6.6: Einhaltung der Sichtflugbedingungen anhand der erfassten Daten der ADAC Luftrettung für das Jahr 2019

⁵³ PrimAIR-Konsortium, 2016, S. 44

⁵⁴ PrimAIR-Konsortium, 2016

den, dass nicht alle Stationen Nachtflüge absolvieren, aufgrund der hohen Anforderungen an die Minima ist jedoch vor allem die Nachtzeit anfällig für Ausfallzeiten. Die durchschnittliche wetterabhängige Einsatzbereitschaft (d.h. Flugfähigkeit nicht durch Wetter eingeschränkt) lag somit im Jahr 2019 bei 97%.

Um das autonome Fliegen weiter voranzutreiben, wird der Grad der Automatisierung in Multikoptern in den nächsten Jahren weiter deutlich zunehmen. Daher kann eine verbesserte Eignung des Fluggerätes bei niedriger Sichtweite und Schlechtwetter erwartet werden. Durch entsprechende Unterstützungssysteme könnten Flüge durchgeführt werden, die nicht mehr allein von der optischen Wahrnehmungsfähigkeit eines Piloten abhängen. Die Wahrscheinlichkeit ist daher hoch, dass zunächst für einen Multikopterbetrieb im Rettungsdienst dieselben Vorgaben wie für einen aktuellen Hubschrauberbetrieb gelten – diese aber sukzessive verringert werden, was die Verfügbarkeit des Multikopters im Vergleich zu einem Rettungshubschrauber erhöhen könnte.

Trotz abnehmender Einschränkungen wird es beim Einsatz von Multikoptern immer eine Rest-Nichtverfügbarkeit geben. Aus diesem Grunde wird zusätzlich auf einem Multikopter-Standort ein Fahrzeug vorgehalten werden müssen. Die Besatzung kann somit bei nicht ausreichenden Wetter- und Sichtbedingungen auf das bodengebundene Einsatzfahrzeug wechseln. Damit bleibt die Multikopter-Crew auch bei kurzfristiger Änderung der Wetter- und Sichtbedingungen handlungsfähig. Dieses Fahrzeug wird längere Eintreffzeiten haben als der Multikopter. Der sehr geringen Anzahl an möglichen Fällen stehen jedoch die einsatztaktischen Vorteile des Multikopters für die überwiegende Anzahl an Einsätzen gegenüber.

6.2.2 Wetter

Bodengebundene Rettungsmittel sind bis zu einem hohen Grad vom Wetter unabhängig und bieten somit eine sehr geringe Ausfallwahrscheinlichkeit aufgrund schlechter Wetterbedingungen. Bei luftgebundenen Rettungsmitteln ist der Einfluss des Wetters ein Hauptgrund für Abmeldezeiten. In diesem Kapitel wird daher auf die Anforderungen an den Multikopter bezüglich des Flugbetriebes bei vorherrschendem Schlechtwetter eingegangen.

6.2.2.1 Anforderungen

Für den Flugbetrieb existieren – neben den bereits im vorherigen Abschnitt erwähnten Sichteinschränkungen – vor allem drei kritische Wetterbedingungen:

- hohe Windgeschwindigkeiten
- Gewitter mit Blitzschlag
- gefrierender Regen

Hohe Windgeschwindigkeiten sind an sich keine schwerwiegende Einschränkung im bisherigen Hubschrauberbetrieb. In der bereits erwähnten PrimAIR-Studie⁵⁵ wurden Untersuchungen zu windbedingten Einschränkungen vorgenommen. Es stellte sich heraus, dass der Grenzwert von 25,7 m/s an der Referenz-Wetterstation Kap Arkona (Insel Rügen) im Beobachtungszeitraum 2010 bis 2012 lediglich einmal überschritten wurde. Daher kann geschlussfolgert werden, dass Flugabmeldungen aufgrund zu

hoher Windgeschwindigkeiten äußerst selten vorkommen. Der Grenzwert von 25,7 m/s entspricht einem Wert, ab dem für einen Hubschrauber (z. B. EC135, BK117 D2) ein kritischer Bereich überschritten wird. Die Anforderung an einen Multikopter, in denselben Windmaxima operieren zu können, ist daher erstrebenswert.

Unabhängig vom Fluggerät stellen Gewitter mit Blitzschlägen eine Gefahr dar. Gewitter bringen zudem meist ausgeprägte Turbulenzen sowie starken Regen bzw. gefrierenden Regen mit sich, weshalb bei Gewittern ein Flug nicht durchführbar ist. Statistisch sind bei 6 Wetterstationen über 3 Jahre 0,16% Gewitteranteile im Jahr⁵⁶ festgestellt worden. Die Quoten für eine Abmeldung durch Gewitter sind daher ebenfalls als sehr gering zu bezeichnen, weshalb keine spezifische Anforderungsformulierung an den Multikopter hierüber hinaus notwendig ist.

Gefrierender Regen birgt nennenswerte Risiken für alle Luftfahrzeuge. Das sogenannte Icing beschreibt ein Vereisen der aerodynamischen Bauteile, was die aerodynamischen Zustände am Bauteil verändert und die Flugeigenschaften generell verschlechtert. Icing kann ebenfalls zur Verhinderung der Sicht, z. B. durch Vereisen der Scheiben, führen oder sogar die Sensorik in ihrer Funktion verfälschen und zu falschen Rückschlüssen auf den Flugzustand führen. Grundsätzlich kommt das Icing nicht nur bei gefrierendem Regen vor, wird jedoch durch diesen durch anhaftende Wassertropfen verstärkt. In der PrimAIR-Auswertung⁵⁷ wird von 150 Ereignissen mit gefrierendem Regen über einen Beobachtungszeitraum von 3 Jahren an 6 verschiedenen Messstationen berichtet. Damit tritt das Ereignis gefrierender Regen in 0,1% der Tage im Jahr auf⁵⁷. Hubschrauber in den Größen, wie sie üblicherweise im Luftrettungsdienst zum Einsatz kommen (EC135, BK117 D2), verfügen über keine De-Icing-Systeme, da diese üblicherweise ein hohes Gewicht, hohe Zusatzkosten und einen hohen zusätzlichen Energieverbrauch verursachen. Da Multikopter in der Regel kleiner und leichter sind, wird sich eine solche Einrüstung auch nur schwer technisch umsetzen lassen. Nichtsdestotrotz wäre das Vorhandensein einer technischen Möglichkeit zum De-Icing erstrebenswert und würde die Verfügbarkeit des Rettungsmittels weiter erhöhen.

6.2.2.2 Bewertung

Die genannten Wetterbedingungen sind für Hubschrauber im normalen Flugbetrieb hinderlich. Statistische Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass diese meteorologischen Ereignisse sehr selten einen Einfluss auf Hubschrauber-Operationen haben.

Aktuell entwickelte und in Zulassung befindliche Multikopter besitzen in der Regel eine geringere TAS (True Airspeed, Geschwindigkeit relativ zur Luftmasse) als Hubschrauber. Starker Wind entgegen der Flugrichtung wirkt sich daher auf die GS (Ground Speed, Geschwindigkeit relativ zum Boden) bemerkbar aus. Ist die Richtung des Gegenwindes nicht genau frontal zur Flugrichtung, so muss der Multikopter seine Längsachse in die Windrichtung drehen und so einen Winkel zwischen Flugrichtung und Orientierung anstellen, das sogenannte Heading. Dieser Winkel bewirkt eine weitere Verringerung der Geschwindigkeit über Grund. Es kann daher geschlussfolgert werden, dass die Starkwindanfälligkeit aktueller Multikopter insbesondere in starrer

⁵⁵ PrimAIR-Konsortium, 2016

⁵⁶ PrimAIR-Konsortium, 2016, S. 44

Multi-Rotor-Konfiguration als hoch zu bewerten ist. Für den Einsatz im Luftrettungsdienst kommen daher ausschließlich Multi-kopter in Frage, die auch bei Starkwind über eine Geschwindigkeit (GS) von mind. 100 km/h (vgl. Kapitel 4.3.4) verfügen. Der Wert für die erforderliche Fluggeschwindigkeit TAS sollte dementsprechend Starkwindbedingungen und Böen berücksichtigen. Damit sollte die erforderliche Fluggeschwindigkeit (TAS) mind. 150 km/h bis 180 km/h betragen.

Nicht nur die Einwirkung von Kräften aufgrund des Windes während des Flugs sind problematisch für den Betrieb eines Multikopters. Limitierend sind vor allem Seitenwinde, die je nach Typ des Multikopters Start und Landung beeinflussen. Verglichen mit Hubschraubern, bei denen auch bei 50 kn Seitenwind problemlos gestartet werden kann, darf bei manchen Multikoptern ab ca. 20 kn nicht mehr gestartet bzw. gelandet werden. Auch hier sind die Hersteller gefordert, die entsprechende Seitenwindverträglichkeit technisch sicherzustellen.

Die Einschränkung der Flugfähigkeit bei Gewitter ist mit den analysierten 0,16 %⁵⁶ Eintrittswahrscheinlichkeit sehr gering. Allgemein stellen Gewitter keine grundsätzliche Einschränkung der Einsatzbereitschaft des Luftfahrzeuges dar. Abhängig davon, ob einzelne Gewitterzellen existent sind, können diese (mittels Wetterradar oder Wetterbriefing) umflogen werden. Lediglich das mögliche Einsatzgebiet des Multikopters würde sich wetterbedingt (kurzzeitig) einschränken. Bei großen Gewitterlinien dagegen muss die Einsatzbereitschaft im Einzelfall abgemeldet werden. Weil Gewitter meist mit starkem Wind verbunden sind, liegt die Einschränkung jedoch eher bei der Turbulenz- und Windanfälligkeit des Luftfahrzeuges.

Eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit einer Abmeldung der Einsatzbereitschaft kommt bei gefrierendem Niederschlag vor⁵⁷. Um in „Known Icing Condition“ zu fliegen, sind De-Icing-Systeme nötig, die jedoch aufgrund der hohen Masse meist nicht verbaut werden. Aufgrund des seltenen Vorkommens stellt das Icing ebenfalls keine relevante Einschränkung der operationalen Machbarkeit des Multikopters dar.

Ebenfalls aufgrund der hier genannten Gründe muss zusätzlich auf einem Multikopter-Standort ein Fahrzeug vorgehalten werden. Die Besatzung kann somit bei den vorkommenden Schlechtwetterbedingungen auf das bodengebundene Einsatzfahrzeug wechseln. Damit bleibt die Multikopter-Crew auch bei kurzfristiger Änderung der Wetter- und Sichtbedingungen handlungsfähig.

6.3 Medizinische Ausstattung

6.3.1 Anforderungen

Nach dem Bayerischen Rettungsdienstgesetz (BayRDG) umfasst Notfallrettung die notfallmedizinische Versorgung von Notfallpatienten am Notfallort und den Notfalltransport. Notfallpatienten sind Verletzte oder Erkrankte, die sich in Lebensgefahr befinden oder bei denen schwere gesundheitliche Schäden zu befürchten

sind, wenn sie nicht unverzüglich die erforderliche medizinische Versorgung erhalten⁵⁸. Artikel 2 Absatz 3 Satz 2 BayRDG besagt, dass „Notärzte Ärztinnen und Ärzte sind, die über besondere medizinische Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten für die Behandlung und den Transport von Notfallpatienten verfügen (Notarztqualifikation)“. In den Rettungsdienstgesetzen der anderen Bundesländer existieren ähnliche Regelungen.

Die medizinische Ausstattung eines notarztbesetzten Rettungsmittels muss es daher dem Notarzt ermöglichen, seine Aufgaben vorgabengemäß wahrzunehmen. Dazu gehört es, zusammen mit dem nichtärztlichen Rettungsfachpersonal lebenswichtige Funktionen des Patienten wiederherzustellen oder aufrechtzuerhalten, Folgeschäden zu vermeiden sowie die Transportfähigkeit des Patienten für die Überführung in die nächstgelegene und geeignete Weiterversorgungseinheit aufrechtzuerhalten oder wiederherzustellen⁵⁹.

In der Notfallrettung werden bezüglich Notarzt- und Patienten-transport zwei Einsatzmodelle unterschieden:

- **Notarzt und Transportkomponente kombiniert**
Bei diesem Modell wird der Notarzt in Einheit mit der (Patienten-) Transportkomponente zur Einsatzstelle disponiert. Dies ist im sog. Stationssystem bodengebunden der Notarztwagen (NAW) und luftgestützt der Rettungstransporthubschrauber (RTH).
- **Notarzt und Transportkomponente separiert**
Hier werden die Transportkomponente Rettungswagen (RTW) und der Notarzt im sogenannten Rendezvous-System zum Einsatzort entsandt. Der Transport des Notarztes geschieht hierbei mit einem Personenkraftwagen als Notarzteinsatzfahrzeug (NEF).

Von den 16,4 Millionen Einsatzfahrten des öffentlichen Rettungsdienstes, die bundesweit im Zeitraum 2016/17 durchgeführt wurden, entfielen 18 Prozent auf NEFs und nur rund 1 Prozent auf NAW/RTH. Aus diesen Zahlen ergibt sich, dass das Rendezvous-System dem Stationssystem zahlenmäßig – und daraus ableitend auch einsatztaktisch – deutlich überlegen ist⁶⁰. Der Einsatz eines Multikopters auf Basis des Konzepts der vorliegenden Studie soll ebenfalls im Rendezvous-System erfolgen. Hinsichtlich der Anforderungen an die medizinische Ausstattung ist daher das NEF mit seiner medizinischen Ausrüstung (im ersten Schritt) als Referenz anzusetzen. Die Ausstattung eines NEF ist in der DIN 75079 einheitlich geregelt.

6.3.1.1 DIN 75079 (Notarzteinsatzfahrzeug) in Verbindung mit DIN 13232 (Notfallausrüstung)

Die Norm DIN 75079⁶¹ definiert im Kapitel 5.8.2 die medizinische Ausrüstung eines NEF.

Hierbei ist der Inhalt des Notfall-Arztkoffers/-Rucksacks für Erwachsene und für Säuglinge/Kleinkinder von zentraler Bedeutung und wird deshalb in der DIN 13232⁶² separat definiert. Er hat zum Ziel, „[...] dem in der Notfallmedizin tätigen Personal, insbesondere dem Notarzt, eine Grundausrüstung für die Erstversorgung von Notfallpatienten am Notfallort zur Verfügung zu stellen.“ Diese Grundausrüstung wird im Folgenden näher beschrieben.

⁵⁷ PrimAIR-Konsortium, 2016, S. 43

⁵⁸ Bayerisches Rettungsdienstgesetz (BayRDG), Fassung vom 22. Juli 2008

⁵⁹ Bundesärztekammer, (o. J.)

⁶⁰ Schmiedel et al., 2019

⁶¹ DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., 2009

⁶² DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., 2011

Absaugung und Beatmung. Hier werden ein tragbares Absauggerät und ein Oro-Sauger, verschiedene steril verpackte Absaugkatheter, Beatmungsbeutel für Erwachsene, Säuglinge und Kinder samt Bakterienfiltern und PEEP-Ventilen sowie Beatmungsmasken, Guedeltuben und Larynxtuben/-masken aufgeführt.

Intubation. Für die Intubation werden ein Laryngoskop samt Spatel, geblockte wie ungeblockte Endotrachealtuben inklusive Mandrins und Magillzangen genannt.

Diagnostik. Es wird ein Blutdruckmessgerät mit verschiedenen Manschetten, ein Stethoskop, eine Diagnostikleuchte, ein Reflexhammer, ein Blutzuckermessgerät und ein Fieberthermometer gefordert.

Infusionstherapie. Hierunter werden Hautdesinfektionsmittel, eine Staubbinde, verschiedene Venenverweilkanülen, Fixierpflaster, ein intraossäres Punktionsgerät und Vollelektrolytlösung/kolloider Volumenersatz samt Infusionssystemen gelistet.

Verbrauchsmaterial. In diesem Abschnitt werden verschiedene chirurgische Instrumente samt Verbandsmaterial und Heftpflaster, eine Rettungsdecke, sterile und unsterile Handschuhe inklusive Mundschutzmasken (FFP3), verschiedene Spritzen und Kanülen, ein Abwurfbehältnis und eine Thoraxdrainage aufgeführt.

Neben dem Inhalt des Notfall-Arztkoffers/-Rucksacks werden in der DIN 75079 unter anderem folgende weitere notfallmedizinische und technische Ausrüstungsgegenstände gelistet (auf eine komplette Auflistung wird an dieser Stelle verzichtet):

- 1 tragbares Sauerstoffgerät (Sauerstoffflasche 2 l/Fülldruck 200 bar) mit Durchflussmessinstrument und Mengenregelung bis zu einem Höchstwert von mind. 15 l/min
- 1 Sauerstoff-Ersatzflasche (2 l/200 bar)
- 1 Monitor-/Defibrillatoreinheit mit den Funktionen
 - Defibrillator mit Aufzeichnung des Herzrhythmus des Patienten
 - 12-Kanal-Ableitung
 - externer Herzschrittmacher
- 1 Pulsoximeter
- 1 Kapnometer mit Kapnographie
- 1 Beatmungsgerät mit volumen- und druckgesteuerten Beatmungsmodi, Möglichkeit der NIV-Beatmung
- 1 Spritzenpumpe
- 1 elektrisches tragbares Absauggerät
- 1 Digitalkamera zur medizinischen Dokumentation
- Schutzhelme mit Visier
- Feuerwehrschutzhandschuhe
- 1 Handscheinwerfer Ex-100
- Dokumentationssets für den Massenansturm an Verletzten/Erkrankten

Das Gesamtgewicht der in diesen beiden Normen aufgeführten medizinischen Ausrüstungsgegenständen liegt nach den Berechnungen des Deutschen Instituts für Normung bei gerundet 125 kg.

Beim Einsatz eines Fluggerätes im Rettungsdienst – unabhängig davon, ob RTH oder Multikopter – spielt die Gewichtsreduzierung der mitgeführten Ausstattung eine zentrale Rolle. Bereits seit Beginn des Einsatzes von Hubschraubern im Luftrettungsdienst wird die medizinische Ausstattung gewichtsoptimiert geplant und eingesetzt. Aufgrund der geringeren Zuladungskapazitäten eines Multikopters im Vergleich zu einem Hubschrauber muss die Gewichtsoptimierung umso mehr eine Rolle spielen. Hinsichtlich der medizinischen Ausstattung für einen Multikopter existieren noch keine eigenen DIN-/EN-Normen. Die DIN 75079 (NEF) ist aufgrund des hohen resultierenden Ausstattungsgesamtgewichtes nicht in Gänze übertragbar. Für den Einsatz auf einem Multikopter wären diese Vorgaben entsprechend anzupassen, was in den folgenden Abschnitten empfehlungsartig erfolgt.

Neben der medizinischen Ausstattung wird in den DIN-/EN-Normen für Einsatzfahrzeuge des Rettungsdienstes auch die mitzuführende technische Ausstattung definiert. Die technische Ausrüstung der DIN 75079 für Notarzteinsetzfahrzeuge (Gesamtgewicht gerundet 34 kg) kann und muss nicht komplett für den Multikopter übernommen werden – so entfallen zum Beispiel ein Feuerlöscher mit Halterung für PKW (angegebenes Gewicht 10,2 kg) und Gleitschutzketten (angegebenes Gewicht 4 kg). Die persönliche Schutzausrüstung (ohne Helm) ist in der Norm mit einem Gewicht von 15 kg angegeben; hier könnte mit den modernen Textilien eine Gewichtsreduzierung erreicht werden (vgl. folgende Aufzählung).

Folgende Ausrüstungsgegenstände wären ebenfalls auf dem Multikopter zu verlasten: einfache Hilfsmittel zur Unfallrettung, eine erweiterte persönliche Schutzausrüstung für Pilot und Notarzt, ein geeigneter Ex-geschützter Handscheinwerfer und Dokumentationssets für einen Massenansturm an Verletzten/Erkrankten. Im Einzelnen handelt es sich um folgende Positionen, ergänzt um die entsprechende Gewichtsangabe:

- Brechstange, 600 mm lang, kombiniert mit Schneidegerät und Geißfuß nach DIN 75079: Gewicht 2,2 kg
- Sicherheitsgurt-Durchtrenner nach DIN 75079: Gewicht 0,3 kg
- Einsatzhose Warnklasse 3: Gewicht je ca. 0,25 kg
- Einsatzjacke Warnklasse 3: Gewicht je 0,7 kg⁶³
- Einsatzschuhe Sicherheitsstufe 3: Gewicht je 1,850 kg⁶⁴
- Schutzhandschuhe: Gewicht je ca. 0,2 kg
- Handscheinwerfer: Gewicht 1,8 kg⁶⁵
- Dokumentationssets für einen Massenansturm an Verletzten/Erkrankten: Gewicht ca. 2,0 kg

Auf die doppelte Vorhaltung von Helmen – ein Satz für den Flugbetrieb und einer für die Patientenversorgung – kann aus Gründen der Gewichtsreduzierung verzichtet werden. Damit beträgt das Gesamtgewicht der in der DIN 75079 geforderten technischen Ausrüstung, welche ebenfalls im Multikopter mitzuführen wäre, gerundet **12 kg**. Die wesentliche Fragestellung, nämlich welches medizinische Equipment auf dem Multikopter (mindestens) verlastet werden sollte, wird unter Kapitel 6.3.2 dezidiert hergeleitet und ausgeführt.

⁶³ Geilenkothen Fabrik für Schutzkleidung GmbH, (o. J.)

⁶⁴ Geilenkothen Fabrik für Schutzkleidung GmbH, (o. J.)

⁶⁵ R. STAHL Schaltgeräte GmbH, (o. J.)

6.3.1.2 Rettungsdienstfahrzeuge – Krankenkraftwagen (DIN EN 1789)

Laut der bereits zitierten notärztlichen Aufgabenbeschreibung der Bundesärztekammer muss der Notarzt in der Lage sein, „zusammen mit dem nichtärztlichem Rettungsfachpersonal“ einen Patienten zu versorgen. Damit findet die DIN EN 1789⁶⁶ hier ebenfalls Berücksichtigung. Wie bereits beschrieben kommt im Rendezvous-System ebenfalls ein RTW zum Einsatz. Auf die Ausrüstung des RTW kann – und soll – der Notarzt zurückgreifen können.

Der Krankenkraftwagen Typ C (entspricht Rettungstransportwagen/RTW) wird in Zusammenarbeit mit einem auf einem Multikopter zugeführten Notarzt in der Regel die Transportkomponente darstellen und darüber hinaus das Notfallmedizinische Equipment an der Einsatzstelle komplettieren. Im Folgenden werden wichtige Punkte herausgegriffen, welche in den vorangehenden Normen noch nicht aufgeführt wurden, welche jedoch für die Erstversorgung eine wichtige Rolle spielen können:

Ausrüstung zur Ruhigstellung und zum Patiententransport.

Hierunter fallen je ein Satz zur Ruhigstellung der Halswirbelsäule und des Beckens, eine Schaufeltrage, eine Vakuummatratze, ein Tragetuch und ein Spineboard.

Infusionstherapie. Unter diesem Punkt ist eine Ausrüstung zum Verabreichen einer Druckinfusion gelistet.

Ausrüstung zur Behandlung lebensbedrohlicher Probleme.

Es sind ein Perfusor, ein zentraler Venenkatheter, ein Notgeburt-Satz sowie ein Notfall- und Transportventilator auf einem Krankenkraftwagen Typ C vorzuhalten.

6.3.2 Bewertung

Durch die Einsatzmitteldisposition im Rendezvous-System treffen ärztliches und nichtärztliches Rettungsfachpersonal (RTW) in der Regel nicht gleichzeitig am Einsatzort ein. Dabei sind folgende Szenarien vorstellbar:

- I. Ein Rettungswagen trifft am Notfallort ein und fordert aufgrund einer vorliegenden Notarztindikation einen Notarzt (NEF oder Multikopter) nach.
- II. Rettungswagen und Notarzt (NEF oder Multikopter) werden parallel entsandt. Der RTW trifft als erstes Rettungsmittel an der Einsatzstelle ein.
- III. Rettungswagen und Notarzt (NEF oder Multikopter) werden parallel entsandt. Das NEF/der Multikopter trifft als erstes Rettungsmittel an der Einsatzstelle ein.

Während in den Szenarien I und II mit dem Eintreffen des Notarztes an der Einsatzstelle ein Maximum an materieller Ressource bereits durch den RTW zur Verfügung steht, kann der Notarzt im Einsatzszenarium III zunächst nur auf das (selbst) mitgeführte Material zurückgreifen. Aufgrund der vorher bereits beschriebenen Notwendigkeit der Gewichtsreduktion beim Einsatz von Fluggeräten im Rettungsdienst ist beim Einsatz von Multikoptern

zu prüfen und sicherzustellen, dass die gewichtsinduzierte Einschränkung keine negativen Auswirkungen auf die Patientenversorgung hat.

Der VoloCity, welcher in vorliegender Studie als Referenzobjekt genutzt wird, verfügt über eine Nutzlast von 200 kg⁶⁷. Diese setzt sich (auf Basis des vorliegenden Nutzungszwecks) zusammen aus dem Gesamtgewicht von Pilot, Notarzt und medizinischer/technischer Ausrüstung. Daraus ergibt sich zwangsläufig, dass die in den Normen DIN 75079 und DIN 13232 aufgeführte Ausrüstung mit einem Eigengewicht von gerundet 125 kg nicht komplett im VoloCity verlastet werden könnte. Auch bei Multikoptern mit einer höheren Nutzlast sind Gewichtseinschränkungen systembedingt vorhanden.

Im Folgenden wird beschrieben, wie die notwendige Reduzierung unter Aufrechterhaltung der in den Rettungsdienstgesetzen (z. B. Bayerisches Rettungsdienstgesetz Art. 41 Abs. 1⁶⁸) geforderten „Geeignetheit des Rettungsmittels“ und eine zielführende notärztliche (Erst-)Versorgung in Einklang gebracht werden können.

Sollte der Notarzt des Multikopters als ersteintreffendes Rettungsmittel mit der Patientenversorgung beginnen müssen, gilt es zunächst akut lebensbedrohliche Situationen zu erkennen und abzuwenden. Sowohl im angloamerikanischen Raum als auch in allen international zertifizierten Kursformaten gilt dabei das Prinzip „Treat first what kills first“ und bezeichnet damit ein streng prioritätenorientiertes Handeln in den ersten Minuten der Versorgung eines lebensgefährlich erkrankten beziehungsweise verletzten Notfallpatienten. Dieser Maxime soll sich bestenfalls alles Handeln – so auch das der individuellen ärztlichen Heilkunst – unterordnen, bis die akute Lebensgefahr abgewendet werden konnte. Hierbei hat sich das sogenannte ABCDE-Schema als besonders hilfreich erwiesen, bei dem nach dem Grad der Lebensbedrohung der Reihe nach **A**irway – **B**reathing – **C**irculation – **D**isability – **E**nvironment einer Diagnostik und gegebenenfalls Therapie unterzogen wird, für traumalogische Einsätze wird der Buchstabe „**x**“ für Exsanguination dem „**A**“ vorangestellt. Aus den Formaten zur Traumaversorgung haben sich die Begrifflichkeiten des „Primary/Secondary Assessments“ eingebürgert, die zwei ABCDE-Zyklen, unterbrochen von einer Einheit Teamkommunikation, bezeichnen. In einigen Rettungsdienstsystemen gilt das Primary Assessment bereits nach Airway – Breathing – Circulation als beendet, da sich unter den Buchstaben D und E keine solitären akut lebensbedrohlichen Situationen – und diese sind Ziel des Primary Assessments – subsumieren lassen.

Für das Einsatzszenarium III (Notarzt trifft vor dem Rettungswagen an der Einsatzstelle ein) gilt es demnach, das Notfallmedizinische Equipment zur Lösung von Problemen in den Bereichen Airway, Breathing und Circulation mitzuführen. Im Folgenden wird eine Bestückungsliste „Medizin“ des Multikopters aufgestellt und um Gewichtsangaben ergänzt.

Exsanguination. Um akut spritzende arterielle Blutungen unterbinden zu können, ist das Mitführen von zwei Tourniquets notwendig (Gewicht: je 0,07 kg⁶⁹).

⁶⁶ DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., 2019

⁶⁷ VoloCopter GmbH, 2019

⁶⁸ Bayerisches Rettungsdienstgesetz (BayRDG), Fassung vom 22. Juli 2008

⁶⁹ CAT Resources LLC, (o. J.)

Airway/Breathing. Alle relevanten Ausrüstungsgegenstände zur Sicherung des Atemweges werden durch die DIN 13232 abgedeckt, erweitert werden sollte diese Vorhaltung lediglich um die Möglichkeiten der invasiven Atemwegssicherung (Koniotomie) und der Entlastung eines Spannungspneumothorax mittels Entlastungspunktionsnadel. Um bei entsprechender Indikation eine Inlinestabilisierung der Halswirbelsäule durchführen zu können, sollte ein Komplettsatz Zervikalstützen mitgeführt werden. Zur Applikation von Sauerstoff sollte ein tragbares Sauerstoffgerät analog DIN 75079 inklusive Sauerstoffinhalations- und Verneblermasken in verschiedenen Größen vorgehalten werden. Die maschinelle Beatmung eines Notfallpatienten innerhalb der ersten 15 Minuten nach Eintreffen an der Einsatzstelle steht nicht im Vordergrund einer strukturierten prioritätenorientierten Versorgungsstrategie. Um eine Redundanz für den Notfall- und Transportrespirator des Rettungswagens zur Verfügung zu haben, empfiehlt sich die Verlastung eines kleinstmöglichen Notfallrespirators.

- Notfall-Arztkoffer/-Rucksack Erwachsene, Säuglinge und Kleinkinder:
 - nach DIN 13232, Gewicht maximal 37 kg
 - andere Anbieter haben Rucksacksysteme mit deutlich niedrigerem Gewicht im Sortiment, so z. B. die Fa. Söhngen® einen Rucksack mit Füllung nach DIN 13232 mit einem Gewicht von 13 kg⁷⁰
- Koniotomie-Set: Gewicht ca. 0,2 kg
- Thorax-Dekompressionsnadel: Gewicht ca. 0,1 kg
- Zervikalstützen: Gewicht je 0,2 kg⁷¹
- Sauerstoffgerät (Leergewicht plus Füllung): 2,7 kg⁷²
- Sauerstoffzubehör (Druckminderer, Mengennmessregler, Verneblermasken, Sauerstoffleitung etc.): Gewicht ca. 0,5 kg
- Notfallrespirator: Gewicht 0,25 kg⁷³

Circulation. Die Überwachung und gegebenenfalls Wiederherstellung der Herz-Kreislauf-Funktionen ist eine der zentralsten Aufgaben der präklinischen Notfallmedizin. Hierzu gehören nicht nur die Maßnahmen der Stromtherapie (Defibrillation/Kardioversion/externe Schrittmacherfunktion), sondern auch die schnellstmögliche Detektion von myokardialen Ischämien. Daher ist eine entsprechende Monitor-/Defibrillationseinheit (inklusive Oxymetrie, Kapnographie/-metrie) auf dem Fluggerät zu verlasten. Die weiteren Ausrüstungsbestandteile aus dem Bereich Volumentherapie werden durch die DIN 13232 erfasst und werden im Notfall-Arztkoffer/-Rucksack mitgeführt, ergänzt werden müssen Beckenschlingen für Erwachsene und Kinder.

- Monitor-/Defibrillationseinheit: Gewicht 4,4 kg⁷⁴
- Beckenschlinge: Gewicht je 0,25 kg⁷⁵
- Ampullarium (gefüllt): Gewicht 5 kg. Ein Ampullarium mit der für den jeweiligen Rettungsdienstbereich definierten Bestückung samt einer einfachen Reservevorhaltung der häufigsten Medikamente für einen Folgeinsatz ist auf dem Multikopter

mitzuführen. Dabei ist zu beachten, dass in einigen Bundesländern seitens der ÄLRD eine Basisvorhaltung an Notfallmedikamenten auf Rettungswagen vorgeschrieben ist. Hier kann seitens der Bestückungsliste des Multikopters entsprechend Rücksicht genommen werden.

- Notfallsonographiegerät: Gewicht 0,44 kg⁷⁶. Die Patientenzuweisung in ein Krankenhaus der adäquaten Versorgungsstufe spielt aktuell aufgrund des enormen Kosten- und Personaldruckes auf die Kliniken und der damit verbundenen zunehmenden Schwerpunktbildung eine große Rolle. Hierbei gilt es präklinische Fehltriagierungen in beide Richtungen möglichst zu vermeiden. Die Anwendung einer präklinischen Notfallsonographie kann hierzu einen richtungsweisenden Beitrag leisten und soll Teil einer regulären notärztlichen Versorgungsstrategie sein.

Für die medizinische Ausrüstung des Multikopters ergibt sich somit im Sinne eines „Worst-Case-Szenarios“ ein Gesamtgewicht von gerundet 51 kg, wenn das nach Norm zulässige Maximalgewicht für den Notfall-Arztkoffer/-Rucksack von 37 kg einberechnet würde. In einem „Best-Case-Szenario“ kann dieses Gesamtgewicht durch eine entsprechende Produktauswahl des Notfall-Arztkoffers/-Rucksacks auf gerundet **27 kg** reduziert werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Einsatzsituation III (Multikopter trifft vor RTW am Einsatzort ein) rahmengenbend in Bezug auf die Ausrüstung sein sollte. Zwischen den beiden Extremen – NEF-Ausrüstung wird komplett auf dem Multikopter verladen und es kann aufgrund der Zuladungsbeschränkung sehr wenig medizinisches Material aufgenommen werden – sollte unter Berücksichtigung der gesetzlichen Vorschriften ein Kompromiss wie vorher beschrieben empfohlen werden. Mit einem gewissen Maß an Selbstdisziplin und Konzentration auf die evidenten lebensrettenden Maßnahmen für diese Erstversorgungsphase durch den Luftrettungsnotarzt (Multikopter) kann dieses Luftrettungsmittel seine Vorteile für die Patientenversorgung einbringen. Eine adäquate medizinische Versorgung ist daher auch mit Einschränkungen der DIN 75079 möglich. Eine entsprechende eigene DIN-/EN-Norm für Multikopter wäre in jedem Fall zu implementieren.

Bezüglich der Anforderungen an den Multikopter sollte eine ausreichende Zuladungskapazität sowohl für technisches als auch für medizinisches Equipment vorhanden sein. Es ist davon auszugehen, dass zukünftige Multikoptermodelle über eine solche ausreichende Zuladungskapazität verfügen werden.

6.4 Crewkonzept

6.4.1 Flugbesatzung

Für Luftrettungsmittel ergeben sich die Vorgaben über die Zusammensetzung der flugbetrieblichen Besatzung aus den Regeln der EASA OPS Annex V (Part-SPA). Hierin wird einerseits definiert, welche Qualifikationen Piloten und TC HEMS aufweisen müssen, um im Luftrettungsdienst eingesetzt werden zu können. Andererseits werden detaillierte Vorgaben über das vorgeschriebene Crewkonzept gemacht. Diese Anforderungen werden im

⁷⁰ Sport und Arbeitsmedizin Hans-Jörg Meier, (o. J.)

⁷¹ Ambu GmbH, (o. J.)

⁷² Seeger Gesundheitshaus GmbH & Co. KG, (o. J.)

⁷³ Panomed Medizintechnik, (o. J.)

⁷⁴ Schiller Medizintechnik GmbH, (o. J.)

⁷⁵ SAM Medical®, (o. J.)

⁷⁶ GE Healthcare, (o. J.)

Folgenden als Grundlage für ein mögliches Multikopter-Crew-konzept vorausgesetzt, um darauf aufbauend konkrete Empfehlungen ableiten zu können, da es derzeit für Multikopter noch keine gesetzliche Vorgabe gibt.

6.4.1.1 Anforderungen

Wie schon in vorausgehenden Abschnitten ist festzustellen, dass es aktuell noch keine Vorschriften oder Gesetze gibt, die die Zusammensetzung und die Qualifikationsanforderungen der Flugbesatzung von Multikoptern definieren. Die aktuellen Vorgaben (vgl. SPA.HEMS.130(e) und GM1 SPA.HEMS.100(a)) sehen vor, dass bei einem klassischen Rettungshubschrauber im Tagflugbetrieb der Pilot von einem technischen Besatzungsmitglied HEMS (Technical Crew Member HEMS, abgekürzt TC HEMS) unterstützt wird.

Der TC HEMS ist in den meisten Fällen ein ausgebildeter Notfallsanitäter mit einer fliegerischen Zusatzqualifikation. Um diese fliegerische Zusatzqualifikation zu erreichen, ist ein elftägiger Kurs inkl. anschließender Praxisphase auf einer Luftrettungsstation zu durchlaufen. Der TC HEMS unterstützt den Piloten in den Bereichen taktischer Funkverkehr, Navigation, Notverfahren, Absicherung und bei der Überwachung des Luftraumes.

Es gibt eine Reihe von rechtlichen Konstellationen, bei denen der Pilot alleinverantwortlich im Cockpit sein darf. Subsumierend lässt sich feststellen, dass beim ersten Flug zur Einsatzstelle der Pilot immer von einem TC HEMS im Cockpit unterstützt werden muss. Falls jedoch beispielsweise der Patient beim Flug zur Klinik vom Notarzt und vom TC HEMS/Notfallsanitäter betreut werden muss, kann der Pilot den Flug auch ohne eine weitere Unterstützung im Cockpit durchführen.

Bezüglich der Anforderung an den Piloten sagen die derzeit für Rettungshubschrauber gültigen Vorschriften aus, dass der Betreiber (z.B. die ADAC Luftrettung) Kriterien für die Auswahl von Piloten festzulegen hat und die bereits gewonnene Erfahrung des jeweiligen Piloten zu berücksichtigen ist. Deshalb führt die ADAC Luftrettung in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt ein mehrtägiges Auswahlverfahren für Piloten durch. Zusätzlich sagen die Vorschriften (vgl. SPA.HEMS.130(b)) verallgemeinert aus, dass der Pilot mindestens 1.000 Flugstunden als Kapitän und 500 Flugstunden im Rettungsdienst oder in einer vergleichbaren betrieblichen Umgebung besitzen muss, um als Rettungspilot fliegen zu dürfen. Diese Anforderungen sind hoch und erfordern eine mehrjährige vorausgehende Berufstätigkeit als Pilot.

Generell ist die Einsatzumgebung eines Multikopters im Rettungsdienst mit der eines Hubschraubers annähernd identisch. Dies bedeutet, dass auch hier beispielsweise Landungen an Unfallstellen oder in beengten Hinderniskulissen stattfinden werden. Wie bereits in Kapitel 6.2.1.2 hergeleitet, kann ein Multikopterbetrieb ausschließlich im 1-Piloten-Cockpit erfolgen. Da der Multikopter als schneller Notarztzubringer fungieren soll, wäre – folgt man aktuellen Vorgaben – der Notarzt mit einer Zusatzausbildung zum TC HEMS fortzubilden. In der Zukunft wäre zu prüfen, ob die Anforderungen an die Piloten – aufgrund der im

Vergleich zu einem Hubschrauber deutlich ausgeprägteren technischen Unterstützungsfunktionen – sukzessive angepasst werden können (vgl. hierzu auch EASA Concept Paper RMT.0230⁷⁷).

6.4.1.2 Bewertung

Zur Bewertung der Umsetzungsmöglichkeiten ist aktuell die Verordnung (EU) Nr. 965/2012 der Kommission vom 5. Oktober 2012 zur Festlegung technischer Vorschriften und von Verwaltungsverfahren in Bezug auf den Flugbetrieb gemäß der Verordnung (EG) Nr. 216/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates heranzuziehen. Diese Verordnung hat sich über mehrere Jahrzehnte aus den nationalen Vorschriften – über die ersten diesbezüglichen europäischen Regelwerke (JAR-OPS 3) – zum heutigen Standard entwickelt. Es bleibt abzuwarten, ob eine speziell für Multikopter geltende Vorgabe spezifische Aspekte gesondert regelt. Das grundsätzliche Ziel des Gesetzgebers ist die Schaffung und die Aufrechterhaltung eines einheitlichen hohen Sicherheitsniveaus in der Zivilluftfahrt in Europa. Im ersten Schritt ist deshalb davon auszugehen, dass auch die Vorgaben, welche die Flugbesatzung eines Multikopters im Rettungsdienst betreffen werden, sich an den Vorgaben für Rettungshubschrauber orientieren.

Da im Multikopter kein Notfallsanitäter mit TC-HEMS-Ausbildung, sondern ein Notarzt mit dem Piloten zusammen im Cockpit fliegen wird, sollte der Notarzt die Aufgaben des TC HEMS übernehmen. Dies bedeutet, dass der Notarzt – wie aktuell der Notfallsanitäter auf einem Rettungshubschrauber – eine Zusatzausbildung benötigt, um den Piloten insbesondere beim Flug zur Einsatzstelle zu unterstützen. Da es sich um eine Zusatzausbildung mit geringem Umfang handelt, halten sich hierfür Zeit und Kosten in kleinem Rahmen. Die Bereitschaft der Notärzte hierfür kann vorausgesetzt werden.

Für nächtliche Flüge schreibt die Regulatorik der SPA HEMS zudem eine definierte Crew-Zusammensetzung vor. Diese umfasst für Nachtflüge generell zwei Piloten. Abgewichen werden kann nur, wenn mit einem Piloten und einem TC HEMS innerhalb eines im Operations Manual festgelegten Gebiet (SGA, Specific Geographical Area) und damit verbundenen umfangreichen Kriterien operiert wird. Das Betriebskonzept des Multikopters schließt eine Crew-Zusammensetzung von 2 Piloten aus. Wenn der Notarzt den Piloten als TC HEMS unterstützt, kann von der regulatorischen Vorschrift und der Bedingung der Operation im SGA ausgegangen werden. Das festgelegte Gebiet (SGA) sollte aus einsatztaktischen Gründen dem Einsatzradius des Multikopters entsprechen, sodass daraus keine Einschränkungen für den Betrieb resultieren.

Sobald sich die Automatisierung und auch die unterstützenden Flugsysteme im Bereich Multikopter weiterentwickelt haben und den Piloten maßgeblich bei seiner Tätigkeit entlasten, ist perspektivisch auch eine Erleichterung der erforderlichen Mindestflugstunden denkbar. Ob und wie dies im Detail umgesetzt werden kann, muss die Erfahrung, die erst durch den Betrieb eines Multikopters im Rettungsdienst entstehen kann, zeigen. Für valide Empfehlungen wäre es daher zu diesem Zeitpunkt noch zu früh.

⁷⁷ EASA – European Union Aviation Safety Agency, 2020, S. 47ff.

Die Multikopter, welche im Flugtaxi-Betrieb eingesetzt werden, sollen in einigen Jahren komplett autonom von Landeplatz zu Landeplatz fliegen. Da im Rettungsflugbetrieb die Landestellen am Notfallort aber nie im Voraus bekannt sind und dieser Bereich der Fliegerei sehr komplex ist, ist davon auszugehen, dass der autonome Flugbetrieb eines Multikopters im Rettungsdienst erst in ferner Zukunft möglich ist. Als Zwischenschritt wären jedoch autonome Anflüge zu einem Krankenhaus, zur Luftrettungsstation oder in die Werft zur Wartung denkbar.

6.4.2 Medizinische Besatzung

6.4.2.1 Anforderungen

Im Folgenden sollen die wesentlichen Anforderungen an die Zusammensetzung und die Grundvoraussetzungen an die (medizinische) Multikopterbesatzung definiert werden. Hierfür werden bestehende Konzepte vorausgesetzt, betrachtet und bewertet und zudem die Besonderheiten eines Multikoptersystems berücksichtigt. Da – wie im vorigen Abschnitt bereits beschrieben und im Anschluss noch weiter ausgeführt – sowohl Notarzt als auch Pilot Funktionen der jeweils anderen Berufsgruppe übernehmen müssen, kann es im Vergleich zum vorherigen Abschnitt zu Doppelungen bzw. weiteren Ausführungen kommen.

Zusammensetzung und Eingangsvoraussetzungen. Die Besetzung von Rettungsmitteln ist landesrechtlich unterschiedlich geregelt. Während z. B. in Bayern die Besetzung eines Notarzteinsatzfahrzeuges aus einem Notarzt und nach BayRDG Art. 43 Abs 2 Satz 4 mindestens einem Rettungsassistenten bestehen muss, fordert das Rettungsdienstgesetz des Landes Baden-Württemberg in § 9 Abs. 1 für das NEF einen Rettungsassistenten oder Notfallsanitäter als Fahrer⁷⁸. In Rheinland-Pfalz ist nach dem dortigen Rettungsdienstgesetz § 22 Abs. 4 ausschließlich ein Notfallsanitäter als Fahrer einzusetzen⁷⁹.

Die Crew eines Rettungshubschraubers besteht in der Regel aus drei Personen: einem Piloten, einem Notarzt und einem TCHEMS als Notfallsanitäter mit fliegerischer Zusatzausbildung. Der TC HEMS unterstützt in den Start-, Flug- und Landephase den Piloten und während der Patientenversorgung den Notarzt. Für diese fliegerische Komponente absolviert der Notfallsanitäter im Rahmen der Vorbereitung auf den Einsatzdienst einen knapp zweiwöchigen Lehrgang, unter anderem mit den Themen Navigation, Sprechfunk, Luftrecht, Crew Ressource Management, Meteorologie und Hubschraubertechnik.

Grundsätzlich kann die Besetzung eines Multikopters – wie an anderer Stelle bereits ausgeführt – systembedingt nur aus zwei Personen bestehen. Um den gesetzlichen Vorgaben sowie der medizinischen und flugbetrieblichen Aufgabenstellung gerecht zu werden, sollte die Besetzung daher aus einem Notarzt, der eine flugbetriebliche Weiterbildung zum TC HEMS nachweisen kann, sowie einem Piloten, der über eine notfallmedizinische Weiterbildung (mindestens) zum Rettungsassistenten verfügt, zusammengesetzt sein.

Anforderungen an Größe und Gewicht. Während im bodengebundenen Rettungsdienst die Größe und das Gewicht des einge-

setzten Personals eine untergeordnete Rolle spielen (das Thema Fitness sei hier außen vor), sind diese beiden Parameter für den Einsatz auf einem Luftrettungsmittel von Relevanz und müssen daher bewertet werden. In der Luftrettung spielt das Gewicht eine maßgebliche Rolle, da die Nutzlasten der eingesetzten Fluggeräte bestimmten Grenzen unterliegen.

Die maximale Körpergröße des Notarztes (analoges gilt für den Piloten) hängt maßgeblich von der Kabinengröße und der Sitzkonfiguration des jeweiligen Fluggeräts ab. Für das Modell VoloCity des Kooperationspartners Volocopter gilt beispielsweise, dass Passagiere und Piloten kleiner als 1,90 m (inkl. Fliegerhelm) komfortabel in der Kabine Platz finden können.

Das maximale Körpergewicht der gesamten Crew M_{Cr} bzw. des einzelnen Crewmitgliedes $M_{Cr,p,P}$ errechnet sich aus der maximalen Zuladung $payload_{max}$ und dem Gesamtgewicht der Ausrüstung $M_{Equipment}$. Vereinfachend sei an dieser Stelle angenommen, dass sich das Gesamtgewicht der Ausrüstung aus dem Gewicht der medizinischen M_{Med} und der technischen Ausrüstung M_{Tech} zusammensetzt.

Für die Körpergewichte der Besatzungsmitglieder wird grundsätzlich nach betrieblicher Regelung der ADAC Luftrettung eine Standardmasse von 85 kg angesetzt. Diese Standardmasse wird hierbei für die gesamte Besatzung verwendet. Zur Einhaltung der Nutzlast des Luftfahrzeuges errechnet sich die Anforderung an das Körpergewicht der Crew spezifisch für den Multikopter VoloCity wie folgt:

$$M_{Cr} = payload_{max} - (M_{Med} + M_{Tech})$$

Im Kapitel 6.3.2 wurde für das Gewicht der medizinischen Ausrüstung ein „Worst-Case-Szenario“ beschrieben und das Gewicht mit 51 kg berechnet. Ebenfalls ist das Gewicht für die technische Ausstattung in Kapitel 6.3.1.1 mit 12 kg berechnet worden. Folglich gilt:

$$M_{Cr} = 200 \text{ kg} - (51 \text{ kg} + 12 \text{ kg}) = 137 \text{ kg}$$

Bei einer Flugbesatzung, bestehend aus zwei Personen, ergibt sich ein zulässiges Körpergewicht pro Person im Worst-Case-Szenario:

$$M_{Cr,p,P} = 0,5 \cdot M_{Cr} = 68,5 \text{ kg}$$

Im vorher beschriebenen „Best-Case-Szenario“ liegt das Gewicht der medizinischen Ausrüstung bei 27 kg, demnach errechnet sich das Crewgewicht wie folgt:

$$M_{Cr} = 200 \text{ kg} - (27 \text{ kg} + 12 \text{ kg}) = 161 \text{ kg}$$

Entsprechend der aus zwei Personen bestehenden Besatzung ergibt sich ein zulässiges Körpergewicht pro Person im Best-Case-Szenario:

$$M_{Cr,p,P} = 0,5 \cdot M_{Cr} = 80,5 \text{ kg}$$

Damit entsprechen – zumindest im Best-Case-Szenario – die Maximalgewichte bereits sehr nahe den Standardmassen im Luftrettungsdienst.

⁷⁸ Gesetz über den Rettungsdienst (Rettungsdienstgesetz – RDG), Fassung vom 8. Februar 2010

⁷⁹ Landesgesetz über den Rettungsdienst sowie den Notfall- und Krankentransport (Rettungsdienstgesetz – RettDG), Fassung vom 22. April 1991

Wie aus der Berechnung ersichtlich, wurde für die Zuladung eine Nutzlast von 200 kg angenommen. Hierbei handelt es sich um die Zuladungskapazität des Referenz-Multikopters VoloCity. Aus den Ergebnissen ist erkennbar, dass der Einsatz eines Fluggerätes mit einer Zuladungskapazität von lediglich 200 kg grenzwertig und nur unter einer absoluten Optimierung von Personal- und Ausstattungsgewicht möglich ist.

6.4.2.2 Bewertung

Um den Multikopter als NEF-Äquivalent etablieren zu können, muss der Pilot analog dem Fahrer eines NEF den Notarzt bei der Patientenversorgung vor allem dann unterstützen können, wenn der Multikopter das ersteintreffende Rettungsmittel an der Einsatzstelle ist. Daraus ergibt sich, wie bereits hergeleitet, dass in der 2-Mann-Crew des Multikopters der Pilot eine notfallmedizinische Zusatzausbildung durchlaufen muss. Die unterschiedlichen landesrechtlichen Vorgaben in Bezug auf die Qualifikation des NEF-Fahrers lassen nach Abschaffung der Ausbildung zum Rettungsassistenten nur zwei Möglichkeiten offen: eine Qualifikation entweder zum Rettungsassistenten oder zum Notfallsanitäter. Da es keine hochwertigen Studien bezüglich der Versorgungsqualität der Team-Kombinationen Rettungsassistenten/Notarzt oder Notfallsanitäter/Notarzt gibt, müssen andere Faktoren zur Beurteilung der zu priorisierenden Lösung herangezogen werden.

Die Ausbildungsdauer zum Rettungsassistenten beträgt in Bayern – wie in den meisten Bundesländern – nach BayRettsSanV § 2 Abs. 1 520 Unterrichtsstunden⁸⁰. Die Ausbildung zum Notfallsanitäter hat nach NotSan-APrV einen Umfang von 4.600 Unterrichtsstunden⁸¹. Aus Gründen der Durchführbarkeit als berufsbegleitende Zusatzausbildung neben der Arbeit als Pilot ist die Qualifikation zum Rettungsassistenten zu favorisieren. Dies wäre im Rahmen einer Zusatz-Weiterbildung auch in Anbetracht des Weiterbildungsumfanges als realistisch einzustufen.

Im Bereich der Luftrettung befindet sich wie vorher beschrieben der TC HEMS im Rahmen der Start-, Flug- und Landephase in der Rolle einer Pilotenassistenten. Im 2-Mann-Cockpit des Multikopters wird der Luftrettungsnotarzt diese Rolle übernehmen und dafür eine fliegerische Zusatzausbildung vor Dienstantritt absolvieren müssen. Inhaltlich werden die Anforderungen an eine Pilotenassistenten auf einem Rettungshubschrauber zum Beispiel vom Typ EC135 oder BK117 D2 nicht in allen Bereichen mit den Anforderungen an die Pilotenassistenten bei einem Multikopter vergleichbar sein – hier stehen die detaillierten Vorgaben bezüglich des Inhaltes und Umfangs noch aus. Aufgrund des geringen zeitlichen Umfangs einer TC-HEMS-Ausbildung ist die Umsetzung einer solchen Anforderung ebenfalls als realistisch einzustufen.

Die Anforderungen an die maximale Körpergröße der Besatzungsmitglieder ergeben sich unmittelbar aus den Cockpit-Voraussetzungen des Multikopters. Da Multikopter generell für den Personentransport konstruiert sind (wenn auch nicht unbedingt mit Nutzung eines Fliegerhelms), so kann angenommen werden, dass diese unter diesem Hinblick auch für den Einsatz im Ret-

tungsdienst geeignet sind. Auch das maximale Körpergewicht ergibt sich unmittelbar aus den technischen Voraussetzungen des Multikopters – im Speziellen aus der Zuladungskapazität. Die Zuladungskapazität sollte in jedem Fall über 200 kg aufweisen, um nicht zu sehr hinsichtlich Personal- und Ausrüstungsgewicht eingeschränkt zu sein. Diese Forderung ist angesichts bereits bestehender und sich in Entwicklung befindlicher Multikopter-Lösungen umsetzbar. Es ist zukünftig zu erwarten, dass die Zuladungskapazität von Multikoptern deutlich zunehmen wird.

6.5 Ausbildung

6.5.1 Flugbesatzung

Die Flugbesatzung des Multikopters umfasst den Piloten und einen zu befördernden Notarzt. Für die ausbildungsbezogenen Anforderungen an den Notarzt wird auf Kapitel 6.5.2 verwiesen. Auf die Anwendbarkeit von bestehenden Ausbildungsanforderungen für Piloten auf das neue Luftfahrzeugmuster des Multikopters wird im Folgenden eingegangen.

6.5.1.1 Anforderungen

Es bestehen aktuell noch keine rechtlichen Vorgaben oder Gesetze, die spezifische Lizenzanforderungen für das Führen eines Multikopters definieren. Grundsätzlich wird in diesem Kapitel vorausgesetzt, dass die Anforderungen wie unter 6.4.1 beschrieben erfüllt sind. Darüber hinaus bestehen zusätzliche Anforderungen für den Erhalt einer Pilotenlizenz für ein spezifisches Luftfahrzeug.

Generell benötigt ein gewerblich tätiger Pilot neben einer Pilotenlizenz eine sogenannte Musterberechtigung für das jeweilige Luftfahrzeugmuster (Type Rating). Beim Erwerb einer Musterberechtigung für ein bestimmtes Luftfahrzeugmuster wird der Pilot in Theorie- und Praxisschulungen auf die Besonderheiten im Umgang mit einem jeweiligen Luftfahrzeug geschult. Der Umfang einer solchen Ausbildung richtet sich dabei maßgeblich nach der Komplexität des Luftfahrzeuges sowie nach der Vorerfahrung des Piloten. Ein typischer Umfang einer solchen Schulung für einen Hubschrauber beträgt etwa eine Woche Theorieunterricht sowie mehrere Tage praktische Flugausbildung auf dem Simulator und/oder einem realen Luftfahrzeug. Da Multikopter zum aktuellen Stand nicht über weitreichende autonome Flugsteuerungen verfügen und eine manuelle Pilotierung benötigen, kann gegenwärtig von vergleichbaren Ausbildungsaufwänden wie bei einer Musterberechtigung für Hubschrauber ausgegangen werden. Für diese sind die Anforderungen für den Bereich Ausbildung unter anderem im Anhang 1 (Teil 21) der Verordnung (EU) Nr. 748/2012 (OSD) festgelegt. Diese verlangt derzeit unter anderem, dass der Pilot für einen Rettungshubschrauber mindestens 18 Jahre alt und Inhaber einer Berechtigung als Berufspilot ist sowie den Anforderungen genügt, die der Hersteller des Fluggerätes für den Betrieb festgelegt hat.

⁸⁰ Bayerische Rettungsassistentenverordnung (BayRettsSanV), Fassung vom 23. April 2015

⁸¹ Ausbildungs- und Prüfungsverordnung für Notfallsanitäterinnen und Notfallsanitäter (NotSan-APrV), Fassung vom 16. Dezember 2013

6.5.1.2 Bewertung

Die ADAC Luftrettung vertritt die Position, dass mit Einführung der Multikopter im Luftrettungsdienst zunächst eine Berufspilotenlizenz für Hubschrauber die Grundvoraussetzung für das Führen eines Multikopters darstellen sollte. Vor allem die Start- und die Landephase eines Multikopters kommen denen eines Hubschraubers am nächsten. Diese Phasen sind ebenfalls als die kritischsten Phasen eines Fluges zu bewerten und erfordern das sichere Führen des Luftfahrzeuges. Dies ist aus Sicht der ADAC Luftrettung nur möglich, wenn die Piloten über Erfahrungen zu den Flugzuständen im Schwebeflug und im langsamen Vorwärtsflug verfügen, da hier die Luftfahrzeuge am instabilsten und anfälligsten für äußere Störfaktoren sind. Neben der Berufspilotenlizenz sollte die Ausbildung der Piloten eine Musterberechtigungsschulung für das spezifische Multikopter-Luftfahrzeugmuster beinhalten. Hier wird, wie auch derzeit bei Hubschraubern, der Hersteller des Multikopters den Mindestumfang der Schulung festlegen. Darüber hinaus kann es erforderlich sein, dass der jeweilige Betreiber seinem Einsatzspektrum entsprechende zusätzliche Aspekte lehren muss, um die Piloten auf ihren Einsatz im Luftrettungsdienst vorzubereiten.

Durch zukünftige Weiterentwicklungen und die Integration von autonomen Steuerungen werden die Anforderungen an Multikopterpiloten im Rahmen eines Flugtaxi-Betriebes erwartungsgemäß abnehmen. Es ist davon auszugehen, dass auch im Rettungsflugbetrieb sich die Anforderungen an das fliegerische Können zur Situationsbeurteilung, zur Systemüberwachung und zum Treffen von spezifischen Entscheidungen verlagern werden. Aus diesem Grunde ist davon auszugehen, dass sich nach einer großflächigen Etablierung von Multikoptern in der Luftfahrt eigene Lizenzen herausbilden werden. Ob diese für das Führen eines Multikopters im Luftrettungsdienst ausreichend sein werden, kann erst beurteilt und entschieden werden, wenn die Inhalte solcher Pilotenausbildungsformate bekannt sind. Dies wird auch eine wesentliche Aufgabe der zuständigen Behörden sein.

6.5.2 Medizinische Besatzung

6.5.2.1 Anforderungen

Die Bundesärztekammer definiert als Aufgabe des Notarztes, lebenswichtige Funktionen des Patienten wiederherzustellen oder aufrechtzuerhalten, Folgeschäden zu vermeiden sowie die Transportfähigkeit des Patienten für die Überführung in die nächstgelegene und geeignete Weiterversorgungseinheit aufrechtzuerhalten oder wiederherzustellen⁸². Voraussetzung für die Teilnahme am bodengebundenen Notarztdienst ist aktuell die Zusatzbezeichnung „Notfallmedizin“ der jeweiligen Landesärztekammer. Sie kann beispielsweise in Bayern nach einer 24-monatigen Weiterbildungszeit in einem Gebiet der unmittelbaren Patientenversorgung, einem 80-stündigen Lehrgang sowie anschließenden 50 Notfalleinsätzen (wobei 25 dieser Einsätze durch eine innerklinische Notfallversorgung beziehungsweise ein simulationsbasiertes Training ersetzt werden können) abgelegt werden und dient zur Vorbereitung auf den Notarztdienst. Zu diskutieren ist,

ob diese (einfachen) Eingangsvoraussetzungen auch für einen Notarzt, der auf einem Multikopter zum Einsatz kommen soll, Bestand haben sollen bzw. einer Erweiterung bedürfen. Um diese Frage zu beantworten, müssen zunächst die Ausgangsbedingungen (Patientenkohorte und Einsatzsituation) betrachtet werden, um im Anschluss daraus Qualifikationsanforderungen ableiten zu können.

Die Einsatzindikationen im bodengebundenen Notarztdienst zeigten 2014 bundesweit folgendes Verteilungsmuster⁸³:

- akute Erkrankung 85,6 %, davon u. a.
 - 25,8 % des Herz-Kreislauf-Systems
 - 14,2 % neurologische Erkrankungen
 - 8,2 % Störungen der Atmung
- Sonstiges 13,4 %
- Polytraumata 0,9 %

Dabei wurde für einige Notarztindikationen ein Unterschied in der Inzidenz festgestellt, abhängig davon, ob die Disposition eines bodengebundenen oder luftgestützten Notarztrettungsmittels erfolgte. Beispielsweise war die Häufigkeit von Kinder-notfällen im Luftrettungssystem 2- bis 3-mal so hoch wie in den bodengebundenen Notarztssystemen; der Anteil an Kindern mit mindestens einer schweren Störung/kurzfristigen Lebensgefahr war im luftgestützten System doppelt so hoch wie bei den bodengebundenen Notarztdiensten⁸⁴. Auch für die Einleitung einer prähospitalen Notfallnarkose gibt es Unterschiede in der Auftretenswahrscheinlichkeit. Während im Luftrettungsdienst im Durchschnitt alle 0,5 Monate eine Notfallnarkose eingeleitet wird, erfolgt dies im bodengebundenen Notarztdienst nur alle 1,4 Monate⁸⁵.

Durch die Teilnahme eines Notarztes am luftgestützten Multikoptersystem werden sich (wie für den RTH-Dienst eben aufgezeigt) aufgrund des größeren Einsatzradius und einer möglichen Änderung der Einsatzdisposition (gegenüber einem NEF) die individuellen Einsatzschwerpunkte verschieben. Dies rechtfertigt die Forderung nach einer weiterführenden Ausbildung zusätzlich zur Zusatzbezeichnung Notfallmedizin.

Im Folgenden werden vergleichbar einer Timeline die Ausbildungsschritte eines Luftrettungsnotarztes im Multikopterbetrieb von den Eingangsvoraussetzungen über die Qualifizierung bis zum kontinuierlichen Kompetenzerhalt beschrieben.

Eingangsvoraussetzungen. Im Kapitel 6.3.2 wurde beschrieben, dass bei bestimmten Einsatzkonstellationen das NEF ersteintreffendes Rettungsmittel an der Einsatzstelle sein kann. In diesem Fall übernimmt der Notarzt mit Unterstützung seines Fahrers bis zum Eintreffen des Rettungswagens die Erstversorgung. Im Multikoptersystem steht der Pilot für diesen Fall nur dann zur Unterstützung des Notarztes zur Verfügung, wenn es nach der Landung des Multikopters keine priorisierten luftfahrttechnischen Aufgaben am Fluggerät zu erledigen gibt. Das kann bedeuten, dass der Notarzt in der initialen Phase der Versorgung eines schwer erkrankten oder verletzten Patienten unter Umständen auf keine weitere Hilfe zurückgreifen kann. Dies erfordert ein

⁸² Bundesärztekammer, (o. J.)

⁸³ Sefrin et al., 2015

⁸⁴ Bernhard et al., 2010

⁸⁵ Wissenschaftlicher Arbeitskreis Notfallmedizin der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin, 2015

hohes Maß an Erfahrung und Routine in notfallmedizinischer Diagnosefindung und Durchführungskompetenz der erforderlichen Maßnahmen, um handlungsfähig im Sinne der Patientenversorgung zu bleiben. Auf dieser Erkenntnis aufbauend wären folgende Mindestanforderungen für die Tätigkeit als Notarzt im Multikopterbetrieb als erforderlich zu bezeichnen:

- **Facharztstatus**
Die Anerkennung als Facharzt in einem Gebiet der unmittelbaren Patientenversorgung, welches gleichzeitig die häufigsten notärztlichen Indikationen des gesamten präklinischen notfallmedizinischen Einsatzspektrums abdeckt (Anästhesiologie, Chirurgie, Innere Medizin).
- **Einsatzerfahrung**
Eine Einsatzerfahrung von einer ausreichenden Anzahl an Notarzteinsätzen (zu empfehlen wären mindestens 350 Notarzteinsätze) führt zu einer ausreichenden notfallmedizinischen Routine, um in diesem besonderen Setting der luftgestützten Notfallversorgung agieren zu können.

Qualifizierung. Die Ausbildung zum Luftrettungsnotarzt gliedert sich in mehrere Themenbereiche.

- **TC HEMS – Komponente**
Im Kapitel 6.4.2.1 wurde bereits die Pilotenassistenz durch den Notarzt beschrieben. Für inhaltliche Angaben zu diesem Teil der Qualifizierung – jenseits der bestehenden Ausbildungsvorschriften zum TC HEMS – wird auf Kapitel 7.1.2.6.2 verwiesen.

Alle drei notfallmedizinisch relevanten Berufsgruppen (Anästhesiologie, Chirurgie und Innere Medizin) zeigen ein durch ihre tägliche Arbeitsroutine geprägtes spezifisches Stärken-Schwächen-Profil. Da jedoch die präklinische Patientenklientel sowohl von der Altersstruktur als auch von der Art ihrer Erkrankungen beziehungsweise Verletzungen höchst divergent ist und gleichzeitig eine bestmögliche Versorgung erwarten darf, sollte eine modulare Qualifizierung ergänzend zur originären Kompetenz des Facharztes erfolgen. Bereits im klinischen Setting erworbene Zertifikate und/oder Kompetenzen sind dabei zu berücksichtigen.

- **Qualifizierung Facharzt für Anästhesiologie**
Für Anästhesisten sind akkreditierte internationale Kursformate zur Versorgung pädiatrischer Notfallpatienten (EPALS, PALS o. Ä.), internistischer Notfallpatienten (ALS, ACLS o. Ä.) und unfallchirurgischer Notfallpatienten (PHTLS, ATLS o. Ä.) zu fordern.
- **Qualifizierung Facharzt für Chirurgie**
Für Chirurgen sind akkreditierte internationale Kursformate zur Versorgung pädiatrischer Notfallpatienten (EPALS, PALS o. Ä.) und internistischer Notfallpatienten (ALS, ACLS o. Ä.) sowie eine durch die „Handlungsempfehlung für das präklinische Atemwegsmanagement“ der Deutschen Gesellschaft für Anästhesie und Intensivmedizin vorgegebene Kompetenzschwelle für ein sicheres Beherrschen des Airwaymanagements zu fordern.

- **Qualifizierung Facharzt für Innere Medizin**
Für Internisten sind akkreditierte internationale Kursformate zur Versorgung pädiatrischer Notfallpatienten (EPALS, PALS o. Ä.) und unfallchirurgischer Notfallpatienten (PHTLS, ATLS o. Ä.) sowie eine durch die „Handlungsempfehlung für das präklinische Atemwegsmanagement“ der Deutschen Gesellschaft für Anästhesie und Intensivmedizin vorgegebene Kompetenzschwelle für ein sicheres Beherrschen des Airwaymanagements zu fordern.

Kontinuierliche Kompetenzerhaltung und -erweiterung. Die im Abschnitt „Qualifizierung“ aufgeführten internationalen Kursformate erfordern zur Aufrechterhaltung des jeweiligen Zertifikates die Teilnahme an einem regelmäßigen Refresher-Lehrgang. Analog gilt dies für manuelle Tätigkeiten, die für das jeweilige Fachgebiet nicht Teil der täglichen Arbeitsroutine sind. Exemplarisch sei hier auf die Kompetenzerhaltung „Intubation“ verwiesen, in der für Nichtanästhesisten eine angemessene Routine bei dieser wichtigen notfallmedizinischen Maßnahme ohne zusätzliche klinische Tätigkeit/Hospitationen nicht erreicht werden kann⁸⁶.

Zur Kompetenzerweiterung des Luftrettungsnotarztes sollten – abhängig von dem individuellen Wissensstand des Facharztes – folgende Module absolviert werden:

- **Kompetenzmodul Notfallsonographie**
In einem Zeitalter der sich beständig wandelnden Krankenhauslandschaft mit der Bestrebung zur zunehmenden Zentralisierung von (speziellen) Behandlungskapazitäten kommt einer möglichst präzisen Zuweisung der Notfallpatienten durch den Notarzt in das für den Individualfall am besten geeignete Krankenhaus eine immer größere Bedeutung zu. Dabei ist eine Übertriagierung aus ökonomischer Sicht möglichst genauso zu vermeiden wie eine Untertriagierung aus ethischer Sicht. Die präklinische Notfallsonographie kann hier durch eine routinierte Anwendung einen wertvollen Beitrag leisten, erkrankte beziehungsweise verletzte Patienten einem Krankenhaus der adäquaten Versorgungsstufe zuzuführen. Notärzte aus einem primär nicht ultraschallaffinen Arbeitsalltag haben durch die entsprechend zertifizierten Kursformate die Möglichkeit, sich hier weiterzuqualifizieren.
- **Kompetenzmodul invasive Notfalltechniken**
Die wissenschaftlichen Impulsgeber im Bereich Notfallmedizin erforschen aktuell die Notwendigkeit von zum Teil maximalinvasiven Maßnahmen direkt an der Einsatzstelle. Hierbei sind laufende Studien zum Themenbereich „Präklinische Transfusion von Blutprodukten“, die Einsatzmöglichkeiten des sogenannten REBOA-Systems sowie die Maßnahmen der Notfall-Thorakotomie zu nennen. Für einen Multikopter-Notarzt, der aufgrund des vergrößerten Einsatzradius und des Zeitvorteiles mit einer höheren Inzidenz (im Vergleich zum bodengebundenen Notarztendienst) an schwersterkrankten oder -verletzten Patienten rechnen muss, bedeutet dies einen erhöhten Schulungsaufwand. Keine der drei die Eingangskriterien erfüllenden Facharztgruppen kann (mit Ausnahme der Transfusion von Blutprodukten) in diesen zum Teil hochinvasiven Maßnahmen eine Alltagsroutine aufbauen und vorweisen.

⁸⁶ Genzwürker et al., 2010

- Kompetenzmodul Intensivmedizin

In den letzten Jahren lässt sich eine signifikante Zunahme der Einsatzzahlen im Bereich „Post-Primär-Verlegungen“ verzeichnen. Hierunter sind Patienten subsumiert, die primär in ein Krankenhaus der Grund- oder Regelversorgung transportiert werden, aber nach der Primärdiagnostik beziehungsweise Primärversorgung aufgrund der Erkrankungs- beziehungsweise Verletzungsschwere in ein Krankenhaus der Maximalversorgung verlegt werden müssen. Daher ist eine intensivmedizinische Kompetenz, sofern sie nicht durch Alltagsroutine als gegeben vorausgesetzt werden kann, durch eine entsprechende Weiter-/Fortbildung sowie gegebenenfalls wiederkehrende Hospitationen zu empfehlen.

6.5.2.2 Bewertung

Eine der Intentionen dieses Projektes ist es, die knappe Ressource „Notarzt“ an Multikopter-Standorten zu bündeln. Hierzu muss in einem ersten Schritt erhoben werden, ob eine ausreichend große Anzahl an Notärzten die geforderten Eingangsvoraussetzungen erfüllt. Hierzu wurde in einer bundesweiten Online-Befragung von Notärzten im Zeitraum 2010/2011⁸⁷ folgendes Ergebnis ermittelt:

- Angestellte, niedergelassene und selbstständige Ärzte waren in der Auswertung vertreten
- Die Facharztquote lag bei 75 %, davon entfielen auf
 - Anästhesiologie 59 %,
 - Innere Medizin 32 %,
 - Chirurgie 26 % und
 - Orthopädie/Unfallchirurgie 21 %
- Die Einsatzerfahrung (> 350 Einsätze) wurde nicht explizit erhoben, lässt sich aber bei einem großen Teil der Notarztekohorte vermuten, da
 - die Approbation im Mittel im Jahr 1997 ± 8 Jahre (1964–2010) erlangt wurde,
 - die daraus ableitbare mittlere Berufserfahrung im Erhebungszeitraum 2010/11 im Mittel 13 Jahre betrug,
 - an einem gering frequentierten NEF-Standort laut dem in Kapitel 4.3 vorgestellten INM-Gutachten die mittlere Einsatzzahl (beispielhaft in Bayern und Rheinland-Pfalz) bei 4 Einsätzen in 24 Stunden liegt und
 - in 10,5 Jahren (2,5 Jahre Berufserfahrung werden für die Zusatzbezeichnung Notfallmedizin vorausgesetzt) bei nur einer 24-Stunden-Schicht pro Monat gerundet 500 Einsätze absolviert werden sollten.

Somit lässt sich schlussfolgern, dass durch die Zusammenlegung kleinerer NEF-Standorte rein zahlenmäßig ausreichend notärztliches Personal zur Verfügung stehen sollte.

Im zweiten Schritt ist zu klären, welche Qualifizierungsmodule – neben der TC-HEMS-Komponente – mit welchem zeitlichen Bedarf zu absolvieren wären. Hierüber kann jedoch aufgrund der empfohlenen individuellen modularen Weiterqualifizierung der bodengebundenen Notärzte keine valide Aussage getroffen werden.

Eine weitere Unwägbarkeit betrifft das Vertrauen in dieses neue Luftrettungsmittel. Hier kann der Pilot als menschlicher Kollege im neuen Fluggerät Multikopter eine nicht zu unterschätzende Rolle spielen.

Die vorher beschriebenen Qualifizierungsschritte zum und die kontinuierliche Kompetenzerhaltung/-erweiterung als Luftrettungsnotarzt Multikopter geschieht zusätzlich zum Arbeitsalltag in Klinik oder Praxis und den Notarzteinstellen. Um diesen besonderen Anforderungen entsprechen zu können, ist eine Abkehr von der bisher häufigen Praxis, Notfallmedizin quasi nebenbei in der Freizeit zu betreiben, erforderlich. Ziel muss es sein, als Luftrettungsnotarzt Multikopter

- für regelmäßige Notarzteinstellen,
- für stationsinterne Fortbildungen/Teambesprechungen,
- zur Aufrechterhaltung der Kursformate/Kompetenzen und
- zur Erhaltung der TC-HEMS-Komponente nach Vorgaben der EASA

auf eine ausreichende zeitliche Reserve zu achten. Dies kann nur durch eine Reduzierung der wöchentlichen Arbeitszeit in Klinik oder Praxis erfolgen – eine im Kontext der Historie des bodengebundenen Notarzteinstelles sicherlich ungewöhnliche Forderung.

6.6 Safety Management

Das zu etablierende Safety Management für ein neuartiges Luftfahrzeug wie den Multikopter kann sich teilweise an bestehenden betrieblichen Strukturen orientieren. In diesem Kapitel erfolgt eine Betrachtung und Analyse der operationellen Risiken im Flugbetrieb sowie der organisatorischen Voraussetzungen für einen sicheren Flugbetrieb mit Multikoptern. Dies umfasst eine Risikoanalyse, die Betrachtung von Zertifizierung und Zulassung sowie Themen der organisatorischen Flugsicherheit.

Grundsätzlich lässt sich das Konzept Flugsicherheit in die Bereiche Fluggerät und Betrieb des Fluggerätes untergliedern:



Abbildung 6.7: Gliederung Konzept Flugsicherheit

⁸⁷ Ilper et al., 2013

6.6.1 Risikoanalyse

Im Rahmen einer Risikoanalyse werden Risiken identifiziert und bewertet, die sich beim Betrieb eines Multikopters im EMS-Einsatzprofil ergeben. Eine detaillierte Risikoanalyse ist nicht Teil der Studie, sondern nur deren qualitative Erwähnung. Wie bei der „herkömmlichen“ Risikoanalyse, bei der sich aus der Eintrittswahrscheinlichkeit und dem erwarteten Schadensausmaß eine Risikokennzahl ergibt, werden die Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Gefahren und möglicher Gefährdungen bzw. Risiken sowie deren potenzielle Folgen bzw. Konsequenzen analysiert und bewertet.

6.6.1.1 Anforderungen

Die Erhebung einer Risikoanalyse ist eine flugbetriebliche Anforderung, die ebenfalls für den Betrieb eines bemannten Multikopters Geltung haben wird. Nach Verordnung (EU) Nr. 965/2012 der Kommission vom 5. Oktober 2012 wird explizit eine Risikobetrachtung des operationellen HEMS-Flugbetriebes gefordert:

„Der Betreiber hat sicherzustellen, dass als Teil seines Prozesses der Risikoanalyse und des Risikomanagements Risiken, die in Zusammenhang mit den HEMS-Umgebungsbedingungen stehen, minimiert werden durch die Beschreibung folgender Inhalte im Betriebshandbuch: Auswahl, Zusammensetzung und Schulung der Besatzungen, geforderte Ausrüstung und Ausführungsbestimmungen, Beschreibung von flugbetrieblichen Verfahren und Mindestbedingungen für den normalen Flugbetrieb, die Beschreibung ungewöhnlicher Flugzustände sowie deren Vermeidung.“⁸⁸

Hierzu müssen für den Betrieb eines Multikopters einzelne Risiken bewertet werden. Diese stammen unter anderem aus den Themenbereichen Management, Human Factors, Operation, Mission und Maintenance.

6.6.1.2 Bewertung

Für jeden der o.g. Themenbereiche werden sämtliche Risiken analysiert und gelistet. Die Risiken erfahren eine Einzelbewertung nach der Klassifizierung in Abbildung 6.8.

Für jedes Einzelrisiko wird die Eintrittswahrscheinlichkeit und das mögliche Schadensausmaß klassifiziert. Aus der Klassifizierung wird eine Risikokennzahl bestimmt, welche mit zunehmender Kritikalität zunimmt. Beispielhaft würde ein Fehler, der die Eintrittswahrscheinlichkeit „Frequent“ besitzt und zugleich zum Absturz des Multikopters führen würde (Ausmaß „Catastrophic“), mit der maximalen Risikokennzahl 5A gewichtet.

Nach der Risikoanalyse werden die identifizierten Risiken mit einer „Risk Mitigation“ – einer Risikominderung oder Risikoabwehr – konfrontiert. Hierbei werden Maßnahmen und Vorkehrungen beschrieben, die zur Senkung der Eintrittswahrscheinlichkeit, des Ausmaßes oder zur Senkung beider Aspekte führen.

Mit den nun „entschärften“ Risiken kann eine Neubewertung der Risiken vorgenommen werden, bis schließlich ein „Final Risk“ identifiziert ist. Diese finale Risikobewertung stellt das finale operative Risiko nach den ergriffenen Maßnahmen zur Risikominderung dar. Im Final Risk darf keine Risikoeinzelbewertung einen größeren Wert als „Medium“ (gelber Bereich) besitzen, dies bedeutet, keine Einzelrisikobewertung darf das Ergebnis „Risiko nicht akzeptabel“ aufweisen.

Beispiel:

Im HEMS-Betrieb ist die Situation an der Landestelle beim Anflug meist unbekannt. Hindernisse wie Stromleitungen, Fahrzeuge oder andere Gegenstände können zu gefährlichen Situationen führen. Die Eintrittswahrscheinlichkeit dieses Risikos ist „Frequent (5)“. Das mögliche Ausmaß ist als „Hazardous (B)“ zu bewerten. Es ergibt sich eine Risikoeinzelbewertung von 5B „Risiko nicht akzeptabel“. Die Risk Mitigation definiert hieraus

Risk probability	Risk severity				
	Catastrophic A	Hazardous B	Major C	Minor D	Negligible E
Frequent 5	5A	5B	5C	5D	5E
Occasional 4	4A	4B	4C	4D	4E
Remote 3	3A	3B	3C	3D	3E
Improbable 2	2A	2B	2C	2D	2E
Extremely improbable 1	1A	1B	1C	1D	1E

Abbildung 6.8: Risikomatrix⁸⁹

⁸⁸ EU Kommission, 2012, SPA.HEMS.140 Informationen und Unterlagen

⁸⁹ International Civil Aviation Organization ICAO, 2013, S. 2–29

Tolerability description	Assessed risk index	Suggested criteria
Intolerable region	5A, 5B, 5C, 4A, 4B, 3A	Unacceptable under the existing circumstances
Tolerable region	5D, 5E, 4C, 4D, 4E, 3B, 3C, 3D, 2A, 2B, 2C, 1A	Acceptable based on risk mitigation. It may require management decision.
Acceptable region	3E, 2D, 2E, 1B, 1C, 1D, 1E	Acceptable

Abbildung 6.9: Risikoakzeptanzmatrix⁹⁰

folglich Vorkehrungen, um das Risiko zu verringern. Es werden unter anderem Kriterien und Verfahren festgelegt, um die Situation bei Anflug, Landung und Take-off besser einschätzen zu können. Zusätzlich können technische Hilfsmittel zur Hinderniserkennung genutzt werden. Nach der Umsetzung dieser Maßnahmen wird das Risiko dann neu bewertet. Das neubewertete, durch die sicherheitssteigernden Maßnahmen entschärfte Risiko ist nun mit der Eintrittswahrscheinlichkeit 3 zu bewerten, da durch diese Maßnahmen die Wahrscheinlichkeit des Eintretens verringert wird. Das Ausmaß B, also die Folgen, würden sich nicht verändern. Somit ist das Restrisiko mit der Risikokennzahl 3B (Medium) zu bewerten. Das Risiko ist damit tolerabel.

Die Verfahren zur Risikoeinzelbewertung beim Betrieb von Multikoptern können in weiten Teilen aus bestehenden Verfahren für die Risikoanalyse eines HEMS-Betriebs übertragen werden. Einige spezielle Thematiken, die vor allem Maintenance, Operation und Mission betreffen, müssen insbesondere auf die Risiken, welche sich bei einem Betrieb mit einem Multikopter ergeben, angepasst werden. Erkenntnisse für eine valide Risikobewertung lassen sich u.a. im Rahmen der Durchführung von Testflügen ableiten. Entsprechende Testflüge sind im Anschluss an diese Machbarkeitsstudie geplant.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für den Betrieb eines Multikopters im Rettungsdienst hinsichtlich der Risikoanalyse bestehende Prozesse zum Tragen kommen.

6.6.2 Zertifizierung/Zulassung

Nach der EASA SC-VTOL (VTOL.2005) kann ein „Small-Category VTOL Aircraft“ in der Kategorie „Basic“ bzw. in der Kategorie „Enhanced“ zertifiziert werden. Die Kategorie „Enhanced“ gilt für kleine VTOL-Luftfahrzeuge unter 3.175 kg zertifizierter MTOM, die über bewohntes Gebiet oder für kommerziellen Lufttransport eingesetzt werden. Der Bereich Luftrettung ist mitunter der anspruchsvollste Bereich in der Luftfahrtoperation. Die Kategorie „Enhanced“ ist daher für den Einsatz in der Luftrettung anzunehmen.

6.6.2.1 Anforderungen

Aus Sicht der operationalen Machbarkeit muss der Hersteller ein vollzertifiziertes und für den EMS-Betrieb zugelassenes Luftfahrzeug zur Verfügung stellen. Der Multikopter muss somit den (Sicherheits-)Anforderungen der Zertifizierungsstelle entsprechen. Dies muss vom Hersteller gegenüber dem Betreiber nachgewiesen werden.

Ein wesentlicher Aspekt für den Luftrettungsdienst ist der sichere Weiterflug auch beim Ausfall einer Antriebskomponente. Der Multikopter hat nach der SC-VTOL die Anforderungen für „Continued Safe Flight and Landing“ zu erfüllen. Demnach muss das Luftfahrzeug bei einer technischen Störung, Vogelschlag oder vergleichbaren Vorkommnissen in der Lage sein, den ursprünglich vorgesehenen Zielort zu erreichen oder einen geeigneten Ausweichlandeplatz sicher anzufliegen. Die Systeme müssen daher entsprechend ausgelegt werden.

Hubschrauber sind in der Lage, ein Notverfahren, die sogenannte Autorotation, bei einem Verlust der Rotorantriebsleistung einzuleiten. Hierbei wird die aerodynamische Anströmung des großen Rotors sowie dessen Massenträgheit für die Gewinnung von Auftrieb verwendet. Beim Multikopter ist eine Vielzahl an Propellern mit elektrischen Antrieben versehen. Sowohl durch die Anzahl der Propeller als auch durch den konstanten Blatteinstellwinkel der Propeller sowie den Widerstand der elektrischen Motoren bei Stromausfall ist eine Autorotation nicht möglich. Das Antriebssystem eines Multikopters ist daher mit einer Sicherheit auszuliegen, die einen kritischen Ausfall mehrerer Propellerantriebe mit der Wahrscheinlichkeit $p \leq 10^{-9}$ absichert. Dies bedeutet, dass in 10^9 Flugstunden (oder mehr) maximal ein einziger katastrophaler Ausfall der Baugruppe oder Komponente vorkommen darf.

⁹⁰ International Civil Aviation Organization ICAO, 2013, S. 2–31

	Maximum Passenger Seating Configuration	Failure Condition Classifications			
		Minor	Major	Hazardous	Catastrophic
Category Enhanced	-	$\leq 10^{-3}$ FDAL D	$\leq 10^{-5}$ FDAL C	$\leq 10^{-7}$ FDAL B	$\leq 10^{-9}$ FDAL A
Category Basic	7 to 9 passengers	$\leq 10^{-3}$ FDAL D	$\leq 10^{-5}$ FDAL C	$\leq 10^{-7}$ FDAL B	$\leq 10^{-9}$ FDAL A
	2 to 6 passengers (see note A)	$\leq 10^{-3}$ FDAL D	$\leq 10^{-5}$ FDAL C	$\leq 10^{-7}$ FDAL C	$\leq 10^{-8}$ FDAL B
	0 to 1 passenger (see note A)	$\leq 10^{-3}$ FDAL D	$\leq 10^{-5}$ FDAL C	$\leq 10^{-6}$ FDAL C	$\leq 10^{-7}$ FDAL C

[Quantitative safety objectives are expressed per flight hour]

Abbildung 6.10: Klassifizierung entsprechender Ausfallwahrscheinlichkeiten (aus SC-VTOL⁹¹)

6.6.2.2 Bewertung

Sofern der eingesetzte Multikopter den (Sicherheits-)Anforderungen der Zertifizierungsstelle genügt, kann dieser unter dem Aspekt Flugsicherheit im Luftrettungsdienst eingesetzt werden. Die entsprechende Zertifizierung ist Aufgabe des Herstellers und nicht des Betreibers.

6.6.3 Organisatorische Flugsicherheit

Organisatorische Flugsicherheit meint alle Maßnahmen des Betreibers innerhalb des Unternehmens, die einen sicheren Flugbetrieb gewährleisten. Dies wird durch ein vollständig eingeführtes und umgesetztes Safety Management System (SMS) garantiert.

„Ein SMS ist ein methodischer Ansatz, um die Sicherheit in einer komplexen Organisation ganzheitlich zu steuern; Handlungsfelder sind dabei beispielsweise Organisationsstrukturen, Verantwortlichkeiten, Strategien und Prozeduren. Die Einführung von SMS-Bestimmungen stellt eine wichtige Etappe auf dem Weg von einer rein auf die Erfüllung von Vorschriften orientierten (präskriptiven) hin zu einer auf Sicherheitszielwerten (Safety Performance) basierenden Sicherheitsregulierung und -überwachung dar. Dies erfordert Prozesse, die die Überwachung und Steuerung von betrieblichen Risiken ermöglichen. Weiterhin wird langfristig das Konzept eines akzeptablen Sicherheitszielwertes etabliert, durch den gemeinsam mit den Stakeholdern der Luftfahrt das Sicherheitsniveau transparent wird und kontinuierlich verbessert werden kann.“⁹²

6.6.3.1 Anforderungen

Die Anforderungen an ein Safety Management System ergeben sich aus der Verordnung (EU) 965/2012, Abschnitt 2 Management.

Die betriebliche Flugsicherheit in Form eines bestehenden Safety Management Systems im HEMS-Betrieb unterscheidet sich im Allgemeinen nicht vom Safety Management System eines Multikopterbetriebs. Grundsätzlich müssen sämtliche Fak-

toren und Auswirkungen auf die Sicherheit ermittelt werden. Hierzu können bestehende Prozesse zur Gefahrenermittlung und Risikobewertung genutzt werden. Der Umfang des Safety Management Systems eines Operators, die Zuständigkeiten und die Schlüsselpersonen sind in einem Safety Management Manual (SMM) zu definieren. Des Weiteren sind in diesem SMM die Planung und Umsetzung von Sicherheitsmaßnahmen, deren Überwachung, das Meldewesen sowie das Notfall-Management (ERP, Emergency Response Planning) definiert. Hier gibt es keine Unterschiede zwischen einem Multikopterbetrieb und einem Hubschrauberbetrieb.

6.6.3.2 Bewertung

Prozesseitig unterscheidet sich das bestehende organisatorische Safety Management System nicht von einem erforderlichen System für den Betrieb eines Multikopters. Daher ist eine Übertragbarkeit bestehender Prozesse weitestgehend machbar. Wie bereits vorher beschrieben, müssen jedoch Elemente zur Risiko- bzw. Gefahrenermittlung für das spezifische Luftfahrzeug entsprechend angepasst und evaluiert werden.

6.7 Indikationen und Dispositions-konzept

6.7.1 Anforderungen

Der Rettungsdienst der Bundesrepublik Deutschland fußt auf der Kombination von nicht arztbesetzten und arztbesetzten Rettungsmitteln. (Notfall-)Patienten haben nach § 27 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 SGB V Anspruch auf ärztliche Behandlung, wenn sie notwendig ist, um eine Krankheit zu erkennen, zu heilen, ihre Verschlimmerung zu verhüten oder Krankheitsbeschwerden zu lindern⁹³. Für die knappe Ressource „Notarzt“ muss im Rahmen dieser gesetzlichen Vorgabe gelten, dass sie

- möglichst zielgerichtet zu den Patienten disponiert wird, die von einer ärztlichen Behandlung direkt an der Einsatzstelle profitieren, und
- mit dem geringstmöglichen Zeitverlust zum Einsatz gebracht wird.

⁹¹ EASA – European Union Aviation Safety Agency, 2019, S. 30

⁹² Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2018, S. 3

⁹³ Sozialgesetzbuch (SGB), Fünftes Buch (V) – Gesetzliche Krankenversicherung, Fassung vom 20. Dezember 1988

Der Faktor Zeit spielt daher – wie schon in Kapitel 4.2 beleuchtet – eine nicht unwesentliche Rolle. Im „Eckpunktepapier 2016 zur notfallmedizinischen Versorgung der Bevölkerung in der Prähospitalphase und in der Klinik“⁹⁴ werden relevante Zeitintervalle für die präklinische Patientenversorgung definiert. Im Folgenden werden die für diese Studie maßgeblichen Intervalle näher betrachtet:

Hilfsfrist. Diese zeitliche Vorgabe ist in den Bundesländern einheitlich geregelt und nicht berufsgruppenspezifisch, sondern beschreibt allgemein die Zeit zwischen Notrufeingang und Beginn einer notfallmedizinischen Versorgung an der Einsatzstelle. Durch das Nichtvorhandensein einer speziellen notärztlichen Hilfsfrist bzw. sonstiger spezieller Vorgaben sollten sich für die Disposition eines Multikopters zunächst keine Veränderungen im Vergleich zu einem Notarzteinsetzfahrzeug ergeben.

Transferzeit Landestelle – Einsatzort. Während das bodengebundene Notarzteinsetzfahrzeug in der Regel direkt bis an die Einsatzstelle vorrücken kann, ist für den Multikopter eine geeignete Landestelle notwendig. Hier kann es vergleichbar mit RTH-Einsätzen zum Teil notwendig werden, eine gewisse Strecke zum Einsatzort mit der notfallmedizinischen Ausrüstung zu Fuß zurücklegen zu müssen, sodass hier im Rahmen eines Multikoptereinsatzes (im Vergleich zum NEF-Einsatz) teilweise mit einer geringfügig längeren Transferzeit zu rechnen ist.

On-Scene-Time/Transportintervall. In der vorliegenden Studie werden die Einsatzmöglichkeiten eines Multikopters sowie Voraussetzungen und Anforderungen an einen Multikopter als schneller Notarztzubringer erfasst, analysiert und bewertet. Aktuell ist kein Multikopter am Markt verfügbar, der eine genügend hohe Nutzlastzuladung ermöglicht, um somit als eine Transportkomponente bereitzustehen. Im Rahmen der Einsatzdisposition sollte jedoch bereits optimalerweise bei der Alarmierung der Rettungsmittel feststehen, welche Transportkomponente (RTW/RTH) benötigt wird, um den Patienten schnellstmöglich in eine geeignete Behandlungseinrichtung verbringen zu können. Im „Eckpunktepapier 2016 zur notfallmedizinischen Versorgung der Bevölkerung“ werden für bestimmte Erkrankungen und Verletzungen (sog. „Tracerdiagnosen“) unter anderem Vorgaben bezüglich der Geeignetheit einer Zielklinik definiert. Hier ist in der notärztlichen Einsatzmitteldisposition ein besonderes Augenmerk auf die jeweilige Infrastruktur der Kliniklandschaft vor Ort und deren tagesaktuelle Versorgungs- und Aufnahmekapazitäten zu richten, da eine zeitversetzte Nachforderung eines RTH zum Patiententransport über eine größere Distanz bei Primäreinsatz eines Multikopters eine Verlängerung der On-Scene-Time bedeuten würde.

Auf Grundlage dieser Betrachtungen lässt sich ableiten, dass eine zielgerichtete Einsatzdisposition erheblichen Einfluss auf die Versorgungsqualität haben kann. Für den Multikopter als neues Rettungsmittel müssen vorhandene Konzepte analysiert und ggf. entsprechend angepasst werden. Weder wird der Multikopter analog zu einem RTH disponiert (fehlende Transportkomponente), noch wird der Multikopter komplett analog einem

NEF alarmiert werden können. Letzteres ergibt sich v. a. daraus, dass der Multikopter im Vergleich zu einem NEF Zeitvorteile ausspielen kann (größerer Einsatzradius, höhere Grundgeschwindigkeit) und die notärztlichen Besetzungen (ähnlich wie bei einem RTH) über eine sehr hohe Expertise verfügen werden (vgl. hierzu Kapitel 6.5.2).

6.7.2 Bewertung

Um die notarztfreie Zeit an der Einsatzstelle zu verkürzen und damit die Versorgung kritisch erkrankter oder verletzter Patienten verbessern zu können, gibt es im deutschen Rettungsdienst aktuell verschiedene methodische Ansätze. So wird beispielsweise im Modell „Telenotarzt“ die Zeit bis zum Eintreffen des bodengebundenen Notarztes damit überbrückt, dass ein Leitstellen-Notarzt mithilfe einer audiovisuellen Übertragung die Besetzung des Rettungswagens vor Ort so lange in der Patientenversorgung unterstützt, bis das NEF an der Einsatzstelle eintrifft⁹⁵. Hierbei werden allerdings verschiedene Faktoren, wie zum Beispiel ein zeitnahes Eintreffen eines speziell ausgerüsteten Rettungswagens beim Patienten und eine sichere Übertragungsmöglichkeit der Datenmengen vorausgesetzt. Spezielle notärztliche Fähigkeiten wie etwa die präklinische Notfallnarkose und Intubation oder die Anlage einer Thoraxdrainage können jedoch nicht telemedizinisch durchgeführt werden. Einen anderen Weg, das Ziel der Verkürzung des notarztfreien Intervalls zu erreichen, beschreibt die vorliegende Studie mit dem Einsatz des Multikopters mit seinen speziellen einsatztaktischen Vorteilen. Dem Aspekt der Zeitersparnis durch den Direktanflug der Einsatzstelle steht im Vergleich zum bodengebundenen Notarztdienst eine ggf. geringfügig verlängerte Transferzeit von der Landestelle, vor allem in dicht bebauten Gebieten, zum Notfallpatienten gegenüber. Aus diesem Grund ist, wenn immer möglich, die Alarmierung einer First-Responder-/Helfer-vor-Ort-Einheit anzustreben, um – neben der Verkürzung der Eintreffzeit – beim Transfer der Multikopterbesatzung und deren medizinischer Ausrüstung zu unterstützen. Insgesamt lässt sich postulieren, dass die Zeitersparnis durch den luftgestützten Transport des Notarztes die ggf. etwas verlängerte Transferzeit an der Einsatzstelle überwiegt.

Im Folgenden werden entsprechend dem „Anhang zum Eckpunktepapier 2016“⁹⁶ die Tracerdiagnosen

- schweres Schädelhirntrauma (SHT),
- akuter Schlaganfall,
- Schwerverletzte/Polytrauma,
- Sepsis,
- ST-Hebungsinfarkt,
- Reanimation bei plötzlichem Kreislaufstillstand

unter den Aspekten „Einsatztaktik/Zeitmanagement“ und „geeignete Zielklinik“ besonders untersucht. Es gilt hierbei zu differenzieren, welche Patientengruppen schnellstmögliche notärztliche Maßnahmen an der Einsatzstelle benötigen und welche Patientengruppen (zusätzlich) von einem schnellstmöglichen Zentrumstransport profitieren.

⁹⁴ Fischer et al., 2016

⁹⁵ Bayerisches Staatsministerium des Inneren, (o. J.)

⁹⁶ Mauer et al., 2016

Schweres Schädelhirntrauma. Präklinische Behandlungsschwerpunkte beim schweren SHT sind die Sicherung der Atemwege, die Sicherstellung einer adäquaten Oxygenierung und die Aufrechterhaltung eines ausreichenden zerebralen Perfusionsdruckes mittels Volumen- und/oder Katecholamintherapie. Alle diese Maßnahmen sind unumstritten notärztliche Maßnahmen. Einsatztaktisch soll diese Patientengruppe innerhalb von 60 Minuten nach Notrufeingang einem zertifizierten Traumazentrum mit neurochirurgischer Fachabteilung und Möglichkeit der Computertomographie zuverlegt werden. Vor allem bei kardiopulmonal instabilen Patienten und/oder Zeichen der Einklemmung sollen längere Transportzeiten vermieden werden.

Akuter Schlaganfall. Die Deutsche Schlaganfall-Gesellschaft (DSG) empfiehlt, bei einem Schlaganfall nur dann einen Notarzt zu entsenden, wenn durch eine Vigilanzstörung die Atemwege gefährdet sind oder Blutdruckentgleisungen sowohl in den hypotonen wie den hypertonen Bereich eine entsprechende Medikation erforderlich machen⁹⁷. Im Anhang zum Eckpunktepapier 2016 findet sich eine Empfehlung zum Einsatz einer telemedizinischen Befundübermittlung. Einsatztaktisch sollen 60 Minuten zwischen Notrufeingang und Aufnahme in eine spezialisierte Stroke-Unit nicht überschritten werden, vor allem der Teil des Patientenkollektivs, der sich noch im sog. Lysefenster befindet, profitiert von einem schnellen Transport. Die große Varianz der möglichen Einsatzmitteldispositionen unter der Maxime „Time is Brain“ erfordert von der disponierenden Leitstelle ein hohes Maß an Flexibilität.

Polytrauma. Im Bereich der Polytraumaversorgung ist die Bedeutung des Faktors „Zeit“ am besten validiert^{98, 99, 100, 101}. Hierbei orientieren sich sowohl die präklinischen Maßnahmen als auch die Klinikzuweisung eng an der S3-Leitlinie „Polytrauma/Schwerverletztenbehandlung“, viele der dort aufgeführten Maßnahmen unterliegen dem Arztvorbehalt. Nach Möglichkeit sollte ein schwerstverletzter Patient innerhalb von 60 Minuten („Golden Hour of Trauma“) nach Notrufeingang in ein zertifiziertes Traumazentrum des TraumaNetzwerks DGU[®] verbracht werden. Eine adäquate Klinikauswahl hängt nicht zuletzt von dem Vorhandensein eines (zusätzlichen) Schädelhirntraumas ab, was je nach Kliniklandschaft eventuell einen luftgestützten Patiententransport notwendig machen kann.

Sepsis. Die prähospitalen Versorgung eines Patienten mit einem Verdacht auf Sepsis soll eine Basistherapie einschließlich Sauerstoffgabe und gegebenenfalls Volumentherapie bei Hypotension enthalten. Ein Transport in ein geeignetes Zielkrankenhaus sollte innerhalb von 60 Minuten gewährleistet werden können. Die bayerischen Ärztlichen Leiter Rettungsdienst haben diese Basistherapie bei der Verdachtsdiagnose Sepsis im Rahmen einer Vorabdelegation an Notfallsanitäter übertragen, sodass die Disposition eines Notarztes – mit Ausnahme von kardiopulmonal instabilen Patienten – nicht zwingend erforderlich ist. Die jeweilige Zielklinik soll eine Notaufnahme samt CT-Diagnostik, ein Labor, eine aufnahmebereite Intensivstation und die Möglichkeit

der Fokussierung vorweisen. Hier wird es bei der aktuellen Kliniklandschaft in aller Regel möglich sein, diese Patienten bodengebunden mit oder ohne Notarzt in ein geeignetes Krankenhaus zu transportieren.

ST-Hebungsinfarkt. Die präklinische Therapie und eventuell notwendige Stabilisierung eines ST-Hebungsinfarktes entsprechen den Kernbereichen notärztlichen Handelns. Die Zeit für die Zuverlegung in eine aufnahmebereite „Chest-Pain-Unit“ (CPU) und für den Beginn der perkutanen Koronarangiographie soll nicht länger als 90 Minuten nach Notrufeingang betragen. Auch für diese Tracerdiagnose sprechen sich die Autoren des „Anhangs zum Eckpunktepapier 2016“ für den Einsatz einer telemedizinischen Befundübermittlung aus. Laut dem „Deutschen Herzbericht 2016“¹⁰² waren Ende 2016 deutschlandweit 246 Chest-Pain-Units von der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie zertifiziert, wobei dieser Bericht die geographische Verteilung der CPU als verbesserungsbedürftig einstuft. Somit sollte in aller Regel eine aufnahmebereite zertifizierte Chest-Pain-Unit im geforderten Zeitintervall bodengebunden zu erreichen sein.

Reanimation. Die präklinische Versorgung einer Reanimation orientiert sich an den Empfehlungen der aktuellen ERC-Leitlinien zur kardiopulmonalen Reanimation, welche die schnellstmögliche Anwesenheit eines Notarztes unabdingbar macht. Nach Wiederherstellung eines suffizienten Kreislaufes (ROSC) gilt es, den Patienten innerhalb von 60 Minuten in ein Krankenhaus mit den Möglichkeiten einer kardiologischen Katheterintervention, einer CT-Diagnostik und einer Intensivstation mit der Option einer Hypothermiebehandlung zu verbringen. Die sich aktuell noch im Aufbau befindliche Struktur der „Cardiac Arrest Center“ erschwert eine infrastrukturelle Aussage zu den Transportwegen zum jetzigen Zeitpunkt. Für die Ausnahmesituationen, in denen unter laufender Reanimation und einem klaren Fokus der Therapieeskalation (ECMO bei Hypothermie, Lysetherapie bei Lungenarterienembolie) der Patient in ein Zentrum gebracht werden muss, ist ein luftgestützter Patiententransport in der Regel indiziert.

Resümierend lässt sich festhalten, dass in der sich verändernden Struktur der Notfallmedizin die (notarztbesetzte) Einsatzmittelvorhaltung und -disposition unter Einbezug des neuen Rettungsmittels Multikopter deutlich differenzierter betrachtet werden muss:

Notfalleinsätze/Nicht-Tracerdiagnosen. In Einsatzsituationen, in denen mäßige bis schwere, aber nicht lebensbedrohliche Erkrankungen/Verletzungen vorliegen, kann die nötige notärztliche Expertise vor Ort in aller Regel durch den Notfallsanitäter in Zusammenarbeit mit einem Telenotarzt abgedeckt werden.

Tracerdiagnosen/strukturstarke Räume (Ballungsräume). Hier kann das bisherige System mit RTW und NEF bei kurzen Anfahrtszeiten und Transportwegen – ggf. auch in ein spezialisiertes Zentrum – weiterhin praktiziert werden.

⁹⁷ Krebs et al., 2012

⁹⁸ Wyen et al., 2013

⁹⁹ Clarke et al., 2002

¹⁰⁰ Tien et al., 2011

¹⁰¹ Sauaia et al., 1995

¹⁰² Deutsche Herzstiftung, 2016

Tracerdiagnosen/strukturschwache Räume. Wie in Kapitel 4.3 aufgezeigt kann ein Multikopter v. a. dort seine einsatztaktisch größten Vorteile ausspielen, wo die Anfahrtswege eines NEF lang sind. Allerdings sind wie aufgezeigt in ländlichen bzw. strukturschwachen Räumen nicht nur die Anfahrtswege zum Patienten von Relevanz, sondern auch die Patiententransportstrecken. Eine entsprechend differenzierte Betrachtung ist nötig:

- Ein *Rettungshubschrauber* sollte immer dann primär alarmiert werden, wenn der Zeitvorteil eines möglichst schnellen Kliniktransports ausgenutzt werden sollte. Für die Tracerdiagnosen schweres Schädelhirntrauma, kardiopulmonal instabiler Schlaganfall im Lysefenster, Polytrauma und den Transport eines Patienten unter kontinuierlicher mechanischer Reanimation ist aufgrund der zeitkritischen Zentrumszuweisung primär eine solche Dispositionsentscheidung zu treffen.
- Ein *Multikopter* sollte immer dann primär alarmiert werden, wenn der Zeitvorteil einer möglichst schnellen Notarztzuführung ausgenutzt werden sollte. Für die Tracerdiagnosen kardiopulmonal instabiler Schlaganfall außerhalb des Lysefensters, Sepsis, ST-Hebungsinfarkt und Reanimation wäre bei entsprechender Kliniklandschaft daher primär ein Multikopter zu disponieren. Einen Sonderfall stellt die Polytraumaversorgung wegen des wissenschaftlich evidenten Einflusses des Faktors Zeit auf den Outcome des Patienten dar; hier sollte bereits bei einem kleinen Zeitvorteil des Multikopters eine Parallelalarmierung zum Rettungshubschrauber erfolgen, um die einsatztaktischen Vorteile beider Systeme zu kombinieren.

Perspektivisches. Die Vorteile des Systems Multikopter beschränken sich nicht ausschließlich auf eine Optimierung des bodengebundenen Notarztsystems. Jede zeitkritische Zuführung eines Spezialisten oder Spezial equipments an die Einsatzstelle könnte zur Schonung u. a. der Transportkomponente Rettungshubschrauber zukünftig vorrangig durch das Transportmedium Multikopter übernommen werden, wie zum Beispiel die Zuführung eines

- Kinder-Notarztes,
- Neugeborenen-Notarztes,
- Toxikologen.

Ein neues Rettungsmittel mit einer dem vorliegenden Projekt vergleichbaren Zielsetzung – die außerklinische Notfallversorgung zu verbessern – wurde 2019 im Rahmen eines Pilotprojektes am Universitätsklinikum Heidelberg in Dienst gestellt¹⁰³. Dabei wird bodengebunden mit einem sog. „Medical Intervention Car“ sowohl notfallmedizinisches Spezial equipment als auch besondere notärztliche Expertise im Sinne einer Oberarztfunktion an die Einsatzstelle gefahren, um bei besonders zeitkritischen Verletzungen oder Erkrankungen mit speziellen erweiterten lebensrettenden medizinischen Interventionen bereits an der Einsatzstelle beginnen zu können. Laut einer Pressemeldung konnte z. B. bereits wenige Tage nach Indienststellung dieses Rettungsmittels die Zeit bis zu einer lebensrettenden Bluttransfusion während einer traumatischen Reanimation verkürzt werden¹⁰⁴.

Aber auch reine Transporte von medizinischen Ausrüstungsgegenständen oder eiligen Blutprodukten, Organen, Vakzinen und Seren können durch den Multikopter schnellstmöglich durchgeführt werden. Zu diesem Punkt sind noch weiterführende Untersuchungen durchzuführen.

Abschließend muss erwähnt werden, dass die Einführung des Multikopters auch Veränderungen im Luftrettungsdienst und in dessen Einsatzdisposition mit sich bringen wird. So ist abzusehen, dass sich die Anzahl der Einsätze, in denen der RTH (in Ausnahmefällen auch der ITH) lediglich eine „Notarztzubringer“-Funktion hat, deutlich verringern wird.

¹⁰³ Klinik für Anästhesiologie am Universitätsklinikum Heidelberg, 2019

¹⁰⁴ Heidelberg University, 2019

7 Rechtliche Machbarkeit

In diesem Kapitel soll die rechtliche Machbarkeit des Einsatzes von Multikoptern im Luftrettungsdienst beurteilt werden. Bis auf die von der EASA im letzten Jahr veröffentlichte Zulassungsvorschrift „SC-VTOL“ fehlt es noch an spezifischen Regelwerken für Multikopter oder eVTOLs im Allgemeinen. Multikopter mit ihren besonderen Eigenschaften lassen sich auch bei extensiver Auslegung bestehender Normen nur teilweise unter das bestehende Regelwerk subsumieren. Eine strikte Prüfung de lege lata wäre deshalb aufgrund dieses „Legal Lag“ zum einen schnell am Ende und zum anderen wenig erkenntnisbringend. Im Folgenden wird deshalb der Wille der Verwaltung und des Gesetzgebers vorausgesetzt, das Vorhaben zu unterstützen und die bestehenden Regelwerke zu ergänzen. Aus Sicht eines Luftrettungsbetreibers werden die wesentlichen zu beachtenden rechtlichen Grundlagen aus Europa-, Bundes- und Landesrecht aufgezeigt und es wird auf regulatorische Flexibilisierungen und Ergänzungen hingewiesen, die nötig wären, um diese Innovation zu ermöglichen.

Der rechtliche Rahmen für den Betrieb dieser Luftfahrzeuge muss auf die Besonderheiten des Luftrettungsdienstes zugeschnitten sein. Die Rettung eines Patienten kann das Eingehen von fliegerischen Risiken erfordern, wie sie für die sonstige Luftfahrt zu missbilligen wären. Die Kommandanten brauchen Gewissheit über das erlaubte Risiko, damit sie, sollte sich dieses Risiko doch einmal in einem Schaden realisieren, nicht der Strafverfolgung ausgesetzt sind.

Das dem Luftrettungsdienst inhärente erhöhte fliegerische Risikopotenzial kann einerseits durch erhöhte Anforderungen an die Ausbildung und Inübhaltung der Flugbesatzung, andererseits durch einen professionell organisierten Luftfahrtbetrieb ausgeglichen werden. Beides ist in der deutschen Luftrettung mit Hubschraubern gewährleistet und nichts anderes darf für die Luftrettung mit Multikoptern gelten. Begründet durch das erhöhte Risiko stellen sich die Anforderungen an einen Multikoptereinsatz im Rettungsdienst zum Teil völlig anders dar als derlei Anforderungen an einen Flugtaxidienst.

Der national geltende Flugplatzzwang erfordert schließlich die Prüfung der Rechtsgrundlagen der Landung von Multikoptern im Rettungsflugbetrieb.

7.1 Luftrecht

Für den Einsatz von Multikoptern im Luftrettungsdienst müssen diese Luftfahrzeuge zunächst für den beabsichtigten Einsatzbereich zugelassen werden. Für den Betrieb der Multikopter sind sowohl die europäische Grundverordnung für die Zivilluftfahrt und deren Durchführungsverordnungen als auch nationale Vorschriften, insbesondere die Rechtsgrundlagen für Start und Landung sowie die Anlage und Nutzung von Landstellen, zu beachten.

7.1.1 Begriffliche Einordnung des Multikopters

Die begriffliche Einordnung des relativ neuen Fluggeräts „Multikopter“ ist nicht eindeutig. Unzweifelhaft handelt es sich um ein Luftfahrzeug im Sinne der ICAO-Begriffsbestimmungen:

„Aircraft. Any machine that can derive support in the atmosphere from reactions of the air other than the reactions of the air against the surface.“¹⁰⁵

Luftfahrzeug. Jede Maschine, die durch Wechselwirkung mit der Luft, ausgenommen Wechselwirkungen der Luft mit der Erdoberfläche, in der Atmosphäre getragen wird.

Das deutsche Luftrecht kennt die Luftfahrzeugklassen „Drehflügler“ (§ 1 Abs. 2 Nr. 2 LuftVG), „Flugzeug“ (§ 1 Abs. 2 Nr. 1 LuftVG) und die „sonstigen für die Benutzung des Luftraums bestimmten Geräte“ (§ 1 Abs. 2 Nr. 11 LuftVG). Davon ist am ehesten der Drehflügler mit dem Multikopter vergleichbar.

Nach den ICAO-Begriffsbestimmungen gilt als Drehflügler:

„Rotorcraft. A power-driven heavier-than-air aircraft supported in flight by the reactions of the air on one or more rotors.“¹⁰⁵

Drehflügler. Ein motorgetriebenes Luftfahrzeug, welches schwerer als Luft ist und im Flug durch die Wechselwirkungen der Luft an einem oder mehreren Rotoren getragen wird.

Einen Multikopter unter diese Begriffsbestimmung des Drehflüglers zu fassen, löst ein Störgefühl aus, macht es den Multikopter doch gerade aus, dass er keinesfalls nur mit einem einzelnen Rotor ausgestattet ist, sondern mit einer Vielzahl an Auftriebs-einheiten. Das drückt sich schon im Namen „Multikopter“ aus, zu Deutsch etwa „Mehrfügler“ oder „Mehrdrehflügler“. Wollte man die Redundanz durch eine Vielzahl an Auftriebseinheiten betonen, könnte man auch von „Vielfügler“ oder „Vieldrehflügler“ sprechen.

Hauptvertreter der Klasse der Drehflüger ist der Hubschrauber, in der Begriffsbestimmung der ICAO:

„Helicopter. A heavier-than-air aircraft supported in flight chiefly by the reactions of the air on one or more power-driven rotors on substantially vertical axes.“¹⁰⁵

Hubschrauber. Ein Luftfahrzeug, welches schwerer als Luft ist und im Flug hauptsächlich durch die Wechselwirkungen der Luft an einem oder mehreren angetriebenen Rotoren auf im Wesentlichen senkrechten Achsen getragen wird.

Hier ergibt der Versuch der Einordnung, dass Multikopter in der Ausführung als Wandelluftfahrzeug mit horizontalen Schubtriebwerken (siehe **Tabelle 2.2:** Hauptmerkmale aktueller Konzepte von eVTOLs) die Rotoren gerade nicht hauptsächlich in der Vertikalachse anordnen.

Zwischenergebnis: **Ein Multikopter ist kein Hubschrauber.**

¹⁰⁵ ICAO, Internationale Zivilluftfahrtorganisation, 2018 Annex I 1.1 Definitions

Die EASA ordnet Multikopter als VTOL ein entsprechend der Begriffsbestimmung:

„a person-carrying vertical take-off and landing (VTOL) heavier-than-air aircraft in the small category, with lift/thrust units used to generate powered lift and control“¹⁰⁶.

ein personenbeförderndes Senkrechtstart- und -landefähiges Luftfahrzeug (VTOL) der kleinen Kategorie, das schwerer als Luft ist und mit Auftriebs-/Schubeinheiten ausgestattet ist, die zur Erzeugung von angetriebenem Auftrieb und zur Steuerung verwendet werden.

Die EASA grenzt die Multikopter von Flugzeugen und Drehflüglern ab, indem sie die Senkrechtstart- und Landefähigkeit und die verteilte Antriebserzeugung hervorhebt:

„The distinction from conventional aeroplanes is based on the VTOL capability of the aircraft while the distinction from conventional rotorcraft is based on the use of distributed propulsion, specifically when more than two lift/thrust units are used to provide lift during vertical take-off or landing.“¹⁰⁶

Der Unterschied zu herkömmlichen Flugzeugen beruht auf der Senkrechtstart- und Landefähigkeit des Luftfahrzeugs, während der Unterschied zu herkömmlichen Drehflüglern auf der Verwendung eines verteilten Antriebs beruht, insbesondere wenn mehr als zwei Auftriebs-/Schubeinheiten verwendet werden, um bei senkrechtem Start oder senkrechter Landung für Auftrieb zu sorgen.

Durch die Abgrenzung von den anderen beiden Luftfahrzeugklassen, Flugzeuge einerseits und Drehflügler andererseits, wird deutlich, dass die EASA mit VTOL eine Luftfahrzeugklasse eigener Art schaffen will.

Dem sollte sich der Bundesgesetzgeber im nationalen Luftrecht anschließen und eine neue Luftfahrzeugklasse „Senkrechtstartfähige Luftfahrzeuge mit verteiltem Antrieb (VTOL)“ in § 1 Abs. 2 LuftVG aufnehmen.

Im Folgenden wird der Begriff „Multikopter“ daher als Unterklasse zur Luftfahrzeugklasse VTOL verstanden. Ein anderer Unterfall könnten beispielsweise Wandelluftfahrzeuge mit stark verteiltem Antrieb darstellen. Als deutsche Bezeichnung für Multikopter schlagen die Autoren „Vieldrehflügler“ vor.

Wichtig ist die Unterscheidung zwischen Hubschrauber und Multikopter. Bestehende Regularien, die für Hubschrauber gelten, sind im Allgemeinen nicht ohne Weiteres auf Multikopter übertragbar.

7.1.2 Europäische Regularien

Die Europäische Grundverordnung für die Zivilluftfahrt VO (EU) 2018/1139 bildet die europarechtliche Grundlage für die Regelung der Zivilluftfahrt. Sie trat 2018 in Kraft und löste die Vorgängerverordnung 216/2008 ab.

Diese Grundverordnung des Parlaments und des Rates gibt den Rahmen vor. Konkretisiert wird sie durch Durchführungsverordnungen der Kommission, in welchen einzelne Teilbereiche der

Zivilluftfahrt genauer geregelt werden. Diese gründen aktuell noch auf der alten Grundverordnung 216/2008. Für die Luftrettung einschlägig ist vor allem die Durchführungsverordnung für den Flugbetrieb 965/2012. Diese aktuell noch gültige Vorschrift soll bis 2023 durch eine neue Stammverordnung, die dann auf der neuen Grundverordnung 2018/1139 fußt, abgelöst werden.

Die Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit (EASA) konkretisiert diese Verordnungen weiter durch den Erlass von „Soft Law“, also weichem Recht in Form von Zulassungsspezifikationen (Certification Specifications, CS), annehmbaren Nachweisverfahren (Acceptable Means of Compliance, AMC) und Anleitungen (Guidance Material, GM).¹⁰⁷ Mangels demokratischer Legitimation darf die EASA grundsätzlich nicht rechtssetzend tätig werden und verbindliche Normen aufstellen. Während dieses „Soft Law“ deshalb formalrechtlich unverbindlich ist, stehen Abweichungen von AMC unter Erlaubnisvorbehalt (ORO.GEN.120) und ein erfolgreicher Antrag ist mit so hohem zeitlichem und ökonomischem Aufwand verbunden, dass sie in vielen Fällen de facto Verbindlichkeit erlangen.¹⁰⁸ Zugleich hat ein Akteur, der in Übereinstimmung mit AMC handelt, die Gewissheit, dass die Behörde dies als Erfüllung der Rechtsvorschriften anerkennt. Trotz seiner Bedeutsamkeit in der Praxis und der De-facto-Verbindlichkeit der AMC verfasst die EASA ihr Soft Law ausschließlich in englischer Sprache. Auch die Bundesregierung stellt keine amtliche Übersetzung zur Verfügung. Der Normklarheit ist das nicht zuträglich. Inwieweit AMC deshalb vor dem Hintergrund des Bestimmtheitsgebots überhaupt geeignet sind, einen strafrechtlich bewehrten Sorgfaltsmaßstab für die Erfüllung von Pflichten, die in den Durchführungsverordnungen gründen, auszubilden, ist ungewiss. Bei einer Regulierung durch abstrakte, technikneutrale Zielvorgaben ist der Normanwender jedoch noch stärker als bisher auf den konkretisierenden Inhalt der AMC angewiesen.

7.1.2.1 Zulassung des Luftfahrzeugs

7.1.2.1.1 Anforderungen

Ein Multikopter, der in der Luftrettung Verwendung finden soll, benötigt zunächst eine Zulassung. Diese Zulassung muss dem Luftfahrzeug eine Mindestleistung bescheinigen, die es erlaubt, das Luftfahrzeug so zu betreiben, dass der Einsatzzweck im Rettungsdienst erreicht wird. Leistungsanforderungen des sicheren Rettungsflugbetriebs, die nicht schon bei der Zulassung vorausgesetzt werden, können auch in den Betriebsvorschriften normiert werden.

7.1.2.1.2 Bewertung

Die Verordnung (EU) Nr. 748/2012 der Kommission legt Durchführungsbestimmungen für die Erteilung von Lufttüchtigkeitszeugnissen für Luftfahrzeuge fest. Im Anhang 1 dieser Verordnung (Teil 21) ist konkret geregelt, wie die Zertifizierung neuer Luftfahrzeuge abläuft und welche Nachweise der Antragsteller zu erbringen hat. 21.A.16A bestimmt dabei, dass die EASA sogenannte Zertifizierungsspezifikationen (Certification Specifications, CS) für die jeweiligen Luftfahrzeug-Kategorien erlässt. Die CS sind Standardmittel zur Bestätigung der Übereinstimmung

¹⁰⁶ EASA – European Union Aviation Safety Agency, 2019, S. 4 „Applicability“

¹⁰⁷ Art. 76 Abs. 3, Art. 115 VO (EU) 2018/1139

¹⁰⁸ Hinsch, 2019, S. 17

von Produkten, Bau- und Ausrüstungsteilen mit den wesentlichen Anforderungen des Teils 21. Diese Spezifikationen müssen so detailliert und spezifisch sein, dass Antragsteller daraus die Bedingungen erkennen können, unter denen solche Zertifikate ausgestellt, geändert oder ergänzt werden.

Die EASA hat zwischenzeitlich eine Vielzahl von Zertifizierungsspezifikationen erlassen (Beispiele: CS-22/Segelflugzeuge, CS-23/Motorflugzeuge, CS-25/Großflugzeuge, CS-27/Hubschrauber bis 3.175 kg, CS-29/Hubschrauber ab 3.175 kg). Für Multikopter gibt es derzeit noch keine CS. In Vorbereitung auf diese Zertifizierungsspezifikation hat die EASA am 2. Juli 2019 aber die „Special Condition for Small-Category VTOL Aircraft“ (SC-VTOL) in Kraft gesetzt. Dieses Dokument gibt Regularien zur Entwicklung und zum Bau der neuen Klasse an Fluggeräten vor und beinhaltet Elemente aus CS-23 und CS-27:

„Therefore EASA developed this VTOL Special Condition extensively based on CS-23 Amendment 5, which is also largely harmonised with the FAA's Part 23, integrating elements of CS-27 and new elements where deemed appropriate“ (SC-VTOL, Präambel, S. 4).

Unter den Anwendungsbereich dieser Norm fallen alle manntragenden senkrecht startenden und landenden Fluggeräte (VTOL), deren Auftriebs- und Antriebseinheiten zur Erzeugung des Auftriebs und der Steuerung verwendet werden und die eine maximale Passagiersitzplatzkonfiguration von neun Fluggästen und eine maximale Abflugmasse von 3.175 Kilogramm haben. Innerhalb dieses Anwendungsbereiches wird dabei in zwei Zulassungskategorien unterschieden: Basic und Enhanced. Welche Kategorie erforderlich ist, hängt davon ab, für welchen Zweck das Fluggerät verwendet werden soll. Gemäß VTOL.2005 (b) (1) muss ein VTOL-Fluggerät, das für den gewerblichen Personentransport eingesetzt werden soll, nach Kategorie Enhanced zugelassen sein. Wird das Fluggerät als Notarztzubringer verwendet, handelt es sich um gewerblichen Personentransport. Damit ist für diesen Einsatzzweck die Zulassung nach Kategorie Enhanced notwendig. Für eine Zulassung in dieser Kategorie muss das Fluggerät gemäß MOC VTOL.2000 Nr. 2 nach einem Systemausfall oder einer Kombination von Ausfällen in der Lage sein, die sichere Fortsetzung des Flugs zu gewährleisten und eine sichere Landung durchzuführen. Die durch den Ausfall entstehenden Auswirkungen auf die Flugleistung (z. B. verbleibende Reichweite, erwarteter Höhenverlust etc.) muss der Hersteller des Fluggeräts dabei aber als sogenannte zertifizierte Mindestleistung (Certified Minimum Performance, CMP) angeben. Je geringer diese CMP ist, desto näher muss der geplante Flugweg an möglichen alternativen Landestellen vorbeigeführt werden.

„The characteristics of alternate vertiports that could be used after such failures can differ from the vertiport of intended landing. In this case, the necessary information on the required alternate vertiports should be established and decided prior to the flight to be able to plan the flight accordingly“ (MOC VTOL.2000 Nr. 2).

Um ein Fluggerät dieser Kategorie sinnvoll als Notarztzubringer einsetzen zu können, muss das entsprechende Muster daher über eine möglichst hohe CMP verfügen, da nur so der kürzestmögliche Flugweg zur Einsatzstelle gewählt werden kann.

Zusammenfassend ist damit festzustellen, dass ein Multikopter, der im Luftrettungsdienst Verwendung finden soll, über eine Zulassung nach SC-VTOL-Kategorie Enhanced mit möglichst hoher zertifizierter Mindestleistung verfügen muss.

7.1.2.2 Lizenzierung der Piloten

7.1.2.2.1 Anforderungen

Ein Großteil der aktuell weltweit in Entwicklung befindlichen Multikoptermodelle soll mittel- bis langfristig dazu in der Lage sein, autonom fliegen zu können. Dies wird aber auf absehbare Zeit rein technisch nur für vorab klar definierte Flugrouten und Starts und Landungen an entsprechenden Landeplätzen möglich sein.¹⁰⁹ Es ist hingegen nicht davon auszugehen, dass ein Multikopter in näherer Zukunft über die technischen Fähigkeiten verfügen wird, einen vorher nicht erkundeten Einsatzort im Rahmen eines Rettungseinsatzes autonom anfliegen zu können. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass für den Einsatz eines Multikopters im Rettungsdienst ein Pilot nötig sein wird. Insofern ist zu klären, über welche Lizenzen und Berechtigungen der Pilot verfügen muss. Das fliegerische Risiko des Luftrettungsdienstes verlangt einen höheren Maßstab an die Ausbildung und Inübhaltung der Flugbesatzung als andere Einsatzarten.

7.1.2.2.2 Bewertung

Die Verordnung (EU) Nr. 1178/2011 der Kommission vom 3. November 2011 regelt die technischen Vorschriften und die entsprechenden Verwaltungsverfahren in Bezug auf das fliegende Personal in der Zivilluftfahrt. Der Anhang 1 dieser Verordnung (Teil-FCL) enthält explizite Anforderungen für die Erteilung von Pilotenlizenzen und den damit verbundenen Berechtigungen und Zeugnissen sowie die Bedingungen für ihre Gültigkeit und Verwendung. Die hier definierten Anforderungen hängen dabei zum einen von der Luftfahrzeugkategorie, für welche die Lizenz gelten soll, und zum anderen von der Art der Tätigkeit (gewerblich oder privat) ab.

Derzeit gibt es in Teil-FCL Lizenz-Vorgaben für die Luftfahrzeugkategorien Flugzeug, Hubschrauber, Luftschiff, Segelflugzeug, Freiballon und Luftfahrzeug mit vertikaler Start- und Landefähigkeit.

Ein Luftfahrzeug mit vertikaler Start- und Landefähigkeit ist im Rahmen der Lizenzierungsvorschriften gemäß FCL.010 wie folgt definiert: „ein Luftfahrzeug, das Auftrieb und Vortrieb/Auftrieb im Fluge mittels Rotoren oder Triebwerken/Vortriebsvorrichtungen mit variabler Geometrie erreicht, die am Rumpf oder an Tragflächen befestigt oder darin enthalten sind“.

Die einzigen beiden aktuell zugelassenen und zertifizierten Vertreter dieser Luftfahrzeug-Kategorie sind die Boeing V-22 Osprey und die AgustaWestland AW609, wobei Erstere lediglich über eine militärische Zulassung verfügt. Beide Kipprotor-Luftfahrzeuge verfügen über eine sehr komplizierte Technik und sind höchst anspruchsvoll in der Bedienung. Dies spiegelt sich auch in den hohen Anforderungen wider, die zur Erlangung einer entsprechenden Musterberechtigung nötig sind (siehe FCL.720.PL).

¹⁰⁹ RMT.0230 EASA concept for regulation of UAS 'certified' category operations of Unmanned Aircraft Systems (UAS), 1.3., S. 14, "Operations type #2"; DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2019/947 DER KOMMISSION vom 24. Mai 2019 Art. 6 Abs. 1 Buchstabe b Ziffer ii

Je nach Bauweise (z. B. kippbare Propeller und/oder Tragflächen bzw. Schubvektorsteuerung) könnten einzelne Multikoptermodelle unter die zitierte Definition subsumiert werden. Im Gegensatz zu den vorher genannten „großen“ Vertretern müssen Fluggeräte der neuen Kategorie (Small-Category VTOL Aircraft) aber über einfache und gutmütige Flugeigenschaften verfügen (siehe VTOL.2135 (a): The aircraft must be controllable and manoeuvrable, without requiring exceptional piloting skills [...]).

Es ist daher davon auszugehen, dass für SC-VTOL-Fluggeräte eigenständige Lizenzvorgaben erstellt und in Teil-FCL implementiert werden. Da bereits die Zulassungsvorschriften für diese neue Luftfahrzeugkategorie eine Kombination aus den existierenden Vorgaben zur Flugzeugkategorie CS-23 und Hubschrauberkategorie CS-27 darstellen (siehe Passus zu SC-VTOL), ist zu vermuten, dass auch im Rahmen der Lizenzvorgaben bereits bestehende Regelungen aus beiden Bereichen übernommen werden. Es kann insofern davon ausgegangen werden, dass ein Pilot, der einen Multikopter im Rahmen von Rettungseinsätzen steuern soll, über eine ähnliche Lizenz bzw. Berechtigung verfügen muss wie ein Hubschrauberpilot, der aktuell Hubschraubereinsätze fliegt.

7.1.2.3 Einordnung als gewerblicher Luftverkehr

7.1.2.3.1 Anforderungen

Die europäische Durchführungsverordnung für den Flugbetrieb VO (EU) 965/2012 ist in verschiedene Anhänge gegliedert, die jeweils unterschiedliche Pflichtenkreise für das jeweilige flugbetriebliche Vorhaben definieren. Die Einordnung eines Vorhabens bestimmt dadurch nicht zuletzt über das flugbetriebliche Sicherheitsniveau.

Die Einordnung eines Multikopter-Luftrettungsflugbetriebs in einen der Abschnitte ist aufgrund der Art des Betriebs nicht von vornherein zwingend vorgegeben. Auch systematische Erwägungen und solche der flugbetrieblichen Sicherheit müssen betrachtet werden.

7.1.2.3.2 Bewertung

Die europäische Grundverordnung für die Zivilluftfahrt VO (EU) 2018/1139 definiert in Art. 3 den Begriff „gewerblicher Luftverkehr“ („Commercial Air Transport“, CAT) als

„den Betrieb von Luftfahrzeugen zur Beförderung von Fluggästen, Fracht oder Post gegen Entgelt oder sonstige geldwerte Leistungen“.

Anders als bei einem Rettungshubschrauber ist der Transport von Patienten bei Multikoptereinsätzen, wie sie diese Studie untersucht, ausgeschlossen. Ob der Arzt ein Fluggast ist, der gegen Entgelt befördert wird, hängt davon ab, ob er fliegerische Aufgaben übernimmt; denn dann wäre er Teil der Flugbesatzung und kein Passagier. Wie nachfolgend (in Kap. 7.1.2.6.2) aufgezeigt wird, gehen wir davon aus, dass der Arzt die fliegerischen Aufgaben eines TC HEMS übernehmen wird. Damit wäre er kein Fluggast.

Allenfalls könnte man argumentieren, dass zumindest die medizinische Rettungs-ausrüstung Fracht ist, deren Transport für

die Zweckerreichung des Rettungsflugs unabdingbar ist. Dieser Transport wird auch vergütet.

Somit ist aus dem Vorhaben an sich die Einordnung als gewerblicher Luftverkehr nicht eindeutig. Die reine Notarztzubringung könnte auch als spezialisierter, nichtgewerblicher Flugbetrieb nach den Anhängen VI (NCC), VII (NCO) und VIII (SPO) der VO (EU) 965/2012 eingeordnet werden.

Dennoch sprechen sowohl systematische Erwägungen als auch Erwägungen der flugbetrieblichen Sicherheit für die Einordnung als gewerblicher Luftverkehr.

So setzt bereits der bestehende Luftrettungsbetrieb mit Hubschraubern (HEMS) ein Luftverkehrsbetreiberzeugnis (AOC) für den gewerblichen Luftverkehr (CAT) voraus (SPA.HEMS.100 Buchstabe b Nr. 1). Im Wesentlichen gleiche Einsätze mit anderen Luftfahrzeugklassen sollten denselben Voraussetzungen unterliegen. Daher sollten schon aus systematischen Gründen Luftrettungseinsätze mit Multikoptern ein CAT-AOC und eine Sondergenehmigung nach Anhang V erfordern, etwa als „SPA.EMS“ oder „SPA.VEMS“.

Zudem stellt der gewerbliche Luftverkehr besondere Voraussetzungen an den Kommandanten, die Betreiberorganisation sowie die Luftaufsicht und setzt professionelle Verfahren für den Betrieb motorgetriebener Luftfahrzeuge voraus. Diese Regeln bieten Gewähr für eine hohe Sicherheit des Flugbetriebs. Die Luftrettung ist eine der anspruchsvollsten Arten des Flugbetriebs überhaupt. Das ihr innewohnende erhöhte Gefahrenpotenzial bedarf eines professionellen Flugbetriebs, geführt durch eine professionelle Organisation. Es wäre bedauerlich, wenn für die Luftrettung mit Multikoptern von diesem Sicherheitsniveau abgewichen würde. Die Anwendung der Vorschriften für den gewerblichen Luftverkehr und das Erfordernis einer Sondergenehmigung sollten deshalb auch für Multikopter im Rettungsdienst gelten. Es wäre kaum vermittelbar, wenn für die Luftrettung ein geringeres Sicherheitsniveau gelten würde als für Flugtaxi.

7.1.2.4 Luftfahrzeugleistung und Betriebsbeschränkungen (Teilabschnitt C/CAT.POL der VO (EU) 965/2012)

Ein großer Teil des Luftverkehrsrechts dient der Sicherheit des Flugbetriebs. Sicherheit ist ein Zustand, bei dem das tatsächliche Risiko geringer ist als das zulässige Risiko. Risiko wiederum wird allgemein durch das Verhältnis von Fehlerwirkung zu Fehlereintrittswahrscheinlichkeit definiert.

Regularien zur Abwehr betriebsbedingter Gefahren zielen darauf ab, die Wahrscheinlichkeit für einen Fehler in einem akzeptablen Verhältnis zu dessen Auswirkungen zu halten. Ein katastrophaler Fehlzustand muss extrem unwahrscheinlich bleiben (zulässiges Risiko). Als extrem unwahrscheinlich wird ein Fehlzustand in der Luftfahrt zumeist definiert, wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit geringer als 10^{-9} pro Flugstunde ist.¹¹⁰ Auch für VTOLs hat die EASA das zu erreichende Sicherheitsziel bei der Zulassung für den gewerblichen Luftverkehr in der Kategorie „Enhanced“ auf diesen Wert festgelegt (AMC VTOL.2510). Das zulässige Risiko für einen katastrophalen Fehler wird mit 10^{-9} pro Flugstunde beziffert.

¹¹⁰ Vgl. AMC 25.1305(d)(1) zu CS.25; ARP4761

Oft bewegt sich die Luftfahrt an der Grenze des technisch Möglichen. Dabei hat jede Luftfahrzeugklasse ihre eigenen konstruktiven Schwächen, die in jeweils unterschiedlichen Systembereichen die Einhaltung des zulässigen Risikos zur Herausforderung machen. Teilweise ist es konstruktiv nicht möglich, das zulässige Risiko einzuhalten. In diesen Fällen muss durch regulatorische Vorgaben der **Betrieb** des Luftfahrzeugs eingeschränkt werden, um das Risiko weiter zu minimieren und auf ein zulässiges Maß zurückzudrängen. Technische Unzulänglichkeiten werden so durch regulatorische Betriebsbeschränkungen ausgeglichen.

Bei Hubschraubern sind die Triebwerke eine konstruktive Schwäche. Ein Triebwerksausfall bei einem Hubschrauber kann, je nach Fluglage und Zeitpunkt, katastrophale Folgen mit Personenschäden nach sich ziehen. Dennoch erreichen heutige Hubschraubertriebwerke nicht die erforderliche Ausfallsicherheit von 10^{-9} pro Flugstunde. Bei Hubschraubern wird deshalb der Betrieb regulatorisch eingeschränkt. Dies geschieht durch die Einordnung von Hubschraubern in die Zulassungskategorien A und B sowie die darauf aufbauenden Flugleistungsklassen für den Betrieb. In der Folge existiert für Hubschrauber im Teilabschnitt C (CAT.POL.H) der VO (EU) 965/2012 eine Vielzahl von regulatorischen Einschränkungen in Abhängigkeit von den Leistungsreserven in der jeweiligen Flugphase.

Multikopter bzw. eVTOLs zeichnen sich dagegen durch ein verteiltes Antriebssystem aus. Durch die, je nach Konstruktion, Vielzahl von Antriebseinheiten ergibt sich ein hochredundantes Antriebssystem. Auch für den Fall des Ausfalls mehrerer Antriebseinheiten können bestimmte Multikopter durch die Redundanz ein katastrophales Versagen bereits konstruktiv verhindern, sofern die Teilsysteme voneinander unabhängig arbeiten und die Asymmetrie des Schubs bei einem Teilausfall innerhalb gewisser Grenzen bleibt. Die Skalierung des Antriebssystems wird deutlich einfacher realisierbar sein als bei Hubschraubern. Es ist daher unwahrscheinlich, dass regulatorische Betriebseinschränkungen in Abhängigkeit von punktuellen Leistungsreserven nötig werden. Die Handlungsfreiheit des Luftfahrzeugführers bzw. des Betreibers im Hinblick darauf einzuschränken ist daher nicht angezeigt.

Multikopter aber kämpfen mit der zur Verfügung stehenden Energie. Schon die reguläre Flugreichweite ist eng begrenzt. Bei Ausfall mehrerer Energiespeicher (z. B. durch Überhitzung) oder bei erhöhtem Energiebedarf im Fehlzustand kann daher die verbleibende Flugreichweite stark eingeschränkt sein und damit auch die zur Auswahl stehenden erreichbaren Notlandeflächen. Betriebseinschränkungen des Gesetzgebers oder des Herstellers müssten dann die Abwendung schwerwiegender Störungen sicherstellen. Das könnte die Pflicht sein, entlang des Flugwegs vorerkundete Notlandestellen einzurichten.

Weiterhin könnte das Flugsteuersystem operative Einschränkungen des Fluggeräts erfordern¹¹¹, zu deren Einhaltung der Betreiber regulatorisch verpflichtet werden müsste. Anders als bei Hubschraubern werden beim Multikopter die aerodynamischen Steuerflächen bzw. die steuerungswirksamen Antriebssysteme nicht direkt vom Luftfahrzeugführer angesteuert. Stattdessen setzen Steuerungsrechner die Eingaben des Piloten

in Bewegungen der Steuerflächen bzw. Drehzahl der Auftriebssysteme um. Je nach Ausfallsicherheit und Redundanz dieser Steuerungscomputer sind operative Auflagen, wie die Pflicht zur Landung innerhalb von Sekunden oder wenigen Minuten nach Ausfall einer kritischen Anzahl von Steuercomputern, zu erwarten. Als Folge kommt auch hierdurch der Verfügbarkeit und Erreichbarkeit von Notlandestellen hohe Bedeutung zu.

Je nachdem, mit welchen Betriebsbeschränkungen das verwendete Multikoptermodell zugelassen wird, kann die Tauglichkeit für den Einsatz im Luftrettungsdienst betroffen sein. Die meisten Multikopter sind für die Anwendung als Flugtaxi konstruiert. Für diese Anwendung ist der Flugweg vorherbestimmt und Notlandeflächen können vorerkundet werden bzw. lassen sich bei Bedarf zusätzlich einrichten. Ganz anders im Luftrettungsdienst: Hier steht der Zielort nicht fest und es bleibt auch sehr wenig Zeit (wenige Sekunden) für die Flugwegsplanung. Eventuelle regulatorisch vorgegebene Kriterien für den Flugweg, insbesondere Notlandeflächen, müssten für den gesamten Einsatzraum vorerkundet werden. Diese Informationen müssten aktuell gehalten werden. Vorstellbar wäre dies langfristig mithilfe moderner Fernerkundung, etwa durch ein hochauflösendes, satellitengestütztes Radar oder Aufklärungsdrohnen. Um diese Informationen im Rahmen der Flugwegsplanung vor einem Alarmstart oder noch im Flug zeitgerecht auszuwerten, würde der Pilot auf die Unterstützung automatisierter Systeme und evtl. einsatzunterstützendes Bodenpersonal angewiesen sein. Ebenso kann die Einsatzreichweite nur unter Berücksichtigung der Flugwegskriterien exakt bestimmt werden. Bedingt durch nötige Umwege, würde der durch die Reichweite begrenzte Einsatzraum keine ideale Kreisform darstellen, was möglicherweise Auswirkungen auf die rettungsdienstliche Feinplanung haben würde.

Multikopter bewegen sich an der Grenze des technisch Machbaren. Es ist möglich, dass für Multikopter noch andere Betriebsbeschränkungen durch den Hersteller (im Rahmen der Zulassung) oder den europäischen Normgeber (durch Flugbetriebsregularien) erforderlich werden. Diese sind jedoch heute nur schwer abschätzbar, auch aufgrund der konstruktiven Vielfalt dieser Luftfahrzeugklasse.¹¹² Es ist ferner zu erwarten, dass aufgrund der konstruktiven Vielfalt der Multikopter die Regeln zu Betriebseinschränkungen von der Durchführungsverordnung für den Flugbetrieb (VO (EU) 965/2012 bzw. deren Nachfolgerin) hin zur Zulassungsvorschrift bzw. hin zur individuellen Zulassung wandern. Werden die Beschränkungen bereits innerhalb der Zulassung festgelegt, ist das für Betreiber problematisch, raubt es ihnen doch die Möglichkeit, eigene Verfahren gleichen Sicherheitsniveaus (alternative Nachweisverfahren, AltMOC) zu entwickeln, die an deren jeweilige Betriebsbedürfnisse angepasst sind. Auch kann das erlaubte Einsatzrisiko dann regulatorisch nur schwer an das Einsatzinteresse angepasst werden. Betreiber haben wenig Einfluss auf die Zulassung der Luftfahrzeuge. Sollte es die EASA im Falle einer Verlagerung der Betriebsbeschränkungen in die Zulassung versäumen, diese Zulassungen weitreichend zu flexibilisieren, um auch eine Differenzierung anhand unterschiedlicher Betriebsbedingungen zu erlauben, steht zu befürchten, dass durch die Zulassung bereits die spätere betriebliche Nutzung final festgelegt wird und kein Raum mehr für Nischenanwendungen wie die Luftrettung bleibt.

¹¹¹ Entwurf MOC VTOL Iss. 1, MOC VTOL.2000 Ziffer 2

¹¹² SC-VTOL, Iss 01, Preamble

Derartige Betriebsbeschränkungen können wünschenswerte gesellschaftliche Anwendungen wie die Realisierung von Multikoptereinsätzen im Rettungsdienst gefährden. Nicht jeder Multikopter, der als Flugtaxi geeignet ist, wird auch für den Rettungseinsatz geeignet sein. Hersteller richten ihre Entwicklungsbemühungen gleichwohl an den Erfordernissen eines Flugtaxi aus. Auch die EASA richtete die Entwicklung der SC-VTOL an den Betriebskonzepten für Flugtaxianwendungen aus.¹¹³ Je nachdem, welche Betriebseinschränkungen die konstruktiven Schwächen der ersten Multikopter verlangen, könnte der Einsatz als Luftrettungsmittel sich verzögern oder ausgeschlossen werden. Die Ankündigung der Bundesregierung, sich intensiv in die Arbeiten der EASA zur Zulassung von eVTOL einzubringen¹¹⁴, lässt erwarten, dass die Bundesregierung dabei das besondere öffentliche Interesse an einem performanten Rettungsdienst vertritt und auf ausreichende Flexibilisierungsklauseln hinarbeitet, die eine Anwendung der Multikopter auch im Rettungsdienst ermöglichen werden.

7.1.2.5 Sonderregelungen für medizinische Noteinsätze

7.1.2.5.1 Anforderungen

Zu den Gefahren, die vom Flugbetrieb ausgehen, treten im Luftrettungsdienst die medizinischen Gefahren für den Patienten hinzu. Der regulatorische Ausgleich beider Risikopotenziale muss einerseits eine Flexibilisierung des Flugbetriebs ermöglichen und andererseits eine hohe Sicherheit des Flugbetriebs gewährleisten. Dies erfordert gesonderte Regelungen des Flugbetriebs in diesem Bereich.

7.1.2.5.2 Bewertung

Der Teilabschnitt J der VO (EU) 965/2012 sieht spezielle Regelungen für Hubschrauberrettungseinsätze vor. Er stellt den Einsatz von Hubschraubern für medizinische Noteinsätze unter Erlaubnisvorbehalt (SPA.HEMS.100). Der Teilabschnitt flexibilisiert die allgemeinen luftrechtlichen Regelungen und stellt andererseits erhöhte Anforderungen an den Betreiber, das Fluggerät und die Besatzung, um die Flugsicherheit zu gewährleisten.

Der gesamte Teilabschnitt J der VO (EU) 965/2012 steht jedoch unter der Überschrift „Medizinische Hubschraubernoteinsätze“¹¹⁵. Hiermit wird die im Luftrettungsdienst zu verwendende Luftfahrzeugklasse durch den Gesetzgeber vorgeprägt. Allgemeinere, technikneutrale (Erlaubnis-)Normen für Einsätze von Luftfahrzeugen im Rettungsdienst fehlen. Eine technikneutrale, ergebnisorientierte Neuregulierung des Teilabschnitts J, welche Multikopter mit einbezieht, wäre für den Einsatz von Multikoptern als Notarztzubringer notwendig. Unabhängig vom Fluggerät muss das erlaubte Risiko des Flugbetriebs dem Patientenrisiko angepasst werden. Damit einhergehend sind als Risikominimierungsmaßnahme unabhängig vom Fluggerät erhöhte Anforderungen an den Betreiber, die Besatzung sowie die Leistung und Zuverlässigkeit des Fluggeräts zu stellen.

Der hohe Qualitätsstandard in der medizinischen Versorgung und der Flugsicherheit, die wir im deutschen Luftrettungswesen erreicht haben, könnte weiter gestärkt werden, wenn das Luftfahrtbundesamt die öffentlich-rechtliche Beauftragung durch einen Träger des Rettungsdienstes zur zeitlich aufschiebenden und begrenzenden Wirksamkeitsbedingung einer luftrechtlichen Genehmigung für medizinische Noteinsätze (HEMS) mit Luftfahrzeugen machen würde.

7.1.2.6 Sichtflugregeln und Sichtflugmindestbedingungen

7.1.2.6.1 Anforderungen

Flüge der Luftrettung finden auch außerhalb von Flugplätzen und anderer Infrastruktur statt. Daher werden sie auf absehbare Zeit zumindest teilweise auf Sichtflugbedingungen angewiesen bleiben. Dies gilt auch für Multikopter, zumindest solange keine schnelle, flexible und verlässliche Fernerkundung der Landestelle möglich ist. Die Mindestbedingungen im Sichtflugbetrieb sind deshalb eine wichtige regulatorische Größe für Rettungseinsätze aus der Luft.

Die Regeln müssen das Interesse an der Abwehr einer Patientenschädigung in ein ausgewogenes Verhältnis zum Interesse an einem sicheren Flugbetrieb stellen. So müssen auch Flüge bei nur geringen Sichten möglich sein und das Unterfliegen von geschlossenen Wolkendecken in geringer Höhe muss im Rahmen von Noteinsätzen erlaubt sein.

7.1.2.6.2 Bewertung

Die Gemeinsamen europäischen Luftverkehrsregeln (Standardised European Rules of the Air, SERA) bestimmen sich grundsätzlich nach der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 923/2012 der Kommission vom 26. September 2012. Artikel 1 Absatz 2 dieser Durchführungsverordnung bestimmt, dass diese Regeln für alle Luftfahrzeuge gelten, die am allgemeinen Luftverkehr teilnehmen. Der Multikopter ist ein Luftfahrzeug im Sinne dieser Durchführungsverordnung (Art. 2 Nr. 18). Artikel 4 der Durchführungsverordnung erlaubt auf Antrag Ausnahmen für medizinische Flüge (Abs. 1 Buchstabe e). Zuständig für einen solchen Antrag sind in Deutschland die Landesluftfahrtbehörden (§ 3 Nr. 2 Buchstabe a LuftVO). § 39 LuftVO genehmigt in Deutschland Such- und Rettungsflüge allgemein, unabhängig von der Luftfahrzeugklasse oder einer öffentlichen Beauftragung, ein Abweichen von den allgemeinen Mindestsichtwetterbedingungen (SERA.5001) und den Sichtflugregeln (SERA.5005).

Inwieweit eine Abweichung überhaupt nötig ist, ist bei den Mindestsichtwetterbedingungen fraglich. Zwar sieht bereits Fußnote b zu SERA.5001¹¹⁶ eine Ausnahme für Hubschrauber vor, Multikopter sind jedoch keine Hubschrauber. Im Folgesatz sind in der Fußnote noch weitergehende Ausnahmen für medizinische Flüge vorgesehen. Ob diese Ausnahmen für medizinische Flüge sich auch auf andere Luftfahrzeuge als Hubschrauber erstrecken, ist zumindest zweifelhaft und bedarf der Klärung durch den europäischen Gesetzgeber bzw. durch Begleitmaterial der EASA.

¹¹³ SC-VTOL, Iss 01, S. 5

¹¹⁴ Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2020, S. 38

¹¹⁵ Engl. „Helicopter Emergency Medical Services [HEMS] Operations“

¹¹⁶ Geändert durch die Durchführungsverordnung (EU) 2016/1185 der Kommission vom 20. Juli 2016

Hier wäre eine technikneutrale, ergebnisorientierte Regulierung wünschenswert. Inwieweit bereits SERA.5001 Ausnahmen für medizinische Flüge gewährt, kann letztlich aber dahingestellt bleiben, da von SERA.5001 insgesamt abgewichen werden kann (§ 39 LuftVO).

Ein durch § 39 LuftVO genehmigtes Abweichen von dieser Regel zur Hilfeleistung (Alt. 2) bei einer konkreten Gefahr für Leib oder Leben einer Person, wie das typischerweise beim Hinflug zum Patienten der Fall sein wird, ist unzweifelhaft auch für den Multikopterbetrieb möglich. Der Wiederstart und Rückflug unter schwierigen Wetterbedingungen nach einer Patientenversorgung allerdings wäre nach dieser Alternative nicht mehr möglich, da es dann am Fortbestand einer konkreten Gefahrenlage fehlen würde. Die Alt. 1 des § 39 LuftVO stellt jedoch Flüge im Rettungseinsatz frei. Dabei liegt die Betonung auf „Einsatz“ im Unterschied zu einem einzelnen Flug. Als Einsatz müssen in Anlehnung an die Definition des HEMS-Einsatzes des GM5 Annex I zu VO (EU) 965/2012 alle Flugabschnitte gemeinsam gesehen werden. Daher wäre durch diese nationale Allgemein Genehmigung im Multikopter-Rettungseinsatz ein Abweichen von Sichtflugminima und Sichtflugregeln möglich.

Für Hubschraubereinsätze sah es der europäische Gesetzgeber als nötig an, eine gesonderte Sichtflugminimatabelle (SPA.HEMS.120 der VO (EU) 965/2012) zu erstellen. Diese gilt in Bezug auf SERA.5001, Art. 4 Abs. 1 Buchstabe e der VO (EU) 923/2012 und § 39 LuftVO als speziellere Regelung. Für Noteinsätze mit anderen Luftfahrzeugklassen, wie dem Multikopter, fehlt eine solche Regelung. Ein sachlicher Grund, weshalb andere langsamflugfähige Luftfahrzeuge unterschiedlich zu behandeln wären, ist nicht ersichtlich. Auch ein unterschiedlicher Sicherheitsanspruch an diese Luftfahrzeuge wäre nicht sachgerecht. Daher wäre es wünschenswert, dass die Kommission oder die EASA abgesenkte, aber allgemein verbindliche Minima für Rettungseinsätze (EMS) unabhängig vom Fluggerät festlegt. SPA.HEMS.120 kann hierfür als Vorlage dienen.

SPA.HEMS.120 gibt Betriebsmindestbedingungen für medizinische Hubschraubereinsätze in Abhängigkeit der Pilotenanzahl vor. Viele der momentan zur Verfügung stehenden Multikopter sind auf das Tragen von höchstens zwei Personen ausgelegt. Ein Notarztzubringer kann in diesen Fällen nur mit einem einzelnen Piloten ausgestattet sein, was bei einer technikneutralen Neuregelung zu beachten wäre.

Der Exekutivdirektor der EASA hat am 18.06.2018 eine Benachrichtigung über eine vorgeschlagene Änderung des Regelwerks bezüglich der Leistungsanforderungen an Hubschraubereinsätze und Landestellen im öffentlichen Interesse veröffentlicht.¹¹⁷ Diese Änderung sieht vor, dass SPA.HEMS.120 dahingehend geändert wird, dass für eine Flugbesatzung im Rettungshubschrauberbetrieb, bestehend aus einem Einzelpiloten, die allgemeinen gemeinsamen europäischen Luftverkehrsregeln nach SERA.5005 gelten sollen, sofern nicht ein angemessen ausgebildeter TC HEMS in der Kanzel sitzt.¹¹⁸ Der nationale Gesetzgeber

sollte dann die Beziehung des § 39 LuftVO zu der neuen SPA.HEMS.120 Buchstabe c klarstellen, um Rechtsunsicherheit für die Flugbesatzung zu vermeiden. Würde nun die Vorschrift SPA.HEMS.120 so weit geöffnet, dass sie nicht nur für Hubschrauber, sondern generell für alle senkrechtstartfähigen bzw. langsamflugfähigen Luftfahrzeuge gilt, würde das für einen Multikoptereinsatz als Notarztzubringer bedeuten, dass der Notarzt die fliegerische Rolle eines TC HEMS übernehmen müsste, damit die spezifischen HEMS-Minima Anwendung finden könnten. Schließlich wird die zweite Person in der Kanzel, momentan der TC HEMS, allgemein als wesentlich für die Sicherheit von Einzelpiloteneinsätzen erachtet.

„The HEMS technical crew member is considered to be essential to the safety of single-pilot operations“¹¹⁹.

Diese Wertung kann und sollte vom Hubschrauberbetrieb auf den Multikopterbetrieb im Rettungseinsatz übertragen werden. Inwieweit zu einem späteren Zeitpunkt über Datenfunk verbundene Fernpiloten oder Fern-TC-HEMS diese Aufgabe zuverlässig übernehmen können, ist heute noch weitgehend spekulativ.

Infolgedessen müssten Notärzte, die am Rettungsflugbetrieb mit Multikoptern teilnehmen wollen, umfangreich fliegerisch geschult werden. Sie müssen in die Lage versetzt werden, den Kommandanten

- bei der Vermeidung von Zusammenstößen in der Luft,
- bei der Auswahl von Landestellen,
- bei der Erkennung von Hindernissen im An- und Abflug sowie
- beim Anwenden der Prüflisten

wirksam zu unterstützen.¹²⁰ Der Kommandant kann ferner die Unterstützung der zweiten Person bei der Navigation, des Funkverkehrs einschließlich der Auswahl und Vorbereitung der Funksprechmittel sowie der Überwachung von Flugparametern abrufen. Auch hierfür müsste der Notarzt geschult werden. Generell kann also erwartet werden, dass an den Notarzt eines Multikoptereinsatzes im Rettungsdienst durch dessen Doppelrolle erhöhte Qualifikationsanforderungen gestellt werden. Eine hohe Fluktuation, wie heute bei Rettungshubschrauberärzten oft üblich, wäre mit entsprechendem Aufwand für Schulung, Simulatortraining, Inübunghaltung, Fliegen unter Aufsicht und Prüfung verbunden.

7.1.3 Nationale Regularien

7.1.3.1 Rechtsgrundlagen der Landung

In Deutschland herrscht Flugplatzzwang. Luftfahrzeuge dürfen außerhalb der für sie genehmigten Flugplätze nicht starten oder landen (§§ 25 Abs. 1 Satz 1, 6 LuftVG). Der nationale Gesetzgeber knüpft an unbefugte Außenlandungen hohe Strafen (§§ 58 Abs. 1 Nr. 8a, 60 Abs. 1 Nr. 4 LuftVG). Für Rettungspiloten sind Außenlandungen nicht die Ausnahme, sondern die Regel. Sie benötigen eine sichere Rechtsgrundlage für ihre Tätigkeit. Stellt die Landung an sich nämlich bereits eine Pflichtverletzung des Piloten dar, kann ein hinzutretender Gefährdungs- oder Schadenserfolg noch weitreichendere Straftatbestände (§§ 222, 229, 315a StGB)

¹¹⁷ Notice of Proposed Amendment (NPA) 2018-04

¹¹⁸ NPA 2018-04, 31

¹¹⁹ NPA 2018-04, 18

¹²⁰ AMC1 SPA.HEMS.130(e) Buchstabe b in der Fassung NPA 2018-04, 44

erfüllen, ohne dass es eines weiteren Fehlverhaltens des Piloten bedürfte. Deshalb kommt in der Luftrettung den rechtlichen Voraussetzungen für eine befugte Landung besonders hohes Gewicht zu. Auch für den Multikopterbetrieb muss die Politik den Rettungspiloten robuste Rechtsgrundlagen für Landungen zur Verfügung stellen.

7.1.3.1.1 Landung am Notfallort

7.1.3.1.1.1 Anforderungen

Notfälle sind nicht vorhersehbar, weder was den Ort noch was die Zeit betrifft. Eine Landung am Notfallort darf deshalb in Bezug auf Ort und Zeit unter keinerlei Voraussetzungen stehen. Dieser Offenheit müssen einschränkende Anforderungen gegenübergestellt werden, was die Notlage betrifft, um den Flugplatzzwang nicht vollständig zu verwässern.

Luftfahrzeugführer im Rettungsdienst verfügen über kein eigenes Lagebild. Sie werden von der Leitstelle alarmiert und müssen sich darauf verlassen, dass das Bestehen einer hinreichenden Notlage bereits geprüft wurde. Dem Luftfahrzeugführer ist es im Alarmierungsfall nicht möglich, Dispositionsentscheidungen der Leitstelle zu hinterfragen.

7.1.3.1.1.2 Bewertung

§ 25 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 LuftVG stellt Landungen, die zur Hilfeleistung bei einer Gefahr für Leib oder Leben einer Person erforderlich sind, erlaubnisfrei.

Die Vorschrift stellt keine Voraussetzung an Ort oder Zeit der Landung. Die Notlage ist dagegen eng gefasst: Es muss eine konkrete¹²¹ Gefahr für Leib oder Leben bestehen. Eine nur leichte Verletzung rechtfertigt die Landung nicht.¹²² Dabei ist unerheblich, ob die Gesundheitsschädigung auf einer körperlichen Substanzbeeinträchtigung beruht, die sich in vielen Fällen mithilfe des „NACA-Score“ vergleichsweise leicht einstufen lässt. Auch eine Funktionsstörung, Verunstaltung sowie allgemein das Hervorrufen oder Steigern eines krankhaften Zustands kommen als Verletzung in Betracht.

Ferner muss die Landung für die Hilfeleistung erforderlich sein, d. h., sie muss mindestens Mittel in Bezug auf die vom Flugplatzzwang geschützten Rechtsgüter sein.¹²³

Der Luftfahrzeugführer verlässt sich bei der initialen Prüfung der Notlage auf die Leitstelle. Der Alarmierungsalgorithmus der Leitstelle stellt sicher, dass die Luftrettung nicht zu Patienten gerufen wird, die schon vorab anhand des Leitstellenlagebilds erkennbar nur leicht verletzt sind. Ein Hinterfragen der Notlage bei Alarmierung wäre für den Rettungspiloten in Garantienstellung schlichtweg unzumutbar. Das Bestehen einer Notlage kann daher im Alarmierungsfall unterstellt werden.

Die Landung wird auch in den allermeisten Fällen erforderlich für die Hilfeleistung sein. Insbesondere die Sichtung eines bereits behandelnden Notarztes des Bodenrettungsdienstes wird die

Erforderlichkeit der Landung in den allermeisten Fällen für sich genommen nicht ausschließen.

Notwendige Zwischenlandungen zum Tanken, Laden oder für einen Akkuwechsel auf dem Hinflug zum Notfallort sind ebenfalls von dieser Vorschrift gedeckt, da hier die konkrete Gefahrensituation fortbesteht. Solche Landungen sind in der Grundvariante des Einsatzkonzepts zwar nicht enthalten, können aber vereinzelt nötig sein.

§ 25 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 LuftVG ist auf alle Luftfahrzeugklassen, auch auf Multikopter, anwendbar.

Am Notfallort wäre damit die Landung eines Multikopters im Rettungsdienst nach § 25 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 LuftVG grundsätzlich erlaubnisfrei. Es besteht kein Unterschied zu heutigen Luftrettungseinsätzen mit Hubschraubern und bezüglich der Rechtsgrundlagen am Notfallort kein Handlungsbedarf.

7.1.3.1.2 Landung am Krankenhaus

7.1.3.1.2.1 Anforderungen

Obwohl Multikopter derzeit nicht für den Patiententransport geeignet sind, wird die Landung an Krankenhäusern nötig sein. Denn begleitet der Notarzt den Patienten bodengebunden zum Krankenhaus, muss er dort wieder abgeholt werden, um die Einsatzbereitschaft des Luftrettungsmittels wiederherzustellen. In solchen Fällen, in denen keine konkrete Gefahrenlage mehr besteht, ist § 25 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 LuftVG keine ausreichende Rechtsgrundlage für eine Landung.¹²⁴ Es bedarf daher an den Krankenhäusern einer anderen Rechtsgrundlage zur Landung.

In Betracht kommt der genehmigte Landeplatz, eine Landestelle im öffentlichen Interesse oder eine Außenlandegenehmigung.

7.1.3.1.2.2 Bewertung

7.1.3.1.2.2.1 Genehmigter Landeplatz

Viele Krankenhäuser sind mit genehmigten Landeplätzen ausgestattet. Diese sind überwiegend als „Hubschraubersonderlandeplätze“ nach § 6 LuftVG genehmigt. Viele Genehmigungsurkunden gestatten ausdrücklich nur die Landung mit Hubschraubern. Da, wie vorher (Kapitel 7.1.1) gezeigt, Multikopter keine Hubschrauber sind, erstreckt sich der Genehmigungsumfang der meisten bestehenden Hubschraubersonderlandeplätze nicht auf die Nutzung durch Multikopter.

Einem Probebetrieb steht dies jedoch nicht entgegen, da mithilfe einer zeitlich begrenzten Außenlandegenehmigung nach § 25 Abs. 1 Satz 1 LuftVG zumindest vorübergehend auch Multikoptern die Landung genehmigt werden könnte. Eine wesentliche Änderung des Betriebs am Landeplatz i. S. v. § 6 Abs. 4 Satz 2 LuftVG wäre damit weder in qualitativer noch in quantitativer Hinsicht¹²⁵ verbunden. Sowohl die Zahl der Flugbewegungen durch Multikopter wäre überschaubar als auch die Beeinträchtigung der durch § 6 Abs. 2 LuftVG geschützten Rechtsgüter. Ein dauerhafter Betrieb mit Multikoptern an einem nur für Hubschrauber

¹²¹ VG Hamburg 13 VG 1548/96, 19

¹²² § 2 Nr. 1 Buchstabe d Nds. SOG, § 2 Nr. 3 Buchstabe d BremPolG

¹²³ BGHSt 3,7

¹²⁴ VG Hamburg, 13 VG 1548/96, 19

¹²⁵ BVerwG 4 C 40.86, 16.12.1988, in ZLW 1989, 143 (152)

zugelassenen Landeplatz mithilfe von § 25 Abs. 1 Satz 1 LuftVG ist rechtlich nicht möglich, da dies dem Ausnahmecharakter der Vorschrift zuwiderlaufen würde.¹²⁶

Um die dauerhafte Nutzung auch durch Multikopter zu ermöglichen, sollten Anlage und Betrieb von Krankenhauslandeplätzen zukünftig auch für andere senkrechtstartfähige Luftfahrzeugklassen beantragt und zugelassen werden, soweit sie die technischen und flugbetrieblichen Anforderungen an die jeweiligen Luftfahrzeugklassen erfüllen. Für bestehende Flugplätze müsste deren Genehmigung geändert oder eine gesonderte Änderungsgenehmigung angestrengt werden.¹²⁷ Die Auswirkungen auf Rechtsgüter, die im Rahmen einer solchen Antragsprüfung gemäß § 6 Abs. 2 LuftVG zu prüfen sind, werden im Kapitel 8 „Politische/gesellschaftliche Machbarkeit“ ausführlich behandelt.

Auf Grundlage von Art. 85 Abs. 2 Satz 1 i. V. m. Art. 87d Abs. 2 GG wurde für die Anlage und den Betrieb von Hubschrauberlandeplätzen eine Allgemeine Verwaltungsvorschrift (AVV) erlassen¹²⁸, die bundeseinheitlich die baulichen und technischen Voraussetzungen für die Genehmigung von Hubschrauberflugplätzen konkretisiert. Noch vorrangig vor der AVV muss die Landesluftfahrtbehörde jedoch die in ICAO Annex 14 beschriebenen, für Hubschrauberlandeplätze verbindlichen Standards beachten (Art. 37, 38, 90 Chicagoer Abkommen, Zustimmungsgesetz vom 12. Oktober 1956¹²⁹, Art. 59 Abs. 2 GG).¹³⁰ Für Multikopter-Landeplätze gibt es derzeit noch keine derartige normkonkretisierende Verwaltungsvorschrift oder internationale Standards, wenngleich die EASA an einem „Vertiport design manual“ arbeitet. Ein Vertiport ist für das jeweilige Luftfahrzeug zulassungsspezifisch bestimmt.¹³¹ Um den Luftrettungsbetreibern auch in Zukunft das nötige Maß an Flexibilität in Bezug auf die verwendeten Luftfahrzeugklassen zu erhalten, wäre es wünschenswert, die Krankenhauslandeplätze für ein breites Spektrum von eVTOLs als Vertiport zu qualifizieren und die Nutzung durch diese Luftfahrzeuge in der nationalen Genehmigung des Platzes zu ergänzen.

Die in der AVV und ICAO Annex 14 für Hubschrauberlandeplätze beschriebenen baulichen und technischen Voraussetzungen werden jedoch in aller Regel auch den sicheren Flugbetrieb mit Multikoptern an diesen Hubschrauberlandeplätzen gewährleisten. Bestehende Landeplätze können und sollten mitbenutzt werden. Unterstützenswert ist daher die Absicht der Bundesregierung, die parallele Nutzung dieser Landeplätze durch eVTOLs und Hubschrauber zu ermöglichen:

„Synergien nutzen und Mehraufwand vermeiden, indem wir uns dafür einsetzen, dass bereits vorhandene Flugplätze soweit wie möglich und praktikabel, auch von eVTOL genutzt werden können.“ (Aktionsplan „unbemannte Luftfahrtsysteme und innovative Luftfahrtkonzepte“ der Bundesregierung, S. 38).

Für reine Multikopter-Flugplätze könnten tendenziell auch geringere Dimensionen ausreichen. Speziell im Hinblick auf den Brandschutz könnten, in Abhängigkeit vom Antriebskonzept des jeweiligen Multikopters, besondere Voraussetzungen für den

sicheren Betrieb von Multikoptern entstehen. Dies gilt in besonderem Maße, wenn Akkus am Flugplatz gelagert werden oder sich der erhöhte Landeplatz auf einem Krankenhausdach befindet. Es bleibt Aufgabe der obersten Bundesbehörden, entweder die bestehende AVV für Multikopter zu erweitern oder aber eine eigene AVV für Multikopter-Landeplätze zu schaffen. Dies muss im Einklang mit internationalen und europäischen Regularien geschehen. Um der konstruktiven Vielfalt der Multikopter und der Dynamik ihrer technischen Weiterentwicklung gerecht zu werden, wäre eine flexible Regulierung wünschenswert. Die Bundesregierung hat in ihrem Aktionsplan „unbemannte Luftfahrtsysteme und innovative Luftfahrtkonzepte“ bereits zu erkennen gegeben, dass sie sich der Bestimmung der Anforderungen an die Flugplatzinfrastruktur angenommen hat:

„gemeinsam mit der Industrie die Erarbeitung von Anforderungen für eVTOL-Flugplätze auf ICAO- und EU-Ebene begleiten, um den sicheren und geordneten Flugbetrieb insbesondere im urbanen Raum zu gewährleisten. Die vorhandenen Vorschriften für Hubschrauberflugplätze können dafür einen Ausgangspunkt bilden. eVTOL-Flugplätze sollten soweit wie möglich für verschiedenste eVTOL interoperabel sein, um die Anzahl der Flugplätze auf das notwendige Maß zu beschränken.“ (Aktionsplan „unbemannte Luftfahrtsysteme und innovative Luftfahrtkonzepte“ der Bundesregierung, S. 38).

7.1.3.1.2.2.2 Landestelle im öffentlichen Interesse

Eine Landestelle, an der Flugbetrieb ausschließlich im öffentlichen Interesse stattfindet, bezeichnet man als „Landestelle im öffentlichen Interesse“ (Public Interest Site, PIS). Zwar spricht Art. 2 Nr. 3 der VO (EU) 965/2012 von einer „Örtlichkeit von öffentlichem Interesse“, im Kontext des Flugbetriebs ist die Benennung einer Örtlichkeit, die für Flugbetrieb genutzt wird, als „Landestelle“ wegen der besseren Verständlichkeit vorzugswürdig und wird deshalb im Weiteren verwendet.

Einige Krankenhäuser unterhalten keinen genehmigten Landeplatz nach § 6 LuftVG, sondern eine Landestelle im öffentlichen Interesse gemäß Art. 2 Nr. 3 der VO (EU) 965/2012. Teils erlaubt die Lage der Krankenhäuser in Innenstädten keine Einhaltung der für einen Landeplatz erforderlichen Standards bezüglich Hindernisfreiheit oder Notlandeflächen. Zum anderen weisen diese Landestellen oft nur so wenige Flugbewegungen auf, dass die Genehmigungsvoraussetzungen für einen Landeplatz weder angemessen noch zum Schutze Dritter erforderlich wären.

Der Bundesgesetzgeber musste nun den Flugbetrieb an einer solchen PIS, die ja gerade kein Flugplatz im Sinne des § 6 LuftVG ist, vom Flugplatzzwang ausnehmen, um die Nutzung zu ermöglichen. Zu diesem Zweck wurde in § 25 LuftVG der Abs. 2 Satz 1 Nr. 2 und Abs. 4 eingefügt.

Leider regelt diese Vorschrift nur den Ausnahmefall des CAT.POL.H.225, mithin also Landungen eines Hubschraubers in Flugleistungsklasse 2 an einem Ort in einem dicht besiedelten

¹²⁶ Zuck I. 2. a); Böckstiegel/Krämer, 1993, S. 343, 350f

¹²⁷ Zuck I. 1. b)

¹²⁸ Bundesregierung, 2005

¹²⁹ BGBl II 1956, S. 934

¹³⁰ Thierry, 2018, S. 39–42

¹³¹ RMT.0230 EASA concept for regulation of UAS 'certified' category operations of Unmanned Aircraft Systems (UAS), 8.2., S. 62

Gebiet mit schwierigen Umgebungsbedingungen. Nur für diesen Sonderfall ist die Zuständigkeit des Luftfahrtbundesamtes geregelt und nur für diesen Fall ist eine Landung an einer Landestelle im öffentlichen Interesse erlaubnisfrei.

Ganz offenbar hat der Gesetzgeber verkannt, dass es sich bei CAT.POL.H.225 nicht um die Legaldefinition einer PIS handelt, sondern um eine Leistungserleichterung für Hubschrauber gegenüber den Leistungsanforderungen des CAT.POL.H.100 Buchstabe b Nr. 1.

Würde man nun die Rechtsfolge des § 25 Abs. 2 Satz 1 Nr. 2 LuftVG lediglich auf diese Fallgruppe anwenden, würde das im Ergebnis dazu führen, dass eine unsicherere Landung in Flugleistungsklasse 2 in dicht besiedeltem Gebiet erlaubnisfrei im Sinne des § 25 LuftVG wäre, die sicherere Landung in Flugleistungsklasse 1 oder im freien Gelände jedoch einer Erlaubnis bedürfte, obwohl letztere CAT.POL.H.100 Buchstabe b Nr. 1 vollumfänglich erfüllt und der Ausnahme des CAT.POL.H.225 gar nicht bedarf. Diese Ungleichbehandlung der an sich vergleichbaren Fallgruppen ist nicht mit dem Gleichheitssatz vereinbar (Art. 3 Abs. 1 GG).

Schon für den bestehenden Hubschrauberrettungsbetrieb kann diese systemwidrige Gesetzeslücke nur durch die analoge Anwendung des § 25 Abs. 2 Satz 1 Nr. 2 LuftVG auch auf PIS, welche in Flugleistungsklasse 1 angefliegen werden können oder sich im freien Gelände befinden, geschlossen werden.

Durch den unglücklichen Verweis auf CAT.POL.H.225 wird aber auch vollkommen unnötig die Luftfahrzeugklasse auf Hubschrauber beschränkt. Eine Nutzung dieser Vorschrift als Rechtsgrundlage der Landung eines Multikopters ist nicht möglich.

Für die Nutzung von Multikoptern im Rettungsdienst ist § 25 Abs. 2 Satz 1 Nr. 2 und Abs. 4 LuftVG unzureichend. Aber schon im Hinblick auf den bestehenden Rettungshubschrauberbetrieb sollte in dieser Vorschrift dringend der Verweis auf CAT.POL.H.225 gestrichen werden, um den Erfordernissen des Rettungsflugbetriebs gerecht zu werden.

In keinem Fall kann eine PIS einen Landeplatz ersetzen. Ab einer Anzahl von Flugbewegungen, die flugplatzähnlichem Verkehr gleichkommt, kann auch das öffentliche Interesse an jeder einzelnen Flugbewegung nicht mehr die Beteiligungsrechte Dritter aufwiegen.

7.1.3.1.3 Landung am Luftrettungsstandort

7.1.3.1.3.1 Anforderungen

Am Luftrettungsstandort selbst sind Starts und Landungen erforderlich; sowohl Alarmstarts, die Landung bei Wiederkehr aus dem Einsatz als auch Starts und Landungen im Rahmen von technischen Flügen. Die Rettungshubschrauberführer und der Betreiber brauchen eine sichere Rechtsgrundlage für diese Starts und Landungen.

Anders als bei Landungen am Notfallort besteht bei Landungen am Luftrettungsstandort in der Regel keine konkrete Gefahrenlage mehr. Eine solche darf deshalb nicht rechtliche Voraussetzung der Landung sein.

Luftrettungsstandorte müssen gelegentlich vorübergehend geschlossen werden. Für diese Fälle muss eine Ausweichlandestelle im Einsatzgebiet genutzt werden können.

7.1.3.1.3.2 Bewertung

Aufgrund der fehlenden konkreten Gefahr ist eine Landung an der Luftrettungsstation in der Regel nicht nach § 25 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 LuftVG erlaubnisfrei.

Luftrettungsstationen verfügen deshalb in den allermeisten Fällen über einen genehmigten Landeplatz nach § 6 LuftVG, nicht selten direkt an einer Klinik. Für diese Plätze gilt das unter 7.1.3.1.2.2.1 Gesagte. Sie müssten zusätzlich für die Nutzung durch Multikopter genehmigt werden.

Speziell im Falle der vorübergehenden Schließung eines solchen Landeplatzes, etwa wegen Bauarbeiten, ist die Suche nach einem Ausweichstandort problematisch. Der Vorlauf der Schließung ist oft kurz bemessen und die Genehmigung eines Interimsstandortes nach § 6 LuftVG schon zeitlich nicht möglich. Eine Außenlandegenehmigung nach § 25 Abs. 1 LuftVG ist aufgrund der relativen Dauerhaftigkeit des Interimsstandortes, die ein Jahr und mehr betragen kann, sowie der Zahl der Flugbewegungen problematisch, liefe sie doch dem Ausnahmecharakter der Vorschrift zuwider.

Den Luftfahrtbehörden der Länder, die den Belangen der Luftrettung stets sehr unterstützend gegenüberstehen, sowie den Luftrettungsbetreibern fehlen hier ausreichende rechtliche Instrumente. Dem überragenden öffentlichen Interesse an einem wirksamen Rettungswesen wird das nicht gerecht.

Wäre § 25 Abs. 2 Satz 1 Nr. 2 und Abs. 4 LuftVG vom Verweis auf CAT.POL.H.225 befreit, könnte ein solcher Interimsstandort als Landestelle im öffentlichen Interesse (PIS) genutzt werden. Sowohl die Nutzung durch Multikopter als auch die Nutzung durch Hubschrauber mit hohen Leistungsreserven (Flugleistungsklasse 1) bzw. die Anlage außerhalb dicht besiedelter Gebiete wäre dann möglich.

Das öffentliche Interesse an jeder Flugbewegung rechtfertigt eine Ausnahme von den Begrenzungen des § 25 Abs. 1 LuftVG an solchen Interimsstandorten. Sollen Multikopter großflächig eingesetzt werden und bestehende Rettungsmittel zuverlässig ergänzen, muss auch die vorübergehende Standortverlegung regulatorisch vereinfacht werden.

7.2 Rettungsdienstrecht

7.2.1 Anforderungen

Die Rettungsdienstgesetze der Länder stellen Notfallrettung, arztbegleiteten Patiententransport, Krankentransport und Patientenrückholung unter Genehmigungsvorbehalt oder verlangen sogar die öffentliche Beauftragung durch öffentlich-rechtlichen Vertrag. Der Multikopter ist zunächst nur für die Zuführung des Notarztes vorgesehen. Diese Einsätze müssten genehmigungsfähig anhand der Landesrettungsdienstgesetze sein.

7.2.2 Bewertung

7.2.2.1 Bayerisches Rettungsdienstgesetz (BayRDG)

7.2.2.1.1 Begriffliche Einordnung des Multikopters

Das Bayerische Rettungsdienstgesetz definiert in Art. 2 Abs. 9:

„Luftrettung ist die Durchführung von Notfallrettung und arztbegleitetem Patiententransport sowie die Unterstützung von Einsätzen der Landrettung, der Berg- und Höhlenrettung sowie der Wasserrettung mit Luftfahrzeugen.“

Art. 2 Abs. 2 BayRDG bestimmt die Notfallrettung:

„Notfallrettung umfasst die notfallmedizinische Versorgung von Notfallpatienten am Notfallort und den Notfalltransport. Notfallpatienten sind Verletzte oder Kranke, die sich in Lebensgefahr befinden oder bei denen schwere gesundheitliche Schäden zu befürchten sind, wenn sie nicht unverzüglich die erforderliche medizinische Versorgung erhalten. Notfallmedizinische Versorgung sind die medizinischen Maßnahmen zur Abwendung von Lebensgefahr und schweren gesundheitlichen Schäden sowie zur Herstellung der Transportfähigkeit von Notfallpatienten. Notfalltransport ist die Beförderung von Notfallpatienten unter fachgerechter medizinischer Betreuung in eine für die weitere Versorgung geeignete Einrichtung.“

In vorliegender Studie soll der Einsatz von Multikoptern als reiner Notarztzubringer eruiert werden. Würde der Notfalltransport als konjunktives Element des Umfassens betrachtet, wäre aber auch das Notarzt-Einsatzfahrzeug nicht mit Notfallrettung befasst. Dies wäre insbesondere vor dem Hintergrund der Genehmigungspflicht nach Art. 21 Abs. 1 BayRDG nicht haltbar. Zudem kann auch ein Notarztzubringer eine Teilleistung der Notfallrettung anbieten. Daher kann auch ein Multikopter, der nicht transportiert, begrifflich Notfallrettung und Luftrettung betreiben.

Art. 2 Abs. 8 Satz 1 BayRDG bestimmt:

„Notarzt-Einsatzfahrzeuge sind Einsatzfahrzeuge des Rettungsdienstes, mit denen der Notarzt beim Einsatz unabhängig vom Rettungswagen zum Einsatzort befördert wird.“

Anders als etwa Krankenkraftwagen, die eindeutig als Straßenfahrzeuge definiert sind (Art. 2 Abs. 7 BayRDG), fehlt diese Einschränkung bei Notarzt-Einsatzfahrzeugen. Somit kann auch der Multikopter als Notarzt-Einsatzfahrzeug gelten.

7.2.2.1.2 Geeignetheit

Betrachtet man die Anforderungen an Einsatzfahrzeuge (Art. 41 BayRDG), wird klar, dass sowohl Luftfahrzeuge als auch Notarzt-Einsatzfahrzeuge für ihren jeweiligen Einsatzzweck geeignet sein müssen. Legt man diesen Maßstab an einen Multikopter im Rettungsdienstinsatz an, muss berücksichtigt werden, dass die Zuladungsgrenzen vieler in naher Zukunft technisch realisierbaren Multikopter den Umfang der Notarztausrüstung stärker einschränken würden, als dies in einem straßengebundenen Notarzt-Einsatzfahrzeug der Fall wäre. Der Multikopter wäre demnach nur dann als Notarzt-Einsatzmittel geeignet, wenn die Einsatzindikationen an die zur Verfügung stehende Ausrüstung angepasst würden. Sobald Multikopter zur Verfügung stehen, deren höchstzulässiges Startgewicht die Mitnahme einer vollumfänglichen Notarztausrüstung erlaubt, bestehen keine Bedenken, dass diese Rettungsmittel gleichermaßen wie ein Notarzt-Einsatzfahrzeug für alle Einsatzindikationen geeignet sind.

7.2.2.1.3 Personalqualifikation

Der Fahrer eines Notarzt-Einsatzfahrzeugs muss mindestens die Qualifikation als Rettungssanitäter haben (Art. 43 Abs. 2 BayRDG). Wollte man dies auf Multikopter übertragen, müsste der Pilot, der ohnehin bereits umfangreiche fliegerische Qualifikationen benötigt, zusätzlich die Ausbildung als Rettungssanitäter haben. Die Ausbildung zum Rettungssanitäter umfasst mindestens 520 Stunden. Betrachtet man den Einsatzzweck und die Rolle des Multikopters als Notarzt-Zubringer, der oft als erstes Rettungsmittel vor Ort eintreffen würde, erscheint die zusätzliche Qualifikation des Piloten als Rettungssanitäter als unausweichlich.

7.2.2.1.4 Ergebnis

Das Bayerische Rettungsdienstgesetz erlaubt es, auch Luftfahrzeuge als Notarzt-Einsatzfahrzeuge einzusetzen. Unter Berücksichtigung der eingeschränkten Einsatzindikation und mit ausreichend qualifizierter Besatzung erscheint der Einsatz von Multikoptern nach dem Bayerischen Rettungsdienstgesetz als möglich. Er steht unter Genehmigungsvorbehalt.

7.2.2.2 Rheinland-Pfälzisches Rettungsdienstgesetz (RettdG RLP)

7.2.2.2.1 Anwendungsbereich

§1 Abs. 1 RettdG RLP definiert den Anwendungsbereich des Gesetzes. Dort wird die Beförderung von hilfsbedürftigen Personen zur Voraussetzung für die Anwendbarkeit des Gesetzes gemacht. Demnach wäre ein reiner Notarzt-Zubringer, der selbst keinen Patienten zu transportieren vermag, nicht vom Regelungsbereich umfasst.

§2 Abs. 2 wiederum schließt die notfallmedizinische Versorgung von Notfallpatienten am Notfallort in die Definition des Notfalltransportes mit ein. Schon begrifflich wird man jedoch nur dann von einem Notfalltransport reden können, wenn neben der Versorgung die Beförderung hinzukommt.

Eine Aufteilung des Notfalltransports in einen Versorgungs- und einen Transportteil eröffnet die Möglichkeit, Notarztzubringer unter den Anwendungsbereich des Gesetzes zu fassen. Obwohl mit dem Multikopter zunächst keine Beförderung möglich ist, kann er dennoch einen Teilbeitrag zum Notfalltransport leisten.

Luftfahrzeuge sind ausdrücklich vom Anwendungsbereich erfasst.

7.2.2.2 Personalqualifikation

§ 22 RettDG RLP fordert sowohl für den Fahrer eines NEF als auch für die medizinische Besatzung eines Luftrettungsmittels die Qualifikation eines Notfallsanitäters. Um diese höchste Stufe nichtärztlicher Qualifikation zu erreichen, ist eine dreijährige Vollzeitausbildung nötig. Diese Qualifikationsstufe ist für die zweite Person eines Multikopters, den Piloten, neben seiner Qualifikation als Kommandant des Luftfahrzeugs nicht zu erreichen und aufrechtzuerhalten. Hier muss geprüft werden, für welche Einsätze diese Qualifikation einen Mehrwert gegenüber der Besetzung mit Notarzt und Rettungssanitäter, wie sie z. B. in Bayern üblich ist, bringt. Die Rechtzeitigkeit einer notärztlichen Behandlung ist von der Qualifikation der Hilfsperson nicht betroffen.

7.2.2.3 Ergebnis

Das rheinland-pfälzische Rettungsdienstgesetz erlaubt es, auch Luftfahrzeuge als Notarzt-Einsatzfahrzeuge einzusetzen. Die hohen Qualifikationsanforderungen an den „Fahrer“ des Notarztzubringers setzen jedoch behördlichen Genehmigungen von Multikoptereinsätzen Grenzen, deren Weitung wohl nur durch eine Gesetzesänderung erreicht werden kann.

7.3 Fazit

Die rechtliche Prüfung ist im Umfang nicht erschöpfend, sondern zeigt die wesentlichen zu beachtenden rechtlichen Grundlagen aus Europa-, Bundes- und Landesrecht auf.

Die Prüfung hat ergeben, dass die Notarztzubringung per Multikopter grundsätzlich rechtlich möglich ist. Es bestehen keine unüberwindbaren luft- oder rettungsdienstrechtlichen Hindernisse. In vielen Bereichen sind die vorhandenen Regularien ausreichend, um einen Multikopterbetrieb als Notarztzubringer zu ermöglichen. In einigen Bereichen zeigt sich der Bedarf, das bestehende Regelwerk zu erweitern und zu flexibilisieren. Dieser Anpassungsbedarf kann jedoch – den politischen Willen, eine solche Innovation umzusetzen, vorausgesetzt – bewältigt werden. Die grundsätzliche Machbarkeit ist unabhängig davon aus rechtlicher Sicht aber gegeben.

8 Politische/gesellschaftliche Machbarkeit

Wie die Bedarfsanalyse in Kapitel 4 gezeigt hat, wird der Einsatz von Multikoptern als Notarztzubringer keine schlagartige Veränderung im Rettungswesen, sondern vielmehr im ersten Schritt eine punktuelle Ergänzung bestehender Systeme darstellen, die langfristig ausbaufähig ist. Vor allem in ländlichen Gebieten zeigt der Einsatz von Multikoptern Vorteile gegenüber einem rein bodengebundenen NEF-System.

Dennoch stellt der Einsatz von Multikoptern im Rettungsdienst eine Veränderung dar, die vielfältige Wirkungen auf politische und gesellschaftliche Interessen ausübt. Auch Ängste vor dieser Veränderung in der Bevölkerung können nicht ausgeschlossen werden.

Deshalb sollen in diesem Kapitel die gesellschaftlichen Wirkungen dieser Veränderungen untersucht und Vorschläge für eine planvolle Steuerung dieses Veränderungsprozesses herausgearbeitet werden.

Insbesondere an den Standorten der Rettungswachen mit Multikopter-Landeplatz gibt es vielfältige Schnittstellen zu den Interessen Dritter. Nur wenn diese ausreichend Berücksichtigung finden, kann der Multikopter großflächig eingesetzt werden.

8.1 Wirkungen auf Raumordnung und Städteplanung

Wird ein bodengebundener Notarztstandort zu einer Luftrettungsstation mit Multikopter umgebaut, könnten das Auswirkungen auf die Raumordnung sowie die Städteplanung haben.

8.1.1 Anforderungen

Schon bei der Bescheidung eines Antrags auf Anlage und Betrieb eines Landeplatzes für einen Multikopter ist gemäß §6 Abs. 2 Satz 1 LuftVG zu prüfen, ob die geplante Maßnahme den Erfordernissen der Raumordnung entspricht. Erfordernisse der Raumordnung sind die Ziele, Grundsätze und sonstigen Erfordernisse der Raumordnung (§3 Abs. 1 Nr. 1 Raumordnungsgesetz/ROG), wie sie in den regionalen Planwerken ausgeführt sind. Dem Anspruch der ländlichen Bevölkerung auf wertgleiche Lebensbedingungen (§1 Abs. 2 ROG), insbesondere durch Sicherstellung der notärztlichen Versorgung, muss die Raumgestaltung gerecht werden.

8.1.2 Bewertung

Die personelle Besetzung einer Luftrettungsstation unterscheidet sich nicht grundlegend von der eines bodengebundenen Notarztstandortes. An- und Abfahrt des Personals haben keine verkehrsplanerisch relevante Wirkung. Auch der Lieferverkehr wird nur einen geringen Umfang haben. Abhängig vom Antriebskonzept kann gelegentlicher Schwerlastverkehr notwendig werden, etwa für Zwecke der Treibstoffversorgung bzw. des Akkuwechsels, aber auch bei Komplettausfall eines Multikopters. Die Kontrolle der Hinderniskulisse sowie die energietechnische Versorgung (vgl. Kapitel 5.2.2) erfordern gewisse planerische Rücksichtnahmen, die über jene eines bodengebundenen Notarztstandorts hinausgehen. Ein Bauschutzbereich (§17 LuftVG)

wird dagegen in aller Regel nicht erforderlich sein, ein zusätzlicher Raumanpruch entsteht dadurch nicht. Die erwarteten Auswirkungen auf die Infrastruktur und die Planungsbelange der jeweiligen Gemeinde sind gering. Entlang der An- und Abflugwege könnte die Erholungsfunktion von Flächen eingeschränkt werden.

Insgesamt ist zu erwarten, dass eine Luftrettungsstation mit Multikopter abgesehen von ihrer Wirkung im Rettungsdienst kaum raumgestaltende Kraft haben wird. Wie die Bedarfsanalyse (vgl. Kapitel 4.3.4) zeigt, können Multikopter jedoch zu einer deutlichen Verbesserung der notärztlichen Versorgung der Bevölkerung beitragen, insbesondere im ländlichen Raum. Geht man davon aus, dass zukünftig sogar einige ländliche Standorte wegfallen und durch Rettungsstandorte mit ausreichend performanten Multikoptern ersetzt werden, kommt diesen Multikopter-Standorten eine wichtige Rolle für die Erhaltung wertgleicher Lebensbedingungen zu.

Es ist zu erwarten, dass die Erfordernisse der Raumordnung und Städteplanung an den meisten Standorten der Einrichtung einer Multikopter-Rettungswache nicht entgegenstehen werden. Im Gegenteil können Multikopterstationen helfen, Disparitäten in der Notfallversorgung auszugleichen, und können damit zu einem wertvollen Gestaltungsinstrument räumlicher Planung werden, damit diese ihrem Ausgleichs- und Vorsorgeauftrag nachkommen kann.

8.2 Lärmwirkung

8.2.1 Anforderungen

Luftrettung will Menschen helfen. Entsteht durch den Flugbetrieb aber eine Lärmwirkung auf Anwohner und sonstige Betroffene, welche die Gesundheit dieser Menschen schädigt, hätte die Luftrettung ihr Ziel verfehlt. Lärmemissionen dürfen keinesfalls zu ungesunden Wohnverhältnissen bei Anwohnern führen. Wesentliche, unzumutbare akustische Störungen von Dritten müssen ausgeschlossen sein. Flugplätze an Rettungswachen, die zu Schädigungen führen würden, wären nicht genehmigungsfähig (§6 Abs. 2 LuftVG).

8.2.2 Bewertung

Heute im Rettungsdienst eingesetzte Hubschrauber erreichen bei Start und Landung einen Spitzenschallpegel von bis zu 95 dB. Multikopter werden demgegenüber aufgrund der anderen Bauart deutlich geringere Lärmpegel aufweisen. Der Hersteller des Volocopters gibt an, dass sein Modell VoloCity im Schwebeflug in einer Entfernung von 75 m nur einen Lärmpegel von 65 dB(A) aufweist, was im Vergleich zum Lärmpegel von 82 dB(A) eines Hubschraubers im Schwebeflug etwa um einen Faktor 3 leiser ist (bezogen auf den wahrgenommenen Schalldruck). Selbst in der Nähe der Landestelle wird der Lärm eines startenden Multikopters nach heutigen Erwartungen deshalb kaum größer sein als der Lärm, den Menschen in einer Großstadt täglich durch den Straßenverkehr erleben. Selbst bei intensivem Multikopterbetrieb ist deshalb eine Beeinträchtigung der Gesundheit von

Anwohnern im Allgemeinen nicht zu befürchten. Insbesondere die Wirkung der schwankenden Frequenzanteile auf den Menschen sollte jedoch weiter untersucht werden.

Nimmt man für einen Multikopter im Rettungsdienst 20 Flugbewegungen pro Tag an, so bleiben die daraus resultierenden Lärmbelastigungen nach Ausmaß und Häufigkeit innerhalb der Zumutbarkeitsgrenze. Der tageszeitlichen Lage dieser Flugbewegungen kommt jedoch für die Bewertung der Drittbetroffenheit hohe Wichtigkeit zu. Je nach Zahl der nächtlichen Einsätze könnten im Einzelfall zusätzliche Lärmschutzmaßnahmen erforderlich werden.

Wohngebiete können durch Erdwälle oder Bäume wirksam von der Schallausbreitung abgeschirmt werden.

Es ist im Ergebnis unwahrscheinlich, dass unzumutbare Störungen durch die Lärmemissionen des Multikopterbetriebs an einer Rettungswache entstehen.

8.3 Wirkungen auf die Umwelt

Erhaltung, Schutz und Verbesserung der natürlichen Lebensgrundlagen sowie der Qualität der Umwelt sind Gemeinwohlbelang; hierzu zählt auch der Schutz der natürlichen Lebensräume sowie der Schutz von wildlebenden Tieren und Pflanzen.

8.3.1 Schutzgut Arten und Biotope

8.3.1.1 Anforderungen

§§ 44 und 45 BNatSchG normieren in Umsetzung der europäischen Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie 92/43/EWG und der europäischen Vogelschutzrichtlinie 2009/147/EG den besonderen Artenschutz in Deutschland. Demnach ist es unter vielem anderen verboten, wildlebende Tiere streng geschützter Arten während der Fortpflanzungszeiten erheblich zu stören oder die Fortpflanzungsstätten zu beschädigen (auch funktional).

In der Regel fällt die Fortpflanzungszeit und die Zeit der Nutzung der Fortpflanzungsstätten in die Monate März bis Juni.

Ein Vorhabenträger muss nachweisen, dass sein Vorhaben keine erheblichen Störungen für die Arten verursacht. Unproblematische Vorhaben, bei denen evident ist, dass keine Störung auftreten kann, können diesen Nachweis in Form einer verkürzten Vorprüfung erbringen. In allen anderen Fällen ist ein vollständiges artenschutzrechtliches Gutachten vorzulegen. Ein solches Gutachten setzt die Kenntnis über das Vorhandensein besonders geschützter Arten im Untersuchungsgebiet voraus. Außer in glücklichen Einzelfällen liegen solche Daten nicht vor. Wurden sie bereits erhoben, so dürfen sie nicht älter als fünf Jahre sein, um Aussagekraft zu haben. Deshalb ist der Vorhabenträger genötigt, die Artenerfassung selbst zu beauftragen. Die Artenerfassung fordert Begehungen im Gelände während der Fortpflanzungszeit (März bis Juni). Kann im Gutachten eine erhebliche Störung aller vorkommenden besonders geschützten Arten nicht ausgeschlossen werden, kommt für Vorhaben des Rettungsdienstes eine Ausnahme nach § 45 Abs. 7 Nr. 4 und Nr. 5 BNatSchG in Betracht. Hierzu muss jedoch jede zumutbare Alternative ausgeschlossen werden und es muss nachgewiesen werden, dass der Erhaltungs-

zustand der Populationen einer Art sich nicht verschlechtert. In der Praxis muss also eine Vielzahl alternativer Stationierungsorte flugbetrieblich, artenschutzrechtlich, infrastrukturell, rettungsdienstlich, eigentumsrechtlich und im Hinblick auf Fluglärm geprüft und ausgeschlossen werden, damit eine Ausnahme erteilt werden kann. Wird eine Ausnahme erteilt, sind oftmals Ausgleichsmaßnahmen durchzuführen und zu erhalten, deren Kosten stark von der betroffenen Art abhängen. Auch wenn eine Ausnahme greift, muss vorher trotzdem ein Artenschutzgutachten erstellt werden. Kann eine Ausnahme nicht erteilt werden, kann das Vorhaben nicht umgesetzt werden.

8.3.1.2 Bewertung

Bei dem Vorhaben, eine Landestelle für ein Luftfahrzeug einzurichten, wird es selten gelingen, jeden Verdacht auf eine solche Störung bereits in einer verkürzten Vorprüfung auszuschließen. Das bedeutet, der Vorhabenträger muss in der Regel ein vollständiges artenschutzrechtliches Gutachten vorlegen.

Studien zum Einfluss eines Multikopter-Flugbetriebs auf geschützte Arten liegen noch nicht vor. Als Wirkfaktoren einer Luftrettungsstation für Multikopter kommen baubedingte Auswirkungen, anlagebedingte Auswirkungen, vor allem aber betriebsbedingte Wirkungen wie Lärm, optische Beeinträchtigungen und Wind in Betracht. Im Vergleich mit Hubschraubern gehen von Multikoptern weniger Lärmwirkungen aus (vgl. Kapitel 8.2), die optische Beeinträchtigung könnte vergleichbar sein und der Abwind eines Multikopters ist gewichtsabhängig.

In Deutschland könnten vielerorts Vögel sowie bei Flugbetrieb in der Dämmerung und Nacht auch Fledermäuse von diesen Wirkungen betroffen sein. Daneben können noch vielfältige andere geschützte Arten betroffen sein, diese zu ermitteln ist jedoch einer individuellen Artenerfassung vorbehalten.

Bei einigen Arten wirkt Lärm weniger störend als optische Reize¹³². Während akustische Reize bei Vögeln ein hohes Gewöhnungspotenzial aufweisen¹³², bleibt das bei optischen Reizen fraglich. So müsste geprüft werden, inwieweit Multikopter etwa als Luftprädatoren wahrgenommen werden oder die Lichtreflexe der Propeller Störungen verursachen können.

Für die Einrichtung eines Luftrettungsstandorts mit Multikopter bedeutet der politisch gewollte hohe Maßstab des Artenschutzes eine erhebliche Belastung. Eine kurzfristige Standortverlegung wird dadurch sehr schwer bis unmöglich. Da die Artenerfassung von März bis Juni erfolgen muss, werden kurzfristige Projekte wie die Verlegung zu einem Interimsstandort zeitlich unmöglich; ein Vorlauf von ein bis zwei Jahren ist nötig.

Die Standortauswahl für Multikopter (wie dies auch gegenwärtig bereits für Rettungshubschrauber der Fall ist) wird durch die Belange des Artenschutzes deutlich eingeschränkt. Die Verlässlichkeit der dauerhaften Einsatzbereitschaft wird ohne die Möglichkeit einer interimweisen Umstationierung reduziert. Will man bei der flugbetrieblichen Sicherheit keine Abstriche machen und auch die notärztliche Versorgung der Bevölkerung nicht dem Artenschutz unterordnen, so ist zu erwarten, dass in einigen Versorgungsbereichen der Einsatz von Multikoptern unmöglich

¹³² Komenda-Zehnder et al., 2002, S. 38

wird und (weiterhin) von mehreren NEF-Standorten abgedeckt werden muss. Ob diese in Zukunft alle mit Notärzten zu besetzen sein werden, ist sehr fraglich. Die Hebung des vollen Potenzials dieser Innovation könnte mithin fallweise am Artenschutz scheitern. Es wäre vorteilhaft, wenn der europäische Gesetzgeber sich entschließen könnte, mehr Flexibilisierungsmöglichkeiten im Artenschutz zu schaffen, insbesondere für kurzfristige Stationierungsvorhaben und solche im öffentlichen Interesse. So könnten auch die öffentlichen Interessen des Artenschutzes und der notärztlichen Versorgung der Bevölkerung zu einem besseren Ausgleich geführt werden.

8.3.2 Schutzgut Wasser und Boden

8.3.2.1 Anforderungen

Schädigungen des Bodens, des Grundwassers und von Oberflächengewässern müssen vermieden werden.

8.3.2.2 Bewertung

Das Schädigungspotenzial eines Multikopters hängt stark von seinem Antriebskonzept ab. Ein rein elektrischer Multikopter hat kaum Schädigungspotenzial. Allenfalls eine Undichtigkeit der Akkus könnte zu lokal begrenzten Verunreinigungen führen. Verbrennungsantriebe haben durch die Möglichkeit von Kraftstoffaustritt beim Tanken, aber auch durch erforderliche Wartungsarbeiten, wie das Spülen der Triebwerke, größeres Verunreinigungspotenzial. Dem kann jedoch durch Abscheideflächen gut entgegengewirkt werden.

Die Anlage eines Landeplatzes und eines Flugbetriebsbereichs wird eine gewisse Bodenversiegelung erfordern. Diese wird etwas weitreichender sein als die Versiegelung an den meisten bestehenden Rettungswachen für NEF.

Wasser und Bodenschutz werden in der Regel einer Genehmigung eines Landesplatzes für eine Multikopter-Rettungswache nicht entgegenstehen.

8.3.3 Schutzgut Luftreinheit

8.3.3.1 Anforderungen

Luftverunreinigungen durch Schadstoffe wie Feinstaub, Stickstoffoxide und Ozon, aber auch Geruchsbelästigungen sollen vermieden werden.

8.3.3.2 Bewertung

Die meisten heute diskutierten Multikopterkonzepte basieren entweder auf einem rein elektrischen Antrieb oder auf einem elektrischen Antrieb, welcher durch ein Verbrennungshilfstriebwerk unterstützt wird. Die Belastung durch Abgase wird, insbesondere verglichen mit heutigen Rettungshubschraubern, die als Notarztzubringer fungieren, deutlich geringer sein. Im Vergleich von Multikopter und einem straßengebundenen Notarzt-Einsatzfahrzeug kann ein vergleichbarer Abgasausstoß angenommen werden. Eine erhebliche lokale Abgasbelastung kann weitgehend ausgeschlossen werden. Eine Geruchsbelästigung von Anwohnern ist nicht zu erwarten.

8.3.4 Schutzgut Klima und natürliche Ressourcen

8.3.4.1 Anforderungen

Der Energieverbrauch soll reduziert werden. Soweit möglich sollen erneuerbare Energien eingesetzt werden, um die natürlichen Ressourcen zu schonen. Der Ausstoß klimawirksamer Stoffe soll vermieden werden.

8.3.4.2 Bewertung

Gelingt es, mit einer Multikopterstation mehrere NEF-Standorte zusammenzufassen, ergibt sich schon aus der verringerten Gebäude- und Fahrzeugvorhaltung das Potenzial für eine Schonung von Ressourcen. Der direkte Flugweg eines Multikopters kann im Vergleich zu Straßenfahrzeugen zu einer weiteren Reduzierung des Energieverbrauchs führen.

Ganz oder teilweise elektrische Antriebe erreichen ihr volles Klimaschutzpotenzial nur dann, wenn sie mit Strom aus erneuerbaren Quellen gespeist werden. Die Nutzung ausgedienter Batterien in einem zweiten Lebenszyklus als Zwischenspeicher für Ökostrom (vgl. Kapitel 5.2.2.1) kann hierzu einen wichtigen Beitrag leisten.

Die Substitution von Hubschraubern, die als reine Notarztzubringer eingesetzt werden, bietet zweifelslos das höchste Potenzial, die Energiebilanz im Rettungsdienst zu verbessern.

Insgesamt bieten Multikopter ein hohes Potenzial, Ressourcen zu schonen und zur sauberen Mobilität im Rettungsdienst beizutragen.

8.4 Vertrauen in den Brandschutz

8.4.1 Anforderungen

Ein Überhitzen von an einer Multikopterstation gelagerten Batterien mit anschließendem Brand ist eine Gefahr, die sich jedem Beobachter aufdrängt. Gesundheitsgefährdende Pyrolyseprodukte und unverbrannte Stoffe könnten freigesetzt und vom Löschwasser in Grund- und Oberflächenwasser gespült werden. Dass hieraus ein Sicherheitsbedürfnis der Anwohner entsteht, liegt auf der Hand.

Diese Brandgefahr muss zuverlässig und für die Öffentlichkeit nachvollziehbar auf ein hinnehmbares Niveau gemindert werden, damit Schäden vermieden werden und die Bevölkerung Vertrauen zu dem neuen Verkehrsmittel fassen kann.

8.4.2 Bewertung

Dem vorbeugenden Brandschutz wird beim Betrieb von eVTOLs hohe Bedeutung zukommen. Baulich, anlagentechnisch und organisatorisch muss ein hoher Sorgfaltsmaßstab angelegt werden. In einigen Bereichen wird man auf Erfahrungswerte aus anderen technischen Anwendungen zurückgreifen können. In diesen Fällen können bestehende Normen direkt übernommen werden. Zudem bieten die Zulassungsanforderungen eines VTOLs bereits Gewähr für ein sicheres Luftfahrzeug.¹³³ In anderen Bereichen, insbesondere an der Schnittstelle zu betrieblichen Verfahren und zum Brandschutz beim Betrieb von eVTOLs sowie zu praktikablen Infrastrukturanforderungen, gibt es noch wenig bis gar keine

¹³³ Entwurf MOC VTOL Iss. 1, MOC VTOL.2325(a)(5) Fire Protection

Erfahrungen. Ein Testbetrieb und eine Pilotphase im Rettungsdienst können hierfür wertvolle Erkenntnisse liefern und sollten deshalb unterstützt werden. Ein solcher Testbetrieb kann auch dazu beitragen, Brandschutznormen für Multikopter-Landeplätze, ähnlich der heutigen AVV zur Genehmigung der Anlage und des Betriebs von Hubschrauberflugplätzen und den Richtlinien für das Feuerlösch- und Rettungswesen auf Landeplätzen (NfL¹³⁴ I-72/83), zu entwickeln. Würde eine Pilotphase gestartet, könnte Deutschland mit dieser weltweit einzigartigen Pionierleistung auch auf völkerrechtlicher Ebene einen wertvollen Beitrag zur Fortentwicklung der Standards in den ICAO-Annexen leisten. Eine solche Pionierleistung erfordert jedoch die entschlossene Förderung durch die Politik.

Gegenüber der Bevölkerung besteht hinsichtlich der Begründung der Angemessenheit der Brandschutzmaßnahmen eine Bringschuld. Nur wenn offen und nachvollziehbar dargelegt wird, dass jede Gefährdung der Anwohner ausgeschlossen ist, kann Vertrauen in diese neue Technologie gefasst werden. Zur Herstellung objektiver Sicherheit muss immer auch die Vermittlung und Nachvollziehbarkeit hinzutreten.

8.5 Vertrauen in die flugbetriebliche Sicherheit

8.5.1 Anforderungen

Sowohl die Besetzung als auch die Bevölkerung am Boden muss Vertrauen in die fliegerische Sicherheit des neuen Fluggeräts fassen können.

8.5.2 Bewertung

Durch die Zulassungs- und Betriebsvorschriften ist die fliegerische Sicherheit von Multikoptern objektiv gegeben. Subjektive Ängste könnten trotzdem entstehen. Betreiber des Hubschrauberrettungsdienstes erhalten des Öfteren Anschreiben von Landestellenanwohnern, die Sorge haben, der Hubschrauber könnte auf das Dach ihres Hauses stürzen. Objektiv vollkommen unbegründet, sind diese Ängste subjektiv sehr real und müssen ernst genommen werden. Nun werden Multikopter tendenziell deutlich leichter sein als ein 3,5 Tonnen schwerer Hubschrauber und auch von der Geräuschkulisse und dem Abwind her weniger bedrohlich wirken. Dennoch kann angenommen werden, dass gegenüber einem so neuartigen, unbekanntem Fluggerät noch gewisse Vorurteile bestehen.

Die Bereitschaft, mit Multikoptern zu fliegen, nimmt mit dem Wissen über dieses neuartige Fluggerät zu.¹³⁵ Kennenlernveranstaltungen, Aufklärungskampagnen und Flugvorführungen könnten helfen, Ängste und Vorurteile abzubauen. Hierin bestehen Synergieeffekte mit Flugtaxi.

Die Bereitschaft, einen Multikopter zu nutzen, liegt in ersten Befragungen einer Zuschauergruppe zufolge bei 67%.¹³⁶ Notärzte im Luftrettungsdienst erhalten zusätzlich eine ausführliche technische Einweisung in das Rettungsmittel und das Verhalten bei

Notfällen. Es ist daher nicht zu erwarten, dass das Rettungsmittel Multikopter im Vergleich zum Rettungshubschrauber geringere Akzeptanz bei Notärzten erfährt und dadurch Schwierigkeiten in der Besetzung auftreten.

8.6 Fazit: gesamtgesellschaftliche Akzeptanz

Die Genehmigungsfähigkeit von Multikopter-Sonderlandeplätzen an Luftrettungsstationen wird in der Regel gegeben sein. Artenschutzrechtliche Restriktionen bei der Standortauswahl sind geeignet, die Nutzbarkeit von Multikoptern im Rettungsdienst einzuschränken.

Der Einsatz von Multikoptern als Notarztzubringer im Rettungsdienst hätte vielfältige positive, aber auch negative Auswirkungen auf unsere Gesellschaft, wobei die positiven deutlich überwiegen. Die Umsetzung dieses Wandels in einer Konsensgesellschaft erfordert ein gut durchdachtes politisches Change-Management. Der Bevölkerung muss Gelegenheit gegeben werden, sich auf die neuen Gegebenheiten einzustellen. Informationsveranstaltungen, die diesen Veränderungsprozess begleiten, können hilfreich sein. Betroffene sollten frühzeitig auf Änderungen vorbereitet werden, auch auf für sie neue Belastungen. Der Wandel sollte unter größtmöglicher Beteiligung aller Betroffenen erfolgen und auf die Harmonisierung der verschiedenen Interessen gerichtet sein. Sicherheitsrelevante Fragestellungen müssen offen diskutiert und transparent behandelt werden, damit sich Vertrauen bilden kann.

Teilnehmer einer Studie zur Akzeptanz des „Volocopters“ in Stuttgart gaben mehrheitlich an, dass sie von Flugtaxi keine Verschlechterung der Lärmsituation oder der Sicherheit in ihrer Stadt erwarten.¹³⁷ Der Multikopter wurde als leiser wahrgenommen, als dies erwartet worden war.¹³⁸ Wenn in dieser Studie festgestellt wurde, dass ein Flugtaxidienst für Städte und Gemeinden die Gelegenheit bietet, sich als innovative Region zu präsentieren, so kann das in gleichem Maße auch für die Anwendung von Multikoptern im Rettungsdienst gelten. Dies wurde mittels einer weiteren repräsentativen Studie zur Einstellung der Bevölkerung zur Nutzung von Flugtaxi im städtischen Luftraum belegt. Hierbei sprachen sich über 65% der Befragten für eine Flugtaxi-Anwendung für medizinische Notfälle aus.¹³⁹

Pilotprojekte können helfen, praktische Erfahrungen zu sammeln, das Sorgfaltsniveau für einen sicheren Betrieb zu konkretisieren und Vertrauen in die neue Technologie zu schaffen. Besonders bei Pilotprojekten im Rettungsdienst kann aufgrund der Wahrnehmung von Aufgaben der öffentlichen Daseinsvorsorge und aufgrund der evidenten Verbesserungspotenziale in der Notfallversorgung mit einer erhöhten Akzeptanz in der Bevölkerung gerechnet werden. Eine Fortführung der außerordentlich engagierten Begleitung innovativer Luftfahrtkonzepte durch die Bundesregierung, insbesondere auch bei Multikopter-Pilotprojekten mit Flugbetrieb, wäre sehr wünschenswert. Es bietet sich die Chance, die aufgezeigten Potenziale zur Verbesserung der notärztlichen Versorgung der Bevölkerung ohne erhebliche Nachteile für andere öffentliche oder private Interessen zu erschließen.

¹³⁴ Nachrichten für Luftfahrer (Amtsblatt für die Luftfahrt)

¹³⁵ Prof. Dr. Planing et al., 2019, S. 3, Individual Acceptance

¹³⁶ Prof. Dr. Planing et al., 2019, S. 2, Individual Acceptance

¹³⁷ Prof. Dr. Planing et al., 2019, S. 4, Societal Acceptance

¹³⁸ Prof. Dr. Planing et al., 2019, S. 4, Results

¹³⁹ Dannenberger et al., 2020 S. 15

9 Wirtschaftliche Machbarkeit

Die Evaluierung der zu erwartenden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ist von zentraler Bedeutung für eine Validierung der Durchführbarkeit des Gesamtkonzepts. Nur wenn sich der Betrieb von Multikoptern im Rettungsdienst auch mittel- bis langfristig auskömmlich finanzieren lässt, wird ein solches neues System seitens der Kostenträger Akzeptanz finden und werden sich umsetzungswillige Leistungserbringer finden lassen.

Zur folgenden Überprüfung der wirtschaftlichen Machbarkeit werden sowohl aktuell zur Verfügung stehende Multikopterkonzepte zugrunde gelegt als auch technologische Fortschritte im Bereich eVTOL und damit zukünftig zu erwartende Kosten berücksichtigt. In einer ersten Betrachtung werden zunächst die wesentlichen Annahmen und Einflussfaktoren der Wirtschaftlichkeitsbewertung in Kapitel 9.1 dargestellt. Ausgehend von den zu erwartenden Kosten für die Vorhaltung und den Betrieb von Multikopter-Standorten wird in Kapitel 9.2 deren Wirtschaftlichkeit gegenüber einem bestehenden Notarztssystem auf der Basis eines NEF-Konzepts anhand bestimmter Benchmarks überprüft. Abschließend soll in Kapitel 9.3 auf die Möglichkeiten der Finanzierung des neuen Rettungsmittels Multikopter eingegangen werden.

9.1 Annahmen und Einflussfaktoren

Die derzeit verfügbare Technologie entspricht noch nicht gänzlich den Anforderungen für einen regelhaften Einsatz im Rettungsdienst. Sofern Realkosten noch nicht zur Verfügung stehen, basieren die Angaben zu den Kosten eines Multikopters daher teilweise auf Annahmen und Schätzungen. Diese beruhen zum einen auf Erfahrungswerten aus dem HEMS-Betrieb und zum anderen auf der Auswertung von Fachstudien und Expertenbefragungen. Nachfolgend sollen die wesentlichen Kostentreiber und Einflussfaktoren beschrieben werden.

Die in dieser Machbarkeitsstudie untersuchte notfallmedizinische Leistung ist steuerrechtlich von der Umsatzsteuer befreit. Daher ist bei den nachfolgend aufgeführten Kostenberechnungen und Schätzungen die Vorsteuer (gesetzliche Mehrwertsteuer in Höhe von 19%) stets im Aufwand enthalten. Die Annahmen und Schätzungen für Kosten und Investitionen werden auf Basis aktueller Kaufkraft ausgewiesen und beinhalten keine inflationsbedingten Steigerungen.

9.1.1 Vorhaltung und Betrieb

Wie bereits in den vorhergehenden Kapiteln erläutert, soll der Multikopter als agiler Notarztzubringer Versorgungsbereiche erweitern und die Zeit bis zum Eintreffen des Notarztes optimieren. Um dies zu gewährleisten, muss die Einsatzbereitschaft zu Tages- und Nachtzeiten möglich sein. Es wird daher in der folgenden Kostenbetrachtung die Vorhaltung im **24-Stunden-Betrieb** angenommen.

Es wird beim Einsatz von Multikoptern im Luftrettungsdienst immer eine Rest-Nichtverfügbarkeit geben. Aus diesem Grunde wird zusätzlich auf einem Multikopter-Standort ein Fahrzeug

vorgehalten werden müssen. Die Besatzung kann somit bei nicht ausreichenden Wetter- und Sichtbedingungen oder auch wenn sich dies einsatztaktisch anbieten sollte, auf ein bodengebundenes Einsatzfahrzeug wechseln. Damit bleibt die Multikopter-Crew auch bei kurzfristiger Änderung der Wetter- und Sichtbedingungen handlungsfähig. Die zusätzliche Vorhaltung eines bodengebundenen **Einsatzfahrzeugs (NEF)** wird daher in die Kostenbetrachtung miteinbezogen.

Der Betrieb eines Multikopters erfordert Prozesse und Maßnahmen, die für die Einhaltung gesetzlicher Bestimmungen zur Durchführung des Flugbetriebs notwendig sind. Im Vergleich zum Betrieb eines bodengebundenen Notarztzubringers (NEF) entstehen beim Multikopterbetrieb aus diesem Grund höhere Gemeinkosten. Wie bereits in den vorhergehenden Kapiteln erörtert, können Prozesse und Vorgaben aus dem bestehenden HEMS-Flugbetrieb adaptiert werden. Dies umfasst sowohl die Bereiche CAMO, Quality und Safety Management sowie den administrativen Flugbetrieb und den Bodenbetrieb. In der Kostenbetrachtung des Multikoptersystems werden diese Kosten berücksichtigt.

9.1.2 Multikopter und EMS-Ausstattung

Für die Kostenbetrachtung wird von einem **zukünftigen Multikopterkonzept** ausgegangen, das im Vergleich zum VoloCity über ausgedehnte Leistungsdaten verfügt. Vor dem Hintergrund der erforderlichen Reichweite und Geschwindigkeit nach den Forschungsergebnissen des INM wird deutlich, dass der VoloCity zum heutigen Stand leistungsbezogen nicht ausreichend ist. Ein Multikopter mit diesen erforderlichen Leistungs- und Reichweitespezifikationen müsste z. B. über aerodynamischen Auftrieb (z. B. Umströmung von Tragflächen), einen Hybridantrieb oder eine hybride Energieversorgung verfügen. Mit in der Entwicklung befindlichen Multikopterkonzepten, die in naher Zukunft marktreife erreichen könnten, wären die Anforderungen der INM-Bedarfsanalyse jedoch erreichbar und zu erwarten. Für die Kostenschätzung wird von einer solchen technischen Weiterentwicklung ausgegangen.

Wie bereits in Kapitel 5.1.6.1 beschrieben, verfügt ein Hubschrauber über viele komplexe mechanische Baugruppen wie Getriebe, Gasturbine, Heckrotor und verstellbare Rotorblätter. Aus diesem Grund wird für einen Rettungshubschrauber von einem **Wartungsaufwand** von 4 bis 5 Stunden pro Flugstunde ausgegangen (Erfahrungswerte ADAC Luftrettung). Dies bedeutet, dass ein Hubschrauber für eine Stunde Flug letztlich 4 bis 5 Stunden gewartet werden muss. Im Multikopter hingegen existieren vergleichsweise wenige mechanische Baugruppen, weshalb dafür nur etwa 0,5 Wartungsstunden pro Flugstunde (Angaben VoloCopter GmbH) zugrunde zu legen sind. Für die Kosten je Wartungsstunde (Personalkosten) werden im Rahmen der vorliegenden Studie 100 € angesetzt. Pro Flugstunde ist daher mit 50 € Wartungskosten zu rechnen (exklusive Materialkosten). Nach Kapitel 2.2 ist der technische Wartungsaufwand (Sachkosten) eines Multikopters im Vergleich zu einem Hubschrauber um den

Faktor 10 geringer. Demnach können zusätzlich 90 € je Flugstunde an wartungsbezogenen Sachkosten angesetzt werden. Insgesamt ergeben sich somit 140 € Wartungsgesamtkosten für eine Flugstunde des Multikopters, welche für die Kostenbetrachtung zugrunde gelegt werden.

Die **Nutzungsdauer** des Multikopters hängt von der Lebensdauer der Struktur ab (vgl. Kapitel 5.1.6.1). Wartungs- bzw. Instandsetzungsarbeiten an der Primärstruktur des Luftfahrzeuges sind in der Regel sehr aufwändig, weshalb eine Lebensdauer von 10 Jahren für die Primärstruktur und damit auch 10 Jahre Gesamtlebensdauer für das Luftfahrzeug veranschlagt werden. Für die weitere Berechnung werden kalkulatorische **Anschaffungskosten** in Höhe von 700.000 € für einen Multikopter mit den erforderlichen Leistungsdaten zugrunde gelegt. Die ADAC Luftrettung hält diesen Wert für Multikopter der nächsten Generation unter Berücksichtigung einer Großserienproduktion für plausibel.

Ein Multikopter im EMS-Betrieb muss technisch in der Lage sein, sowohl bei den unterschiedlichen Wettersituationen als auch in der Nacht Flüge zu absolvieren. Hieraus leiten sich im Wesentlichen konstruktionsbedingte Voraussetzungen ab, die der Hersteller schaffen muss und die damit in den Kosten für die Anschaffung des Luftfahrzeuges beinhaltet sind. Hinzu kommen **EMS-spezifische technische Ausstattungen**, welche nicht Teil der serienmäßigen Ausstattung des Multikopters sind. Hierzu gehören z. B. eine NVIS-Ausrüstung, spezielle Navigationssysteme und Digitalfunkgeräte. Zusätzliches Equipment für Landungen in unbekanntem Gebiet (z. B. Einsinkschutz) wird ebenfalls in die Kostenbetrachtung miteinbezogen. Ebenso berücksichtigt ist die komplette medizinische Ausstattung wie Medizingeräte und medizinisches Verbrauchsmaterial.

Für planbare und nichtplanbare Ausfälle des Multikopters muss eine **Ersatzgestellung** berücksichtigt werden. Grundsätzlich wird der Wartungsaufwand gemäß Kapitel 5.1.6 als gering eingestuft und die technische Verfügbarkeit des Systems als hoch eingeschätzt. Daher wird in der Kostenrechnung von einer Ersatzgestellungsquote von 1:5 ausgegangen: Für fünf im Einsatz befindliche Multikopter wird ein Multikopter als Ersatz vorgehalten (vgl. Kapitel 5.1.7). Die Anschaffungskosten von Reservegeräten sowie die Instandhaltungskosten dieser Reservegeräte werden dementsprechend in die Kostenrechnung miteinbezogen.

9.1.3 Energiemanagement

Neben den Stromkosten bilden die Anschaffungskosten der Akkusysteme den zentralen Faktor für die Berechnung der Kosten der Energiebereitstellung. Für eine durchgängige Verfügbarkeit wird von einem dauerhaften Einsatz von mindestens vier Akkueinheiten pro Multikopter ausgegangen. Davon befinden sich zur Lagerung und Kühlung je drei Einheiten im Ladesystem, eine Einheit ist im Luftfahrzeug in Betrieb. Nur mit dieser Anzahl kann ein durchgehender Betrieb sichergestellt werden, wenn nach jedem Einsatz ein vollständig aufgeladener Energiespeicher zur Verfügung stehen soll. Zur Berechnung der Lebensdauer wird ein gleichmäßiger Wechsel der Akkueinheiten sowie vereinfacht der gleichmäßige Verschleiß der einzelnen Einheiten angenommen.

Auf Basis der maximal möglichen Ladezyklen, der kumulierten Einsatzstrecke, der Akkukapazität bzw. spezifischen Reichweite sowie der Anzahl der im Einsatz befindlichen Akkus (vgl. Kapitel 5) ergibt sich eine vom Einsatzaufkommen abhängige Lebensdauer der Akkueinheiten. Als Grundlage für das jährliche Einsatzaufkommen werden die Simulationsergebnisse des INM am Beispiel des Mikroszenarios „Rettungsdienstbereich Ansbach“ (vgl. Kapitel 4.3.3.2) vorausgesetzt. Für die Berechnung der **Lebensdauer** werden 750 Ladezyklen je Akkueinheit angenommen. Der Nutzungsbereich der Akkus beinhaltet nicht die gesamte Speicherkapazität. Neben den Notreserven für einen Weiterflug zu einer alternativen Landestelle werden auch Alterungsreserven der Akkus berücksichtigt. Diese sind nach den genannten Ladezyklen verschleißbedingt aufgebraucht. Dabei entspricht ein Ladezyklus einer gesamten Auf- und Entladung des Akkus. Partikuläres Laden entspricht einem anteilmäßigen Ladezyklus (z. B. 0,4 Ladezyklen für 40 % Auf- und Entladung).

Für die **Anschaffungskosten** der Akkueinheiten kann mit einer Kostenrelation von ca. 180 €/kWh (Angabe Uber Elevate¹⁴⁰: 200 \$/kWh) im Rahmen einer etablierten Serienfertigung gerechnet werden. Mit weiterhin steigenden Produktionszahlen werden die Anschaffungskosten tendenziell abnehmen. Neben der Energiespeichertechnologie von elektrochemischen Akkus kann auch eine Umwandlung eines Energieträgers (z. B. Wasserstoff) oder ein geeignetes hybrides Energiespeichersystem vorgesehen werden (vgl. Kapitel 5.1.5). Dementsprechend sind alternative Energiespeicher bzw. Energieträger zur Anwendung im Multikopter konzeptionell möglich. Neben der technischen Betrachtung eines solchen Systems sollte auch eine wirtschaftliche Betrachtung erfolgen. Zum jetzigen Zeitpunkt besteht noch keine Marktreife für solche Systeme für eine Anwendung in der Luftfahrt. Daher sind weder Anschaffungs- noch Betriebskosten hierfür bezifferbar.

Für die Ermittlung der **Stromkosten** (Verbrauchskosten) wird die kumulierte Einsatzstrecke des Multikopters berücksichtigt, wie sie sich ebenfalls aus den Simulationsergebnissen des INM im Mikroszenario „Rettungsdienstbereich Ansbach“ (vgl. Kapitel 4.3.3.2) ergibt. Die spezifischen Stromkosten können je nach Region, Anbieter und Abnahmemenge starken Schwankungen unterliegen. Aufgrund der zu erwartenden großen Abnahmemenge bei einer hinreichend großen Anzahl von Multikoptern wird der Strompreis für Industriekunden in Deutschland angesetzt. Diese zahlten zum 1. April 2019 laut mengengewichtetem Mittelwert bei einem Jahresverbrauch von 24 Gigawattstunden netto 15,98 Cent pro Kilowattstunde Strom¹⁴¹. Den nachfolgenden Berechnungen werden Stromkosten in Höhe von 0,16 € zzgl. 19% Mehrwertsteuer (Gesamtkosten 0,19 €) pro Kilowattstunde zugrunde gelegt.

Die Stromkosten könnten weiter optimiert werden. Hierzu könnte neben der üblichen Netzversorgung die Versorgung der Ladesysteme aus Akkueinheiten gespeist werden, die ihre Lebensdauer im Luftfahrzeug überschritten haben. Diese Energiespeicher könnten in einem „Second-Life-Cycle“ innerhalb eines stationären Einsatzes Energie (z. B. aus Solarenergie vom Dach der Station oder Nachtstromtarif) speichern und bei

¹⁴⁰ Uber Elevate, 2016, S. 87. Mangels genauer Angaben wird von Bruttobeträgen ausgegangen.

¹⁴¹ Daten abgerufen aus Sekundärquelle: Strompreise für Gewerbe- und Industriekunden in Deutschland bis 2019, Statista, 2019

Bedarf an die Ladesysteme abgeben. Langfristig besteht hier ein Kosteneinsparpotenzial, da durch kostengünstig gespeicherten Strom die Energiekosten des Multikopters sinken.

9.1.4 Infrastruktur

Die Kosten für die Infrastruktur einer Multikopterstation können in Abhängigkeit von der konkreten baulichen Ausführung, den gelände- und gebietsbezogenen Rahmenbedingungen und anderen Einflussfaktoren erheblich variieren. Auch die Kosten für den Erwerb eines nötigen Grundstücks, dessen Erschließung und notwendige Genehmigungen haben einen großen Einfluss auf die Infrastrukturkosten. Daher muss jede Errichtung einer Multikopterstation aus Kostensicht individuell betrachtet werden.

Die verschiedenen Konzeptlösungen für Multikopterstationen wurden in Kapitel 5.2.1 aufgezeigt. So sind Stationsvarianten möglich wie beispielsweise eine freistehende Station oder eine an ein bestehendes Gebäude (z. B. Feuerwache, Rettungswache, Krankenhaus) angebaute Station mit Hangar. Ebenfalls denkbar ist eine Station bestehend aus einer Containeranlage mit Leichtbauhangar.

In der vorliegenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung soll von einer Containerstation mit Leichtbauhangar auf erschlossenem Grund ausgegangen werden. Die Planungs- und Errichtungskosten werden Berechnungen eines eigens beauftragten Planungsbüros¹⁴² zufolge zwischen 700.000 € und 850.000 € pro Station liegen. Faktoren wie Grundstücks-, Erschließungs- und Genehmigungskosten sind aufgrund einer hohen Standortabhängigkeit nicht berücksichtigt. Grund für die Auswahl der Containerstation für die Kostenberechnung ist das gute Kosten-Nutzen-Verhältnis im Hinblick auf die Flexibilität in der Planung, den Standortmöglichkeiten und der Möglichkeit eines Standortwechsels (vgl. Kapitel 5.2.1).

Im Vergleich zur Festbau-Lösung bietet eine Multikopterstation in Containerbauweise vor allem in der frühen Phase des System-Rollouts hohe Anpassungsmöglichkeiten. Bauliche Veränderungen können kostengünstig realisiert werden. Zudem sind die Gesamtkosten im Vergleich zu den anderen Lösungen geringer.

9.1.5 Personaleinsatz und Personalqualifikation

Im Multikopter (am Beispiel des VoloCity) stehen zwei Sitzplätze für Pilot und Passagier zur Verfügung. Da die Intention der Hersteller von eVTOLs langfristig betrachtet in der Durchführung von autonomen Flügen liegt, finden sich keine Multikopterkonzepte, die auf einen Betrieb mit zwei Piloten ausgelegt sind. Es ist daher ausschließlich ein Single-Pilot-Betrieb (mit der Unterstützung eines fliegerisch fortgebildeten Notarztes) möglich. Bei den **Personalkosten** kommen daher die Kosten eines Piloten und eines Notarztes zum Tragen. Dies ist auch einsatztaktisch ausreichend (vgl. Kapitel 6.4.1, Kapitel 7).

Die ADAC Luftrettung vertritt die Position, dass zumindest in der ersten Rollout-Phase eine Berufspilotenlizenz für Hubschrauber die Grundvoraussetzung für das Führen eines Multikopters im EMS-Betrieb darstellen sollte. Neben der Berufspilotenlizenz sollte die Ausbildung der Piloten eine Musterberechtigungsschulung für das spezifische Multikopter-Luftfahrzeugmuster beinhalten. Eine Bewertung der **Ausbildungskosten** für Multikopterpiloten im EMS-Betrieb kann in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nur anhand bestehender Kostenmodelle durchgeführt werden.

Für die Kostenbetrachtung müssen zudem erforderliche medizinische und fliegerische **Zusatzqualifikationen** des Notarztes und des Piloten berücksichtigt werden. Sollte der Notarzt die fliegerischen Aufgaben eines TC HEMS übernehmen, entstehen entsprechende Ausbildungskosten. Zusätzliche Personalkosten



Abbildung 9.1: Containerstation mit Leichtbauhangar

¹⁴² nach Hanke & Bender, beauftragte Sachverständige Bauwesen

können aufgrund der Einhaltung von Flugdienst- und Ruhezeiten entstehen, die aktuell für Notärzte nicht anwendbar sind, für fliegerisches Personal – zu dem der Notarzt mit der Zusatzfunktion TC HEMS dann gezählt werden muss – jedoch eine gesetzliche Vorgabe darstellen.

9.2 Gesamtkostenbetrachtung und Wirtschaftlichkeitsbenchmark

Im folgenden Kapitel sollen zunächst die Kosten für einen beispielhaften Multikopter-Standort beschrieben werden. Anschließend werden diese Kosten mit denen eines NEF-Standortes in Relation gesetzt, um daraus die kritische Anzahl an Standorten abzuleiten, ab der es aus wirtschaftlicher Perspektive vorteilhaft ist, Multikopter anstelle von NEF einzusetzen.

9.2.1 Ausgangsvoraussetzungen

Grundsätzlich muss vorausgestellt werden, dass bezüglich der Ermittlung der Kosten für einen Multikopter-Standort keine allgemeingültigen Aussagen getroffen werden können. Die Kosten für den Betrieb eines Multikopters sind – wie ebenfalls beim Betrieb von Rettungshubschraubern – in erheblichem Maße standortabhängig. Dies lässt sich v. a. darauf zurückführen, dass u. a. jeder Standort ein bedarfsabhängiges individuelles Einsatzaufkommen aufweist, jeder Standort individuelle Infrastrukturkosten hat und auch die Wahl des Standortes darüber entscheiden kann, wie hoch die Personalkosten ausfallen (z. B. aufgrund unterschiedlicher Vergütungssysteme für Notärzte in den einzelnen Bundesländern). In vorliegender Betrachtung werden daher die konkreten Rahmendaten und Ergebnisse aus der Mikrosicht „Rettungsdienstbereich Ansbach“ (vgl. Kapitel 4.3.3.2) beispielhaft vorausgesetzt.

Für die nachfolgende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Gesamtkosten des bestehenden NEF-Systems innerhalb eines definierten Versorgungsbereichs in Relation zu den Gesamtkosten eines Rettungsdienstsystems nach Einführung des neuen Rettungsmittels Multikopter gesetzt. Die Kostenschätzungen basieren auf den in Kapitel 9.1 dargestellten Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Multikopter-Technologie. Diese Annahmen müssen unter anderem durch Testflüge oder Probetriebe validiert werden, was im Nachgang der Machbarkeitsstudie geplant ist.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung soll nachfolgend exemplarisch anhand des Rettungsdienstbereichs Ansbach erfolgen. Als Datengrundlage dienen daher die Ergebnisse aus den Simulationen durchläufen des INM im Mikroszenario Ansbach (vgl. Kapitel 4.3.3.2). Die konkrete Basis der Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bilden die Daten aus dem Null-Szenario sowie dem Szenario Stufe 3. Beim Szenario Stufe 3 liegt in der bedarfsnotwendigen Variante die Annahme zugrunde, dass zwei Multikopter mit einer Maximalgeschwindigkeit von 180 km/h und einer Reichweite von 200 km im Rettungsdienstbereich Ansbach eingesetzt werden. Dadurch können von den ursprünglich neun NEF-Standorten fünf entfallen, sodass das Gesamtsystem

demnach aus sechs statt aus neun Einheiten besteht. An den beiden Multikopter-Standorten sind zusätzlich zwei flexibel einsetzbare NEF stationiert, die als Rückfallebene dienen oder direkt bei Notfallorten in kurzer Distanz eingesetzt werden können. Besetzt werden diese Flex-NEF mit dem diensthabenden Notarzt des Multikopters sowie dem Piloten als Fahrer. Diese Planung gewährleistet eine Erreichbarkeit aller Notfallorte innerhalb von 20 Minuten Fahrzeit durch das NEF bzw. 20 Minuten Flugdauer durch den Multikopter.

Der Rettungshubschrauber (RTH) Christoph 65 in Dinkelsbühl wird im Szenario Stufe 3 noch als schnelles Transportmittel insbesondere bei Tracer-Diagnosen berücksichtigt. Für den RTH werden daher Einsätze, die er bisher in der Funktion eines schnellen Notarztzubringers bedient hatte (sogenannte Primärversorgungen), wegfallen. Im Rahmen der Studie soll die Fragestellung der Auswirkungen auf den RTH jedoch nicht weiter betrachtet werden. Festzuhalten und zu resümieren bleibt lediglich, dass ein zukünftiger Einsatz von Multikoptern auch Auswirkungen auf die Einsatzzahlen von RTH-Standorten haben kann.

9.2.2 Ergebnisse

9.2.2.1 Einzelbetrachtung (Makrosicht)

Zunächst sollen die Standortkosten eines Multikopters mit denen eines NEF verglichen werden. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten werden dieser Gegenüberstellung jeweils 1.500 Einsätze pro Jahr zugrunde gelegt. Diese Zahl entspricht dem gerundeten durchschnittlichen Einsatzaufkommen einer NEF-Wache in Bayern¹⁴³. Die einsatzbedingt zurückgelegten Kilometer für das jeweilige Rettungsmittel wurden aus den Ergebnissen der Auswertung des Mikroszenarios „Rettungsdienstbereich Ansbach“ entnommen. So beträgt die durchschnittliche Fahrstrecke pro Einsatz eines NEF rd. 30 km bzw. die Flugstrecke eines Multikopters rd. 64 km (vgl. Tabelle 9.1, S. 120).

Bei 1.500 Einsätzen eines Multikopters pro Jahr mit rd. 95.000 Flugkilometern betragen die jährlichen Kosten pro **Multikopter-Standort rd. 1,35 Mio. €**. Dies entspricht (Einzel-)Kosten von rd. 900 € pro Einsatz bzw. rd. 14 € pro Flugkilometer. Die ermittelten Gesamtkosten setzen sich zusammen aus den Aufwendungen für das Personal einschließlich der Nebenkosten (68 % der Gesamtkosten), den Betriebs- und Anschaffungskosten für den Multikopter einschließlich der technischen und medizinischen Ausrüstung (17 %), den Kosten für die Stationsinfrastruktur (8 %) und Aufwänden für Sonstiges wie z. B. Hilfs- und Betriebsstoffe, medizinisches Verbrauchsmaterial und Arzneimittel, Bekleidung der Multikopter-Crew und anteilige Gemeinkosten (7 %).

Von den Gesamtkosten sind rd. 7 % den variablen Kosten zuzurechnen. Diese vom Einsatzaufkommen abhängigen Betriebskosten fallen im Wesentlichen für die Wartung und den Stromverbrauch eines Multikopters an. Im Vergleich dazu ist der Anteil der variablen Kosten an den Gesamtkosten eines RTH mit rd. 30 % für Wartung und Treibstoff deutlich höher (Erfahrungswert ADAC Luftrettung).

¹⁴³ Datengrundlage: Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM), 2010, S. 53 und INM-Bedarfsanalyse (vgl. Kap. 4.3)

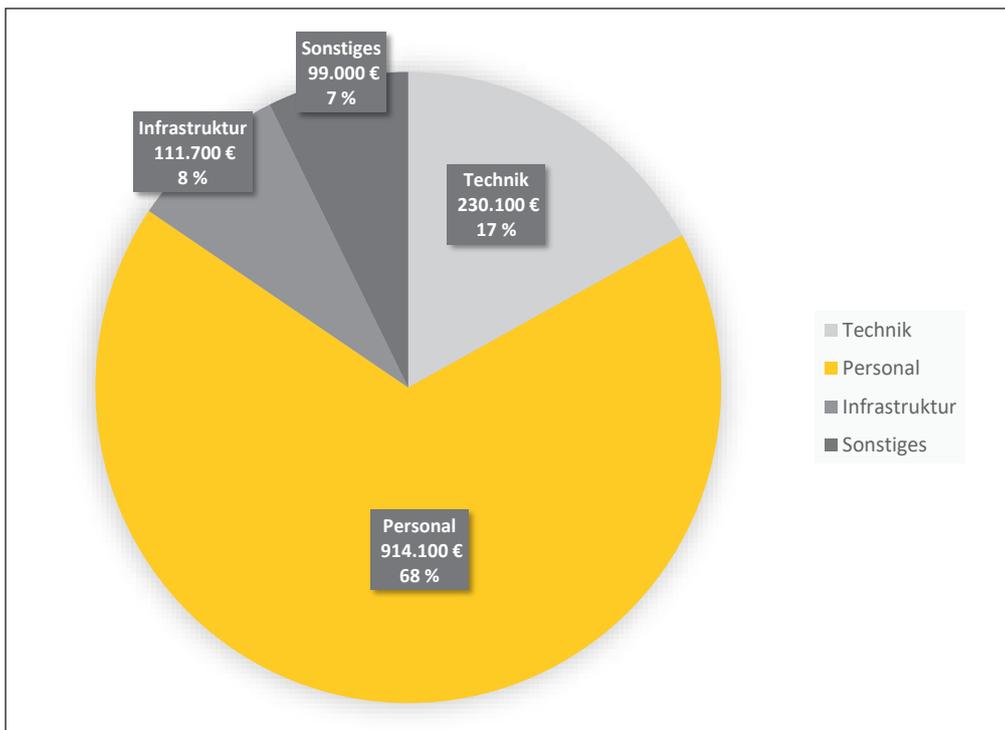


Abbildung 9.2: Kostenbestandteile und Anteile an den Gesamtkosten eines Multikopter-Standortes bei 1.500 Einsätzen mit rd. 95.000 Flugkilometern pro Jahr (Quelle: Berechnung ADAC Luftrettung)

Luftfahrzeuge werden unter hohem energetischem Aufwand betrieben, wobei die Treibstoffkosten beim Hubschrauber eine größere Rolle spielen als die Stromkosten beim Multikopter. Stellt man die Kosten für den Energieverbrauch beider Rettungsmittel gegenüber, zeigt sich, dass die Stromkosten für den Betrieb eines Multikopters rd. 24 € pro Flugstunde betragen, die Treibstoffkosten eines RTH dagegen bei rd. 200 € pro Flugstunde liegen (Erfahrungswert ADAC Luftrettung). Unter anderem liegt dies an günstigeren Energieverbrauchswerten sowie an dem deutlich geringeren Abfluggewicht eines Multikopters gegenüber einem Rettungshubschrauber.

Im Vergleich zu den zu erwartenden Gesamtkosten von rd. 1,35 Mio. € für den Betrieb einer Multikopterstation sind die Gesamtkosten für einen **bodengebundenen Notarztstandort (NEF)** im 24-Stunden-Betrieb mit ebenfalls angenommenen 1.500 Einsätzen und rd. 45.000 Fahrkilometern pro Jahr deutlich niedriger. Basierend auf der Vergütungssystematik der notärztlichen Versorgung in Bayern betragen diese **rd. 600.000 €¹⁴⁴**. Diese Gesamtkosten entsprechen rd. 390 € pro Einsatz bzw. rd. 13 € pro Fahrkilometer eines NEF. Auf Basis von Ausgangsdaten aus der PrimAIR-Studie wurden Gesamtkosten in Höhe von rd. 850.000 € je bodengebundenen Notarztstandort berechnet. Dies entspricht Kosten eines NEF von rd. 570 € pro Einsatz bzw. rd. 19 € pro Fahrkilometer.

Aufgrund der höheren Geschwindigkeit kann ein Multikopter größere Einsatzradien als ein NEF abdecken. Bei gleicher Versorgungssicherheit kann ein Multikopter daher die Einsätze von mehreren NEF-Standorten übernehmen. Berücksichtigt man dabei die mit zunehmender Einsatzzahl steigenden variablen Kosten eines Multikopters, sind aus einer rein wirtschaftlichen Perspektive die Kosten für den Betrieb eines Multikopters dann

mit den Kosten zum Betrieb von NEF-Standorten identisch, sofern ein Multikopter rechnerisch etwa **zwei bis drei** schlecht ausgelastete und damit schwer zu besetzende **NEF-Standorte¹⁴⁵** ersetzen kann. Alle darüber hinausgehenden Relationen (d.h., ein Multikopter-Standort ersetzt mehr als zwei bis drei schlecht ausgelastete NEF-Standorte) sind aus wirtschaftlicher Sicht vorteilhaft. Dieses Ergebnis korreliert mit den Zahlen aus der Bedarfsanalyse. So können unter dem Aspekt der Sicherstellung der bedarfsgerechten Erreichbarkeit der Notfallorte basierend auf den vom INM empfohlenen Einsatzradien von 25–30 Kilometern pro Multikopter in der Makrosicht ebenfalls etwa zwei bis drei schlecht ausgelastete NEF-Standorte ersetzt werden (vgl. Kapitel 4.3.2.4).

9.2.2.2 Systembetrachtung am Beispiel des Rettungsdienstbereichs Ansbach (Mikrosicht)

Neben einer Einzelbetrachtung spielt im rettungsdienstlichen Kontext vor allem die Gesamtsystembetrachtung eine Rolle. Die vorher ausgeführten Darlegungen zur Einzelbetrachtung bieten zwar eine erste Tendenz für einen wirtschaftlichen Benchmark. Eine abschließende Aussage zur Gesamtwirtschaftlichkeit kann jedoch erst unter einer regional-individuellen Betrachtung getätigt werden. Würde kostenrechnerisch – wie im vorherigen Abschnitt hergeleitet – der Ersatz von zwei bis drei NEF durch einen Multikopter gerechtfertigt sein, so muss dies bei weitem noch keinen regional-einsatztaktischen Nutzen haben. Daher ist neben die Einzelbetrachtung eine Systembetrachtung zu stellen. Diese wird wiederum basierend auf den Simulationsergebnissen des Rettungsdienstbereichs Ansbach vorgenommen. Eine Übertragung der Berechnungslogik auf andere Rettungsdienstbereiche erscheint generell möglich, ist jedoch im Einzelfall zu prüfen.

¹⁴⁴ Der Kostenausweis beruht auf sämtlichen öffentlich verfügbaren Informationen. Insbesondere im Hinblick auf Gemeinkosten kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass noch weitere Positionen zu berücksichtigen wären.

¹⁴⁵ Die Berechnungen gehen von der Endausbaustufe (hohe Flächendeckung) mit hohen Skaleneffekten bei den Gemeinkosten aus.

	Null-Szenario	Szenario Stufe 3 mit Multikopter und NEF		
	NEF (keine Multikopter)	Multikopter	NEF	Gesamt
Anzahl Standorte	9	2	4	6
Anzahl Einsätze	11.019	5.483	6.116	11.599*
Ø Kilometer pro Einsatz	30,1	63,5	31,7	–
Kilometer gesamt	331.869	348.434	193.654	542.088

Tabelle 9.1: Einsatzgeschehen in der Region Ansbach vor (Null-Szenario) und nach Einführung (Szenario Stufe 3) von Multikoptern im Rettungsdienst (aus INM-Bedarfsanalyse, vgl. u. a. Kap. 4.3.3.2.1)

* Auch der RTH in Dinkelsbühl gibt Einsätze, die der schnellen Heranführung des Notarztes an den Notfallort dienen, an die Multikopter ab. Dadurch ist die ausgewiesene Gesamtzahl der durch NEF und Multikopter versorgten Notfälle in dem zukünftigen Multikoptersystem höher als in dem bestehenden NEF-System.

Die Tabelle 9.1 stellt das Einsatzgeschehen im bestehenden Rettungsdienstbereich Ansbach mit neun Notarztstandorten und 11.019 Einsätzen (Null-Szenario, nur NEF-Einsätze) dar. Durch die Einführung der Multikopter als neue Rettungsmittel (Szenario Stufe 3) können gemäß der Bedarfsanalyse und Einsatzsimulation des INM (vgl. Kapitel 4.3.3.2) fünf Notarztstandorte durch zwei Multikopter ersetzt werden. An beiden Multikopter-Standorten wird zusätzlich jeweils ein Flex-NEF vorgehalten, welches mit dem Piloten als Fahrer und dem Notarzt des Multikopters besetzt wird, um je nach Einsatzort, Wetter, Distanz und Landebedingung das geeignete Rettungsmittel wählen zu können. Die Multikopter würden in diesem Szenario 47% des Notarzteeinsatzaufkommens in Ansbach zukünftig übernehmen (5.483 Einsätze). Die verbleibenden vier NEF einschließlich der Flex-NEF an den beiden Multikopter-Standorten werden zu 6.116 Einsätzen alarmiert. Durch die Reduzierung der Anzahl der Standorte nehmen die mit den Rettungsmitteln zurückzulegenden Entfernungen zu. Die durchschnittliche Wegstrecke eines NEF steigt von rd. 30 auf 32 Kilometer pro Einsatz. Ein Multikopter legt durchschnittlich rd. 64 Kilometer pro Einsatz zurück.

Basierend auf dem dargestellten Einsatzgeschehen können Aussagen zur Wirtschaftlichkeit des Szenarios Stufe 3 anhand der Kosten pro Einsatz und Kilometer im Vergleich zum Null-Szenario getroffen werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Werte geringfügig von den Ergebnissen aus der Einzelbetrachtung in Kapitel 9.2.2.1 unterscheiden, da in der Makrosicht höhere durchschnittliche Einsatzzahlen für den einzelnen NEF-Standort angenommen werden (Durchschnitt Bayern) als beim hier betrachteten Null-Szenario, das auf realen Einsatzzahlen des Rettungsdienstbereichs Ansbach fußt. Dem Szenario Stufe 3 liegen hingegen im Durchschnitt mehr Notarzteeinsätze pro Jahr zugrunde als dem einzelnen Multikopter-Standort in der Makrosicht.

In Abhängigkeit von der gewählten Datenbasis betragen die durchschnittlichen Kosten eines NEF-Einsatzes im Null-Szenario rd. 470 € nach der notärztlichen Vergütungssystematik in Bayern bzw. rd. 690 € nach der PrimAIR-Studie¹⁴⁶ (und eigene Berechnung). Diese Werte erscheinen im Hinblick auf die durchschnittlichen öffentlich-rechtlichen Gebühren für die Inanspruchnahme eines Notarztes mit NEF plausibel. Nach eigener Recherche aktueller Gebühren liegen die Gesamtkosten für einen Notarzteeinsatz mit NEF durchschnittlich bei rd. 710 €. Berücksichtigt wurden Rettungsdienstsatzen und Gebührenverordnungen aus verschiedenen Bundesländern¹⁴⁷.

Die geschätzten Kosten für das Rettungsdienstsystem mit ergänzenden Multikoptern liegen unterhalb der Kosten einer ausschließlich bodengebundenen notärztlichen Versorgung. So betragen die Kosten nach der bayerischen notärztlichen Vergütungssystematik rd. 430 € bzw. nach der PrimAIR-Studie rd. 480 € im Durchschnitt pro Notarzt-Einsatz.

Auch die durchschnittlichen Kosten pro Kilometer sind in dem betrachteten Rettungsdienstsystem bestehend aus Multikoptern und NEF aufgrund der größeren Reichweite der Multikopter deutlich niedriger als in einem System mit ausschließlicher NEF-Vorhaltung. Während die durchschnittlichen Kosten im NEF-Szenario (Null-Szenario) nach der notärztlichen Vergütungssystematik in Bayern 16 € bzw. nach der PrimAIR-Studie 23 € pro Kilometer betragen, sind die Kosten im Multikopter-Szenario mit 9 € bzw. 10 € pro Kilometer rd. 50 % niedriger. Dies ist jedoch aufgrund der höheren durchschnittlichen Anflugdistanzen der Multikopter sachlogisch.

9.2.2.3 Zwischenfazit und Zusatznutzenbetrachtung

Anhand der Region Ansbach konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von Multikoptern die Kosten für das Gesamtsystem Rettungsdienst, bestehend aus NEF, Multikoptern und RTH, durch eine Minimierung der Anzahl der benötigten Standorte bei gleichzeitiger Sicherstellung einer bedarfsgerechten und flächendeckenden notärztlichen Versorgung reduzieren kann. Da wie gezeigt ein Multikopter auch klassische RTH-Primärversorgungseinsätze ohne Patiententransport zukünftig übernehmen kann, könnte neben einem reinen Benchmark zu den Kosten eines NEF auch ein Benchmark zu den Kosten eines RTH gezogen werden. Hierzu kann grundsätzlich gesagt werden, dass ein solcher Benchmark bei weitem noch günstiger für ein Multikoptersystem ausfällt. Dies bedeutet im Ergebnis, dass der Einsatz eines RTH im Durchschnitt um den Faktor zwei bis drei teurer ist als der Einsatz eines Multikopters. Ferner verursacht aus einer Zusatznutzen-Perspektive ein Multikopter im Vergleich zu einem Rettungshubschrauber weniger Lärm- und Schadstoffemissionen. Trotz dieser prägnanten Kostenunterschiede lässt sich jedoch dieser Benchmark nicht in Gänze tätigen. Während ein Multikopter in ländlichen Regionen zu 100 % die Funktion eines NEF übernehmen kann, kann ein Multikopter nur diejenigen Einsätze eines RTH zukünftig übernehmen, bei denen kein Patiententransport vonnöten ist.

¹⁴⁶ PrimAIR-Konsortium, 2016

¹⁴⁷ Grundlage dieser Durchschnittsbetrachtung sind aktuelle Gebührenordnungen und Satzungen aus Nordrhein-Westfalen, Brandenburg, Berlin, Sachsen und Niedersachsen.

Grundsätzlich ist von einer Übertragbarkeit dieser positiven Ergebnisse auf andere Regionen Deutschlands auszugehen, auch wenn die Kosten einer Multikopterstation standortabhängig sind. Sollte dies im Einzelfall nicht gegeben sein, kann eine Ergänzung des bestehenden Rettungsdienstsystems durch Multikopter aus gesellschaftlicher Sicht dennoch sinnvoll sein, indem Multikopter wesentlich zur Verbesserung der regionalen notärztlichen Versorgung beitragen. Insbesondere in ländlichen und strukturschwachen Räumen, in denen aufgrund eines bestehenden oder drohenden Ärztemangels die Notarztstandorte nicht rund um die Uhr besetzt oder die ärztlichen Bereitschaftsdienste nicht mehr aufrechterhalten werden können, lassen sich Notarztressourcen mithilfe von Multikoptern effektiver und zielgerichteter einsetzen. Auch im Hinblick auf die stetig zunehmende Inanspruchnahme des Rettungsdienstes infolge geo-demografischer Entwicklungen sowie der fortschreitenden Zentralisierung der akutmedizinischen Klinikstrukturen kann eine Ergänzung der Notfallversorgung mit Multikoptern dazu beitragen, die vorhandenen rettungsdienstlichen Strukturen zu entlasten. Dabei spielt gerade bei lebensbedrohlich erkrankten oder verletzten Patienten der Zeitfaktor eine wesentliche Rolle. Je früher die definitive klinische Versorgung beginnt, desto besser ist das Behandlungsergebnis für die Patienten – was wiederum Folgekosten wie z. B. für eine intensivmedizinische Versorgung oder Rehabilitation reduzieren kann. Auf Basis der angenommenen technischen Leistungseigenschaften verfügen Multikopter aufgrund ihrer größeren Einsatzradien und ihrer höheren Geschwindigkeit ebenso wie in schwer zugänglichem Gelände über einen Zeitvorteil gegenüber bodengebundenen Einsatzfahrzeugen. Sofern sich der Einsatz von Multikoptern wirtschaftlich nicht „lohnen“ sollte, könnte dies trotz steigender Systemgesamtkosten dennoch gesellschaftspolitisch opportun sein.

9.3 Finanzierungsoptionen

Der Einsatz von Multikoptern im Rettungsdienst soll zunächst parallel zur Vorhaltung der bestehenden Rettungsmittel, NEF und RTH, erprobt werden. Eine Finanzierung dieser Pilotphase über öffentliche Fördermittel auf Landes-, Bundes- oder EU-Ebene ist hierbei denkbar. Entsprechende Förderprogramme sollten aufgerufen werden, um eine schnelle Etablierung des Systems zu prüfen und zu ermöglichen. Nach einer positiven Bilanz der Erprobungsphase und einer sich anschließenden flächendeckenden Systemüberplanung zur Optimierung der bestehenden notärztlichen Versorgungsstrukturen sollte das neue Rettungsmittel zeitnah Eingang in die Regelversorgung der gesetzlichen Krankenversicherung als neuer Bestandteil der Luftrettung finden. Voraussetzung hierfür ist, dass Multikopter ebenso wie die etablierten Rettungsmittel zukünftig den gesetzlichen Bestimmungen des Sozialgesetzbuchs Fünftes Buch (SGB V) unterliegen. Nach aktuellem Stand würden die (notärztlichen) Leistungen der Multikopter unter die Regelung der Fahrkosten nach § 60 SGB V fallen. Im Rahmen der geplanten Neugestaltung der Notfallversorgung in Deutschland ist nach dem vorliegenden Referentenentwurf des Bundesministeriums für Gesundheit jedoch eine Weiterentwicklung des Rettungsdienstes als eigenständiger Leistungsbereich der gesetzlichen Krankenversicherung zu erwarten¹⁴⁸.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in Kapitel 9.2 lassen den Schluss zu, dass mögliche Mehrkosten an der einen Stelle (z. B. für den Aufbau der erforderlichen Infrastruktur in Abhängigkeit von den regionalen Gegebenheiten) durch Einsparungen an anderer Stelle (z. B. durch Reduzierung der für die Sicherstellung der notärztlichen Versorgung erforderlichen Standorte sowie niedrigere Anschaffungs- und Betriebskosten gegenüber etablierten Rettungsmitteln) kompensiert und so die Kosten im Gesamtsystem konstant gehalten oder sogar reduziert werden können. Als Vergütungsmodell kommen für die notärztlichen Leistungen der Multikopter verschiedene Varianten in Betracht. Eine Anlehnung an die Vergütung der bodengebundenen Notarzteinsätze in Form von Vorhalte-, Einsatz- und Kilometerpauschalen ist ebenso denkbar wie eine Vergütung analog der Luftrettungseinsätze mittels RTH über Flugminuten- oder Einsatzpauschalen. Der Referentenentwurf zur Reform der Notfallversorgung sieht eine Aufteilung der Finanzierungszuständigkeiten vor. Demnach sollen Investitions- und Vorhaltekosten, die der Daseinsvorsorge des Staates zuzuordnen sind, zukünftig aus Steuermitteln finanziert werden. Investitionskosten umfassen unter anderem die Kosten der Errichtung von Multikopterstationen einschließlich der hierzu gehörenden Wirtschaftsgüter mit Ausnahme der zum Verbrauch bestimmten Güter. Die Betriebskosten sollen weiterhin von der gesetzlichen Kranken- und Unfallversicherung getragen werden¹⁴⁸.

¹⁴⁸ Bundesministerium für Gesundheit, 2020

10 Strategische Machbarkeit

Die vorliegende Studie hat aufgezeigt, dass unter der Voraussetzung bestimmter v. a. technischer Weiterentwicklungen der Einsatz von Multikoptern im Rettungsdienst zur Systemverbesserung beitragen kann. Eine unternehmenspolitische Entscheidung zur Weiterverfolgung einer Projektidee macht jedoch nur dann Sinn, wenn eine strategische Machbarkeit besteht. Die Luftrettung operiert in einem hochkomplexen Umfeld. Sowohl die Luftfahrt als auch der Rettungsdienst sind hochreglementierte Bereiche. Strategisch machbar ist der Einsatz von Multikoptern im Rettungsdienst demnach nur dann, wenn die Rahmenbedingungen hierfür geschaffen werden. Empfehlungen zur Etablierung entsprechender Rahmenbedingungen sollen in diesem abschließenden Kapitel gegeben werden.

10.1 Empfehlungen an die Verantwortungsträger

Für die Etablierung von Pilotprojekten und eine tatsächliche anschließende Umsetzung müssen die Verantwortlichen von Seiten der Politik, der Aufgabenträger sowie der Kostenträger bereit sein, neue Wege mitzugehen. Letztlich können Leistungserbringer wie die ADAC Luftrettung und ihre Partner nur neue Lösungskonzepte aufzeigen. Eine Systemveränderung des Rettungsdienstes als öffentliche Aufgabe kann allein von Seiten der Verantwortungsträger entschieden und ermöglicht werden.

10.1.1 Empfehlungen hinsichtlich der Regulatorik

Die rechtliche Prüfung hat ergeben, dass die Notarztzubringung per Multikopter grundsätzlich möglich ist.

Normen sollten so technikneutral wie möglich gefasst werden. Eine ergebnisorientierte Regulierung, die dem verantwortlichen Akteur die Wahl der Mittel überlässt, fördert Innovationen wie den Einsatz von Multikoptern im Rettungsdienst und minimiert regulatorischen Anpassungsbedarf, ausgelöst durch die Dynamik technischer Veränderungen. Der Weg der EASA hin zu mehr „Performance Based Regulation“¹⁴⁹ und der Vorgabe von Sicherheitszielen ist diesbezüglich ein sehr guter, unterstützenswerter Ansatz.

Eine personell wie materiell gut ausgestattete, gut ausgebildete und moderne Luftfahrtverwaltung auf Bundes- und Länderebene ist Voraussetzung für eine einheitliche Erfüllungspraxis, einen funktionierenden Wettbewerb und die Rechtstreue hinsichtlich der vielschichtigen Regelwerke des Luftrechts. Gerade innovative Vorhaben profitieren von einer kompetenten Verwaltung, die auch mit Anliegen, die nicht dem Standard entsprechen, souverän umgehen kann. Die Luftrettung kann sich glücklich schätzen über die ihr wiederkehrende Unterstützung durch die Verwaltung auf allen Ebenen und profitiert besonders vom Verwaltungshandeln. Im konkreten Einzelfall das öffentliche Interesse an einem gut funktionierenden Rettungsdienst mit anderen öffentlichen und privaten Interessen in einen sachgerechten Ausgleich zu bringen ist eine schwierige, konfliktträchtige Aufgabe, der sich die Verwaltung stellt und wofür sie nur allzu selten angemessenen Dank erfährt. Im Hinblick auf die Auftragsverwaltung durch

die Länder muss die Einheitlichkeit der Normanwendung erhalten bleiben. Staatliches Handeln muss bei aller Komplexität und Innovation vorhersehbar und berechenbar bleiben. In diesem Sinne ist auch eine moderne, gut ausgestattete und effiziente Verwaltung ein wichtiger Faktor der Innovationsförderung.

Zum Abschluss dieser Studie sollen konkrete Empfehlungen gegeben werden. Diese sollen beispielhaft aufzeigen, in welchen Bereichen Anpassungsbedarf besteht, um Multikopter flächenmäßig im Rettungsdienst einsetzen zu können.

Die Kommission sollte den Teilabschnitt J (SPA.HEMS) der VO (EU) 965/2012 technikneutral formulieren und die Einschränkung auf Hubschrauber entfernen.

Die Bundesregierung sollte bei der EASA darauf hinwirken, dass notwendige flugbetriebliche Einschränkungen von Multikoptern, zumal wenn sie schon auf Ebene der Bauvorschriften normiert werden, nicht nur mit Blick auf die Anwendung als Flugtaxi konzipiert werden, sondern ausreichend flexibel sind, um auch die Anwendung im Rettungsdienst zu ermöglichen. Insbesondere muss der Flugweg flexibel gestaltbar sein. Anforderungen an vorerkundete Notlandestellen sollten nach der Qualifikation der Flugbesatzung und dem Einsatzinteresse differenziert werden. Beschränkungen auf der Ebene der flugbetrieblichen Regelungen in der Durchführungsverordnung sind solchen auf der Ebene der Bauvorschriften gegenüber vorzugswürdig. Sie können dem Einsatzzweck entsprechend angepasst werden und bieten dem Betreiber die Möglichkeit der Entwicklung alternativer Nachweisverfahren im Flugbetrieb. Außerdem kann die Kommission im Gegensatz zur EASA auf eine demokratische Legitimationskette verweisen.

Der Bundesgesetzgeber sollte die Liste der Luftfahrzeugklassen (§1 Abs. 2 LuftVG) um „Senkrechtfähige Luftfahrzeuge mit verteiltem Antrieb (VTOL)“ erweitern. Der fehlerhafte Bezug auf CAT.POL.H.225 in §25 Abs. 4 LuftVG sollte baldmöglichst gestrichen werden. Stattdessen sollte die ausschließliche Nutzung im öffentlichen Interesse und der Ausschluss erheblicher Störungen der in §6 Abs. 2 LuftVG genannten Interessen Voraussetzung für die Erteilung der Nutzungsgenehmigung und damit der Erlaubnisfreiheit der einzelnen Landungen auf PIS sein. Sie sollte allen Luftfahrzeugklassen offenstehen.

Um die dauerhafte Nutzung auch durch Multikopter zu ermöglichen, sollten die Anlage und der Betrieb von Krankenhauslandeplätzen zukünftig für ein breiteres Spektrum senkrechtstartfähiger Luftfahrzeugklassen von den Krankenhäusern beantragt und von den Landesluftfahrtbehörden genehmigt werden.

Pilotprojekte können helfen, praktische Erfahrungen zu sammeln, das erforderliche Sorgfaltsniveau für einen sicheren Betrieb zu konkretisieren und Vertrauen in diese neue Technologie zu schaffen. Die Entwicklung von Standards für Landeplätze und Brandschutz, sowohl national als auch international, bedürfen der Rückkopplung mit den Erfahrungen aus dem praktischen Betrieb, wie sie nur durch Pilotprojekte gewonnen werden können.

¹⁴⁹ Kneepkens, 2012; EASA, Executive Directorate, 2014

Eine Fortführung der außerordentlich engagierten Innovationsbegleitung durch die Bundesregierung, auch hinsichtlich Multikopter-Pilotprojekten mit Flugbetrieb, wäre deshalb sehr wünschenswert. Träger des Rettungsdienstes, die sich an derartigen Pilotprojekten beteiligen, profitieren unmittelbar von der effizienteren Nutzung der knappen Ressource Notarzt und können ihre Region als innovationsfreundlich präsentieren.

Die Förderung von Informationsveranstaltungen zu der neuen Technologie „Multikopter“ kann dazu beitragen, Vertrauen zu schaffen und Vorurteile in der Bevölkerung abzubauen.

10.1.2 Empfehlungen zur Anschubförderung

Innovationen kommen nie ohne eine Anschubfinanzierung aus. Pilotprojekte kosten viel Geld, ohne dass sie relevante Einnahmen verzeichnen können. Innovativen Leistungserbringern sollten daher sowohl von Seiten staatlicher Institutionen als auch von Seiten der Kostenträger des Rettungsdienstes finanzielle Fördermöglichkeiten offenstehen.

10.2 Schlusswort

Im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie wurde eine Utopie vorgestellt. Eine Utopie ist – etymologisch betrachtet – der Entwurf einer zukünftigen Ordnung, die nicht an gegenwärtige historisch-kulturelle Rahmenbedingungen gebunden ist. Der Begriff entstammt einem 1516 erschienenen Roman des englischen Staatsmannes Sir Thomas Morus. Thomas Morus beschreibt darin – aufbauend auf der Idee einer fiktiven Insel Utopia – eine aus seiner Sicht ideale Gesellschaftsform. Eine Utopie ist daher eine Vorstellung – nämlich eine grundsätzlich positive Vorstellung einer möglichen Zukunft. Für eine solche Vorstellung bedarf es mehrerer Eigenschaften: Kreativität für zukünftig Mögliches und gleichzeitig Erfahrung und Realismus für eine Bewertung des zukünftig Machbaren. Die Kreativität und der Realismus vieler Projektbeteiligter sind in diese Studie eingeflossen. Diesen Pionieren sei an dieser Stelle ein großer Dank ausgesprochen. Die vorliegende Studie ist weltweit einmalig.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Einsatz von Multikoptern im Rettungsdienst möglich ist. Viele Prozesse aus dem bestehenden Flugbetrieb mit Rettungshubschraubern lassen sich auf einen Multikopterbetrieb adaptieren. Mithilfe eigens weiterentwickelter Simulationsmodelle konnte gezeigt werden, dass Multikopter im Rettungsdienst sinnvoll eingesetzt werden können. Die Ressource Notarzt kann mithilfe des Einsatzes von Multikoptern über eine größere Fläche verfügbar gemacht werden. Der Einsatz von Multikoptern kann einen Systembaustein darstellen, um bereits angestoßene Systemveränderungen (z. B. Ausweitung der Kompetenzen von Notfallsanitätern, Zentrierung der notärztlichen Expertise über telemedizinische Konsultation) sinnvoll weiterzuführen. Die Verfasser der vorliegenden Studie sind davon überzeugt, dass der Rettungsdienst grundlegende Veränderungen erfahren wird und erfahren muss. Ein Aspekt hierbei muss unweigerlich in einer Verbesserung der Logistik liegen. Multikopter können eine Technologie darstellen, um die Logistik zu verbessern.

Bis es jedoch so weit ist und Multikopter flächendeckend im Rettungsdienst eingesetzt werden können, sind insbesondere technische und regulatorische Hürden zu nehmen. Multikopter müssen über eine ausreichende Reichweite, Geschwindigkeit, Zuladungskapazität, Verlässlichkeit und Sicherheit verfügen, bevor ein flächendeckender Einsatz möglich ist. Sofern die Hersteller von Multikoptern ihre jeweiligen Produkte im EMS-Segment zum Einsatz bringen wollen, sollten die Anforderungen aus dieser Studie umgesetzt werden. Ein großer Anteil der aktuell weltweit verkauften Hubschrauber wird im Rettungsdienst eingesetzt. Es ist zu erwarten, dass das Segment EMS auch eines der Treiber dieser neuen Technologie sein wird.

Bis es zu einem flächendeckenden Einsatz von Multikoptern kommen kann, sind weitere Schritte notwendig. Die vorliegende Studie wurde auf Basis von Expertenwissen erstellt. Die Ergebnisse müssen nun Praxistests unterzogen werden. Diese Praxistests sind für die kommenden zwei bis drei Jahre geplant. Im Rahmen von umfangreichen Flugtestprogrammen und Pilotprojekten soll validiert werden, ob die gewonnenen Erkenntnisse aus der Studie auch in der Praxis standhalten. Die beschriebene Projektorganisation soll hierfür im Wesentlichen beibehalten werden.

Bereits heute steht fest, dass der Einsatz von Multikoptern im Rettungsdienst komplexe Anforderungen an die Betreiber dieser Fluggeräte stellen wird. Auch wenn die Technologie im Vergleich zu einem Hubschrauber einfacher zu betreiben sein wird, so darf dies nicht dazu führen, dass eine zügige Innovation zulasten der Flug- und Patientensicherheit aufgegeben wird. Daher bedarf es einer engen Interaktion zwischen Rettungsdienststrägern, Normgebern und Betreibern dieser Geräte. Nur so kann sichergestellt werden, dass das hohe Maß an Flugsicherheit, wie wir es heute im deutschen Luftrettungsdienst vorfinden, auch nachhaltig beibehalten werden kann.

Schlussendlich lässt sich resümieren: Der Begriff Utopie ist kein Unwort. Für alle Beteiligten an dieser Machbarkeitsstudie ist eine Utopie die Aufforderung zur Gestaltung der Zukunft. Denn: Utopien von heute sind die Realitäten von morgen.

11 Literaturverzeichnis

- ADAC Luftrettung gGmbH.** <https://luftrettung.adac.de/>. Die gelben Engel der Lüfte. [Online] [Zitat vom: 5. Juni 2020.] <https://luftrettung.adac.de/hubschrauber/>.
- Ambu GmbH. (O. J.).** Zervikalstütze Ambu Perfit ACE. Ambu Produkte. [Online] (o. J.). [Zitat vom: 27. Juni 2020.] <https://www.ambu.de/produkte/praklinik/immobilisation/product/ambu-perfit-ace>.
- Ausbildungs- und Prüfungsverordnung für Notfallsanitäterinnen und Notfallsanitäter (NotSan-APrV). Fassung vom 16. Dezember 2013.** S. I.: Bundesministerium für Gesundheit im Benehmen mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, Fassung vom 16. Dezember 2013. <https://www.gesetze-im-internet.de/notsan-aprv/NotSan-APrV.pdf>.
- Bayerische Rettungssanitäterverordnung (BayRettSanV). Fassung vom 23. April 2015. S. I.: Bayerische Staatskanzlei, Fassung vom 23. April 2015.** <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayRettSanV>true>.
- Bayerisches Rettungsdienstgesetz (BayRDG). Fassung vom 22. Juli 2008.** Gesetze Bayern. S. I.: Bayerische Staatskanzlei, Fassung vom 22. Juli 2008. <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayRDG-2>.
- Bayerisches Rotes Kreuz. 20. Januar 2020.** Bayerisches Rotes Kreuz: Vor allem auf dem Land fehlen Notärzte. Deutsches Ärzteblatt. 20. Januar 2020, <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/108751/Bayerisches-Rotes-Kreuz-Vor-allem-auf-dem-Land-fehlen-Notaerzte>.
- Bayerisches Staatsministerium des Inneren. (O. J.).** Telenotarzt. Was ist Telenotarzt? [Online] (o. J.). [Zitat vom: 20. Juni 2020.] <https://www.telenotarzt.bayern/was-ist-telenotarzt/>.
- Bernhard, M. et al. 2010.** Pädiatrische Notfälle in der prähospitalen Notfallmedizin – Implikationen für die Notarztqualifikation. S. I.: Springer-Link, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10049-010-1402-z>.
- Birk, A., et al. 2015.** Schlussbericht Forschungsprojekt PrimAIR : Konzept zur primären Luftrettung in strukturschwachen Gebieten. München: Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM), Klinikum der Universität München, 2015. DOI 10.2314/GBV:863971075.
- Böckstiegel/Krämer. 1993, S. 343.** Die luftfahrtbehördliche Erlaubnis zu Außenstarts und Außenlandungen. Zeitschrift für Luft- und Weltrecht (ZLW). 1993, S. 343.
- Bundesärztekammer. (O. J.).** [Online] (o. J.). [Zitat vom: 26. Juni 2020.] <https://www.bundesaerztekammer.de/aerzte/versorgung/notfallmedizin/notarzt/>.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung. 2017.** Forschung: Synthetische Kraftstoffe. 2017. <https://www.bmbf.de/de/synthetische-kraftstoffe-5040.html>.
- Bundesministerium für Gesundheit. 2020.** Referentenentwurf des Bundesministeriums für Gesundheit: Entwurf eines Gesetzes zur Reform der Notfallversorgung. [Online] 8. Januar 2020. [Zitat vom: 20. Mai 2020.] https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Downloads/Gesetze_und_Verordnungen/GuV/N/Referentenentwurf_zur_Reform_der_Notfallversorgung.pdf.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. 2020.** Unbemannte Luftfahrtsysteme und innovative Luftfahrtkonzepte – Aktionsplan der Bundesregierung. Berlin: s. n., 2020.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. 2018.** Hinweise zur Einführung von Sicherheitsmanagementsystemen in deutschen Flugbetrieben. [Online] 4. Dezember 2018. [Zitat vom: 20. Mai 2020.] https://www.lba.de/SharedDocs/Downloads/DE/B/B2_Flugbetrieb/Rundschreiben/93_RS_2008_16_Hinweise.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
- Bundesregierung. 2005.** Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Genehmigung der Anlage und des Betriebs von Hubschrauberflugplätzen. [Online] 2005. [Zitat vom: 4. April 2020.] http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwbund_19122005_LR116116413.htm.
- Bürger, A. et al. 2018.** The effect of ambulance response time on survival following out-of-hospital cardiac arrest – an analysis from the German resuscitation registry. S. I.: Deutsches Ärzteblatt International, 2018. Bd. 115, S. 541–548. DOI: 10.3238/arztebl.2018.0541.
- CAT Resources LLC. (O. J.).** Combat Application Tourniquet. [Online] (o. J.). [Zitat vom: 27. Juni 2020.] <http://www.combatourniquet.com>.
- Clarke, J. R. et al. 2002.** Time to laparotomy for intra-abdominal bleeding from trauma does affect survival for delays up to 90 minutes. J Trauma. 2002. Bd. 52(3), S. 420–425. doi:10.1097/00005373-200203000-00002.

Dannenberger, N. et al. 2020. Verkehrslösung oder Technikhype? Ergebnisbericht zur Einstellung der Bürgerinnen und Bürger gegenüber dem Einsatz von Lieferdrohnen und Flugtaxi im städtischen Luftraum in Deutschland. S. I.: Projekt: The Sky is the Limit – Die zukünftige Nutzung des urbanen Luftraums, 2020.

Deutsche Herzstiftung. 2016. Deutscher Herzbericht 2016. Sektorenübergreifende Versorgungsanalyse zur Kardiologie. S. I.: Deutsche Herzstiftung, 2016. 28. <https://www.bvmed.de/download/herzbericht-2016.pdf>.

DGOU & DGU. 2014. Unfallchirurgen warnen vor Verlängerung der Wartezeiten auf den Notarzt. Deutsches Ärzteblatt. 2014, <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/61187/Unfallchirurgen-warnen-vor-Verlaengerung-der-Wartezeiten-auf-den-Notarzt>.

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. 2011. DIN 13232:2011-05 Notfall-Ausrüstung. 2011.

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. 2009. DIN 75079:2009-11: Notarzt-Einsatzfahrzeuge (NEF) – Begriffe, Anforderungen, Prüfung. S. I.: Normenausschuss Rettungsdienst und Krankenhaus (NARK), 2009.

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. 2019. DIN EN 1789:2019-02 – Entwurf: Rettungsdienstfahrzeuge und deren Ausrüstung – Krankenkraftwagen. S. I.: DIN-Normenausschuss Rettungsdienst und Krankenhaus (NARK), 2019.

Dipl.-Ing. Univ. Keil, P. 2017. Aging of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles. Dissertation. München: Technische Universität München – Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik – Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik, 2017. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1355829/file.pdf>.

Dr. Blum, K. et al. 2019. Krankenhaus Barometer. Umfrage 2019. S. I.: Deutsches Krankenhausinstitut, 2019. https://www.dki.de/sites/default/files/2019-12/2019_Bericht%20KH%20Barometer_final.pdf.

Dr. Loos, S., Dr. Albrecht, Martin und Zich, Karsten. 2019. Simulation und Analyse einer Neustrukturierung der Krankenhausversorgung am Beispiel einer Versorgungsregion in Nordrhein-Westfalen. Zukunftsfähige Krankenhausversorgung. S. I.: Bertelsmann Stiftung, 2019. DOI 10.11586/2019042.

EASA – European Union Aviation Safety Agency. 2020. Concept Paper – RMT.0230. EASA concept for regulation of UAS ‘certified’ category operations of Unmanned Aircraft Systems (UAS), the certification of UAS to be operated in the ‘specific’ category and for the Urban Air Mobility operations – Issue 2.2. 2020.

EASA – European Union Aviation Safety Agency 2019. Special Condition Vertical Take-Off and Landing (VTOL) Aircraft (SC-VTOL-01). 2019. Issue 1, 02. July 2019.

EASA, Executive Directorate. 2014. A Harmonised European Approach to a Performance-Based Environment (PBE). [Online] 1. August 2014. [Zitat vom: 10. Juli 2020.] <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Report%20A%20Harmonised%20European%20Approach%20to%20a%20Performance%20Based%20Environment.pdf>.

EU-Kommission. 2012. VERORDNUNG (EU) Nr. 965/2012 DER KOMMISSION zur Festlegung technischer Vorschriften und von Verwaltungsverfahren in Bezug auf den Flugbetrieb gemäß der Verordnung (EG) Nr. 216/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates. 2012.

Firsching, R. et al. 2015. Leitlinie Schädel-Hirn-Trauma im Erwachsenenalter. Update 2015. S. I.: Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie, DGNC, 2015.

Fischer, M. et al. 2016. Eckpunktepapier 2016 zur notfallmedizinischen Versorgung der Bevölkerung in der Prähospitalphase und in der Klinik. Notfall + Rettungsmedizin. 2016, Bd. 19, DOI 10.1007/s10049-016-0187-0, S. 387–395.

GE Healthcare. (O. J.). Vscan Extend mit Dualsonde. Produktblatt. [Online] (o. J.). [Zitat vom: 27. Juni 2020.] <https://webshop.gehealthcare.de/de-de/products/point-of-care/ge-vscan-extend#product-description>.

Geilenkothener Fabrik für Schutzkleidung GmbH. (O. J.). GSG X-Alpha Rettungsdienstjacke Hardshell. Produktbeschreibung. [Online] (o. J.). [Zitat vom: 27. Juni 2020.] <https://www.gsg-schutzkleidung.de/gsg-x-alpha-rettungsdienstjacke-hardshell-gelb/rot?c=84>.

Geilenkothener Fabrik für Schutzkleidung GmbH. (O. J.). HAIX NEVADA PRO mid. Produktbeschreibung. [Online] (o. J.). [Zitat vom: 27. Juni 2020.] <https://www.gsg-schutzkleidung.de/haix-nevada-pro-mid?c=28>.

Genzwürker, H. et al. 2010. Inzidenz der endotrachealen Intubation im Notarztdienst: adäquate Erfahrung ohne klinische Routine kaum möglich. *Anästhesiologie & Intensivmedizin*. 2010. Bd. 51, S. 202–210. https://www.ai-online.info/images/ai-ausgabe/2010/04-2010/2010_4_202-210_Inzidenz%20der%20endotrachealen%20Intubation%20im%20Notarztdienst%20%20adaequate%20Erfahrung%20ohne%20kli.pdf.

Gesetz über den Rettungsdienst (Rettungsdienstgesetz – RDG). Fassung vom 8. Februar 2010. S. I.: Ministerium für Inneres, Digitales und Migration des Landes Baden-Württemberg, Fassung vom 8. Februar 2010. <http://www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&query=RettdG+BW&psml=bsbawueprod.psml&max=true&aiz=true#jlr-RettDGBW2010V2P9>.

Gubisch, M. 2019. „Rolls-Royce tests hybrid power system for light aircraft“. *flightglobal.com*. [Online] 15. März 2019. [Zitat vom: 26. Mai 2020.] <https://www.flightglobal.com/engines/rolls-royce-tests-hybrid-power-system-for-light-aircraft/131870.article>.

Heidelberg University. 2019. Erfolgreicher Ersteinsatz des Medical Intervention Car. [Online] 2019. [Zitat vom: 30. Mai 2020.] <https://www.klinikum.uni-heidelberg.de/newsroom/erfolgreicher-ersteinsatz-des-medical-intervention-car/>.

Hepperle, M. 2012. „Electric Flight – Potential and Limitations“. German Aerospace Center (DLR). [Online] 18. November 2012. [Zitat vom: 28. Mai 2020.] <https://elib.dlr.de/78726/1/MP-AVT-209-09.pdf>.

Hinsch, M. 2019. Regelwerke und Zulassungen. *Industrielles Luftfahrtmanagement*. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2019.

ICAO, Internationale Zivilluftfahrtorganisation. 2018. Annex I „Personnel Licensing“ to the Convention on International Civil Aviation. 2018. Twelfth Edition, July 2018.

Ilper, H. et al. 2013. Demografie, Ausbildung und Erfahrung der Notärzte in Deutschland: *www.notarztfragebogen.de*. Deutsche Medizinische Wochenschrift. <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0033-1343128>, 2013, Bd. 138(17), S. 880–885.

Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM). 2009. Bedarfsanalyse zur Luftrettung in Bayern. München: Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM), Klinikum der Universität München, 2009. ISBN: 978-3-86460-257-3.

Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM) 2010. Untersuchung zum Notarztdienst und arztbegleiteten Patienten-transport Bayern. München: Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement – Klinikum der Universität München, 2010.

International Civil Aviation Organization ICAO. 2013. Doc 9859.3 AN/474 Safety Management Manual (SMM). Montreal, Quebec, Canada: International Civil Aviation Organization ICAO, 2013. ISBN 978-92-9249-214-4.

Klinik für Anästhesiologie am Universitätsklinikum Heidelberg. 2019. Medical Intervention Car. [Online] 2019. [Zitat vom: 1. Mai 2020.] <https://www.klinikum.uni-heidelberg.de/klinik-fuer-anaesthesiologie/ueber-uns/notfallmedizin/notaerztliche-taetigkeit/medical-intervention-car-mic>.

Kneepkens, Jules. 2012. Performance Based Regulation. 2012. <https://www.easa.europa.eu/conferences/pbo/doc/presentations/3%20-%20Kneepkens%20EU%20Performance%20Based%20Regulation.pdf>.

Komenda-Zehnder, S. und Bruderer, B. 2002. Einfluss des Flugverkehrs auf die Avifauna – Literaturstudie. Schriftenreihe Umwelt. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 2002. Bd. 344.

Krebs, S. et al. 2012. Development and validation of a dispatcher identification algorithm for stroke emergencies. *Stroke*. 2012. Bd. 43(3), S. 776–781. <https://www.ahajournals.org/doi/full/10.1161/strokeaha.111.634980>.

Landesgesetz über den Rettungsdienst sowie den Notfall- und Krankentransport (Rettungsdienstgesetz – RettDG). Fassung vom 22. April 1991. S. I.: Ministerium der Justiz des Landes Rheinland-Pfalz, Fassung vom 22. April 1991. http://landesrecht.rlp.de/jportal/portal/t/ruc/page/bsrlpprod.psml;jsessionid=7EAB8F928CFAB9379FF330A4E82F1429.jp29?pid=Dokumentanzeige&showdoccase=1&js_peid=Trefferliste&documentnumber=1&numberofresults=1&fromdoctodoc=yes&doc.id=jlr-RettDGRPraehen&doc.pa.

Landeshauptstadt München – Branddirektion. 2018. Feuerwehr München Jahresbericht 2018. München: s. n., 2018.

Linde Gas GmbH. 2013. Rechnen Sie mit Wasserstoff. Die Datentabelle. [Online] 2013. [Zitat vom: 3. April 2020.] https://www.linde-gas.at/de/images/1007_rechnen_sie_mit_wasserstoff_v110_tcm550-169419.pdf.

Luftfahrt-Bundesamt – Referat T2 – Sachgebiet T22 – Technisches Personal. 2017. Informationsschrift des Luftfahrt-Bundesamtes über die Verordnung (EU) Nr. 1321/2014 der Kommission vom 26. November 2014, hier: Anhang III (Teil-66). 1. Dezember 2017. Revision 6.0. T22-20103-I001.

Marburger Bund. 2020. Überlastung führt zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen. MB-Monitor 2019. Berlin: Marburger Bund, 2020. https://www.marburger-bund.de/sites/default/files/files/2020-01/MB-Monitor%202019_Zusammenfassung_Ergebnisse.pdf.

Marquard & Bahls AG. Kerosin Jet Fuel A1. [Online] [Zitat vom: 6. Dezember 2019.] <https://www.marquard-bahls.com/nc/de/news-info/glossar/term/kerosin.html>.

Mauer, U. M. et al. 2016. Anhang zum Eckpunktepapier 2016. Tracerdiagnose schweres Schädelhirntrauma. 2016. https://www.uni-kiel.de/anaesthesie/docs/RD/Eckpunktepapier_2016_Tracerdiagnosen_Autoren.pdf.

Niermann, M. et al. 2019. Liquid organic hydrogen carriers (LOHCs) – techno-economic analysis of LOHCs in a defined process chain. Energy & Environmental Science. 2019, Bd. 12, S. 290–307.

Panomed Medizintechnik. (O. J.). Technische Daten. Notfallbeatmung mit dem OXYLATOR®. [Online] (o. J.). [Zitat vom: 27. Juni 2020.] http://www.oxylator.com/Technische_Daten.html.

Porsche Consulting. 2018. The Future of Vertical Mobility. Sizing the market for passenger, inspection, and goods services until 2035. [Online] März 2018. [Zitat vom: 5. November 2019.] <https://www.porsche-consulting.com/de/medien/publikationen/detail/study-the-future-of-vertical-mobility-2/>.

PrimAIR-Konsortium. 2016. Die PrimAIR-Luftrettung als Zukunft der Notfallrettung im dünn besiedelten Raum. Berlin: Pro Business 2016, 2016. ISBN: 978-3-86460-257-3.

Prof. Dr. Planing, P. und M. Sc. Pinar, Y. 2019. Acceptance of air taxis – A field study during the first flight of an air taxi in a European city. Stuttgart: Hochschule für Technik Stuttgart, 2019. <https://doi.org/10.31219/osf.io/rqgpc>.

R. STAHL Schaltgeräte GmbH. (O. J.). HANDSCHEINWERFER 6148 EX mit Ladekessel und KFZ Kabel 12/24V. Produktbeschreibung. [Online] (o. J.). [Zitat vom: 27. Juni 2020.] <https://www.helpi.com/Lampen/Stahl-Handlampen.htm>.

Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. 2019. Über Wettbewerb mehr Effizienz im Gesundheitswesen. Jahresgutachten 2018/19. 2019. https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg201819/jg2018_08_gesundheit.pdf.

SAFRAN Group. 2018. „First ground test of Safran’s hybrid electric propulsion system“. safran-group.com. [Online] 19. Juli 2018. [Zitat vom: 26. Mai 2020.] <https://www.safran-group.com/media/first-ground-test-safrans-hybrid-electric-propulsion-system-20180719>.

SAM Medical®. (O. J.). SAM Pelvic Sling II. Technische Daten. [Online] (o. J.). [Zitat vom: 27. Juni 2020.] <https://www.sammedical.com/products/pelvic-sling>.

Sauaia, A. et al. 1995. Epidemiology of trauma deaths: a reassessment. J Trauma. 1995. Bd. 38(2), S. 185–193. doi:10.1097/00005373-199502000-00006.

Schiller Medizintechnik GmbH. (O. J.). ARGUS PRO LifeCare 2. [Online] (o. J.). [Zitat vom: 27. Juni 2020.] <https://www.schiller.ch/de/de/product/argus-pro-lifecare-2>.

Schmiedel, R. und Behrendt, H. 2019. Bericht zum Forschungsprojekt FE 87.0014/2015: Leistungen des Rettungsdienstes 2016/17, Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst für die Jahre 2016 und 2017. [Hrsg.] Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach. Bergisch Gladbach: Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG, 2019. Bd. M290. ISBN 978-3-95606-471-5.

Seeger Gesundheitshaus GmbH & Co. KG. (O. J.). Sauerstoff-Flasche Aluminium 2 Liter gefüllt 200 bar. Produktbeschreibung. [Online] (o. J.). [Zitat vom: 27. Juni 2020.] https://www.seeger24.de/Sauerstofftherapie/Sauerstoff-Flaschen-mobil:::104_183/Sauerstoff-Flasche-Aluminium-2-Liter-gefuellt-200-bar:::843.html.

Sefrin, P., Händlmeier, A. und Kast, W. 2015. Leistungen des Notfall-Rettungsdienstes – Ergebnisse einer bundesweiten Analyse des DRK 2014. Thieme: Der Notarzt. DOI 10.1055/s-0035-1552705, 2015, Bd. 31(4), S. 34–48.

- Siebenmark, J. 2019.** „Honeywell Bets On Electric Engine, VTOL Future“. AIN Online – Business Aviation. [Online] 27. Februar 2019. [Zitat vom: 26. Mai 2020.] <https://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2019-02-27/honeywell-bets-electric-engine-vtol-future>.
- Silva, C. und Johnson, W. 2018.** Observations from Exploration of VTOL Urban Air Mobility Designs. [Hrsg.] NASA Ames Research Center. DOC-ID: 20190004906, Moffett Field, CA, USA: s. n., 30. Oktober 2018.
- Sozialgesetzbuch (SGB) Fünftes Buch (V) – Gesetzliche Krankenversicherung. Fassung vom 20. Dezember 1988.** § 27 Krankenbehandlung. S. I.: Bundesamt für Justiz, Fassung vom 20. Dezember 1988. https://www.gesetze-im-internet.de/sgb_5/_27.html.
- Sport und Arbeitsmedizin Hans-Jörg Meier. (O. J.).** NumberOne Notfallrucksack DIN 13232 gefüllt Modul A B. Bestückungsliste. [Online] (o. J.). [Zitat vom: 27. Juni 2020.] <https://www.wm-teamsport.de/de/top-marken/soehngen/sanitaets-und-notfallrucksaecke/Notfallrucksack--Soehngen--numberone--notfallrucksaecke--Notfalltasche--1-Hilfe-Rucksack--feuerwehr--pax--soehngen--172-185-186-187.html>.
- Statista. 2019.** Strompreise für Gewerbe- und Industriekunden in Deutschland in den Jahren 2009 bis 2019. de.statista.com. [Online] 28. November 2019. [Zitat vom: 20. Mai 2020.] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/154902/umfrage/strompreise-fuer-industrie-und-gewerbe-seit-2006/>.
- Thierry, S. H. 2018.** Die Luftverkehrsverwaltung im Auftrag des Bundes. Tübingen: Mohr Siebeck, 2018.
- Tien, H.C. et al. 2011.** Reducing time-to-treatment decreases mortality of trauma patients with acute subdural hematoma. *Ann Surg.* 2011. Bd. 253(6), S. 1178–1183. doi:10.1097/SLA.0b013e318217e339.
- Timmermann, A., et al. 2012.** Handlungsempfehlung für das präklinische Atemwegsmanagement. *DGAInfo – Anästhesie & Intensivmedizin.* 53. Jahrgang, 2012, <https://www.bda.de/docman/alle-dokumente-fuer-suchindex/oeffentlich/empfehlungen/616-handlungsempfehlung-fuer-das-praeklinische-atemwegsmanagement/file.html>, S. 294–308.
- Uber Elevate. 2016.** Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation. S. I.: Uber Technologies Inc., 2016.
- VITOGAZ Switzerland AG.** [Online] [Zitat vom: 6. Dezember 2019.] <https://www.propan.ch/de/fluessiggas/eigenschaften>.
- Volocopter GmbH. 2020.** <https://press.volocopter.com/index.php/media-images/products>. [Online] 1. April 2020.
- Volocopter GmbH 2019.** Pioneering the Urban Air Taxi Revolution (Whitepaper). Bruchsal: Volocopter GmbH, 2019.
- Volocopter GmbH 2019.** press.volocopter.com/index.php/volocopter-enthuehlt-design-fuer-neuestes-urbain-air-mobility-fluggeraet. [Online] 21. August 2019. [Zitat vom: 15. Mai 2020.]
- Volocopter GmbH 2019.** VoloCity Design specifications. [Online] 2019.
- Warwick, G. 2017.** Aviation Week & Space Technology. „Inside The eVTOL Explosion“. [Online] 11. August 2017. [Zitat vom: 26. Mai 2020.] <https://aviationweek.com/aerospace/program-management/inside-evtol-explosion>.
- Werwitzke, C. 2019.** [electrive.net](https://www.electrive.net). [Online] Branchendienst für Elektromobilität, 9. Januar 2019. [Zitat vom: 26. Mai 2020.] <https://www.electrive.net/2019/01/09/bell-stellt-hybrid-elektrisches-vtol-namens-nexus-vor/>.
- Wissenschaftlicher Arbeitskreis Notfallmedizin der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin. 2015.** Handlungsempfehlung zur prähospitalen Notfallnarkose beim Erwachsenen. S. I.: AWMF, 2015. https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/001-030I_S1_Praehospitale_Notfallnarkose_Erwachsene_2015-03-verlaengert.pdf.
- Wyen, H. et al. 2013.** The golden hour of shock – how time is running out: prehospital time intervals in Germany – a multivariate analysis of 15, 103 patients from the TraumaRegister DGU(R). *Emerg Med.* 2013. Bd. 30(12), S. 1048–1055. doi:10.1136/emermed-2012-201962.
- Zuck, H.** Die Grenzen des behördlichen Versagungsermessens bei § 25 LuftVG. *NZV* 1991, S. 218 ff.



ADAC Luftrettung
Forschungsprojekt

VOLOCOPTER